

L'ARCHITETTURA, L'AMBIENTE E LA TRASPARENZA POSSIBILE.

Tesi sperimentale e progettuale di sistemi vetriati interattivi per il controllo selettivo e dinamico della radiazione solare.

Dispositivi di micro-controllo open e nanotecnologie al servizio dell'uomo, dell'architetto e dell'ambiente.

Progetto: GLASS ⚡ SEASON BETA



POLITECNICO DI MILANO

Scuola di Architettura e Società

Corso di studio: Laurea Magistrale in Architettura

Indirizzo: Progettazione tecnologica e ambiente

Classe di laurea: LM-04_Architettura e ingegneria edile – architettura

Ordinamento 270/04

L'ARCHITETTURA, L'AMBIENTE E LA TRASPARENZA POSSIBILE.

Tesi sperimentale e progettuale di sistemi vetriati interattivi per il controllo selettivo e dinamico della radiazione solare.

Dispositivi di micro-controllo open e nanotecnologie al servizio dell'uomo, dell'architetto e dell'ambiente.

Progetto: GLASS ⚡ SEASON BETA

Studente Laureando: Nicola Levati, Matr. 786263

Docente Relatore: Gianluca Brunetti

A.A. 2013/2014 - **Appello di laurea 28 Aprile 2014**

Ringraziamenti:

Ringrazio il professor Gianluca Brunetti, mio relatore di tesi e docente del **“Laboratorio di progettazione integrata”**, che mi ha sempre accolto nei momenti di sconforto, reso onore nei momenti di gioia e gloria, ascoltato, sopportato, spronato e consigliato durante il lungo percorso intrapreso. La sua passione per l’insegnamento, il confronto continuo e lo scambio di vedute su argomenti inerenti alla tesi ed extra-universitari sono stati **“semi”** preziosi in grado di alimentare la mia curiosità.

Ringrazio Siloe Zotti, Mauro Roveri, Dario Pagani, che con grande pazienza hanno ascoltato le mie riflessioni e con saggi commenti e contributi personali hanno favorito l’evoluzione del progetto. Il loro aiuto in tutto il percorso universitario e di tesi è risultato davvero impagabile e per questo li ringrazio.

Ringrazio Giulia Mazzanti, Marco Zenoni, Francesca Mirabella, Alberto Carillo, Angelo Palmeri, Giovanna Palmieri, Giovanni Grignani, Daniele Brembilla, Luisa Soregaroli, Eva Affolter, Luca Acito, Chiara Chiore e tanti ma tanti amici che mi hanno supportato ed affiancato nel mio percorso di crescita universitaria ed extrauniversitaria contribuendo alla formazione di una parte della persona che sono diventato e quindi anche al risultato che spero di esser riuscito a raggiungere con questa tesi. L’amicizia disinteressata e il desiderio di volermi aiutare anche quando tutto sembrava vano credo che abbia dato i suoi frutti.

La difficoltà dell’obiettivo da raggiungere mi ha portato a incontrare tante figure professionali che con la loro competenza cordialità e disponibilità hanno dato, non sempre consapevolmente, un prezioso contributo alla sete di risposte che mi perseguita da sempre. Nello specifico vorrei rendere onore a Marta, Giorgio e Maximiliano del **Phycolab**; Damiano, Luigi e Alfonso del **Thermalab**; il vetraio Renato Castellani; Barbara del **T.T.O.**; Sergio del **Polihub**; Salvatore del **FabLab**; Saverio e Anna del **laboratorio modelli**; Yoshio Maekawa e l’azienda che rappresenta **Asahi Kasei E-Materials**; Domenico dell’**Isola ecologica di Bresso**; Vittorio della **Nuova Umpla**; Giorgio della **Screen Line-Pellini**; Nino della **Ciclofficina**; Marco di **Enova**; Angelo di **Baldo Legnami**.

Ringrazio Siloe, Franco, Vittorio, Tina, Paola, Lorenza, Silvia, etc. che hanno messo a disposizione il materiale polarizzatore dei loro dispositivi lcd che malauguratamente per loro si sono guastati giusto in tempo per poter contribuire alla fase di ricerca e sviluppo della mia tesi. Ringrazio mia sorella Cinzia per la sua creatività e i miei familiari tutti per il sostegno che mi hanno dato.

La mia famiglia: Paola, Mario, Cinzia, Marta e Andrea che, con sacrificio, mi hanno messo a disposizione gli spazi e i mezzi utili al concepimento e alla produzione di questo saggio e dei prototipi funzionanti che porto con me.

Ringrazio tutti, anche le persone che ho potuto dimenticare, per aver contribuito generosamente offrendo il loro tempo, il loro sapere e il loro sostegno dal giorno in cui ho iniziato questa fantastica avventura.

0.0.0 Introduzione	IX
Riflessioni sulla situazione ambientale	
1.1.0 E' l'architettura quello spazio sConfinato che l'uomo desidera?	013
1.1.1 L'etica della progettazione sostenibile e l'etica della rappresentazione visiva	014
L'idea	
2.1.0 Fonte di ispirazione e nesso con l'architettura	015
2.1.1 Switch2Product, dall'idea al prodotto	017
Introduzione teorica di supporto al progetto e grandezze fisiche in gioco	
3.1.0 Il calore, grandezze e fenomeni di trasmissione	019
3.2.0 La radiazione elettromagnetica, il sole e l'architettura	021
3.2.1 Lo spettro solare (UV-VIS-NIR) e i dispositivi trasparenti	025
3.2.2 Livelli di illuminamento, il contributo solare	029
3.2.3 La sensibilità dell'occhio umano	030
3.3.0 I tre fratelli: trasmittanza diretta della r.e.m, il fattore solare e il coefficiente di ombreggiamento	032
3.4.0 La riflettanza della r.e.m nei materiali di progetto e lo stretto rapporto con il percorso solare.	035
3.5.0 L'assorbanza e il problema del surriscaldamento	041
3.6.0 Resistenza termica del vetro e indicazioni progettuali per il dimensionamento della vetrocamera	042
3.7.0 Come si polarizza la luce? Tecniche e soluzioni per il progetto	044
3.8.0 Approfondimento sulla progettazione materica e matematica di un polarizzatore "Wire Grid P."	050
Ricerca, sviluppo, caratterizzazione del dispositivo, domande e ragionamenti progettuali	
Il primo progetto - GLASS ⚡ SEASON ALPHA	
4.1.0 L'integrazione "possibile"...	056
4.2.0 I problemi della durata e del surriscaldamento. La ventilazione "possibile"?	059
4.3.0 Interazione "visibile"	061

4.4.0	Preparazione delle analisi al Thermalab e studio della normativa	066
4.4.1	Caratterizzazione del materiale _ Thermalab	070
4.5.0	Progettare pensando alla “ <i>forma</i> ”, ruotare l’angolo tra gli assi di polarizzazione senza rotazioni del vetro.	073
Il secondo progetto - GLASS ⚡ SEASON VIS·NR BETA		
5.1.0	Polarizzazione ad ampio spettro	078
5.1.1	Costruiamo un filtro <i>Wire Grid Broadband</i> patternizzato per l’architettura	082
5.2.0	Caratterizzazione delle proprietà ottiche-termiche del WGF “ <i>A.K. - High Transmission</i> ” _ lavoro svolto presso il <i>Thermalab</i> (Dip. di Energia, Politecnico di Milano)	086
5.2.1	La riflessione come soluzione al problema del surriscaldamento	088
5.2.2	Misurazione dei parametri (τ) (ρ) (α)	089
5.2.3	Necessità di un aggiornamento alla normativa	103
Il terzo progetto - GLASS ⚡ SEASON NR BETA		
6.1.0	Quale soluzione possibile per il fruitore comune?	118
6.2.0	Polarizzazione della sola componente termica della radiazione solare	121
6.3.0	Determinazione delle grandezze termiche ed ottiche.	123
6.4.0	Progettazione materica del dispositivo filtrante.	124
Il mercato di riferimento		
7.1.1	Grandezza ed evoluzione del mercato di riferimento	126
7.1.0	Distribuzione geografica	129
Progettare con la testa e con le mani		
8.1.0	La filosofia Arduino e il micro controllo delle dinamiche ambientali	132
8.2.0	Fattibilità del progetto	134
8.2.1	Ragionamenti sulle fasi del processo produttivo e di installazione	135
8.3.0	Trasduttori	138
8.3.1	Rilevare la radiazione NIR con i Fototransistor e controllarla con Arduino Mini 05 Light	138
8.3.2	Rilevazione della radiazione visibile con i Fotodiodi	142

8.3.3	Controllo e determinazione della temperatura	144
8.3.4	Interagire con il dispositivo tramite sensori capacitivi o bottoni - Principi di <i>Physical Computing</i>	145
8.4.0	Attuatori	148
8.4.1	Il responso semplificato e l'interpretazione dei valori tramite led e display led a 7 segmenti	149
8.4.2	Traslare linearmente il dispositivo tramite un servo motore	151
8.5.0	Il consumo di energia per il funzionamento del dispositivo, confronto con l'elettro-cromia	154
Bibliografia		
	Monografie	158
	Riviste e Documenti e Sitografia	159
	Normativa	160
APPENDICE		
	Riepilogo delle proprietà fisiche dei 3 progetti Glass4Season e confronto con i principali competitors	163
	Caratteristiche fisico-tecniche dei prodotti vetrari SGG	163
Data Sheet:		
	Arduino Mini 05 Light	174
	Arduino Uno Rev.3 ATmega328	175
	Condensatore Vishay 100[pF]	179
	Driver Led TLC5940NTG4 _ 16 uscite	180
	Fotodiodo Osram Opto SFH 2270-R _ Luce visibile	183
	Fototransistor Osram Opto SFH 320 FA-3/4 120° _ Infrarossi	185
	Servomotore HS-35HD Ultra Nano Servo	188
	Display Led a 7 segmenti	189
	Led Verde 565[nm]	192
	Termistore NTC BC 100'000[Ω] ±5%	194
	Transistor bipolare NPN MJE3055T 10Ampere 5V	197

Pubblicazioni Brevettuali rilevanti:

US 5164856 _ Transmittance-adjustable window	200
US 8508681B2 _ Variable transmission window	208
WO 013/112426 _ Mechanical translation of a variable radiation transmission device	222
US 2010/0053751A1 _ Wire grid polarizers in window shading applications and varyng thickness wave retarders	249
JP 2010-65514A	259
JP 2012-118237A _ Wire grid polarization plate for infrared ray	262
JP 2012-155163A _ Wire grid polarizing plate	267
US 7046442B2 _ Wire grid polarizer	272
US 2008/0316599A1 _ Reflection-repressed wire-grid polarizer	278
US 2002/0167727A1 _ Patterned wire grid polarizer and method of use	286

0.0.0 Introduzione:

Il percorso di ricerca e sperimentazione ha avuto come intento quello di cercare soluzioni *“possibili”* che potessero migliorare lo stato dell’arte e della tecnica in favore dell’architetto, dell’utente finale e dell’ambiente. Questo obiettivo nasce dal desiderio personale, maturato durante il percorso di studi e scaturito dalla meditazione sull’inadeguatezza delle attuali forme realizzative degli apparati volti alla connessione tra l’ambiente confinato e l’ambiente esterno.

Se da un certo punto di vista l’uomo ha sempre cercato di proteggere se stesso e i propri beni richiedendo una barriera di separazione rispetto all’ambiente esterno, dall’altro si sente sempre di più la necessità di ritornare alla natura e di realizzare una connessione continua con l’ambiente esterno. Il desiderio di vivere in un contesto che soddisfi i bisogni psichico percettivi dei singoli è oggi giorno una delle tematiche più interessanti che spingono l’architetto a nuove sfide volte alla riscoperta e al miglioramento delle tecniche costruttive della tradizione. Le nuove sfide tecnologiche mirano quindi ad un’architettura più efficiente, più naturale e più confortevole.

Lo studio approfondito dei comportamenti energetici dell’edificio e delle apparecchiature di cui l’uomo si serve si sono qui tradotte nel desiderio d’indagine verso quella

componente dell’edificio che è rimasta più in dietro dal punto di vista delle prestazioni energetiche in favore dell’usabilità, della trasparenza continua e della complessità tecnologica che vi gira attorno. Si sta parlando del vetro e di tutte le componenti hardware che ne consentono l’uso.

La progettazione delle chiusure trasparenti e delle schermature annesse richiede che vi sia consapevolezza progettuale e mediazione di tutte le componenti in gioco. E’ infatti una scelta multidisciplinare quella che si deve compiere e che interroga figure quali l’architetto e l’ingegnere (per la componente energetica, d’integrazione, di composizione, dello studio del ciclo di vita dei materiali), l’illuminotecnico (per la valutazione dei benefici ottico visivi più adatti all’utente finale), il tecnico competente in acustica, e nel caso di prodotti sofisticati anche competenze elettrotecniche, elettromeccaniche ed elettroniche per il controllo domotico dei dispositivi.

La consapevolezza della crisi energetica che le società più sviluppate stanno vivendo, la ricerca di un dispositivo che soddisfacesse la maggior parte delle necessità riscontrate negli studi svolti e la volontà di realizzare una schermatura che si prestasse ad una personalizzazione del suo funzionamento mi ha portato verso lo studio di discipline altre dall’architettura. Da queste riflessioni e dalle nuove competenze progressivamente acquisite si è sviluppato il progetto di una

schermatura dinamica integrata in vetrocamera il cui sistema hardware/software di controllo fosse Open. Questa scelta permette all'installatore e all'utente medio di modificare e adattare il dispositivo alle proprie necessità come si fa con un vestito su misura o con il cambio di abiti stagionale; si è mirato quindi alla concretizzazione di un progetto impiegabile nelle differenti realtà. Le variabili che vanno prese in considerazione caso per caso sono molte: altitudine, latitudine, caratteristiche climatiche stagionali, possibili sbalzi termici fra giorno e notte, dimensione ed orientamento della superficie trasparente, peculiarità tipologiche dello spazio servito, variabilità temporali per quanto riguarda la funzione d'uso, presenza di schermature naturali o di corpi solidi antropici frontali, etc.).

Dunque le soluzioni di tipo dinamico-attive risultano le più adatte per essere **"indossate"** dagli edifici ovunque essi siano. La vera sfida è stata quella di cercare una strada percorribile per poter mettere a frutto le conoscenze acquisite in merito alla bontà delle soluzioni statiche-passive cercando una fusione concreta tra i concetti di **dinamico** e di **passivo** che ancora oggi trovano difficilmente una conciliazione ideale.

La soluzione è stata trovata fortuitamente nel mondo dell'ottica. Nel novembre 2011 indossando un paio di occhialini per la visualizzazione di proiezioni 3D, davanti al notebook fui ispirato e da quel momento il progetto iniziò.

La soluzione è oggi molto lontana dal semplice effetto di polarizzazione riscontrato quel giorno ma l'idea penso che fosse buona. Quello che si presenta in questo saggio è la storia, la caratterizzazione, e l'applicazione simulata e prototipata di due dispositivi architettonici di tipo selettivo in grado di interagire autonomamente con le variazioni ambientali e con le preferenze dell'utente.

Per riuscire a comprendere l'innovatività del prodotto architettonico ideato si devono conoscere le caratteristiche di emissione spettrale della nostra stella; Ultra-Violetto_Visibile_Vicino-Infrarosso. Tutte e tre si manifestano sotto forma di energia trasmessa, assorbita o riflessa dalle superfici fisiche con le quali ci relazioniamo. Nello specifico le radiazioni elettromagnetiche con lunghezza d'onda nella gamma UV sono causa della degradazione dei pigmenti e dei materiali, le r.e.m. VIS consentono la visione dei colori e le r.e.m. NIR vengono percepite come calore.

Consapevole di questi effetti, il primo dei due dispositivi è stato progettato per filtrare dinamicamente la componente della radiazione solare di tipo visibile e infrarossa con l'assorbimento dell'UV. Soluzione che risulta adatta per le superfici trasparenti di grandi dimensioni o installate in posizione orizzontale.

Mentre, il secondo dispositivo è studiato per risolvere i problemi di applicazione delle

schermature dinamiche alle piccole e medie superfici per via della riduzione lineare di VIS e NIR. Infatti si è deciso di caratterizzarlo affinché riuscisse a regolare dinamicamente la trasmissione della sola componente termica (NIR) consentendo invece la trasmissione della componente VIS e l'assorbimento della radiazione Ultra-Violetta.

Vengono inoltre approfonditi ulteriori ragionamenti sul progetto architettonico e di prodotto al fine di migliorarne la sostenibilità, le qualità legate alle fasi di produzione,

installazione, uso, manutenzione e sostituzione.

Si vuole intendere questo saggio come un piccolo strumento utile alla comprensione e all'auto-fabbricazione di dispositivi per la protezione solare passiva con micro-controllo attivo. Si spera che da questo modesto contributo scaturiscano implementazioni software per il controllo delle schermature qui divulgate e ci si augura inoltre che possano nascere ulteriori idee o sperimentazioni che possano trovare giovamento dalle considerazioni qui sviscerate.

Riflessioni sulla situazione ambientale

1.1.0 E' l'architettura quello spazio

sConfinato che l'uomo desidera?

I manufatti che l'uomo si è creato nei millenni, sono sostanzialmente una propaggine di se stesso. L'architettura è finalizzata infatti al soddisfacimento delle necessità umane che si realizzano in sistemi per la protezione di beni e persone, dispositivi per il controllo delle condizioni ambientali e quindi per il controllo degli scambi di energia tra l'essere vivente e l'ambiente, soluzioni per l'appagamento psichico sensoriale e espedienti in grado di mantenere un contatto tra il mondo antropizzato e l'ambiente naturale.

Tuttavia la più grande sfida è stata da sempre quella di riuscire a mantenere stabili le condizioni al contorno rispetto alla variabilità continua delle situazioni ambientali. Le soluzioni trovate e affinate nei millenni hanno consentito l'abitazione di luoghi con climi estremi. La colonizzazione di luoghi che per loro natura risultano inospitali, l'avanzamento delle tecniche industriali, la sopraggiunta di nuove scoperte per il trattamento dell'energia, la riduzione del livello di sopportazione del discomfort, hanno adagiato l'uomo su standard qualitativi che mal si conciliano con i ritmi naturali delle stagioni e con le caratteristiche climatiche dei luoghi abitati costringendolo alla creazione di

spazi confinati nei quali passare il proprio tempo.

Ci troviamo oggi a dover quindi affrontare una prova di saggezza. Una prova che determinerà la stessa sopravvivenza dell'essere umano sul pianeta terra. Ognuno è quindi chiamato a fare delle scelte, singole decisioni che devono andare comunemente nella direzione della riduzione del fabbisogno pro-capite richiesto dal pianeta per il nostro sostentamento.

Per l'architettura questa riflessione si traduce in soluzioni architettoniche più efficienti dal punto di vista delle tipologie, delle funzioni, dei materiali scelti per l'involucro, degli impianti per il condizionamento, per il raffrescamento, per l'approvvigionamento/creazione di energia e di tutte le riflessioni legate all'ottimizzazione degli apporti gratuiti che ci offre la natura ed il sole. Alternative da governare per soddisfare le esigenze fisiche delle persone.

Le soluzioni progettuali devono essere al contempo studiate per soddisfare i bisogni psicologici delle persone che vogliono rispecchiarsi nel luogo in cui lavorano, studiano, abitano o passeggiano e che spesso richiedono che lo spazio confinato sia un tutt'uno con l'ambiente esterno.

1.1.1 L'etica della progettazione sostenibile e l'etica della rappresentazione visiva.

Io penso che l'architettura saggia sia quindi quella capace di far coesistere l'***Etica della progettazione sostenibile*** con l'***Etica della rappresentazione visiva***.

Per riuscire a raggiungere questo risultato io credo che il progettista debba essere una persona molto colta e i cui interessi vadano a toccare, anche in modo disordinato e non predeterminato, il più ampio ventaglio di tematiche per poter usufruire di una visione sempre differente legata ad ogni singolo problema trattato. L'architetto torna ad essere, come in passato, il coordinatore delle

competenze tecniche che vi si affiancano nella realizzazione dei progetti e la sua responsabilità etica unita ad una competenza ad ampio spettro può riuscire nel raggiungimento dell'obiettivo sopra indicato.

Se è vero che l'estetica di un edificio deve esprimere delle sensazioni predeterminate (novità, istituzionalità, funzionalità, bellezza, modernità, classicità, solidità, leggerezza, trasparenza, monumentalità, ricchezza, semplicità, naturalità, etc.) è anche vero che si può avere lo stesso esito tenendo presente i due concetti di etica che ho citato e che penso siano stati la sintesi teorica alla quale sono arrivato con la conclusione del mio percorso universitario.

L'idea

2.1.0 Fonte di ispirazione e nesso con l'architettura

Nel novembre 2011, mentre cercavo la soluzione al problema della sovrapposizione luminosa di tipo discontinuo sulle opere presenti all'interno del museo di punta della dogana a Venezia, mi trovai per caso ad indossare un paio di occhialini per la visione stereoscopica di tipo 3D. Subito in quel momento mi accorsi che ciò che vedevano i miei occhi poteva essere una pista percorribile per il progetto e per l'architettura in genere.

L'effetto di polarizzazione della luce, dato dall'angolo (θ) tra i due assi di polarizzazione ortogonali delle lenti degli occhiali e l'asse di

polarizzazione del polarizzatore presente sullo schermo a cristalli liquidi del portatile, ha generato una visione nitida dell'immagine per l'occhio destro e il totale oscuramento della visione per l'occhio sinistro.^{fig.001} Questo solo fatto mi impose un approfondimento del tema.

Dalla letteratura tecnico scientifica legata al mondo dell'ottica e dell'illuminotecnica si evince che la trasmissione di un polarizzatore dipende, secondo la legge di Malus,^{vedi cap. Polarizzazione e polarizzatori} direttamente e linearmente dall'angolo (θ) che si verifica tra l'asse di polarizzazione del primo polarizzatore e quello del secondo polarizzatore, detto anche analizzatore. Laddove i due assi si trovino in posizione parallela lungo la direzione del treno d'onda incidente si avrà la massima trasmissione

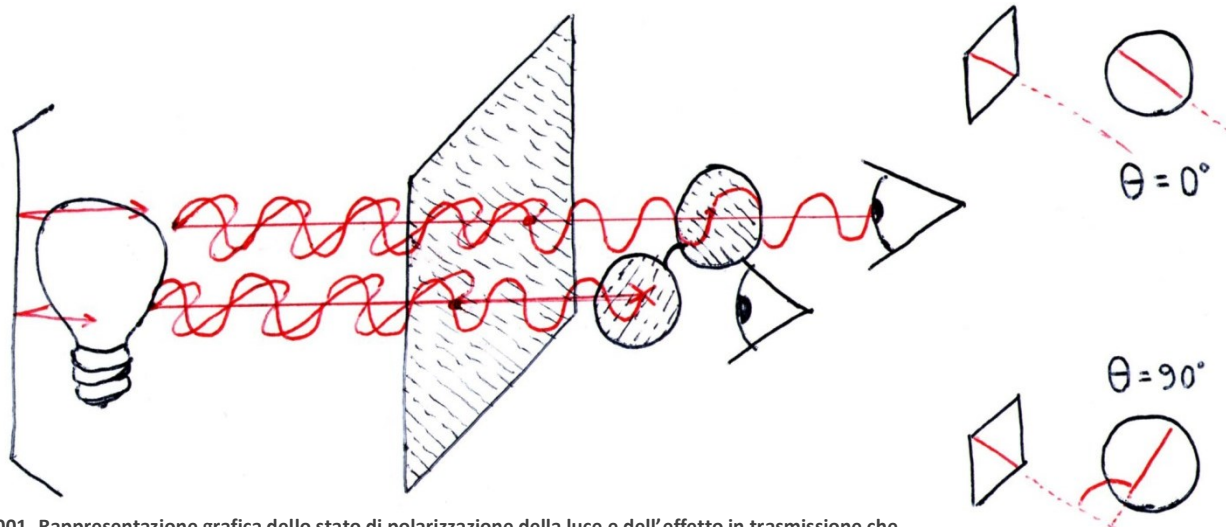


Fig.001- Rappresentazione grafica dello stato di polarizzazione della luce e dell'effetto in trasmissione che si osserva indossando degli occhiali per la visione stereoscopica 3D.

(sempre inferiore al 50%). Ruotando il polarizzatore (lo schermo) o l'analizzatore (nel caso testato gli occhialini), si ha una riduzione graduale e lineare della trasmittanza (τ) di una lente e l'aumento graduale e lineare della (τ) della seconda lente. E' intuibile che qualora gli assi di polarizzazione dei due dispositivi siano ortogonali fra loro la trasmissione della componente polarizzata è minima.

Durante il percorso di tesi mi sono scontrato con diverse problematiche riguardanti il sistema passivo di regolazione luminosa e più avanti si analizzerà approfonditamente la soluzione trovata e i ragionamenti effettuati su ogni questione.

L'analisi di partenza sembra già suggerire alcune applicazioni per soluzioni architettoniche di forma circolare e richiama

direttamente il sistema di diaframmi multipli che Jean Nouvel progetta per la facciata dell'istituto del mondo arabo a Parigi.

In modo provocatorio si è deciso di modificare una fotografia che mostra gli interni dell'edificio sopra citato ^{fig.002} sovrapponendovi delle bande utili alla rappresentazione della la capacità di regolazione del dispositivo ideato nella fase iniziale del progetto. Durante l'aprile 2012 viene sviluppata la prima soluzione geometrica che tramite la traslazione lineare dell'analizzatore rispetto al polarizzatore consente lo stesso risultato che in precedenza si otteneva a seguito della rotazione del filtro.

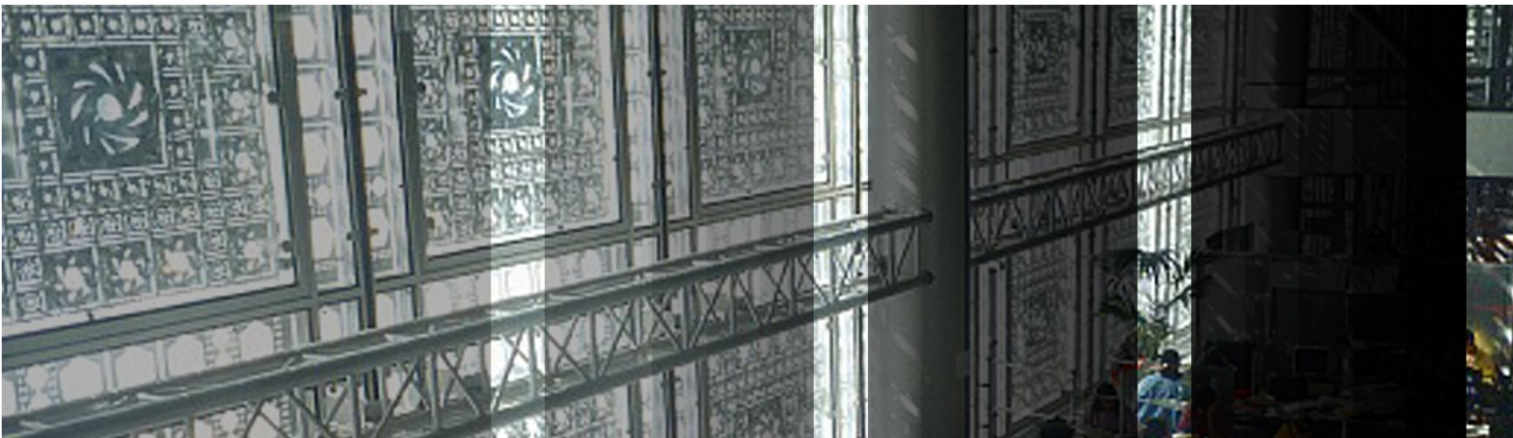


Fig.002- Istituto del mondo arabo, 1987, Parigi, Arch. Jean Nouvel. Visione interna della facciata dinamica.

2.1.1 Switch2Product, dall'idea al prodotto

Nel dicembre 2012 ho realizzato un primo prototipo traslabile linearmente e con il quale ho partecipato alla competizione Switch2Product nel febbraio del 2013 ricevendo il premio **“Innovazione e intraprendenza”**.

La competizione è stata organizzata da Politecnico di Milano, Fondazione Politecnico di Milano e Microsoft.

La realizzazione del progetto GLASS ✂ SEASON ha determinato una spinta verso l'approfondimento di alcune tematiche

specifiche che si sono rese utili nelle fasi successive della tesi.

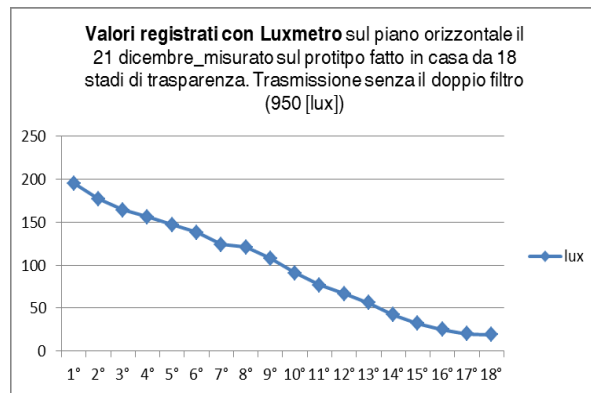
Si sono effettuate indagini e riflessioni in merito ai vantaggi e agli svantaggi che questa tecnologia porta rispetto a quelle esistenti.^{tabella.003} E' stata effettuata una prima analisi del mercato di riferimento (grandezza e target) e si sono trovate le normative UNI EN che indirizzano il processo di produzione e caratterizzazione dei prodotti trasparenti per l'architettura. Sono state inoltre verificate le prestazioni in termini di trasmissione luminosa del primo prototipo.^{tab.005}

Requisiti	GLASS ✂ SEASON	TIM_Transparent Insulation Material	Vetri Elettrocromici	Vetri Fotocromatici	Vetri Termocromici	Veneziane o Tende in intercapedine	Schermature interne	Schermature esterne
Nitidezza di visione Continua	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗
Colore neutro	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✓
Regolazione istantanea/contin.	✓	✗	✓	✗	✗	✓	✓	✓
Guadagno solare invernale	✓	✗	✓	✗	✗	✓	✓	✓
No elettricità	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓
Assenza di sovrastrutture	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗
Isolamento acustico	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✓	✗
Durevolezza >10 anni	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✗
No manutenzione	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗
Protezione UV	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗
Meccanismi semplici	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✓
Integrazione Domotica	✓	✗	✓	✗	✗	✓	✓	✓

Tab.003 – Confronto qualitativo tra tecnologie differenti, attive e passive, finalizzate all'attenuazione/schermatura della radiazione solare.



Fig.004- Simulazione tridimensionale della massima trasmissione di dispositivi Glass4Season applicati ad una residenza di lusso.



Tab.005 – Risultati sperimentali misurati sul prototipo con doppio vetro, doppio filtro polarizzatore Anti Riflesso e diverse configurazioni di sovrapposizione per verificare la linearità di riduzione della trasmissione secondo la legge di Malus.

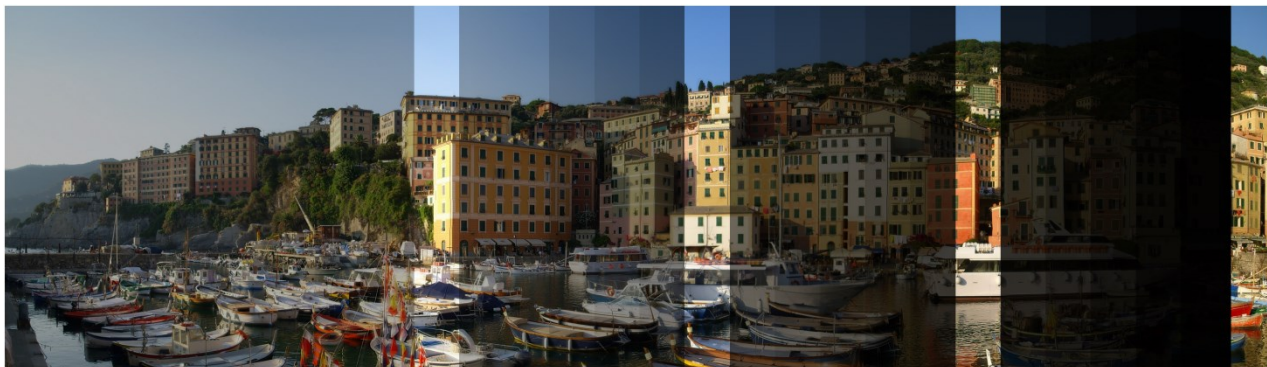


Fig.006 – Rappresentazione grafica delle gradazioni disponibili e del relativo effetto durante una situazione diurna.



Fig.007 – Rappresentazione grafica delle gradazioni disponibili e del relativo effetto durante una situazione notturna.

Introduzione teorica di supporto al progetto e grandezze fisiche in gioco

3.1.0 Il calore, grandezze e fenomeni di trasmissione

Quando nella tesi parleremo di calore e di trasferimento di calore tra i corpi e le superfici si deve ricordare quali siano le unità di misura in gioco e cosa esse rappresentano.

La **quantità di calore** (Q [J]), misurata in joule, rappresenta l'energia termica prodotta, guadagnata, trasmessa o persa da un corpo fisico. Questa misura la ritroveremo nella simulazione dinamica degli edifici progettati durante il percorso universitario e ci servirà per la verifica e il confronto del fabbisogno energetico tra soluzioni architettoniche differenti.

La (**caloria** [cal]) è la **quantità di calore** (Q [J]) necessaria per elevare di un grado centigrado la temperatura di un grammo di acqua ($4,18[J]=1$ [cal]).

La (**Potenza termica** [Watt] _ $W=Q/t$) indica la quantità di calore e quindi di energia termica scambiata in un periodo di tempo. Possibile conversione: ($1[Kcal/h]=1,16[W]$)

Il **calore specifico** ($Ce[J/kgC^\circ]$ oppure $4.18[J/kgC^\circ] = 1$ [kcal/kgC[°]]) definisce la quantità di calore necessaria per innalzare di un grado centigrado la temperatura di un grammo di materiale. Questo valore è molto

importante nella scelta dei materiali da costruzione.

Un valore da esso derivato -> la **capacità o massa termica** ($M[J/C^\circ] = Ce[J/kgC^\circ]*m[kg]$). Esso permette di confrontare corpi solidi di massa data (m) indicando la quantità di calore necessaria per innalzare di un grado centigrado la temperatura di quel corpo in funzione della sua massa.

Utilizzeremo le unità di misura sopra elencate per definire matematicamente le quantità di energia che vengono scambiate tra i corpi che si trovano a temperature differenti. Tramite i calcoli previsionali sarà quindi possibile prevedere il fabbisogno di energia di un locale ove sia fissata una temperatura di riferimento, che si vuole mantenere per un certo periodo di tempo, e le soluzioni di involucro che permettono questi scambi di energia tra interno-esterno e viceversa. La direzione di propagazione dell'energia termica va sempre dal corpo più caldo verso il corpo più freddo. Questo fenomeno di trasferimento può avvenire sostanzialmente in tre modi (conduzione, convezione e irraggiamento).

La **conduzione** descrive il fenomeno di propagazione dell'energia termica sotto forma di trasferimento dello stato di agitazione molecolare che si verifica tra molecole adiacenti. Nel caso dell'analisi architettonica si misurano velocità di propagazione

nell'ordine dei cm/h e dipende dalla conducibilità termica dei singoli materiali utilizzati/affiancati.

La **convezione** descrive invece uno spostamento di materia (di un fluido come l'aria o i liquidi) che per conduzione trasferisce o assorbe parte del proprio calore dalle e verso le superfici fisiche.

Riscaldandosi, il fluido, diminuisce la propria densità diventando più leggero della parte di fluido non interessato dal fenomeno. In questo caso la parte che si è riscaldata salirà, poiché più leggera, e verrà sostituita da aria più fresca che formerà un moto convettivo discendente opposto al primo. Nel caso in cui la temperatura del fluido sia maggiore della temperatura delle superfici fisiche che lo contengono si avranno moti laminari discendenti in prossimità delle pareti verticali dei locali e moti turbolenti o ascendenti lontano dalle pareti. Le velocità di trasferimento registrate in ambito architettonico sono solitamente dell'ordine del [dm/s].

Il terzo ed ultimo fenomeno di trasferimento dell'energia termica è l'**irraggiamento**, la sua velocità di propagazione è quella della radiazione elettromagnetica (pressoché istantanea ~ 300'000 [km/s]). Questo tipo di scambio è tanto maggiore tanto più è elevata l'**assorbanza** del materiale. ^{vedi cap. l'assorbanza} Si può affermare che i materiali, che per loro natura atomica e per finitura superficiale,

sono in grado di assorbire molta energia dello spettro elettromagnetico solare saranno anche dei buoni emettitori con livelli di **emettanza** elevati.

3.2.0 La radiazione elettromagnetica, il sole e l'architettura

Un'onda elettromagnetica, come suggerito dal nome, presenta il campo elettrico e quello magnetico che oscillano rispettivamente in piani ortogonali fra loro lungo una direzione di propagazione. ^{Fig.008}

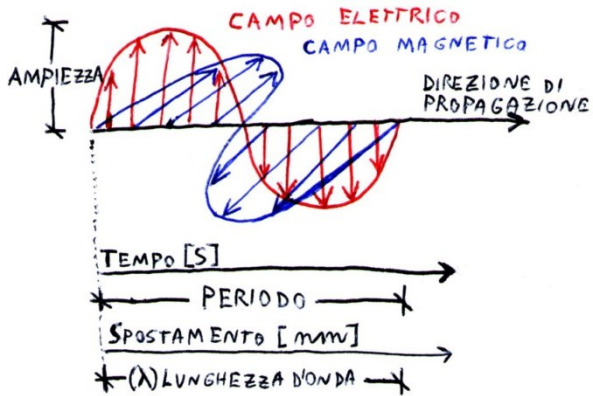


Fig.008 – Rappresentazione di un treno d'onda polarizzato, tale rappresentazione è stata realizzata per favorire la comprensione delle caratteristiche fisiche principali che descrivono un'onda elettromagnetica.

Le grandezze principali di un'onda sono: il **periodo** T [s] (l'intervallo di tempo di una oscillazione completa); la **frequenza** ν [Hz] (numero di vibrazioni complete che avvengono in un secondo $\nu=1/T$); la **lunghezza d'onda** λ [nm] (distanza percorsa dall'onda in un periodo); l'**ampiezza** (che rappresenta il massimo spostamento dalla posizione di equilibrio e il cui vettore è direttamente correlato all'intensità del raggio ed è perpendicolare alla direzione di propagazione). La **velocità** v [m/s] di un'onda

è data dal rapporto $v=\lambda T$ e per lo spettro solare raggiunge il valore di $\sim 3 \cdot 10^8$ [m/s].

La luce naturale, o più precisamente lo spettro d'emissione della radiazione solare, è prodotto da un insieme di processi elementari fra di loro indipendenti e scorrelati attribuibili a variazioni nella struttura atomica dei corpi. Ognuno di questi processi produce un treno d'onda elettromagnetico con campo elettrico oscillante in un piano autonomo. Nella radiazione solare si trovano quindi infiniti piani di vibrazione trasversali alla direzione di propagazione, questo tipo di radiazione si definisce come "luce non polarizzata". ^{fig.009}

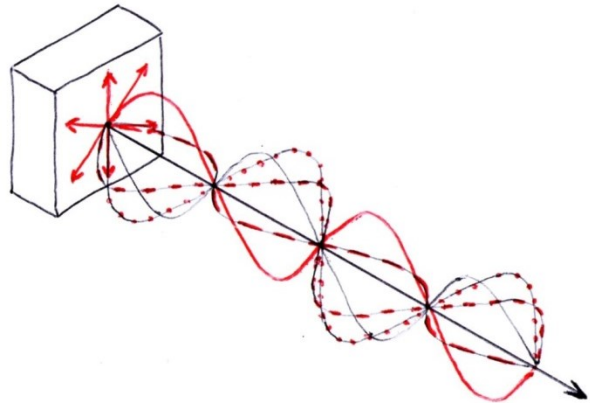


Fig.009 – Schematizzazione dell'emissione solare. Lungo la stessa direzione di propagazione si riscontra che la vibrazione del campo elettrico non vibra su di un unico asse (come nella luce polarizzata) ma è presente una moltitudine di assi.

Andando ad analizzare nello specifico lo spettro di emissione della radiazione solare si scopre inoltre che tali onde elettromagnetiche presentano diverse intensità a seconda della lunghezza d'onda.

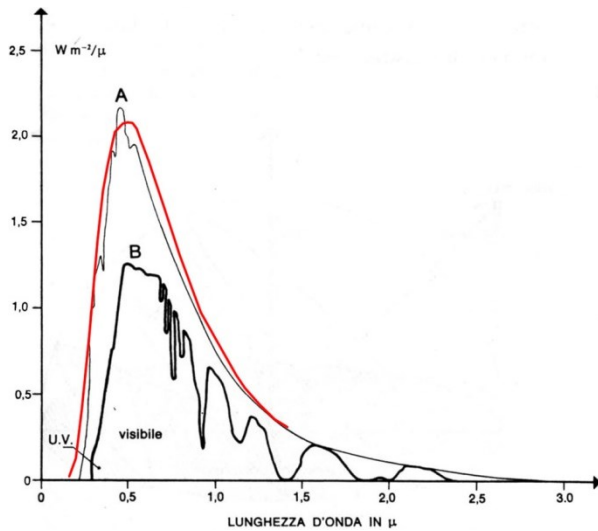


Fig.010 – Il tratto leggero indica la curva spettrale registrata al di fuori dell’atmosfera terrestre. Il tratto rosso rappresenta la curva di emissione ideale del corpo nero a ~6000[K]. La linea nera spessa indica lo spettro solare che si registra al livello del suolo. Lo spettro risulta fortemente modificato per specifiche bande di assorbimento causate dai gas presenti in atmosfera (H2O, O2, H2, CO2).
Fonte: "Manuale tecnico del vetro SG_pg75" con inserimento della curva del corpo nero

Il picco massimo di emissività^{Fig.010} si trova secondo la legge di Wien intorno ai 502 [nm].

$\lambda_{max[nm]} = \frac{0,29 \cdot 10^7 [nm \cdot K]}{T [K]}$ dove $(0,29 \cdot 10^7)$ rappresenta la **costante dello spostamento di wien** e (T) è la temperatura del corpo nero che emette la radiazione. Nel caso del sole $T \sim 5777 [K]$ che $(5777 [K] - 273,15 = \sim 5504 [^{\circ}C])$.

Se si prende in considerazione la legge di Stefan Boltzmann $q = \sigma T^4$ si noterà che all’aumentare della temperatura del corpo nero aumenterà la sua emittanza.^{Fig.011a}

Nella formula sopra citata: (**q**) rappresenta

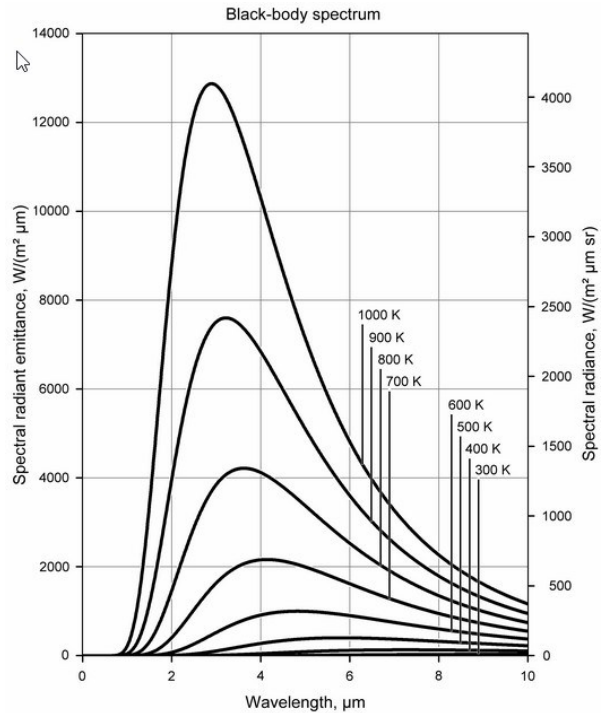


Fig.011a – Curve di emissione di un corpo nero tra 26,85[°C] e 726,85[°C].
<http://fisicatecnica.pbworks.com/w/page/13977816/09%20Irraggiamento%201>

l’energia termica prodotta, (T) la temperatura dell’emettitore in gradi Kelvin e (σ) è la costante di Stefan Boltzmann.

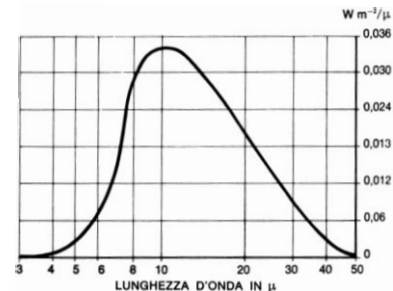


Fig.011b – Curva di emissione di un corpo a 35[°C]^{"Manuale tecnico del vetro" SG, Pg. 74}

Tramite queste due leggi comprendiamo come i corpi riscaldanti a bassa temperatura abbiano un'emissione radiativa molto inferiore rispetto ai corpi ad alta temperatura. Fig.011a, 011b Inoltre è molto importante per il progetto aver capito che le r.e.m. emessa dalle superfici fisiche interne ai locali hanno il picco massimo di emissione a lunghezze d'onda che misurano tra i $9000[\text{nm}]^{a+40[^\circ\text{C}]}$ e $10247[\text{nm}]^{a+10[^\circ\text{C}]}$

Andando poi a comparare l'intera curva di emissione generata dalle superfici architettoniche radianti con la curva di trasmittanza tipica del vetro scopriamo che tale radiazione verrà assorbita e riemessa dal vetro poiché esso risulta opaco per lunghezze d'onda superiori ai $4000[\text{nm}]$. Fig.012

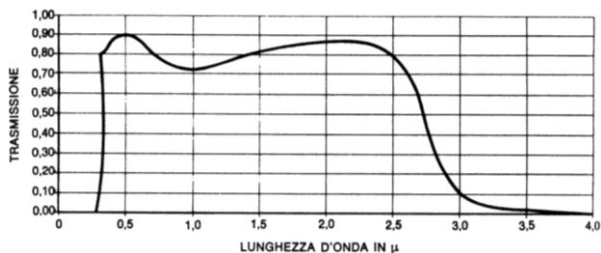


Fig.012 – Livelli di trasmittanza spettrale di un vetro piano non trattato. Fonte: "Manuale tecnico del vetro SG_pg78"

Depositi di tipo basso-emissivo miglioreranno ulteriormente l'effetto serra rispetto al Medio e al lontano infrarosso. Il compito di questi depositi è quello di ridurre al minimo l'emissività verso l'ambiente esterno della superficie vitrea sulla quale sono applicati massimizzando la riflessione e la ri-emissione dell'IR verso l'ambiente interno.

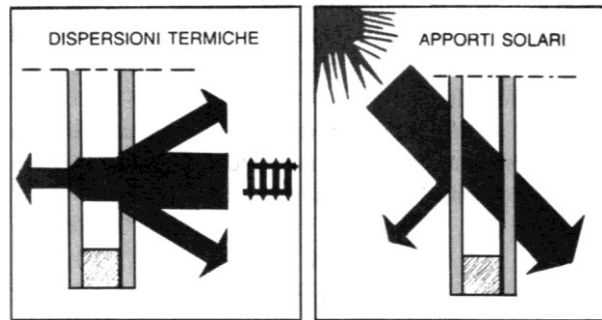


Fig.013 – Comportamento tipico di una finestra con doppio vetro e deposito basso-emissivo in faccia 3.

Tuttavia, questi depositi dovrebbero consentire un buon apporto solare invernale Fig.013 lasciandosi attraversare dalle lunghezze d'onda più piccole (VIS, NIR, SWIR) Tab.014 rispetto a quelle emesse dai corpi a bassa temperatura ($\lambda \gg 3000[\text{nm}]$).

Classificazione astronomica		
vicino	0,7 - 1 μm - 428-300 THz	5 μm - 60 THz
medio	5 μm - 60 THz	25-40 μm - 12-7,5 THz
lontano	25-40 μm - 12-7,5 THz	250-350 μm - 1,2 THz-428 GHz
Sistema ingegneristico		
vicino (NIR)	0,75 μm - 400 THz	1,4 μm - 214 THz
onda corta (SWIR)	1,4 μm - 214 THz	3 μm - 100 THz
onda media (MWIR)	3 μm - 100 THz	8 μm - 37,5 THz
onda lunga (LWIR)	8 μm - 37,5 THz	15 μm - 20 THz
lontano (FIR)	15 μm - 20 THz	1000 μm - 300 GHz

Tab-014 – Classificazione delle radiazioni Infrarosse

Dopo una breve introduzione andiamo quindi a definire quali sono le grandezze caratteristiche fondamentali della radiazione elettromagnetica.

L'energia radiante $\epsilon[\text{J}]$ che descrive la quantità totale di energia che si manifesta.

Detta anche **emissività** varia tra 0 e 1 dove 1 è il valore dell'**energia radiante** emessa dal corpo nero alla temperatura di riferimento. Infatti l'emissività di una superficie varia per temperature e per direzioni di emissione differenti.

Il **flusso radiante** $\Phi[W] = \epsilon[J]/t[s]$ esprime l'energia radiante media in un'unità di tempo (t).

L'**emittanza** $M[W/m^2] = \Phi[W]/S[m^2]$, che abbiamo già incontrato nella fig. 10 e 11, descrive il flusso radiante medio emesso da una superficie (S).

L'**intensità radiante** $I[W/str] = \Phi[W]/\Omega[str]$ che non riutilizzeremo visto che indica il flusso radiante medio emesso per un'unità di angolo solido. Questa misura si utilizza solo quando il solido che emette la radiazione e.m. è riconducibile ad un punto con emissione sferica. $1str = \Omega$ angolo solido che determina sulla superficie di una sfera una superficie sferica con area uguale al quadrato del raggio della sfera considerata.

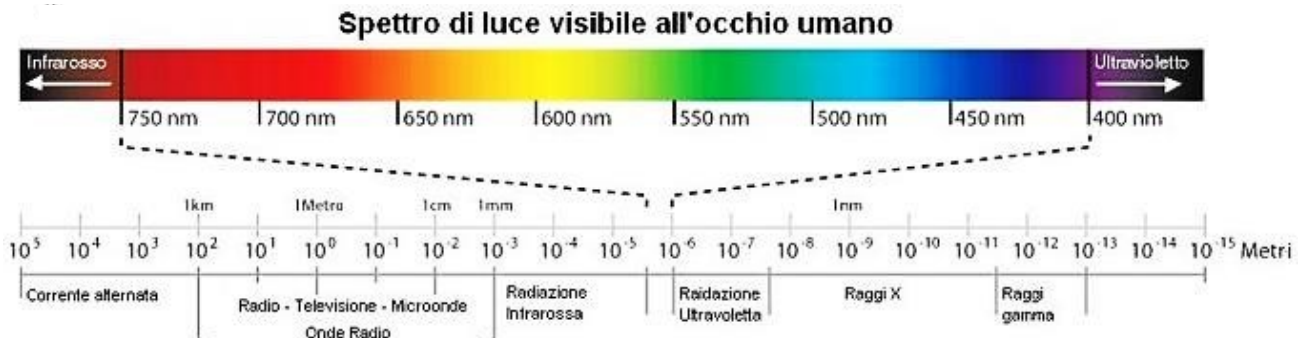
La **radianza** $L[W/(str \cdot m^2)] = I/S_{apparente}$.

E infine la grandezza più importante di tutti dal punto di vista delle superfici architettoniche opache e trasparenti.

L'**intensità di irraggiamento**

$E[W/m^2] = \Phi[W]/S[m^2]$ che descrive la quantità di flusso radiante che arriva su una superficie data.

Per i solidi opachi come il legno, i metalli, etc. la radiazione emessa dalle particelle interne al solido/volume non può raggiungere la superficie e disperdersi nell'ambiente, viceversa la radiazione incidente sulla superficie è generalmente assorbita e poi riemessa. Queste proprietà della materia consentono la semplificazione della simulazione degli scambi termici nella materia ipotizzando la conduzione per gli scambi interni ai materiali solidi, opachi alla radiazione e.m., mentre si considera la convezione e l'irraggiamento per gli scambi superficiali.



3.2.1 Lo spettro solare (UV_VIS_NIR) e i dispositivi trasparenti

A livello normativo, per la determinazione delle caratteristiche luminose e solari delle vetrate dobbiamo fare riferimento a ciò che suggerisce la normativa UNI EN 410.

Da tale normativa si estrapolano i valori più importanti che considereremo nella progettazione del dispositivo a trasparenza variabile.

Il primo dato di riferimento è quello relativo alla distribuzione spettrale della radiazione solare a terra^{Fig.015} e al passo da analizzare in relazione al tipo di caratterizzazione che si va ad effettuare, ogni 20-50-100[nm].

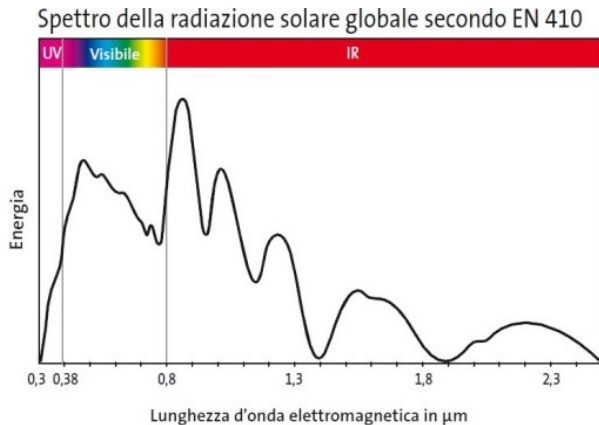


Fig.015 – Spettro della radiazione solare globale a terra secondo UNI EN 410; Sulle ordinate troviamo la distribuzione % dell'energia radiante e sull'asse delle ascisse troviamo la lunghezza d'onda espressa in micrometri[μm]=1[m]*10⁻⁶ _ alternativamente, nei grafici che abbiamo realizzato e che ritroveremo più avanti nel saggio, avremo i nanometri[nm]= 1[m]*10⁻⁹

Dalla norma si evince la suddivisione dello spettro solare in radiazione ultravioletta 300-380[nm], visibile 380-780[nm], infrarossa 780-2500[nm].

La componente **ultravioletta (UV) (300-380[nm])** rappresenta circa il **3,4[%]** della radiazione incidente al livello del suolo ed è responsabile sia della degradazione fotochimica dei materiali che della decolorazione delle superfici architettoniche di finitura. Tali lunghezze d'onda risultano ulteriormente pericolose per la vita umana poiché sono in grado di penetrare negli strati profondi della pelle. Inoltre questa dimensione si avvicina alle lunghezze d'onda in grado di mandare in risonanza i legami molecolari portandoli a rottura.

A livello progettuale l'industria vetraria ha ideato la deposizione di strati anti UV e la più efficace stratificazione di due lastre di vetro per mezzo di strati plastici^{Fig.016} come il PoliVinilButirrale (PVB) o l'EtileneVinilAcetato (EVA). Entrambi questi materiali hanno un'elevata trasparenza nel visibile ma sono in grado di assorbire oltre il 98% delle r.e.m. UV. L'applicazione di questo layer porta inoltre vantaggi dal punto di vista della protezione dall'inquinamento acustico (effetto massa-molla-massa) e della sicurezza poiché lo strato plastico mantiene a se i frammenti di vetro che si formano in caso di rottura accidentale (anti infortunio_UNI 7172). Un'ulteriore inspessimento di questi strati

dona al vetro proprietà (anti-vandalismo, anticrime _ UNI 9186_1987) e (antiproiettile e antischegge _ UNI 9187_1987).

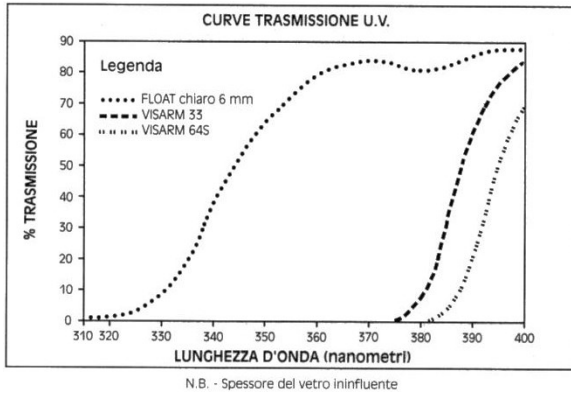


Fig.016 – Confronto tra curve di trasmissione UV di un vetro Float e di un vetro stratificato con polivinilbutirrale da 33[mm]TM. Tecnico del Vetro[®],SG pg 163

La componente **visibile (VIS)** dello spettro solare (**380-780[nm]**) rappresenta circa il **57[%]** della radiazione incidente al livello del suolo ed è la responsabile della percezione dei colori^{Tab.017} e degli oggetti che ci circondano.

La percezione del colore giallo, per esempio, è dovuta alla capacità degli oggetti “gialli” di

riflettere principalmente le lunghezze d’onda comprese fra 577 e 597 [nm].^{Fig.017} Gli altri colori, a cui corrispondono differenti lunghezze d’onda^{Fig.019} invece vengono assorbiti. Infatti gli oggetti “bianchi” riflettono tutte le lunghezze d’onda VIS mentre quelli neri sono in grado di assorbirle tutte.

Colore	Gamma spettrale λ [nm]
Viola	380-455
Azzurro	455-492
Verde	492-577
Giallo	577-597
Arancione	597-622
Rosso	622-780

Tab.017 – Determinazione delle gamme spettrali corrispondenti ad ogni colore visibile.

Tuttavia un materiale o una finitura che risulti nera per lo spettro visibile non è detto che mantenga questa sua attitudine all’assorbimento anche nella parte di radiazione solare non visibile UV-NIR. Eventuali materiali in grado di assorbire e quindi riemettere tutta l’intera gamma dello spettro solare si dicono **corpi neri**. Questi materiali presenteranno valori di emissività costanti $\epsilon \approx 1$ per $\lambda(300-2500[\text{nm}])$.



Fig.016 – Banda spettrale della radiazione Visibile

In architettura ci serviamo pressoché di **corpi selettivi caldi** per i rivestimenti esterni di edifici situati in località caratterizzate da climi caldi. Questi materiali presentano bassi coefficienti di assorbimento per le lunghezze d'onda più piccole ed elevati assorbimenti nel medio e lontano infrarosso. ^{Fig.018}

Viceversa si utilizzano **corpi selettivi freddi** per le superfici alle quali è demandato il compito di assorbire, accumulare e poi rimettere la radiazione solare incidente.

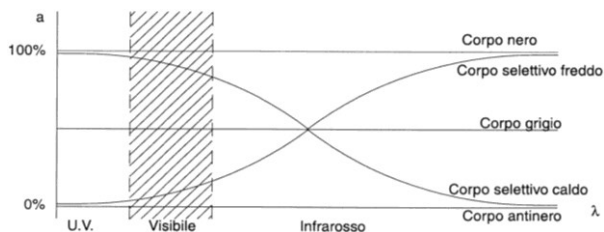


Fig.018 - Classificazione delle sorgenti termiche per % di assorbimento spettrale.

Come si è notato dalla figura 012 il vetro rientra nella categoria dei **corpi selettivi freddi** avendo un coefficiente di assorbimento nel visibile $\alpha < 3\%$ e per l'intero spettro solare $\alpha < 12\%$.

Infatti, per i climi temperati come il nostro, è importante che i dispositivi trasparenti massimizzino la trasmissione della gamma Visibile e NIR (in inverno) riducendo al minimo l'emissione del medio e del lontano infrarosso. Con soluzioni di questo tipo si desidera valorizzare al massimo gli apporti solari gratuiti e ridurre i consumi per illuminazione e riscaldamento laddove la superficie trasparente abbia anche un buon

livello di isolamento termico (bassa trasmittanza termica $U[W/m^2K]$).

Viceversa, in estate, si preferirebbero soluzioni in grado di bloccare la totalità della gamma NIR e che preferibilmente possano mitigare la trasmissione della componente visibile. L'obiettivo è quello di limitare gli apporti solari estivi alla sola componente capace di garantire il comfort visivo necessario allo svolgimento delle attività umane.

Inoltre sarebbe preferibile che il sistema di schermatura integrato o addizionato alla vetrata garantisca una buona resa cromatica all'interno dei locali confinati per evitare forti distorsioni percettive dei colori degli oggetti contenuti. Una buon **indice di resa colorimetrica IRC** corrisponde a una capacità di trasmissione pressoché lineare della gamma VIS dello spettro solare. Più l'indice è alto più si avrà una percezione dei colori immutata tra l'ambiente esterno e quello interno. Si può realizzare un rapido esperimento prendendo un oggetto dal colore saturo o sgargiante e mettendolo inizialmente sotto un proiettore con sorgente al neon. Dopodiché portando lo stesso oggetto vicino ad una finestra, non trattata, si noterà la profonda differenza di percezione. Questa distorsione percettiva è dovuta all'incapacità della sorgente al neon di emettere un flusso luminoso costante per le differenti lunghezze d'onda.

L'indice IRC per i vetri si chiama Colour Rendering e la procedura per calcolarlo è descritta a pg. 19 della normativa Uni EN 410_2011.

Si raccolgono ora le grandezze fisiche utili alla descrizione dei fenomeni luminosi (solo VIS). Queste "unità" derivano direttamente da quelle già descritte nel capitolo^{3.2.0} La radiazione elettromagnetica, il sole e l'architettura ove si è approfondito il tema delle radiazioni elettromagnetiche.

Il **flusso luminoso** $\Phi[lm]= v(\lambda)*W/680$ misurato in lumen.

L'**intensità della luce**, $I[cd]=[lm]/[str]$

La **luminanza** $L[cd/m^2]$

L'**illuminamento**, $E[lux]=[lm]/[m^2]$

E la temperatura colore $T_c [K]$ che come già indicato in precedenza permette di ricavare il punto di massima emissione tramite il calcolo della curva corrispondente ad un corpo nero con medesima temperatura.

Infine la componente del **vicino infrarosso (NIR)** dello spettro solare (780-2500[nm]) rappresenta circa il **39.6[%]** della radiazione incidente al livello del suolo ed è percepita dall'essere umano sotto forma di calore.

I corpuscoli di Ruffini (recettori della sensazione di calore) e i corpuscoli di Krauss

(recettori del freddo) permettono al nostro sistema nervoso di registrare i guadagni e le perdite in maniera naturale. Tuttavia questi ricettori sono più lenti e meno precisi di quelli della vista e dell'udito. Infatti si calcola che vi siano condizioni in cui entrambi questi corpuscoli rilevano e trasmettono al cervello la sensazione di caldo e di freddo. Si veda la sovrapposizione delle due curve di sensibilità riportate nel grafico.^{Fig019}

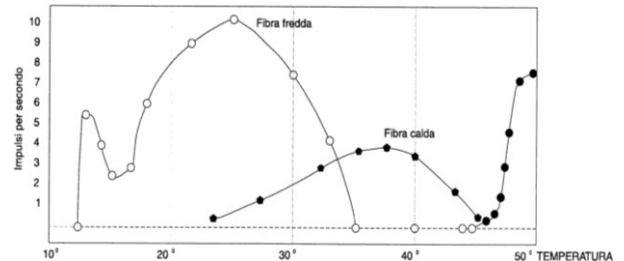


Fig.019 – Impulsi inviati al cervello dai corpuscoli di Ruffini (caldo) e Krauss (freddo) a seconda della temperatura rilevata.

La sensazione di comfort termico è molto soggettiva e varia da individuo a individuo. Nonostante ciò, per i climi temperati e per i climi caldi è necessario prevenire l'ingresso, durante la stagione estiva, della componente "puramente termica" della radiazione solare. Altrimenti per via della particolare trasparenza delle superfici vetrate e per la capacità di accumulo e ri-emissione delle superfici architettoniche sarà necessario ricorrere ad un sistema per la climatizzazione controllata degli ambienti confinati. Il dispositivo oggetto di questa tesi mira alla riflessione della componente termica della r. solare durante il periodo estivo e consente il

guadagno solare passivo del ~50% di questa stessa componente in fase invernale.

3.2.2 Livelli di illuminamento, il contributo solare

L'illuminamento degli spazi confinati risulta uno dei parametri da prendere in considerazione per la verifica dei livelli di comfort visivo dell'utente finale. Questo valore viene utilizzato nel progetto del dispositivo per la determinazione e la calibrazione del livello di oscuramento da imporre alla schermatura dinamica. La trasmittanza del dispositivo, nella gamma del visibile, varierà dinamicamente mantenendo pressoché costante il grado d'illuminamento interno al locale. Si riportano alcuni valori standard relativi all'illuminamento ambientale del piano orizzontale in spazi aperti.

Condizioni ambientali	Illuminamento di riferimento [lux]
Luce solare diretta	20'000-50'000 [lux]
Luce del giorno con cielo sereno	5'000-20'000 [lux]
Cielo coperto	1'000-5'000 [lux]
Tramonto(inizio)	10 [lux]
Tramonto (fine)	1 [lux]
Notte di luna piena	0,3 [lux]
Notte con un quarto di luna	0,1 [lux]
Notte senza luna con il cielo stellato	0,001 [lux]

Tab.020 – valori di illuminamento standard

Con questi valori di riferimento si intende evidenziare che il flusso radiativo del sole genera sulle superfici orizzontali illuminamenti che superano di molto le necessità e quindi i compiti visivi richiesti per lo svolgimento delle attività umane.

Si riporta un estratto delle tabelle presenti sulla normativa UNI 10380 che suggerisce alcuni valori di illuminamento, da raggiungere con l'inserimento di corpi illuminanti artificiali, in base alla funzione/zona del locale.

Tipo di locale, compito visivo o attività	Illuminamento di esercizio, Valore medio [lux]
Zona di conversazione, di passaggio, scale	50-150 [lux]
Z. di lettura	200-500 [lux]
Z. di scrittura	300-750 [lux]
Z. dei pasti	100-200 [lux]
Cucina	200-500 [lux]
Bagno, illuminazione generale	50-150 [lux]
B. zona specchio	200-500 [lux]
Camere, z. armadi, letti	50-150 [lux]
Camere, stiratura, cucitura e rammendo	500-1000 [lux]

Tab.021 – valori di illuminamento standard ^{UNI 10380}

Una conseguenza positiva dell'utilizzo di dispositivi dinamici per la regolazione della radiazione solare è anche quello di ridurre, utilizzando in modo intelligente, il fabbisogno per illuminazione degli edifici. Il livello di industrializzazione raggiunto e l'inserimento

negli edifici dell'impiantistica già dalla fase progettuale rende oggi giorno molto semplice l'integrazione fra sistemi di rilevazione dei parametri luminosi, sistemi per la schermatura dinamica e sistemi di regolazione dell'intensità del flusso luminoso emesso dalle sorgenti artificiali.

Questo tipo di integrazione va nella direzione della salvaguardia ambientale, del risparmio economico durante la fase d'esercizio dell'edificio e del miglioramento del comfort termico e visivo.

Il progetto prevede che il comfort percettivo-sensoriale sia messo al centro della ricerca di sviluppo tramite l'elaborazione di soluzioni in grado di regolare la radiazione solare mantenendo il contatto visivo in modo continuo tra ambiente confinato e ambiente aperto.

3.2.3 La sensibilità dell'occhio umano

Questo tipo di contatto continuo e la percezione realistica degli oggetti e dei colori presenti nell'ambiente che circonda i nostri locali sono funzione delle proprietà di trasmittanza del dispositivo per le diverse lunghezze d'onda.

Se è vero infatti che i livelli di emissione dello spettro solare, per quanto riguarda la componente visibile, sono pressoché lineari. Non è altrettanto vero che l'apparato di rilevazione visiva, di cui è fornito l'essere

umano, riesca a percepire in modo lineare questa intensità di flusso.

Secondo la normativa UNI EN 410, che a sua volta si riferisce al rapporto del CIE **'No. 15, Colorimetry, 3rd ed (2004)'**; per la caratterizzazione dei materiali trasparenti in relazione alla componente visibile va considerato che l'efficienza percettiva a diverse lunghezze d'onda è una curva. Curva che indica, per un osservatore medio, l'efficienza fotopica degli occhi nella percezione visiva della luminosità spettrale. Tra i 545 e i 555 [nm] si registra una sensibilità del 9,8[%] che rappresenta il picco di massima sensibilità percettiva.^{Fig.022}

Distribuzione [%] della sensibilità visiva di un
ESSERE Tabella 1, normativa UNI 410, pag. 24.

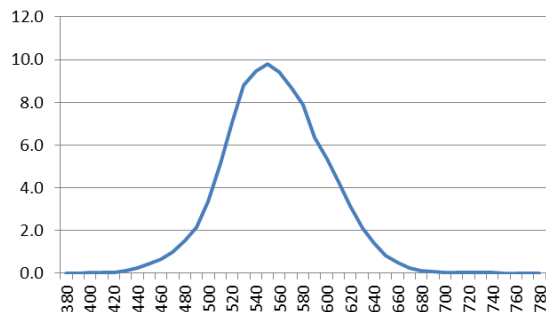


Fig.022 – Normalizzazione relativa alla distribuzione spettrale D(λ) dei valori "illuminant D65" moltiplicata per l'efficienza luminosa fotopica dell'occhio umano V(λ) e per l'intervallo fra le lunghezze d'onda Δ(λ)

Confrontando questo grafico con lo spettro di emissione solare^{Fig.010} incidente a livello del suolo si noterà la somiglianza tra le due curve e quindi il livello di adattamento dell'occhio

umano alle condizioni ambientali con le quali si è dovuto confrontare.

Il lento processo di adattamento ha fornito inoltre all'occhio umano, capacità di adattamento in risposta alle variazioni istantanee delle condizioni di luminosità e di colore della luce ambientale. La **pupilla** è in grado di variare la sua superficie da 1 a 16 volte adattandosi alla quantità di luce presente. I **coni** (visione fotopica) riescono a valutare il colore e la quantità di luce per valori che superano il livello di luminanza minimo di $0,03[\text{cd}/\text{m}^2]$ e i **bastoncelli** (visione

scotopica) hanno invece livelli minimi di stimolazione per luminanze che partono da $0,001[\text{cd}/\text{m}^2]$ permettendoci la visione notturna/serale senza però una definizione precisa dei colori. Fig.023

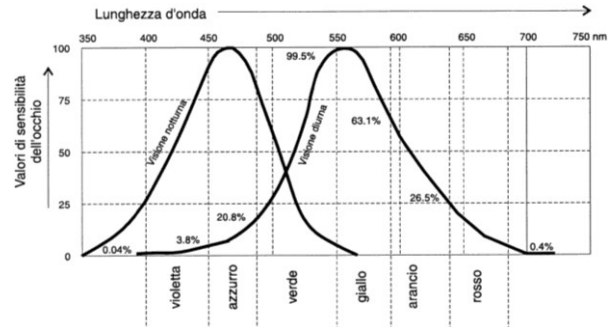


Fig.023 – Curve di sensibilità dell'occhio umano in condizione notturna e diurna.

3.3.0 I tre fratelli: trasmittanza diretta della r.e.m, il fattore solare e il coefficiente di ombreggiamento

La trasmissione delle r.e.m. attraverso i materiali dipende dall'attitudine del materiale alla trasmissione di un'onda e.m. per ogni specifica lunghezza d'onda e per ogni angolo di incidenza.

Nel progetto sarà molto importante riuscire a definire valori attendibili del **coefficiente o indice di trasmissione** τ poiché grazie a tale parametro si può calcolare la riduzione tra il flusso energetico incidente e quello emesso oltre il filtro polarizzatore o il vetro. $\tau = \frac{\Phi_t}{\Phi_i}$

Va inoltre considerata la **distribuzione geometrica del raggio trasmesso** ^{Fig.024} e le sue eventuali separazioni a seguito della trasmissione attraverso il materiale trasparente (scattering). La ricerca di materiali in grado di consentire una **trasmissione di tipo regolare** è solitamente da preferire per la progettazione di tutti quei dispositivi ove la nitidezza di visione risulti importante. ^{Fig.024}

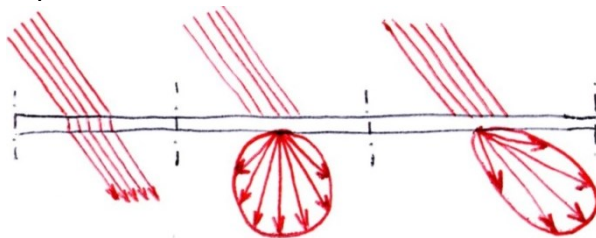


Fig.024 – Fenomeni geometrici della trasmissione della r.e.m.; da sinistra: Trasmissione regolare – Trasmissione perfettamente

diffusa (massimo scatter della r.e.m.) – radiazione mista (si verifica lo scattering della luce ma a volte risulta poco rilevante)

La distribuzione spaziale della radiazione trasmessa dipende direttamente dalla struttura molecolare del materiale attraversato e dalla sua struttura superficiale (finitura).

Risulta evidente che la percentuale di radiazione e.m. che non viene trasmessa direttamente è complementare alle percentuali relative alla riflessione ed all'assorbimento della radiazione incidente. ^{Fig.25}

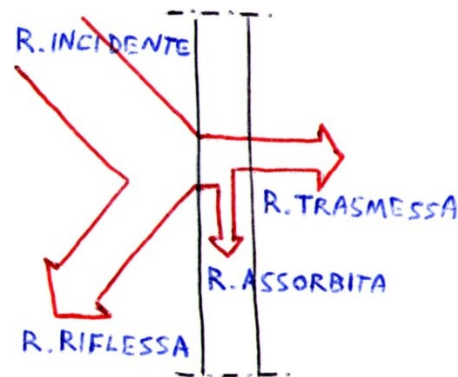


Fig.025 – Comportamento di un corpo trasparente sul quale incide una radiazione elettromagnetica. Scomposizione della r.e.m.

Quindi se l'irraggiamento su di una superficie vale $1 \text{ I}=1[\text{W}/\text{m}^2]$, la somma dei coefficienti di Trasmittanza (τ), Riflettanza (ρ) e Assorbanza (α) darà sempre un valore unitario.

$$\tau + \rho + \alpha = 1 = I_0$$

Questa considerazione consentirà la misurazione in laboratorio dei soli coefficienti di trasmittanza e riflettanza. Il coefficiente di assorbimento sarà ricavato matematicamente per sottrazione.

Tuttavia per i sistemi vetrati si avrà una trasmissione energetica globale superiore al livello determinato dai coefficienti (τ) dei materiali stratificati. Questo avviene poiché si assume che 1/3 dell'energia assorbita venga rimesso verso l'interno e 2/3 verso l'esterno. ^{Fig.026}

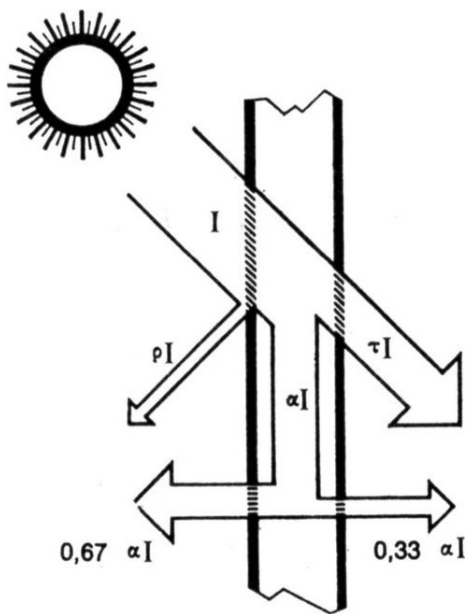


Fig.026 – Trasmissione effettiva della radiazione energetica dello spettro solare. ^{"manuale tecnico del vetro, SGG", Pag. 81}

Si ha quindi una relazione di questo tipo:

$$E_{\text{entrante}} = E_{\text{trasmessa}} + 1/3 * E_{\text{assorbita}}$$

$$E_{\text{entrante}} = \tau * I_0 + 0,33 * \alpha * I_0 = (\tau * 0,33 * \alpha) * I_0 = \sigma * I_0$$

Dove σ è il fattore solare. Il fattore solare indica quindi il rapporto tra l'energia solare trasmessa e l'energia solare incidente sul pacchetto. Rappresenta quindi l'attitudine alla trasmissione energetica di un pacchetto vetrato riportato in valori senza unità che vanno da 0 (trasmissione nulla) a 1 (massima trasmissione). Questo valore considera tutto lo spettro di emissione della radiazione solare UV-VIS-NIR e risulta un ottimo strumento per il confronto fra tecnologie differenti.

$$FS = \sigma = g = \frac{I_0 * (\tau * 0,33 * \alpha)}{I_0} = \tau * 0,33 * \alpha$$

Un valore simile, utilizzato principalmente nei paesi anglosassoni è lo Shading coefficient o fattore di ombreggiamento che è il rapporto tra il fattore solare del vetro analizzato e il fattore solare di un vetro float da 3[mm] (0,89).

$$Sc = \frac{\sigma}{0,89}$$

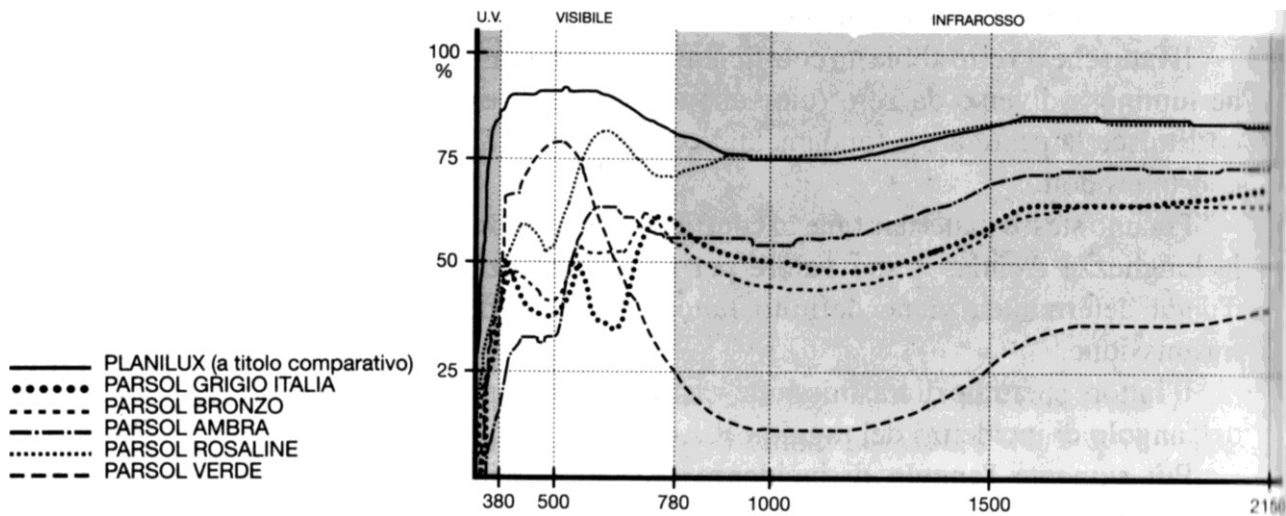


Fig.027 – Curva di trasmissione spettrale dei vetri SGG Parsol colorati in pasta direttamente nel processo di fabbricazione e colatura sul bagno di stagno. Questi vetri hanno il compito di assorbire la radiazione termica NIR e di trasmettere la radiazione VIS. L'elevato coefficiente di assorbimento determina un notevole riscaldamento della lastra. Quando si decide di applicare questo tipo di prodotto si deve prevedere l'utilizzo di sigillante nero e il vetro deve essere esposto alla r.e.m. quasi per la sua totalità per evitare eventuali rotture causate dal riscaldamento differenziato.

"Manuale tecnico del vetro SGG", Pag. 44

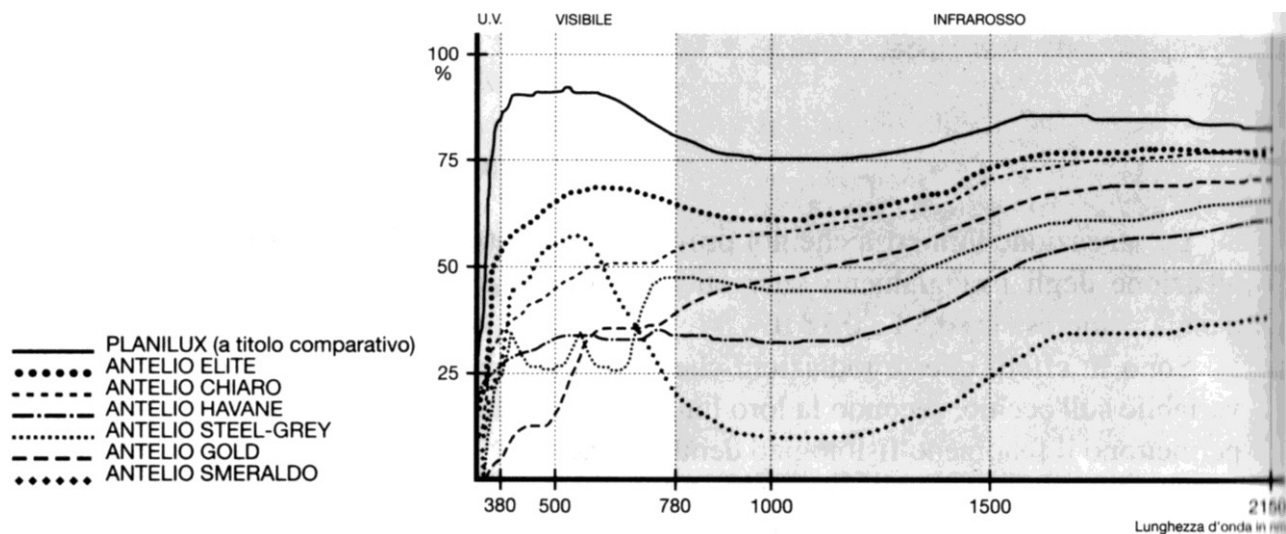


Fig.028 – Curva di trasmissione spettrale dei vetri SGG Antelio riflettenti. Questo tipo di prodotto viene utilizzato in edilizia per la riduzione dell'irraggiamento solare. Su queste lastre viene depositato un rivestimento pirolitico (deposito effettuato ad alta temperatura durante il processo di formazione della lastra). Questo processo crea dei forti legami tra coating e vetro mantenendo un'elevata resistenza superficiale, rispetto alla debole resistenza s. che si riscontra nei vetri con coating magnetronico (deposito a freddo-sotto vuoto).

3.4.0 La riflettanza della r.e.m nei materiali di progetto e lo stretto rapporto con il percorso solare.

Una prima analisi dei grafici,^{Fig.027-028} che rappresentano le curve di trasmissione di alcuni dei vetri della SGG, permette l'introduzione di alcuni ragionamenti in merito alla riflessione della radiazione solare in ambito architettonico. Ragionamenti validi per tutti i fornitori dell'industria vetraria e per tutte le loro componenti di tipo statico proposte.

Risulta evidente che nei vetri "PARSOL_{SGG}" la componente energetica non trasmessa (~30-70%) viene principalmente assorbita e riemessa nei locali sotto forma di calore (~1/3 trasferito verso l'interno e ~2/3 verso l'esterno). Il coefficiente di riflessione di tutta la gamma varia tra un minimo del 5[%] e un massimo del 7[%].^{Appendice}

Al contrario i vetri di tipo riflettente "ANTELIO_{SGG}" sono studiati affinché il deposito **pirolitico**, applicato in fase di colatura del vetro, sia in grado di riflettere tra l'8[%] e il 26[%] della radiazione solare incidente. La quota assorbita rimane tuttavia elevata (11[%]-67[%]).^{Appendice}

Vetri di tipo **magnetronico** (es. Cool-Lite_{SGG}), con depositi applicati a "freddo" in condizioni di vuoto spinto, migliorano ulteriormente la capacità del costruttore di applicare più strati riflettenti e/o assorbenti dallo spessore preciso. Con questa tecnica si riesce ad

ottenere prodotti ad elevata selettività per quanto riguarda la riflessione della componente termica NIR. Gli svantaggi che si riscontrano sono quelli di un maggiore investimento economico per le attrezzature atte alla deposizione del coating e la notevole riduzione della resistenza superficiale della faccia rivestita. Quest'ultimo problema si risolve ponendo la superficie trattata rivolta verso l'interno della vetrocamera e attenendosi ad un preciso protocollo di trasformazione trasporto e messa in opera volto alla massima tutela del deposito sup.

Conosciute le principali tecniche utilizzate per il miglioramento delle prestazioni delle superfici vitree andiamo ad analizzare quali sono i comportamenti, in termini di **riflessione geometrica**, che si riscontrano in un vetro piano "chiaro-non trattato".

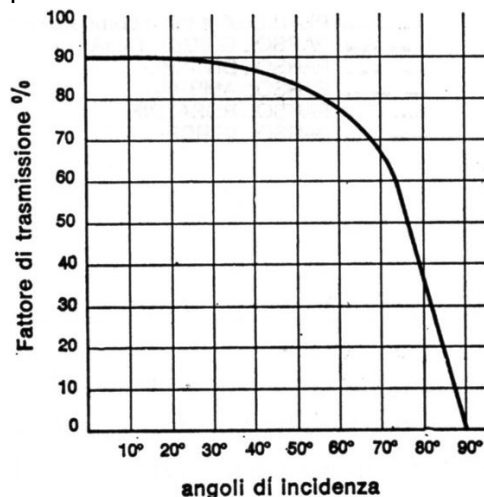


Fig.029 - Curva di trasmissione di un vetro chiaro angoli di incidenza da 0° (normale) a 90°(incidenza tangenziale).^{Manuale t. del vetro SGG, Pag. 43}

Come si evince dalla figura^{Fig.029} si nota che la trasmissione di un vetro dipende fortemente dall'angolo di incidenza con la quale la radiazione elettromagnetica vi incide. Infatti, intorno ai 30° il vetro inizia a perdere un po' della sua capacità di trasmissione in ragione di un incremento del fattore di riflessione. Per angoli di incidenza superiori ai 70°, il vetro, inizia ad avere comportamenti caratterizzati da un'alta riflettanza fino a raggiungere il picco massimo di riflessione a 90°.

La riflessione geometrica tipica del vetro non trattato è di tipo regolare^{Fig.030} ma, per applicazioni speciali sono possibili realizzazioni che alterano la direzione di riflessione o di trasmissione come per esempio i trattamenti con acido fluoridrico che opacizzano la superficie vitrea incrementando la diffusione della radiazione luminosa.

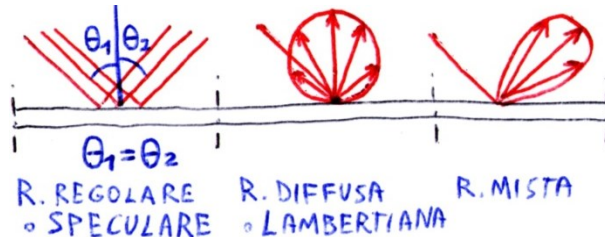


Fig.030 – Classificazione geometrica delle forme di riflessione.

Alternativamente si possono realizzare vetri con superficie prismatica atta ad una maggiore riflessione della radiazione estiva (a scapito della nitidezza visiva), oppure esistono film sottili che tramite la loro struttura geometrica e/o materica riflettono verso l'alto

la radiazione incidente consentendo una maggiore uniformità e capacità di penetrazione della luce negli spazi confinati. Le soluzioni tecnologiche che sfruttano la riflessione come mezzo per assicurare un'adeguata protezione solare o il comfort visivo sono molteplici e non verranno approfondite in questo saggio poiché la trattazione è finalizzata alla comprensione dei progetti e dei prototipi fin qui realizzati.

Per quanto riguarda l'elevato coefficiente di riflettanza del vetro, per angoli di incidenza lontani dalla normale, si nota una coincidenza importante con l'effetto di mitigazione della trasmissione della r.e.m. durante la stagione estiva per tutte quelle località ove la posizione dello zenit è molto alta nella volta celeste.^{Fig.031}

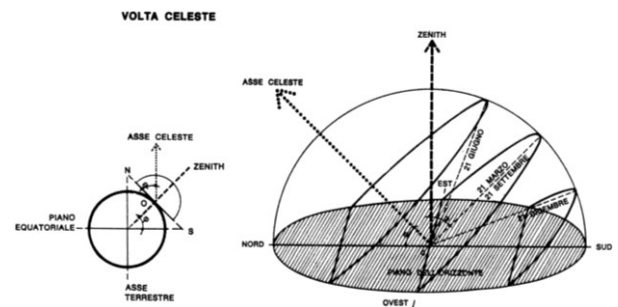


Fig.031 – Schematizzazione della volta celeste e proiezione del percorso solare in funzione della latitudine (angolo che si forma tra l'asse celeste e l'orizzonte) ^{Manuale tecnico del vetro SGG[®], Pag. 76}

Esistono infatti schermature solari composte da semplici lamelle vitree orientabili, utilizzate solitamente come chiusura low-tech nei paesi in fase di pre-industrializzazione con clima

caldo umido, che consentono allo stesso una discreta protezione solare e la ventilazione naturale degli ambienti. Per la progettazione delle schermature è quindi di fondamentale importanza conoscere le variazioni del percorso solare stagionali e orarie. La posizione istantanea del sole si può prevedere in funzione della latitudine alla quale si trova il luogo di progetto. Per ognuna di queste sono disponibili sulla manualistica, in banche dati utili alla simulazione dinamica per l'architettura e su siti internet per la meteorologia <http://www.meteo.sm/solare.php> le differenti

posizioni solari

Carte solari per le latitudini 64°(Reykjavik-Islanda)_51°(Londra-UK)_45°(Milano-Italia)_38°(Palermo-

Italia)_24°(Medina-Arabia saudita)_2°(Mogadiscio-Somalia)

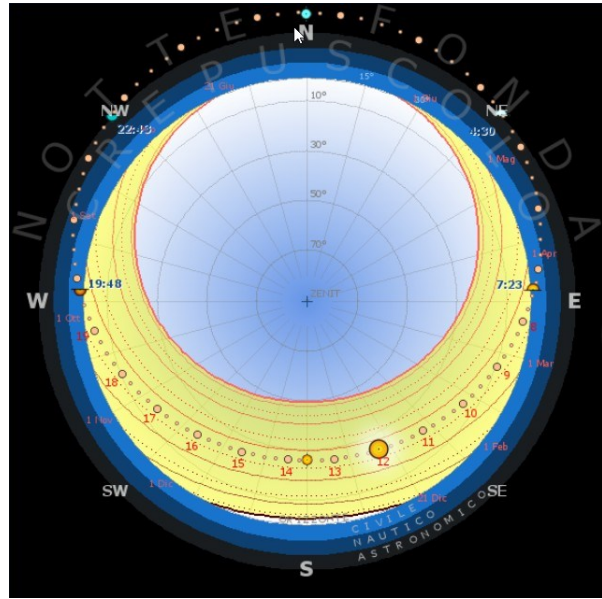
con

l'indicazione oraria e mensile dell'**angolo di elevazione** rispetto al piano dell'orizzonte e l'angolo di **azimut** che indica la posizione rispetto al Nord.

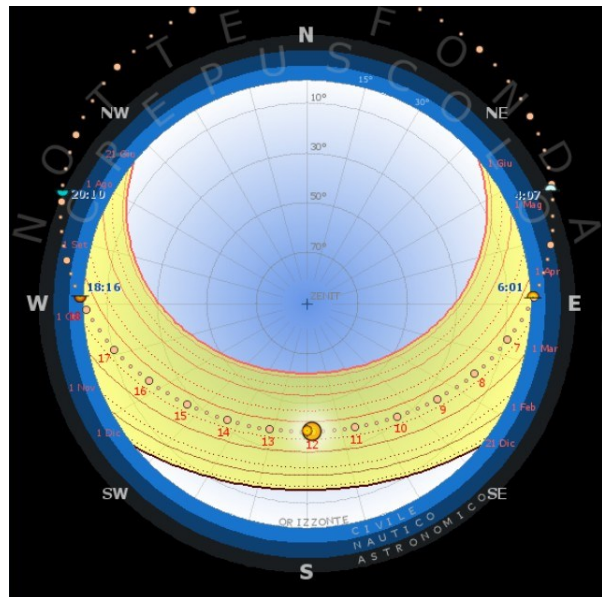
Tuttavia, nonostante la riflettanza delle superfici vetrate per angoli di incidenza elevati risulti importante per la mitigazione dell'irraggiamento estivo si avrà per contro una maggiore intensità radiativa incidente causata dall'attraversamento di minori strati d'aria rispetto alla situazione invernale.

Spesso la soluzione più semplice si trova valutando, in fase progettuale, quali siano le scelte più opportune che tengono conto delle ostruzioni naturali e dell'orientamento dell'edificio rispetto al percorso solare e ai

venti dominanti. Spesso per località caratterizzate da climi caldi o mediterranei

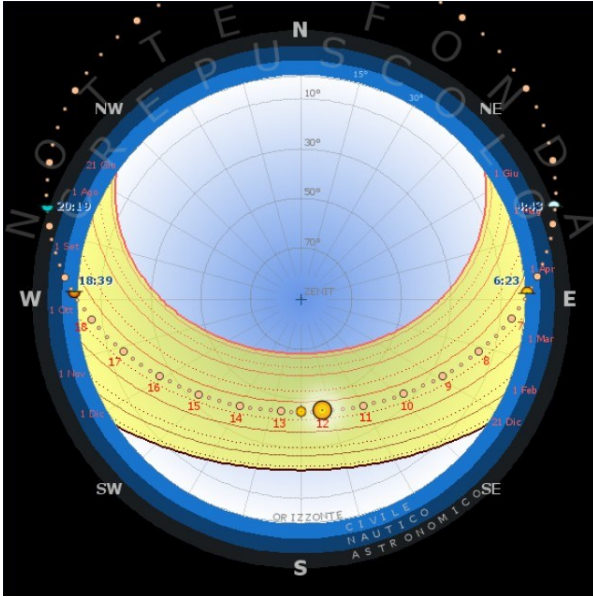


Carta solare_Latitudine 64°_Reykjavik-Islanda

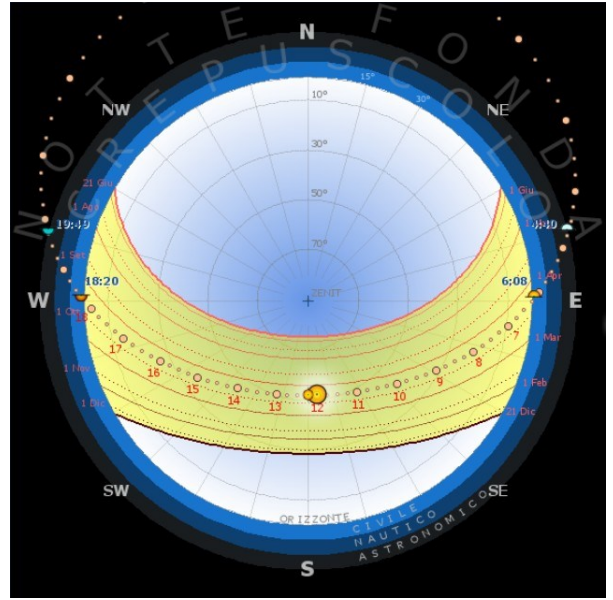


Carta solare_Latitudine 51°_Londra-Regno Unito

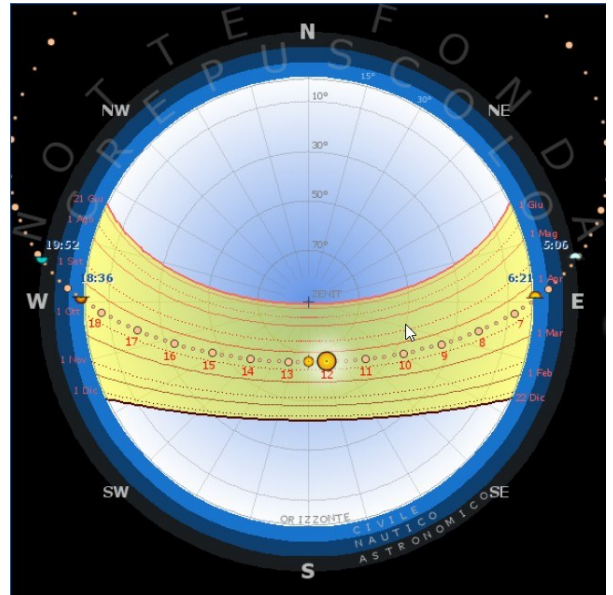
- Sole 21 dicembre
- Sole 21 giugno
- Sole 21 marzo



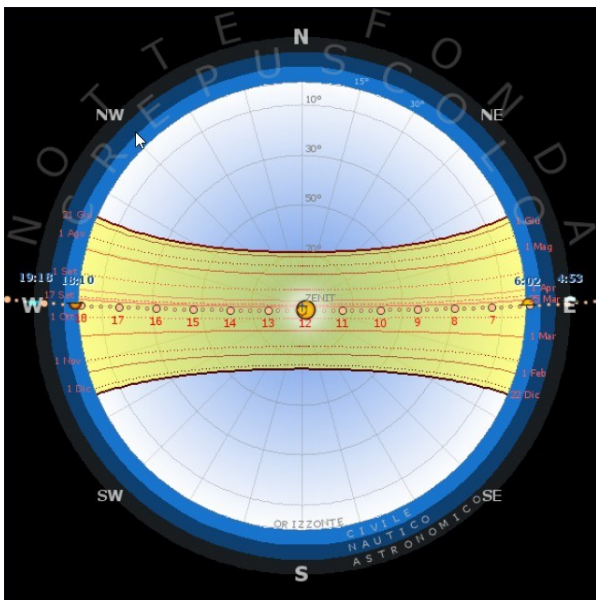
Carta solare_Latitudine 45°_Milano-Italia



Carta solare_Latitudine 38°_Palermo-Italia



Carta solare_Latitudine 24°_Medina-Arabia Saudita



Carta solare_Latitudine 2°_Mogadiscio-Somalia

- Sole 21 dicembre
- Sole 21 giugno
- Sole 21 marzo

una piccola schermatura orizzontale posta sopra alle superfici verticali trasparenti esposte a sud rimane sempre la soluzione più vantaggiosa dal punto di vista economico e del risultato. ^{Fig.032}

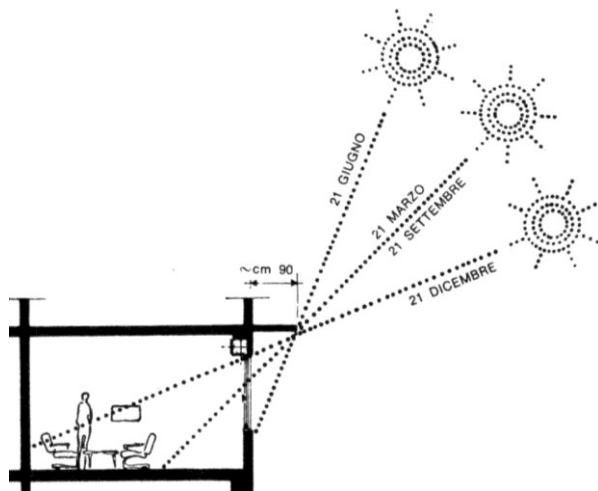


Fig.032 – Situazione tipica per climi temperati.

Nonostante sia possibile progettare la tipologia architettonica tenendo conto delle situazioni ambientali al contorno, si è deciso di lavorare sull'emergenza causata dallo stile architettonico dominante per le realizzazioni destinate al settore terziario.

In questa epoca l'evoluzione dei processi produttivi e di messa in opera dei materiali trasparenti ha favorito lo sprawl di organismi architettonici i cui involucri sono completamente o quasi totalmente vetrati. Il vetro e l'altezza degli edifici sono diventati il simbolo di potere e ricchezza per eccellenza. Se confrontiamo il costo per la realizzazione di un mq di superficie opaca ~50€ con un mq di superficie trasparente standard con doppio vetro ~250€ si capisce come mai le abitazioni civili si avvicinino il più possibile ai limiti minimi dettati dalla normativa. (mq minimi di superficie aero illuminate = 1/8 della

superficie di pavimento). Viceversa laddove il committente desidera dare un'immagine altisonante di se e della sua azienda/ente si assiste alla realizzazione di superfici vitree a tutta altezza.

Quindi da un lato risulta evidente il problema dell'applicazione di sistemi per il controllo della radiazione solare intelligenti adatti a situazioni ove la trasmissione della radiazione visibile è sempre voluta e sperata.

Dall'altro è necessario pensare a soluzioni per la protezione solare di tipo passivo, governate da sistemi di controllo attivi tali da riuscire a massimizzare le performance adattandosi dinamicamente alle mutazioni ambientali e alle necessità dell'utilizzatore finale.

In ultima istanza, penso che lo studio di soluzioni in cui sia possibile cambiare a piacimento l'indice di riflettanza sia la strada da percorrere per ridurre i fenomeni di abbagliamento interno, limitare gli apporti solari gratuiti durante la stagione estiva e consentirli durante quella invernale.

Il primo passo da farsi in questa direzione è analizzare la risposta spettrale dei principali materiali riflettenti che vengono attualmente utilizzati per le finiture superficiali degli oggetti che devono avere elevati coefficienti di riflettanza ρ . ^{Fig.033}

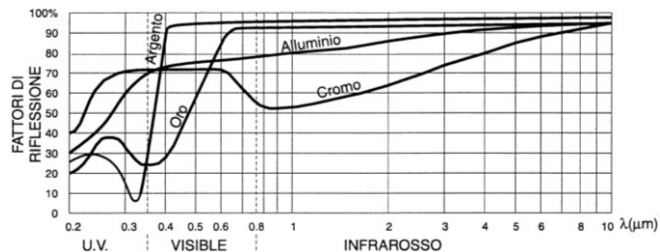


Fig.033 – Riflettanza spettrale di argento, alluminio, oro e cromo.

Preso atto che a livello architettonico, quindi per ampie superfici, è importante utilizzare un quantitativo estremamente ridotto di questi metalli per via del loro costo, si dovrà elaborare una soluzione che ne sfrutti al massimo le potenzialità senza sprechi di materia. Depositi dallo spessore nanometrico come quelli applicati sui vetri riflettenti e basso-emissivi tramite **sputtering vapor deposition** vanno appunto per questa strada.

Inoltre, per avere una riflessione pressoché **‘regolare’** ^{Fig.030} è importante che la finitura superficiale sia liscissima, è stato stabilito che per distanze tra i picchi delle irregolarità superficiali superiori ad $\frac{1}{4}$ della lunghezza d'onda λ da riflettere vi sia una deviazione-separazione del raggio multi-cromatico incidente di tipo diffuso o misto. ^{Fig.030} Da ciò si deduce che la maggior parte delle superfici architettoniche avrà riflessioni Lambertiane (con direzione diffusa e maggiore intensità lungo la normale alla superficie) oppure miste. La regola del passo tra le irregolarità, come vedremo, determinerà la svolta nella storia progettuale. Guiderà il percorso d'indagine verso una strada di ricerca che

porterà alla soluzione del problema di cui si scriveva pocanzi per le superfici di piccole e medie dimensioni.

I valori principali con cui si caratterizzeranno le capacità di riflessione dei materiali di progetto sono:

- La **riflettanza** $\rho = \frac{\Phi_r}{\Phi_I}$ data dal rapporto tra il flusso riflesso e il flusso incidente.

- E la **riflettanza specifica** $\rho(\lambda) = \frac{\Phi_r(\lambda)}{\Phi_I(\lambda)}$ data dal medesimo rapporto calcolato per una specifica lunghezza d'onda.

3.5.0 L'assorbanza e il problema del surriscaldamento

Nel mondo della produzione vetraria ad alte prestazioni (controllo solare, selettivo, bassa emissività) si è riscontrato un intervento che ha preso il problema della protezione solare in modo frontale e l'ha sviscerato cercando soluzioni tecniche che potessero risolvere i problemi che si presentano per ogni singolo areale geografico caratterizzato dal medesimo clima e da simili condizioni di irraggiamento. L'industria ha trovato queste soluzioni studiando la chimica e la caratterizzazione dei prodotti composti da singoli strati, leghe, multistrati depositati sulle lastre di vetro o prodotti colorati in pasta.

Per ogni soluzione si è andato ad incrementare il livello di riflessione e di assorbimento energetico della lastra portando al limite l'utilizzo del vetro.

Infatti il problema principale delle superfici vetrate verticali è quello dello shock termico dovuto al **riscaldamento differenziale** della lastra (riscaldamento non uniforme di tutta la superficie). Si registra ^{Pag.29 "Manuale T. del vetro, SGG"} che per vetri standard (ricotti) la differenza di temperatura tra la porzione all'ombra e quella al sole non debba superare i 40[°C] gradi.

Superata questa soglia, si generano sforzi di trazione, sul lato freddo, tali da spaccare il vetro.
$$\sigma = \frac{E * \alpha * \Delta T}{2 * (1 - \delta)}$$

E=73000 modulo di elasticità (Young)

$\alpha=0,000009$ Coefficiente di dilatazione lineare

ogni grado di variazione termica si ha una dilatazione di 0,009[mm]

$\delta=0,22$ Coefficiente di contrazione (Poisson)

2=fattore di forma relativo alle lastre

Dalla quale ricaviamo vari livelli di ΔT da confrontare con le sigma del vetro:

$$\sigma_{\text{esercizio}}=10,5 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \rightarrow \Delta T=25[^\circ C]$$

$$\sigma_{\text{ammissibile}}=16,8 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \rightarrow \Delta T=40[^\circ C]$$

$$\sigma_{\text{ultimo}}=27,4 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \rightarrow \Delta T=65[^\circ C]$$

Per soluzioni dove si prevede l'utilizzo di elementi con elevato coefficiente di assorbimento o superfici parzialmente coperte (anche solo dal fermavetro) utilizzate in località con grosse escursioni termiche viene suggerita la tempra dei vetri.

Per i vetri che hanno subito questo speciale processo di lavorazione si estende la sigma ammissibile a $50 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$ con un $\Delta T_{\text{ultimo}}[^\circ C]$ di 200[°C].

La tempra fa elevare di molto il prezzo dei prodotti di base. ^{Fonte: "Prontuario dei costi del vetro"}

Float chiaro 4[mm] -- > 20 [€/mq]

Float chiaro 4[mm]_{temprato} -- > 36 [€/mq]

Float 4 grigio-verde[mm] -- > 26 [€/mq]

Float 4 grigio-verde [mm]_{temprato} -- > 42 [€/mq]

Float chiaro stratificato 5+0.6+5[mm] -- > 54 [€/mq]

Float chiaro stratificato 5+0.6+5[mm] -- > 166 [€/mq]

Come era già stato introdotto nel capitolo,^{3.3.0} avere dispositivi trasparenti con elevati coefficienti di assorbimento influisce notevolmente sia dal punto di vista visivo, se l'assorbimento specifico $\rho(\lambda)$ sconfinava dal NIR

verso la gamma del visibile, si vedano le schede dei vetri in appendice; la Fig. 027 e lo schema Fig.026 sia dal punto di vista termico (a causa della ri-emissione interna di 1/3 del calore assorbito). Questo calore viene irraggiato a lunghezze d'onda differenti da quelle assorbite e, rimanendo intrappolato nei locali confinati, contribuisce ad un surriscaldamento progressivo degli stessi.

I valori che si considereranno per la caratterizzazione di questi effetti saranno:

- L'**assorbanza** $\alpha = \frac{\Phi_a}{\Phi_I}$ data dal rapporto tra il flusso assorbito e il flusso incidente.

- E l'**assorbanza specifica** $\alpha(\lambda) = \frac{\Phi_a(\lambda)}{\Phi_I(\lambda)}$

3.6.0 Resistenza termica del vetro e indicazioni progettuali per il dimensionamento della vetrocamera

L'implementazione delle caratteristiche termiche del vetro e degli strati interposti, Fig.034-035 nel caso di strutture multistrato, non sarà oggetto di miglioria in questo progetto ma servirà come base per i ragionamenti dimensionali effettuati sul prototipo e sui meccanismi di traslazione lineare.

Spessore	3 mm	6 mm	9 mm	12 mm	20 mm	30 mm	50 mm	70 mm
$R = \frac{m^2 h \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Kcal}}$	0,095	0,125	0,153	0,168	0,185	0,180	0,180	0,180

Fig.034 – valori di resistenza termica per spessori standard delle intercapedini d'aria utilizzate nelle vetrocamere. "Manuale T. del vetro, SGG", Pag.66

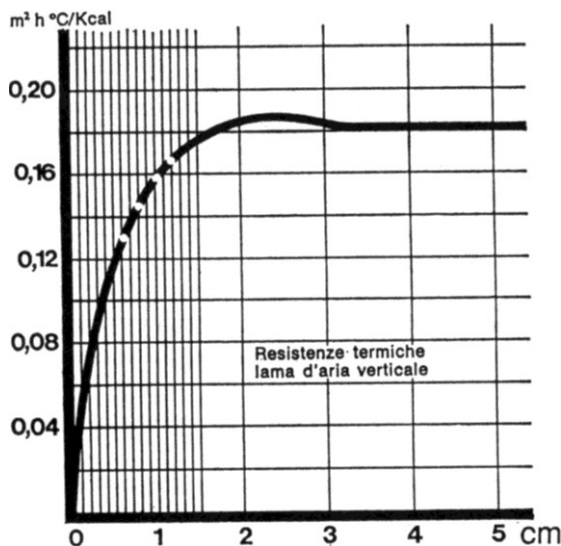


Fig.035 – Curva della resistenza termica di lame d'aria di differenti spessori. "Manuale T. del vetro, SGG", Pag.66

Il maggior beneficio, in termini di isolamento termico si avrà con intercapedini sigillate di dimensioni che variano tra 12 e 25 mm e riempite con gas isolanti quali Argon, Cripton e Xenon.

Spessore 3 mm 4 mm 5 mm 8 mm 12 mm

$$R = \frac{m^2 h^\circ C}{Kcal} \quad 0,003 \quad 0,004 \quad 0,005 \quad 0,008 \quad 0,012$$

Fig.034 – valori di resistenza termica per spessori standard delle intercapedini d'aria utilizzate nelle vetrocamere. ^{Manuale T. del vetro, SGG⁺}, Pag.65

L'alloggiamento standard per le vetrocamere misura 26 o 32[mm]. Ove vengono alloggiati doppi vetri che misurano 6+12+6 [mm] o 4+16+4 o 6+16+6; il gioco restante è utile per inserire le guarnizioni in EPDM.

Per i tripli vetri la dimensione totale della vetrocamera varia notevolmente e va dai 32 - 44[mm]; ove i pacchetti vetrati di solito misurano 4+10+4+10+4; 4+16+4+16+4; 6+8+6+8+4.

Da tali rilevazioni si dovrà considerare un massimo ingombro di 8-12 [mm] per il sistema di traslazione lineare della superficie vetrata alla quale viene applicato il filtro ottico.

Il rispetto di questa regola consentirà il massimo livello di integrazione con i sistemi attualmente adottati.

Vetrata				Tipo di gas nell'intercapedine (concentrazione del gas ≥90%)				
Tipo	Vetro	Emissività normale	Dimensioni mm	Aria	Argon	Krypton	SF ₆	Xenon
Vetrata doppia	Vetro normale	0,89	4-6-4	3,3	3,0	2,8	3,0	2,6
			4-8-4	3,1	2,9	2,7	3,1	2,6
			4-12-4	2,8	2,7	2,6	3,1	2,6
			4-16-4	2,7	2,6	2,6	3,1	2,6
	4-20-4	2,7	2,6	2,6	3,1	2,6		
	Una lastra con trattamento superficiale	≤0,20	4-6-4	2,7	2,3	1,9	2,3	1,6
			4-8-4	2,4	2,1	1,7	2,4	1,6
			4-12-4	2,0	1,8	1,6	2,4	1,6
			4-16-4	1,8	1,6	1,6	2,5	1,6
	4-20-4	1,8	1,7	1,6	2,5	1,7		
	Una lastra con trattamento superficiale	≤0,15	4-6-4	2,6	2,3	1,8	2,2	1,5
			4-8-4	2,3	2,0	1,6	2,3	1,4
			4-12-4	1,9	1,6	1,5	2,3	1,5
			4-16-4	1,7	1,5	1,5	2,4	1,5
	4-20-4	1,7	1,5	1,5	2,4	1,5		
	Una lastra con trattamento superficiale	≤0,10	4-6-4	2,6	2,2	1,7	2,1	1,4
4-8-4			2,2	1,9	1,4	2,2	1,3	
4-12-4			1,8	1,5	1,3	2,3	1,3	
4-16-4			1,6	1,4	1,3	2,3	1,4	
4-20-4	1,6	1,4	1,4	2,3	1,4			
Una lastra con trattamento superficiale	≤0,05	4-6-4	2,5	2,1	1,5	2,0	1,2	
		4-8-4	2,1	1,7	1,3	2,1	1,1	
		4-12-4	1,7	1,3	1,1	2,1	1,2	
		4-16-4	1,4	1,2	1,2	2,2	1,2	
4-20-4	1,5	1,2	1,2	2,2	1,2			

Tab.036 – Trasmissanza termica di vetrate verticali doppie riempite con diversi gas [W/(m²K)] Prospetto C.1 UNI 11300-1

Vetrata				Tipo di gas nell'intercapedine (concentrazione del gas ≥90%)				
Tipo	Vetro	Emissività normale	Dimensioni mm	Aria	Argon	Krypton	SF ₆	Xenon
Vetrata tripla	Vetro normale	0,89	4-6-4-6-4	2,3	2,1	1,8	1,9	1,7
			4-8-4-8-4	2,1	1,9	1,7	1,9	1,6
			4-12-4-12-4	1,9	1,8	1,6	2,0	1,6
	Due lastre con trattamento superficiale	≤0,20	4-6-4-6-4	1,8	1,5	1,1	1,3	0,9
			4-8-4-8-4	1,5	1,3	1,0	1,3	0,8
			4-12-4-12-4	1,2	1,0	0,8	1,3	0,8
	Due lastre con trattamento superficiale	≤0,15	4-6-4-6-4	1,7	1,4	1,1	1,2	0,9
			4-8-4-8-4	1,5	1,2	0,9	1,2	0,8
			4-12-4-12-4	1,2	1,0	0,7	1,3	0,7
	Due lastre con trattamento superficiale	≤0,10	4-6-4-6-4	1,7	1,3	1,0	1,1	0,8
			4-8-4-8-4	1,4	1,1	0,8	1,1	0,7
			4-12-4-12-4	1,1	0,9	0,6	1,2	0,6
	Due lastre con trattamento superficiale	≤0,05	4-6-4-6-4	1,6	1,2	0,9	1,1	0,7
			4-8-4-8-4	1,3	1,0	0,7	1,1	0,5
			4-12-4-12-4	1,0	0,8	0,5	1,1	0,5

Tab.036 – Trasmissanza termica di vetrate verticali triple riempite con diversi gas [W/(m²K)] Prospetto C.1 UNI 11300-1

Materiale	Tipo	Trasmittanza termica U_L [W/(m ² K)]
Poliuretano	con anima di metallo e spessore di PUR ≥ 5 mm	2,8
PVC - profilo vuoto	con due camere cave	2,2
	con tre camere cave	2,0
Legno duro	spessore 70 mm	2,1
Legno tenero	spessore 70 mm	1,8
Metallo con taglio termico	distanza minima di 20 mm tra sezioni opposte di metallo	2,4

Tab.037 – Trasmittanza termica di telai per porte e porte finestre Prospetto C.2 UNI 11300-1

3.7.0 Come si polarizza la luce? Tecniche e soluzioni per il progetto

Nel capitolo ^{3.2.0} La radiazione elettromagnetica, il sole e l'architettura si erano introdotte le tipicità della radiazione solare e la sua caratteristica radiazione elettromagnetica non polarizzata. La figura ⁰⁰⁹ rappresenta al meglio i piani infiniti di vibrazione presenti in questo tipo di radiazione e.m. e descrive la trasversalità delle onde emesse dal sole.

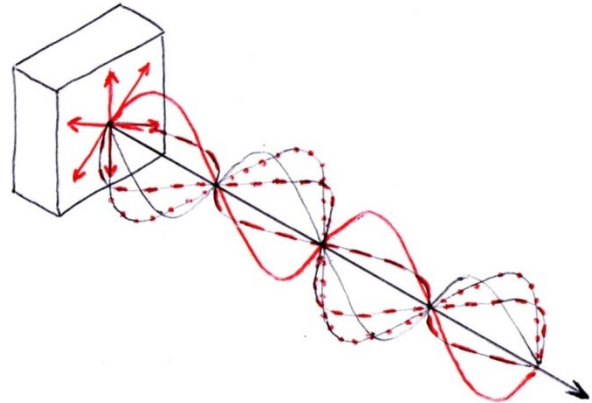


Fig.009 – Schematizzazione dell'emissione solare. Lungo la stessa direzione di propagazione si riscontra che la vibrazione del campo elettrico non vibra su di un unico asse (come nella luce polarizzata) ma è presente una moltitudine di assi.

Infatti le onde di tipo longitudinale, caratterizzate da simmetria cilindrica intorno alla direzione di propagazione, non possono essere polarizzate. ^{Visibili}, per esempio, nell'effetto di trasmissione dell'energia delle molle.

In un'onda trasversale specifica, di cui si conosce la direzione di propagazione (per esempio l'asse z), si definiscono rispettivamente come **raggio ordinario** E_x e come **raggio straordinario** E_y la sommatoria

delle componenti^{Fig.038} dei campi elettrici che vibrano rispettivamente nel piano zx o nel piano zy che risultano ortogonali fra loro.^{Fig.039}

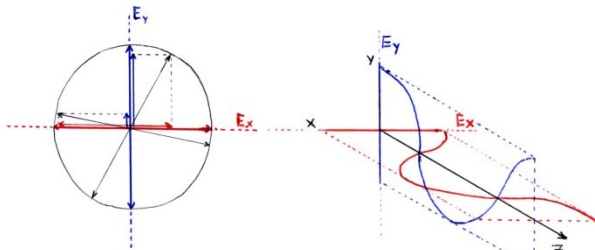


Fig.038-Componenti del raggio ordinario E_x e del raggio straordinario E_y .

Il piano in cui è contenuta l'oscillazione del campo elettrico e la direzione di propagazione viene anche detto **piano di polarizzazione**. Si tratta quindi di un'onda polarizzata solo quando tutte le componenti del campo elettrico dell'onda elettromagnetica vibrano nello stesso piano di polarizzazione. Si introduce questo tema per comprendere meglio le soluzioni progettuali che sono state scelte per raggiungere gli obiettivi del progetto. In questo senso si è deciso di capire se un materiale/dispositivo ottico polarizzatore sia in grado di interagire con parte o con la totalità dello spettro solare.

Definiamo allora che cosa è un polarizzatore: un p. è un dispositivo ottico anisotropo in grado di scomporre la radiazione non polarizzata nelle due componenti "ordinaria" e "straordinaria" i cui campi elettrici vibrano in piani ortogonali fra

loro. Nello specifico il wire grid polarizer trasmette la componente dell'onda (**T_p**) il cui campo elettrico vibra in direzione ortogonale all'orientamento dei nano-fili che lo costituiscono e riflette la componente dell'onda e.m. (**T_s** o **R_s**) con campo elettrico ortogonale al primo.^{Fig.040}

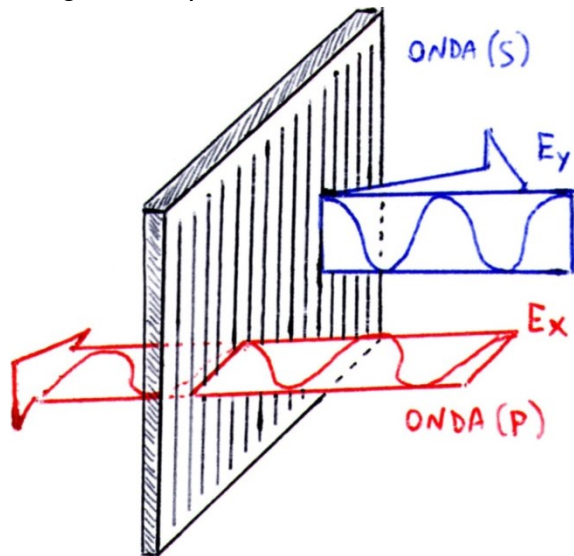


Fig.040 – Wire Grid Polarizer (WGP), relazione tra la capacità di trasmissione T_p polarizzata e la capacità di riflettere la r.e.m. con componente R_s il cui campo elettrico vibra su di un piano ortogonale all'asse di trasmissione P .

In base al tipo di polarizzatore la componente non trasmessa può essere rispettivamente: riflessa, rifratta, assorbita o diffratta.

Oltre al filtro di tipo Wire Grid P.^{utilizzato nei due progetti BETA} esistono altre tre categorie di filtri polarizzatori che, per diversi motivi, non risultano utilizzabili al fine di soddisfare i

requisiti specifici di un prodotto destinato al mondo dell'architettura.

Analizziamo quindi i polarizzatori di tipo: (dicroico, cristallino e ritardatori d'onda).

-I **Polarizzatori Dicroici** sono in grado di trasmettere meno del 50% di una specifica gamma dello spettro elettromagnetico ricevuto. Per le altre lunghezze d'onda, all'infuori dell'intervallo di polarizzazione, il materiale risulta o totalmente opaco con conseguente assorbimento della radiazione ricevuta o presenta livelli di trasmittanza >80% che consentirebbero alla r.e.m. di entrare nei locali senza possibilità di regolazione alcuna. Questo tipo di dispositivo, utilizzato per il primo progetto ^{Glass4Season-ALPHA} e per la realizzazione dei prototipi, è solitamente composto da un sandwich trasparente, di origine organica (plastiche) o inorganica (prodotti vetrosi, ceramici).

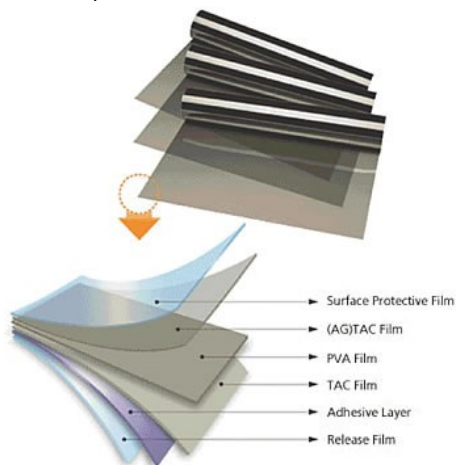


Fig.041 – Stratificazione tipica di un filtro polaroid “dicroico”

All'interno vi viene applicato/laminato/depositato uno strato cristallino o plastico le cui molecole hanno la capacità di eccitarsi e vibrare solo in una direzione. Nell'attraversare questo dispositivo la componente della radiazione incidente il cui campo elettrico vibra parallelamente alla direzione di eccitazione delle molecole viene assorbita. Viceversa la componente ortogonale a quest'ultima non provoca alcuno stato di eccitazione nelle molecole del materiale polarizzatore e viene trasmessa quasi inalterata.

Un esempio di questo tipo di polarizzatori lo si può trovare su tutti i display lcd-led dei monitor o dei televisori a schermo piatto.

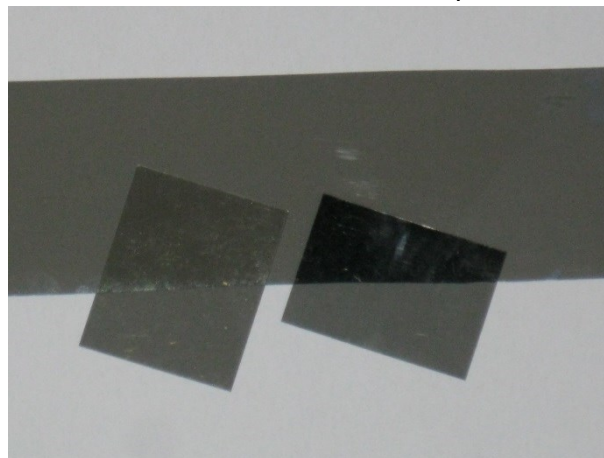


Fig.042 – Sovrapposizione di due filtri polaroid con assi di polarizzazione paralleli (a sinistra) e ortogonali (a destra)

Tuttavia, ai fini progettuali, non è stato riscontrato un polarizzatore di questo tipo le cui molecole siano in grado di eccitarsi in tutta l'ampiezza spettrale della radiazione

solare 300-2500 [nm].

Nel capitolo^{4.4.1} viene analizzata: la risposta spettrale di questo prodotto per le lunghezze d'onda tipiche della radiazione solare e il suo effetto ottico-visivo dal punto di vista qualitativo.

-I **Polarizzatori Cristallini** utilizzano la proprietà di birifrangenza di alcuni materiali, i quali ricevendo una radiazione il cui campo elettrico vibra in tutte le direzioni, restituiscono due raggi rispettivamente polarizzati ortogonalmente fra loro. Tuttavia, essendo il materiale anisotropo-birifrangente, riemette due raggi separati da una certa distanza e con direzioni di propagazione differenti. Questo effetto è dovuto al differente indice di rifrazione per i due differenti assi di polarizzazione P e S. Questi polarizzatori hanno un'elevata resistenza ed un'elevata capacità di estinzione risultando così ideali per le applicazioni laser e bio-medicali. Solitamente vengono venduti come cubetti tridimensionali "Glan Tompson; o Glan-Taylor" sulla cui diagonale avviene la separazione/polarizzazione dell'onda incidente.^{Fig.043}

Il maggior problema per un impiego nel campo delle schermature solari è l'apertura dell'angolo d'incidenza ammissibile che risulta limitato dalla geometria dell'elemento.

e la polarizzazione è demandata ad un elemento cristallino.

Inoltre l'affiancamento meccanico di diversi

strati cristallini, con asse di polarizzazione differente, porterebbe alla comparsa di difetti ottici generati dalle interfacce tra gli strati. Questi difetti riducono la nitidezza visiva e generano raggi con direzione e polarizzazione inaspettata.

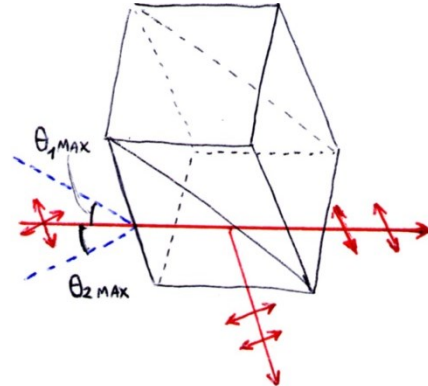


Fig.043 – Funzionamento di un polarizzatore cristallino generico Glan.

-Il **Ritardatore di fase "Waveplates o Retarder"** riesce a trasmettere una radiazione già polarizzata senza attenuarne l'intensità. Il compito di questi filtri è quello di modificare lo stato di polarizzazione della radiazione incidente ruotando contemporaneamente l'asse di oscillazione del campo elettrico e di quello magnetico. I Retarder sono realizzati con materiale cristallino o organico (polimerico) e la loro capacità di ruotare l'onda polarizzata, che dipende dal materiale, si modifica nel tempo al variare della temperatura d'esercizio e della lunghezza d'onda da cui è attraversato.

L'eventuale utilizzo di questa tecnologia in ambito architettonico è reso problematico dal

comportamento non regolare di questi dispositivi. Inoltre, per il momento, non sono stati riscontrati materiali in grado di estendere il loro effetto su tutto la gamma dello spettro solare.

Dal punto di vista teorico, qualsiasi sia il tipo di polarizzatore utilizzato, l'intensità dell'onda trasmessa seguirà la legge di **Malus**

$$I = I_0 \cdot \cos^2 \theta_i$$

dove: I è l'intensità dell'onda uscente dal polarizzatore; I_0 è l'intensità dell'onda incidente sul dispositivo e θ_i è l'angolo di incidenza tra il piano di polarizzazione della luce incidente e l'asse di polarizzazione del dispositivo.

Tuttavia, nel nostro caso, ad incidere sul polarizzatore "**wire grid broad band**" è la radiazione solare "**non polarizzata**" e quindi si ha un'intensità massima trasmessa uguale o inferiore ad:

$$I = \frac{1}{2} \cdot I_0 \cdot \cos^2 \theta_i$$

Quando si giustappongono due polarizzatori con assi di polarizzazione paralleli (trasmissione massima), la % di radiazione trasmessa non riesce mai a raggiungere il 50% di trasmissione polarizzata (limite massimo di trasmissione nell'intervallo di polarizzazione del dispositivo). Non si riesce a raggiungere questo limite per via della costituzione materiale del dispositivo

polarizzatore che "non è ideale". Che sia un polarizzatore costituito da materiali organici od inorganici una parte della radiazione "potenzialmente trasmessa" viene perduta per assorbimento all'interno del dispositivo.

Quando invece i due dispositivi, **polarizzatore** e **analizzatore**, vengono affiancati e l'angolo risultante tra gli assi di polarizzazione non è né 0° né 90° l'intensità trasmessa sarà funzione del valore θ_i misurato.

Allo stesso modo, quando un primo polarizzatore viene giustapposto ad un analizzatore (nome tecnico che viene dato al secondo polarizzatore) e gli assi di polarizzazione risultano ortogonali fra di loro, difficilmente si otterrà una trasmissione "nulla". I difetti di costruzione dei polarizzatori artificiali, le imperfezioni cristalline tipiche dei materiali naturali, e la non linearità di comportamento della materia nei confronti delle differenti lunghezze d'onda comportano dei gradi di tolleranza minimi da considerare in fase di calcolo secondo la legge di Malus.

Infatti per ogni singolo polarizzatore viene solitamente misurata e dichiarata per ogni lunghezza d'onda la **capacità di estinzione** della radiazione che attraversa il dispositivo ottico "**extinction ratio**" definita dalla relazione tra **(I_0) incidente** e **(I) trasmessa**. Alternativamente si misura il valore **T_s** che per il WGP rappresenta la percentuale trasmessa della r.e.m. incidente con il campo

elettrico che oscilla su un piano parallelo alla direzione dei nanofili e che teoricamente viene completamente riflessa.^{Fig.040}

La trasmissione diretta di tipo ***T_p*** è l'altro valore caratterizzante un filtro polarizzatore e rappresenta la capacità del filtro Wire Grid P. di trasmettere la r.e.m. il cui campo elettrico oscilla parallelamente all'asse di polarizzazione che è ortogonale alla direzione dei filamenti riflettenti che lo costituiscono.^{Fig.044 e Fig.040}

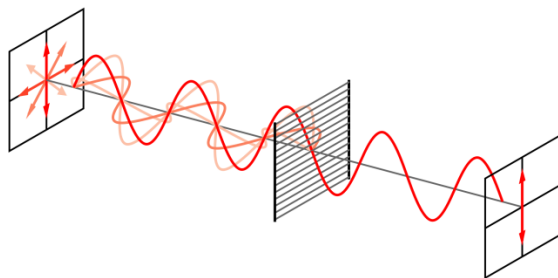


Fig.044 – Fenomeno di trasmissione polarizzata T_p attraverso un filtro wire grid polarizer

I polarizzatori Wire Grid sono da preferire alle altre tecnologie nelle situazioni in cui si desidera utilizzare anche la componente della radiazione incidente che non viene trasmessa direttamente ma che viene riflessa con piano di polarizzazione perpendicolare alla prima.

Oppure, come nel caso di questo progetto, si sceglie questo tipo di tecnologia poiché la riflessione della componente non trasmessa previene il surriscaldamento del dispositivo che può così essere ospitato nell'intercapedine di una vetrocamera o di una doppia facciata.

Con il WGP è inoltre possibile progettare l'intervallo di polarizzazione del dispositivo, prevenendo la formazione di elevati ordini di diffrazione.

Un'attenta progettazione, atta alla prevenzione di questo fenomeno, risulta estremamente importante poiché altrimenti si potrebbe assistere alla scomposizione della luce visibile nelle sue singole componenti cromatiche con un conseguente fastidio visivo-percettivo. Nel capitolo^{3.8.0} viene approfondito, dal punto di vista matematico, il procedimento che permette di prevenire la formazione di queste frange colorate causate dal fenomeno della diffrazione.

Nella sezione ***Appendice*** viene riportato un estratto del brevetto WO2009002792A2 ove si può approfondire l'evoluzione storica dei polarizzatori lineari.

3.8.0 Approfondimento sulla progettazione materica e matematica di un polarizzatore “Wire Grid P.”

I polarizzatori **wire grid** sono risultati adatti alla progettazione di schermature architettoniche grazie al coefficiente di assorbanza <13%, alla possibilità di poter progettare l'inizio dell'intervallo di efficacia del polarizzatore (oltre il quale tutta la radiazione con lunghezza d'onda superiore viene polarizzata) e per la loro formazione non cristallina ma legata a processi di nano-fabbricazione che consentono quindi un livello di flessibilità progettuale maggiore.

Un'assorbanza minima ha come effetto positivo quello di riuscire ad inserire il dispositivo all'interno della vetrocamera prolungando di molto la sua vita utile. Ciò è consentito dall'esclusione del problema del surriscaldamento della schermatura; inoltre, a differenza delle schermature colorate o con una assorbanza più elevata non si percepirà il disagio fisico del vetro caldo che durante la stagione estiva irradierebbe calore verso gli elementi a temperatura minore situati nei locali confinati/climatizzati.

Questo effetto, al pari della vicinanza ad un vetro freddo in situazione invernale, è uno dei maggiori problemi per le schermature solari ad assorbimento. Logicamente si avrà anche una riduzione sostanziale del rischio di rottura differenziale delle superfici vetrate.

Per contro l'applicazione di un tale dispositivo deve essere valutata insieme alla progettazione tipologica dell'edificio e all'analisi delle preesistenze architettoniche del sito per poter escludere effetti di concentrazione solare causati dalla riflessione delle schermature.

Per quanto riguarda la scelta dell'intervallo di polarizzazione, con un prodotto nano-strutturato come il wire grid polarizer è possibile determinare in modo abbastanza preciso l'inizio dell'efficacia di polarizzazione. Per individuarlo si utilizza questa formula:

$$\Lambda < \lambda / 2$$

dove Λ è il **passo fra i singoli fili** e λ è la lunghezza d'onda della r.e.m. che si vuole polarizzare.

Per affinare e conoscere con precisione le proprietà fisiche e ottiche del reticolo di diffrazione WGP si potrà utilizzare il metodo RCWA-Rigorous Coupled Wave Analysis. Questo metodo è implementato in software di calcolo come G-Solver^(Grating Solver Development Company, USA) migliorare ulteriormente il grado di precisione del calcolo si deve Una definizione

Solitamente, se il substrato sul quale vengono costruiti i nano-filamenti è trasparente per tutte le lunghezze d'onda di interesse, si ha un dispositivo trasparente per le lunghezze d'onda più piccole del primo valore di interazione tra i filamenti e la

radiazione elettromagnetica. Mentre, dalla prima lunghezza d'onda totalmente polarizzata in poi si ha un effetto di polarizzazione pressoché costante con livelli di trasmissione globale sempre inferiori al 50%, nello stato chiaro, e inferiori all'1% per lo stato scuro.

Con la regola sopra esposta si garantisce una buona polarizzazione e si esclude la formazione di vari ordini di diffrazione per radiazione **normale alla superficie** del polarizzatore.

Però, il caso applicativo del progetto prevede che la radiazione incidente non sia normale al vetro; al contrario si avrà una molteplicità di angoli d'incidenza che dipenderanno dal percorso solare tipico del luogo in cui viene installata la schermatura. Risulta quindi importante prevenire la formazione delle frange colorate (radiazione visibile diffratta) secondo una precisa procedura matematica.

Per avere **Zero ordini di diffrazione** nel caso di r.e.m. incidente in modo non normale alla superficie, quindi inclinato, si deve rispettare la seguente relazione matematica:

$$\lambda(n_2 \cdot \text{Sen}\theta_2 - \text{Sen}\theta_1) \geq \Lambda$$

dove Λ è il periodo tra i filamenti metallici, n_2 è l'indice di rifrazione del substrato trasparente^{Tab.046} su cui sono fissati i fili del WGP, θ_2 è l'angolo di incidenza che si forma

tra il raggio luminoso e la normale del polarizzatore e θ_1 è l'angolo di rifrazione che si trova tramite la legge di Snell.

$$n_1 \cdot \text{sen}\theta_1 = n_2 \cdot \text{sen}\theta_2$$

dove n_1 , nel nostro caso, è l'indice di rifrazione dell'aria [1,0002926].^{Fig.045}

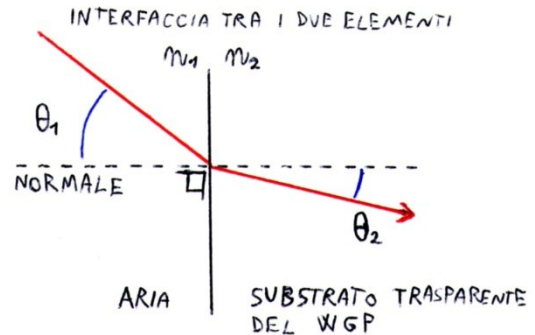


Fig.045 – Dati da considerare per il calcolo dell'angolo di rifrazione θ_2 secondo la legge di Snell.

Secondo questa teoria è possibile realizzare polarizzatori di tipo wire grid in grado di polarizzare progressivamente una gamma precisa dello spettro solare con l'unico limite dettato dalla trasparenza del substrato e dello strato protettivo che talvolta viene applicato sopra alla griglia lineare uniformemente distribuita.

I materiali **"trasparenti isotropi"** che presentano un indice di rifrazione^{Tab.046-047-048a-048b} compreso tra 1,3 e 2,7 risultano i più adatti per la costituzione del substrato del wire grid polarizer selettivo. Un sito utile per

la consultazione dell'indice di rifrazione dei materiali plastici a seconda della lunghezza d'onda specifica è il seguente.
<http://refractiveindex.info/legacy/?group=PLASTICS&material=PMMA>

I materiali che più comunemente vengono utilizzati per la realizzazione dei substrati di questi polarizzatori sono per esempio:

-Di origine **inorganica**: vetri o ceramici.

-O di origine **organica**: polimetilmetacrilato, resina di polistirene, policarbonato, resina di polivinilcloruro, resina di poliestere, resina di

Material Type	Acronym	Also Known as (AKA)	n_D at 589 nm at 25°C
Air	—	—	1.00029
Aero and textured polymers	—	—	1.2–1.3
Polytetrafluoroethylene	PTFE	Teflon	1.34
Polyvinylidene fluoride	PVDF	Ardel	1.42
Calcium fluoride	CaF ₂	—	1.43
Silicone	—	—	1.43
Fused silica	SiO ₂	—	1.46
Cellulose acetate butyrate	CAB	butyrate, Tenite	1.47
Triacetyl cellulose	TAC	—	1.48
Acrylate, acrylic	PMMA	Lucite, Plexiglass	1.49–1.50
Borosilicate	BK	BK-7	1.52
Polyvinyl alcohol	PVA	—	1.50–1.53
Cyclic olefin	COC, COP	Topas, Zeonor	1.53
Benzocyclobutene	BCB	Cyclotene	1.57
Polycarbonate	PC	Lexan	1.59
Polyester	PET	Mylar	1.65
Polyimide	—	Kapton	1.66

Tab.046 – Indice di rifrazione di una selezione tra i materiali isotropi trasparenti. "Optics of Liquid Crystal Display"

polietilene, resine chetoniche, resine polifenoliche, resina polisulfona, polipropilene, polibutilene tereftalato, resine acriliche, resina epossidica, resine a base di uretano, triacetato di cellulosa, etc.

I substrati e gli strati protettivi superiori di origine organica vengono preferibilmente scelti tra quelli capaci di indurire se sottoposti

a radiazione termica "termoindurenti" o tra le resine che induriscono sotto radiazioni di tipo ultravioletto che vengono utilizzate in alcuni processi di nano-fabbricazione.

Isotropic				
	Fluorite		1.392	
	Sodium chloride (NaCl)		1.544	
	Diamond (C)		2.417	
	CdTe		2.69	
	GaAs		3.40	
	Ge		3.40	
	InP		3.61	
	GaP		3.73	
Uniaxial		n_o	n_e	
Positive	Ice (H ₂ O)	1.309	1.310	
	MgF ₂	1.378	1.390	
	Quartz (SiO ₂)	1.544	1.553	
	Beryllium oxide (BeO)	1.717	1.732	
	Zircon (ZrSiO ₄)	1.923	1.968	
	YVO ₄	1.96	2.16	
	SnO ₂	2.01	2.10	
	LiTaO ₃	2.183	2.188	
	ZnS	2.354	2.358	
	CdS	2.483	2.511	
	Rutile (TiO ₂)	2.616	2.903	
	Negative	KDP (KH ₂ PO ₄)	1.507	1.467
		ADP [(NH ₄)H ₂ PO ₄]	1.522	1.478
Beryl [Be ₃ Al ₂ (SiO ₃) ₆]		1.598	1.590	
Sodium nitrate (NaNO ₃)		1.587	1.366	
Calcite (CaCO ₃)		1.658	1.486	
Tourmaline		1.638	1.618	
β-BaB ₂ O ₄ (BBO)		1.67	1.55	
Sapphire (Al ₂ O ₃)		1.768	1.760	
Lithium niobate (LiNbO ₃)		2.300	2.208	
Barium titanate (BaTiO ₃)		2.416	2.364	
Proustite (Ag ₃ AsS ₃)	3.019	2.739		
Biaxial		n_x	n_y	n_z
	Gypsum	1.520	1.523	1.530
	Feldspar	1.522	1.526	1.530
	Mica	1.552	1.582	1.588
	Topaz	1.619	1.620	1.627
	Sodium nitrite (NaNO ₂)	1.344	1.411	1.651
	YAlO ₃	1.923	1.938	1.947
	SbSI	2.7	3.2	3.8

Note: The refractive indices of most materials depend on the wavelength (dispersion). The listed numbers are typical values.

Tab.047 – Indice di rifrazione di una selezione tra i materiali isotropi trasparenti. "Optics of Liquid Crystal Display"

Qualora sia necessario migliorare l'adesione tra il substrato e il pattern metallico si può applicare uno strato di materiale dielettrico

η	T (°C)	Wavelength (nm)	n_e	n_o		
MBBA Schiff base	25	467.8	1.837	1.575		
		480	1.825	1.57		
		508.6	1.802	1.563		
		589	1.764	1.549		
		643.8	1.749	1.544		
RO-TN-601	25	467.8	1.718	1.515		
		480	1.7116	1.5131		
		508.6	1.7041	1.5098		
		546.1	1.6937	1.506		
Phase 4 Licristal (EM-Merck), azoxy	25	546.1	1.856	1.5606		
		589.3	1.8291	1.553		
K15 (5CB) (BDH, Ltd), cyanoalkylbiphenyl	25	436				
		509	1.7411	1.5443		
		577	1.7201	1.5353		
		644	1.7072	1.5292		
		30	436	1.7648	1.5624	
	30	509	1.725	1.5481		
		577	1.7044	1.539		
		644	1.6926	1.5323		
		K22 (5CB) (BDH, Ltd), cyanoalkylbiphenyl	22	436	1.7769	1.5415
				509	1.7319	1.5282
577	1.7115			1.5203		
644	1.7001			1.5148		
30	436			1.755	1.5436	
30	509		1.7173	1.5296		
	577		1.6981	1.5216		
	644		1.6866	1.5154		
	M15 (5OCB) (BDH, Ltd), cyanoalkoxybiphenyl		50	589	1.7187	1.5259
M21 (7OCB) (BDH, Ltd), cyanoalkoxybiphenyl	50	589	1.7019	1.5122		
M24 (8OCB) (BDH, Ltd), cyanoalkoxybiphenyl	50	589	1.6983	1.5028		

Tab.048a – Indice di rifrazione di una selezione tra i cristalli liquidi nematici trasparenti. "Optics of Liquid Crystal Display"

scelto solitamente tra gli ossidi metallici quali: ossido di silicio, nitruri, alogenuri, etc.

Il materiale che deve essere utilizzato per la costruzione del reticolo polarizzatore deve avere un alto indice di riflessione. Fig.033

Normalmente si utilizza l'alluminio o l'argento ma possono essere impiegati anche metalli preziosi quali l'oro, il platino, il rame o altre leghe altamente riflettenti.

	T (°C)	Wavelength (nm)	n_e	n_o		
E5 (BDH, Ltd) K15 – 45% + K21 – 24% + M15 – 10% + M21 – 9% + M24 – 12%	20	436	1.8038	1.5447		
		509	1.7584	1.5303		
		577	1.736	1.5228		
		644	1.7222	1.5169		
		30	436	1.7856	1.5455	
	30	509	1.7417	1.5318		
		577	1.7208	1.5232		
		644	1.7071	1.5172		
		E7 (BDH, Ltd), K15 – 47% + K21 – 25% + M24 – 18% + T15 – 10%	20	436	1.8208	1.544
				509	1.7737	1.5311
577	1.75			1.5231		
644	1.7354			1.5175		
E8 (BDH, Ltd), 3 cyanobiphenyls and 1 cyanoterphenyl	30			589	1.76	1.52
N10 (Merck), azoxy compounds + aromatic esters	30	589	1.77	1.56		
PCH-1132 (Merck), 3 cyanophenyl-cyclohexanes + 1 cyanobiphenyl-cyclohexane	30	589	1.62	1.49		
PCH-5	20	436	1.6408	1.5048		
		509	1.6229	1.4954		
		546	1.6173	1.4924		
		589	1.6122	1.4895		
		633	1.608	1.4872		
	25	436	1.6408	1.5028		
		509	1.6194	1.4939		
		546	1.6137	1.4913		
		589	1.6089	1.4884		
		633	1.6049	1.4863		
ZLI-1646	20	589	1.558	1.478		
ZLI-4792	20	589	1.573	1.479		
MLC-6608	20	589	1.5578	1.4748		
MLC-6810	20	589	1.5824	1.4828		
MLC-6885	20	589	1.5820	1.4821		
MLC-6886	20	589	1.570	1.480		

Tab.048b – Continuazione della Tab.048a

Nel caso di applicazioni in cui la componente radiativa normalmente riflessa deve essere assorbita si realizzano nano-fili multistrato composti da materiale dielettrico alternato a strati di materiale non dielettrico. Una descrizione significativa della procedura di sovrapposizione e della scelta delle componenti da utilizzare si trova nel brevetto **US2008316599** riportato in appendice.

Per il materiale superficiale di protezione sono solitamente utilizzati dei materiali trasparenti di origine polimerica (polietilene tereftalato, triacetato di cellulosa, etc.) degli adesivi o degli ossidi di: silicio, titanio, alluminio, zinco, zirconio, etc.)

Utilizzando le formule sopra enunciate è stato verificato su un foglio di calcolo:

-il passo **del periodo** Λ_{MAX} [nm] sotto il quale bisogna rimanere, nella progettazione dei filamenti, affinché si verifichi solo l'ordine di diffrazione "Zero".^{Fig.049}

-l'indice di rifrazione n_2 del substrato, tale da garantire solo l'ordine di diffrazione "Zero" per tutti gli angoli solari possibili a latitudini mediterranee.

Ulteriori approfondimenti significativi sono contenuti nella selezione dei brevetti, riportati in appendice.

Dall'analisi dei brevetti e delle schede tecniche di prodotti WGP con simile fattura è emerso che le tecniche di nano-fabbricazione preferibili per la fabbricazione di ampie superfici wire grid sono quelle di nano litografia (***NIL nanoimprint lithography***), in particolare quelle con processi ***Roll to Roll*** che consentono di realizzare ampie superfici ripetibili. L'estensione dei filtri realizzati con questa tecnica tocca il centinaio di metri e varia a seconda dello spessore del filtro prodotto e del porta rullo sul quale verrà arrotolato il filtro.

Ricerca, sviluppo, caratterizzazione del dispositivo, domande e ragionamenti progettuali

4.1.0 L'integrazione "possibile"...

Con il progetto sviluppato per la partecipazione al concorso Switch2Product si sono realizzati piccoli prototipi^{Fig.049} atti alla verifica delle proprietà di trasmissione variabile della radiazione solare incidente e della nitidezza visiva. Essi hanno consentito alcune riflessioni in merito all'integrazione fra il mondo delle schermature e quello dell'industria vetraria.

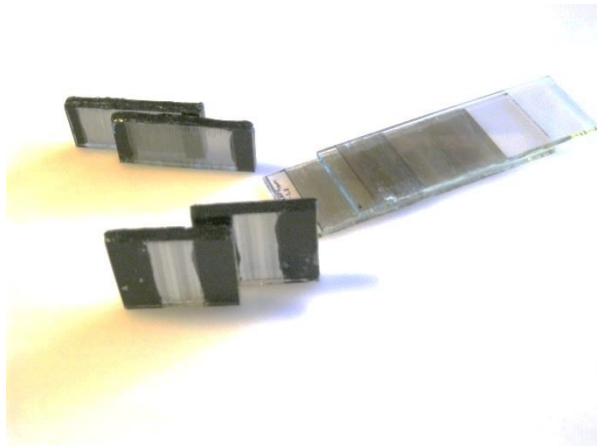
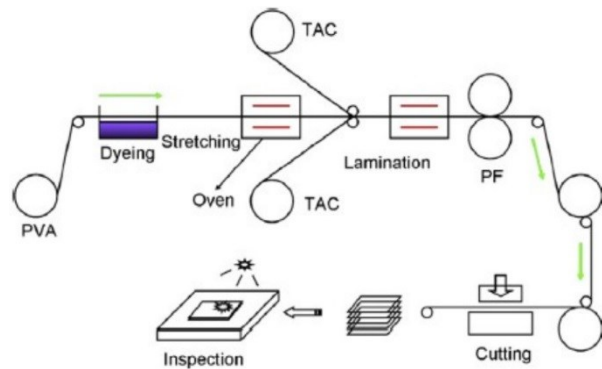


Fig.049 – 3 prototipi di vetri polarizzati con una moltitudine di assi di polarizzazione. Ogni prototipo si differenzia dagli altri per la larghezza delle fasce con asse di polarizzazione indipendente.

I dispositivi schermanti, in questo caso, sono composti da una coppia di filtri polarizzatori "polaroid" formati da due strati protettivi in TAC (triacetato di cellulosa) con interposto un foglio di PVA (alcol polivinilico) drogato con una soluzione colorante a base di iodio.

Durante la fase produttiva^{Fig.050} lo strato di PVA viene tinto con i cristalli di iodio e poi allungato meccanicamente per consentire un allineamento uniforme degli elementi cristallini. Subito dopo, lo strato polarizzatore viene protetto da entrambi i lati tramite delle pellicole in TAC caratterizzate da livelli di trasmittanza, nel visibile, superiori al 93%.

Il prodotto finito misura (0.08 [mm]) 8 centesimi di millimetro e può presentare, uno strato satinato anti riflesso.



Tab.050 – Schema del procedimento produttivo di un filtro polaroid drogato con cristalli di iodio.

Pensando ad un'applicazione architettonica si nota subito che lo strato anti-riflesso impedirebbe la nitidezza del dispositivo andando a comprometterne l'uso.

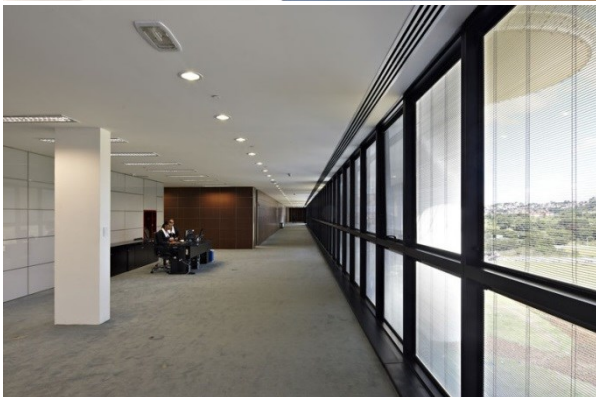


Fig.051a – Città amministrativa Tancredo Neves, Belo Horizonte, Brasile. Arch. Oscar Nimeyer

Il progetto intende trovare la soluzione più adeguata all'integrazione del filtro con il sistema vetrato. Ottimo esempio di integrazione sono le schermature della Pellini-Screen Line^{Fig.051a.b.c} che sono dotate di veneziane, tende a plissé e tende a rullo all'interno della vetrocamera.

Con questa strategia si intende ottenere il massimo beneficio in termini di durevolezza della schermatura e di efficienza nell'interazione tra uomo e ambiente.



Fig.051b – Parallelo, Milano, IT. Arch. Mario Cucinella

L'integrazione tra i sistemi domotici e l'essere umano può ridursi a dei semplici bottoni o pulsanti a sfioro, la precisione del movimento e il lento logorio delle componenti meccaniche, protette dentro alla vetrocamera, garantiscono affidabilità al dispositivo.



Fig.051c – Villa privata a Codogno, IT

L'installazione di una schermatura integrata è funzione dell'intero organismo architettonico che la circonda. Infatti, laddove non sia disponibile un organismo efficiente, dal punto di vista termico e da quello del controllo della componente luminosa, si vanificheranno i benefici derivanti dalla scelta di installare dispositivi di questo tipo.

L'aggiornamento normativo, con un'elevazione dei parametri di trasmittanza termica d'involucro, dei parametri di ermeticità dei locali "**Blower door Test**" legati a doppio filo con le certificazioni energetiche, e una nuova coscienza ambientale portata avanti dai principali progettisti, dirige

l'architettura verso la realizzazione di **sculture ermetiche**.

Ermeticità che va a modificare i comportamenti e le abitudini dei fruitori finali che non dovranno più aprire le finestre durante la stagione estiva. Saranno invece l'involucro e l'impiantistica che doseranno in modo intelligente gli apporti di energia tra i differenti ambienti al fine di ottenere alti livelli di comfort con la massima efficienza globale.

Tuttavia, in un panorama dove l'edificio risulta autonomo nelle scelte relative all'involucro, e la presenza umana subisce quasi passivamente queste scelte; si ritiene opportuno studiare nuove soluzioni in grado di restituire il necessario contatto visivo tra interno ed esterno.

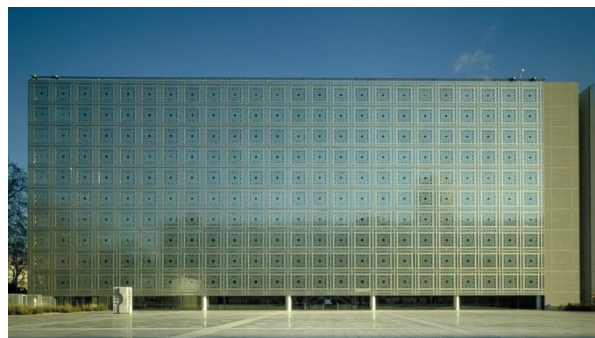


Fig.052 – Vista sui 240 "moucharabieh" che connettono e separano fisicamente e dinamicamente l'ambiente indoor dalla piazza che si trova a sud-ovest rispetto all'edificio

4.2.0 I problemi della durata e del surriscaldamento. La ventilazione “possibile”

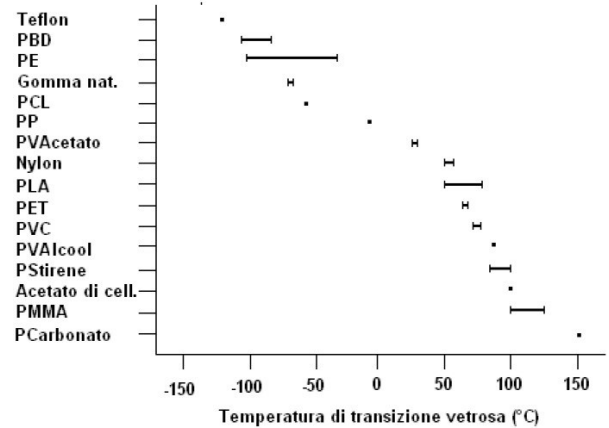
I filtri **polaroid** che si utilizzano nel progetto G4S^{ALPHA} sono solitamente applicati a monitor e schermi televisivi LCD che risultano decisamente meno esposti alla radiazione solare di quanto lo sarebbero gli stessi se fossero utilizzati come dispositivi per la protezione solare.

Approfondendo ciò che si è scritto in precedenza, questi filtri sono composti: da uno strato cristallino ^{iodiochinina} idrosolubile che viene protetto da 1+2 strati di origine organica (plastici_1 a base vinilica e due esterni a base acetilica). Per far sì che questi strati non abbiano un comportamento gommoso è indispensabile confrontare la temperatura di esercizio con quella di transizione vetrosa. Se quest'ultima dovesse risultare inferiore alla T_g ci sarebbe un problema di stabilità temporale del filtro. Infatti, lo si sta candidando ad un compito che lo farà rimanere in posizione verticale incollato al vetro per molti anni.

Andiamo quindi a vedere un grafico ove sono dichiarate le temperature di vetrificazione dei due materiali. ^{Tab.053}

Come si può notare il PVA e il TAC iniziano a subire una transizione dagli 80 [°C]^{PVA} e dai 100 [°C]^{TAC}; queste temperature sembrano molto superiori alle temperature massime stagionali che si verificano alle

nostre latitudini. Ciò nonostante, l'elevato indice di assorbanza del filtro per la componente UV e VIS, sommato all'incremento di assorbanza del 50% nella parte VIS che si verifica qualora si decidesse di utilizzare il massimo oscuramento, potrebbe causare dei problemi di surriscaldamento del materiale plastico.



Tab.053 – Grafico con le temperature di transizione vetrosa delle principali materie plastiche. ^{“deradazione dei polimeri”}

Per escludere questo inconveniente si sono ideati sistemi di raffreddamento che corrono lateralmente-verticalmente rispetto alla vetrocamera e che avrebbero dovuto estrarre il calore accumulato nell'intercapedine sigillata. Questi scambi di calore sarebbero dovuti essere di tipo convettivo ^{aria intercapedine-}profilo distanziatore ^{conduttivo} ^{profilo distanziatore} e poi convettivo ^{profilo distanziatore-aria camino} all'interno di uno speciale profilo fermavetro metallico solidale con un piccolo camino d'aria metallico verticale direttamente connesso con

l'ambiente interno ed esterno.^{Fig.054} La formazione di depressione indoor, avrebbe portato all'introduzione naturale di aria fresca tramite un piccolo condotto **apribile** nella parte bassa del telaio mobile.

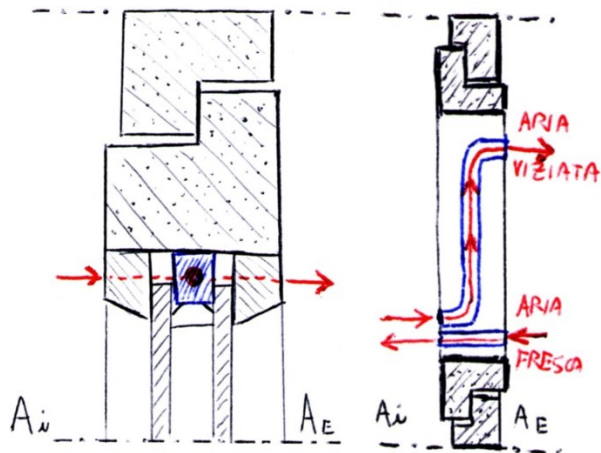


Fig.054 – Schema di ventilazione naturale e ricircolo dell'aria attivato nel serramento grazie all'effetto camino.

Poiché questa soluzione non avrebbe risolto il problema del surriscaldamento differenziale del vetro si sono realizzate altrettante soluzioni progettuali che prevedevano flussi convettivi atti ad interessare l'intercapedine per tutta la sua larghezza. In queste ipotesi sono state disegnate alcune soluzioni che permettessero l'analisi degli effetti dati dal posizionamento dei due filtri: verso l'interno o verso l'esterno.

Se il filtro fosse stato addossato alla vetrata più interna, presumendo un forte assorbimento della componente solare incidente, avrebbe portato del discomfort

radiativo in fase estiva ed un maggiore guadagno per trasferimento secondario (ri-emissione) in fase invernale.

Altresì, se fosse stato addossato alla vetrata più esterna si sarebbe persa una buona percentuale della componente solare che viene assorbita (anche nello stato chiaro) durante il periodo invernale.

Entrambe le soluzioni registrano un decadimento prestazionale dal punto di vista della trasmittanza termica globale poiché il declassamento di una camera da **sigillata** a **ventilata** (seppur apribile e chiudibile meccanicamente) riduce di molto la resistenza termica dell'elemento isolante. Inoltre si sono riscontrati problemi legati alla necessità di pulire periodicamente l'intercapedine ventilata.

In conclusione, la soluzione studiata per ottenere il massimo beneficio dall'intercapedine ventilata è quella dell'inserimento della vetrocamera in un serramento capace di ruotare di 180° attorno ad uno dei due assi e che sia riposizionabile in base all'evenienza e alla stagione. Il progetto intendeva effettuare una modifica ai dispositivi a **ribalta quasi totale**, già esistenti. Questo sistema viene attualmente utilizzato per favorire la pulizia della superficie esterna del vetro in finestre ad unica anta.^{Fig.055}



Fig.055 – Funzionamento di un'anta a ribalta quasi totale.

Si analizzano poi ulteriori fenomeni legati al decadimento prestazionale:

gli effetti della **foto-degradazione**, con conseguente depolimerizzazione e ossidazione delle plastiche, sono ridotti al minimo poiché, solitamente, nella vetrocamera sigillata viene estratta l'aria, quindi anche l'ossigeno, e viene poi inserito per il 98% del volume un gas nobile quale l'Argon, il Cripton o lo Xenon.

Un'ulteriore protezione dai raggi ultravioletti, causa principale della foto-degradazione, potrebbe essere effettuata utilizzando un vetro esterno stratificato^{Fig.016} al posto del vetro semplice.

4.3.0 Interazione “visibile”

Se dal punto di vista della durabilità del dispositivo si sono riscontrate e risolte le varie problematiche, dal punto di vista ottico scopriremo che sono presenti alcuni difetti invalidanti ai fini progettuali.^{vedi il Cap. 4.4.1}

Sono stati presi a campione alcuni filtri provenienti da dispositivi LCD per effettuarne analisi di tipo qualitativo e quantitativo.^{Fig.056}



Fig.056 – Scatti realizzati durante la fase di recupero dei filtri polaroid.

Apparentemente il filtro si trova in linea con la teoria della polarizzazione; si nota quindi un livello di trasmissione nel visibile inferiore al 50%^{Fig.057} e una variazione lineare della stessa in base all'angolo che si forma tra gli assi di polarizzazione dei due filtri sovrapposti.^{Fig.059}

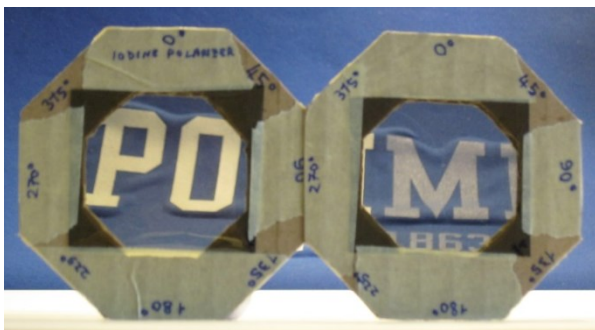


Fig.057 – Trasmissione di due filtri polaroid singoli con fondale sovraesposto per simulare le condizioni di illuminazione ambientale esterne diurne.

Negli scatti fotografici realizzati sui provini costruiti per le analisi di laboratorio (discusse nel capitolo 4.3.1) si noti l'intensità luminosa della sagoma ottagonale proiettata al centro dell'ombra del provino.^{Fig.058}

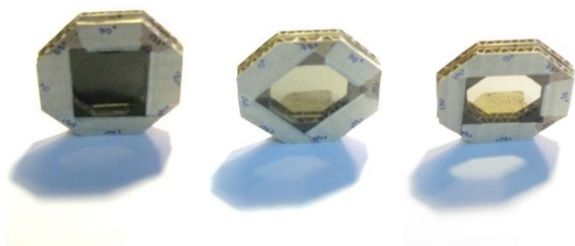
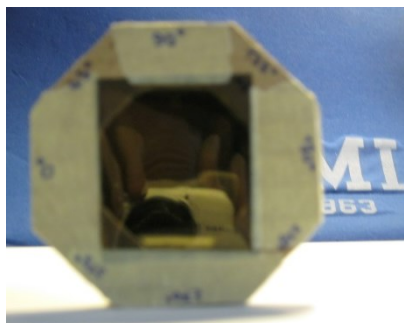
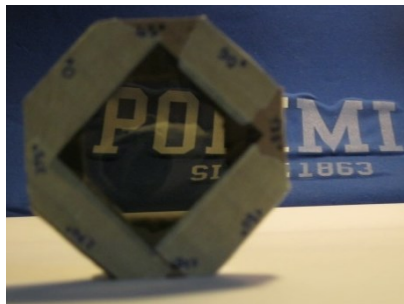


Fig.058 – Prove qualitative di trasmissione di due provini sovrapposti con angolo tra gli assi di polarizzazione $\theta_1=90^\circ$; $\theta_2=45^\circ$; $\theta_3=0^\circ$

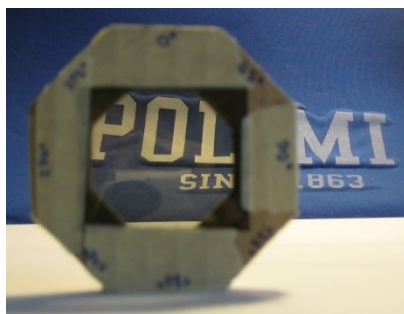
Con le fotografie mostrate nella figura 059 si vuole mettere in luce le proprietà di nitidezza visiva che si può ottenere tramite l'utilizzo di filtri polaroid lucidi sovrapposti. Al variare del flusso trasmesso la qualità visiva non cambia. Si osservi come la **luminanza** dei corpi interni



$\theta_1=90^\circ$;



$\theta_2=45^\circ$;



$\theta_3=0^\circ$;

Fig.059 – Trasmissione di due filtri polaroid sovrapposti con fondale sovraesposto per simulare le condizioni di illuminazione ambientale esterne diurne. Si propongono 3 situazioni tra quali differisce unicamente l'angolo θ tra l'asse di polarizzazione del primo e del secondo filtro.

al locale^{la macchina fotografica} risulti prevalente nella situazione di totale opacità del filtro rispetto a quella dei soggetti più illuminati dell'ambiente esterno^{scritta polimi}.

In questo caso si vede l'immagine della fotocamera riflessa sulla superficie del dispositivo.

Insieme all'immagine riflessa l'utente finale percepisce, durante la fase di totale oscuramento, il colore "nero" come tinta predominante nel dispositivo. Questo fenomeno si verifica per la capacità di assorbimento pressoché totale, della radiazione visibile incidente che proviene da entrambi i lati del dispositivo.

Il primo filtro riesce, tramite l'eccitazione mono-assiale delle molecole cristalline, ad assorbire tutte le componenti della radiazione visibile, inclinate a $+45^\circ$ rispetto all'asse verticale, e il secondo dispositivo assorbe le componenti ortogonali alle prime (-45°). Fig.060

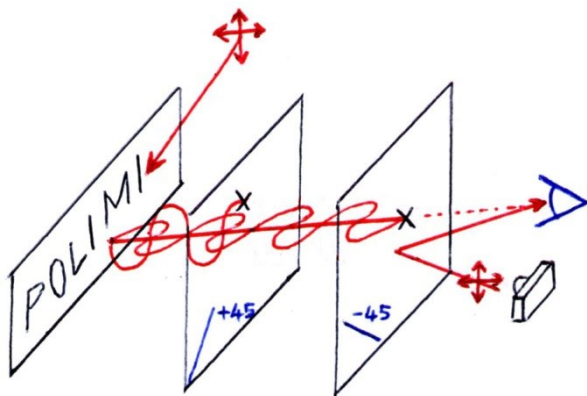


Fig.060 – Schema di trasmissione dei dispositivi affiancati

Facendo un'ulteriore prova qualitativa, con l'obiettivo di verificare l'eventuale perdita di trasparenza e di nitidezza nei confronti di un sistema vetrato standard (doppio vetro con

cristalli non rivestiti), si può notare che: dall'utilizzo di questo filtro si ottiene una visione chiara e nitida anche in situazioni di radiazione solare incidente diretta. Fig.061,062ab



Fig.061 – Affiancamento del dispositivo filtrante ad una vetrocamera priva di depositi superficiali.



Fig. 062a - Scatto con senza alcun filtro tra obiettivo e soggetto (Alto) _ 062b - Scatto con il filtro posizionato tra l'obiettivo e il soggetto (Basso)

Affiancamento del dispositivo filtrante ad una vetrocamera priva di depositi superficiali.

Come per gli occhiali da sole polarizzati viene ridotto il riverbero del cielo, dell'acqua e delle riflessioni dirette dei materiali.

La **riduzione dell'abbagliamento** è dunque un vantaggio di questa tecnologia che, legato alla **riduzione dell'affaticamento visivo** in caso di sovraesposizione luminosa, sommato alla possibilità di **regolare dinamicamente la componente visibile** dello spettro solare e all'esclusione di ripetuti **interventi manutentivi** rende questo prodotto potenzialmente appetibile per il mondo della progettazione architettonica.

La tecnica del polarizzatore sovrapposto a 90° viene utilizzata principalmente nei dispositivi per la riproduzione di immagini ove la rotazione dello stato di polarizzazione della luce VIS viene demandata alla disposizione di particolari cristalli colesterici.

Per esempio uno schermo LCD è formato da tantissimi pixel, ^{Fig.063} ognuno dei quali misura 0,3*0,3 [mm] ed è composto da tre piccolissime celle contenenti i cristalli liquidi caratterizzati da una specifica curva di trasmissione nell'intervallo del visibile. ^{Fig.063}

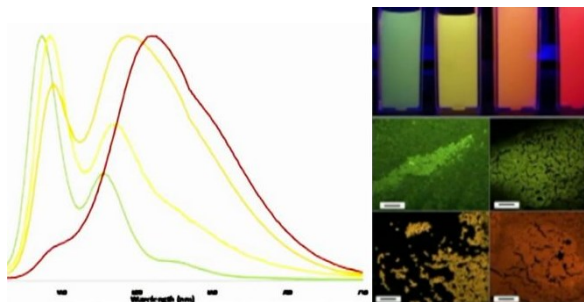


Fig. 063 – Curva di trasmissione dei cristalli utilizzati per gli LCD

Per generare i colori dei pixel viene stabilita quale percentuale debba attraversare ogni singola RGB, sarà poi il nostro cervello insieme ad una ragionevole distanza dal dispositivo a generare la fusione dei colori trasmessi. ^{Fig.064}

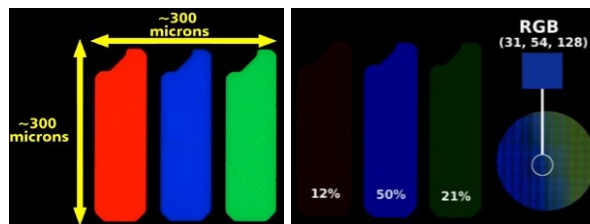


Fig. 064 – Dimensioni di un pixel e determinazione di un colore mediante il metodo RGB

La percentuale di trasmissione di ogni singolo elemento è governata elettronicamente tramite la differenza di tensione tra i due elettrodi in ITO-IndiumTinOxide che racchiudono le celle.

Sotto un campo elettromagnetico i cristalli si dispongono in modo ordinato, tale da favorire la trasmissione e la rotazione del piano di polarizzazione della radiazione e.m. incidente (la retroilluminazione). ^{Fig.065}

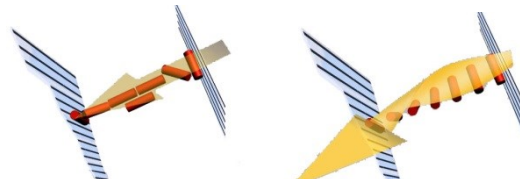


Fig. 065 – I cristalli anisotropi (velocità di trasmissione differente in base all'orientamento del cristallo), disposti caoticamente all'interno delle celle, non consentono la rotazione dello stato di polarizzazione della luce "Schermo nero" (a sinistra). Nell'immagine (a destra) la rotazione di 90° dello stato di polarizzazione permette la trasmissione massima della r.e.m. incidente.

Tuttavia uno degli obiettivi principali del progetto è quello di riuscire a regolare dinamicamente la trasmissione della r.e.m. in modo passivo (senza l'utilizzo di energia elettrica o termica). Questa scelta sembra ragionevole e coerente con lo scopo ultimo di una schermatura solare.

Se durante la sua fase di funzionamento richiedesse dell'energia, per proteggere i locali dagli apporti energetici gratuiti dati dalla radiazione solare, io penso che sarebbe un po' un controsenso e che andrebbe valutato nel bilancio e. finale anche il consumo del dispositivo.

L'aspetto ancor più sconvolgente è che i principali dispositivi elettro-cromici disponibili sul mercato debbano utilizzare una tensione tra i 4 e i 12 volt per mantenere lo stato chiaro. Una volta che viene tolta la tensione il dispositivo si scurisce.

Questo funzionamento sembra perlomeno contraddittorio con i motivi che spingono il progettista e l'utente finale ad installare una chiusura trasparente al posto di una chiusura opaca.

I dispositivi termo-cromici, al contrario si oscurano una volta che l'irraggiamento solare diretto abbia surriscaldato la superficie dinamica applicata al vetro. Questo prevede quindi che vi sia un certo periodo di tempo in cui l'utente subirà dei fenomeni di abbagliamento ed inoltre vi saranno problematiche nelle stagioni intermedie.

La possibilità di **regolazione istantanea** e la possibilità di **programmazione delle interazioni** con gli **stimoli esterni** e con i **feedback d'uso** sono il motivo principale che rende i vetri elettro-cromici la tecnologia favorita fra quelle disponibili.

Il progetto qui descritto mira a prendere gli aspetti positivi di entrambe le tecnologie applicandoli ad un sistema di regolazione ottico che quindi è passivo.

4.4.0 Preparazione delle analisi al Thermalab e studio della normativa

Per poter simulare i potenziali effetti sull'architettura di un dispositivo basato sul filtro **polaroid** e per poter elaborare delle schede comparative fra i diversi prodotti presenti sul mercato, è stato necessario identificare le normative utili alla determinazione delle caratteristiche termiche e luminose dei dispositivi trasparenti per l'architettura.

L'elenco delle normative studiate è riportato nelle sezioni **Bibliografia**.

La più importante e anche la più controversa, è stata la normativa UNI EN 410 **"Vetro per edilizia-Determinazione delle caratteristiche luminose e solari delle vetrate"**.

Si è scritto controversa perché, se da un lato è servita per individuare le denominazioni e le unità riconosciute dal SI per i parametri principali da misurare per ogni singolo provino, dall'altro lato si è reso utile procedere con l'elaborazione di nuove procedure matematiche in grado di fornire dei risultati affidabili nella caratterizzazione di questo particolare dispositivo.

In questo senso si è deciso di contattare i laboratori di ricerca "Polimi" più attinenti al progetto per poter individuare l'eventuale esistenza di strumentazione atta alla misurazione delle grandezze spettrofotometriche per le lunghezze d'onda

tipiche della radiazione solare^{secondo UNI 410} (300-2500[nm]).

Il laboratorio individuato è stato il **"ThermaLab"** afferente al **Dipartimento di Energia del Politecnico di Milano** e gestito dal professor Alfonso Niro e dai gentilissimi ricercatori Damiano Fustinoni e Luigi Vitali.

Presso tale struttura è possibile realizzare misurazioni con lo spettrofotometro **"Perkin Elmer Lambda 950"**^{Fig.066} il cui range di misurazione va da 150[nm] a 3000[nm].



Fig. 066 – In primo piano, spettrofotometro Lambda 950; in secondo piano, calcolatore elettronico per l'acquisizione e rielaborazione dei dati.

Per le misurazioni nella gamma UV si è utilizzata una sorgente al **Deuterio**^{Fig.067} mentre per l'intervallo del **visibile-vicino infrarosso** si è montata una sorgente a incandescenza con filamento standard al **Tungsteno**. L'affidabilità della misura, rispetto ad altri strumenti di analisi, è garantita dall'utilizzo di una sfera integratrice^{Fig.068} da



Fig. 067 – Alloggiamento delle sorgenti luminose: lampada al tungsteno (a sinistra) e sorgente al deuterio (a destra).

150[nm] internamente rivestita in *spectralon*, che è in grado di valutare l'intensità del segnale ricevuto indipendentemente dall'angolo di incidenza della r.e.m. (nell'intervallo 8° (quasi normale) - 65°).

Il dispositivo compara il valore riflesso o trasmesso dal provino a seconda del suo posizionamento.

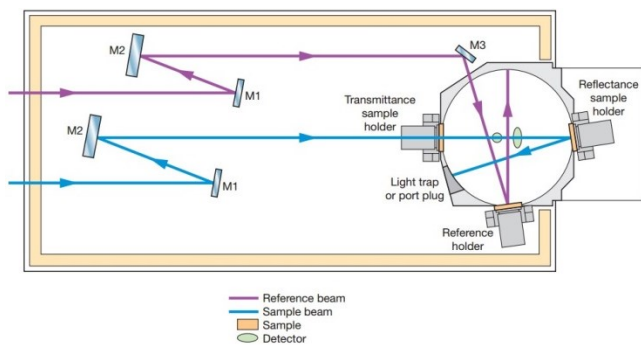


Fig. 068 – In viola è disegnato il percorso che fa il raggio *base* con il quale verrà comparato il valore ricevuto dal tragitto blu che attraversa o si riflette nel provino "sample" da analizzare.

Il provino viene alloggiato a ridosso della sfera integratrice, sulla direttrice del raggio incidente, quando si vuole misurare il valore di τ_{0} ($\tau\%$) - **trasmissione globale** (diretta+diffusa). Altrimenti, qualora si desideri la τ_{0} della sola r.e.m. diretta il campione viene alloggiato su di un supporto girevole Fig.069 che dista qualche centimetro dall'apertura presente sull'analizzatore. In questo modo la componente scatterata/diffusa viene dispersa prima della misurazione.

Quando si è misurata la riflettanza globale del singolo provino e/o della coppia di filtri si è posizionato il campione nella parte



Fig. 069 – Il mio provino è alloggiato sul supporto centrale girevole; sono state effettuate anche misurazioni di trasmissione diffusa+diretta a ridosso della sfera (sulla sinistra del corpo nero) e misurazioni di riflettanza (quasi normale) posizionando il provino entro quel tappo bianco che si vede a destra dell'immagine.

retrostante rispetto alla sfera integratrice (dentro al tappo bianco che si vede in Fig.069.). Nel caso di una schermatura solare verticale o orizzontale è importante conoscere il livello di riflettanza globale (diffusa+diretta) quindi si è mantenuta chiusa la “Trappola di luce”.^{Fig.070} Questa “trappola” non è altro che un foro che viene aperto nel caso si desideri disperdere la componente di riflessione diretta andando a quantificare la parte di riflessione diffusa.

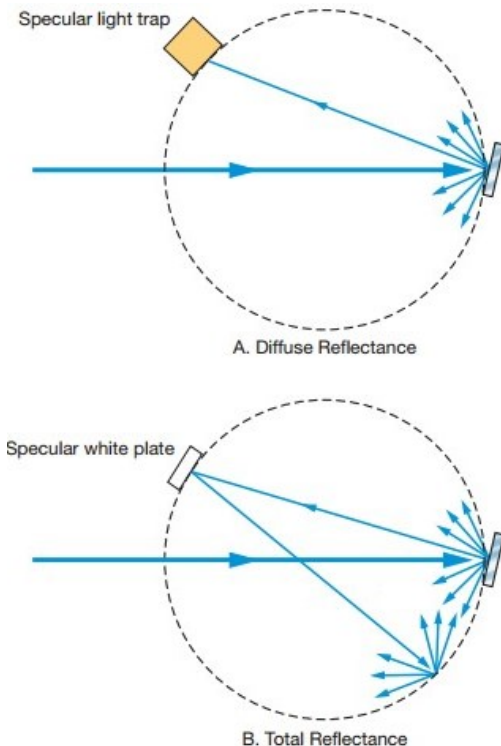


Fig. 070 – Configurazione del dispositivo URA per la misurazione del livello di riflettanza diffusa o globale (diffusa+diretta).

Le dimensioni dei provini ammesse variano da un minimo di ~2,5 [cm] di diametro a ~7 [cm]. I quattro provini che ho preparato (2 Iodine polarizer e 2 Wire Grid polarizer VIS+NIR) hanno forma ottagonale e il quadrato nel quale sono inscritti misura 4*4[cm].^{Fig.071}

Il foro per l'analisi del raggio è di diametro 20 [mm] e l'angolo massimo di misurazione, con provini di dimensione limitata è di 60° poiché girando il provino la dimensione dello stesso, in relazione al foro analizzatore, si riduce notevolmente. Infatti non si esclude che nei dati che vedremo alcune minime imprecisioni di misurazione in trasmissione per angoli di ~60° siano causate dall'ostruzione parziale del foro.

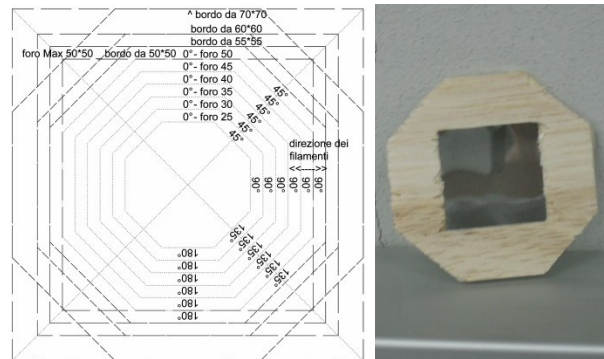


Fig. 071 – Progetto del provino per campioni adattabili allo strumento d'analisi e ruotabili per angoli noti (0°-45°-90°-135°) al fine di verificarne i comportamenti ottico-termici legati all'anisotropia del prodotto WGP.

Per misurazioni di riflettanza con angoli variabili è stato installato un URA (Universal, Reflectance Accessory) sul quale è possibile appoggiare direttamente il provino e che è in

grado di ruotare in modo automatico l'angolo di incidenza del raggio luminoso/termico. Si ripropongono di seguito gli schemi di funzionamento per angoli di incidenza minimo **quasi normale**(8°) e massimo 68° . Fig.072-073

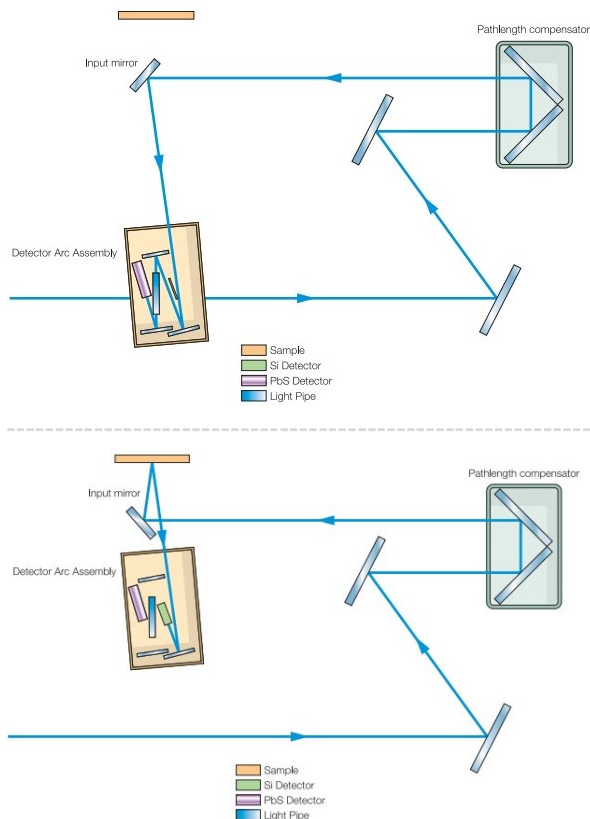


Fig. 071 – (sopra) Schema per l'analisi della radiazione BASE (angolo di incidenza 8°) proveniente dalla sorgente e (sotto) schema per la misurazione della radiazione e.m. riflessa sul provino (con ang. Di incidenza di 8°).

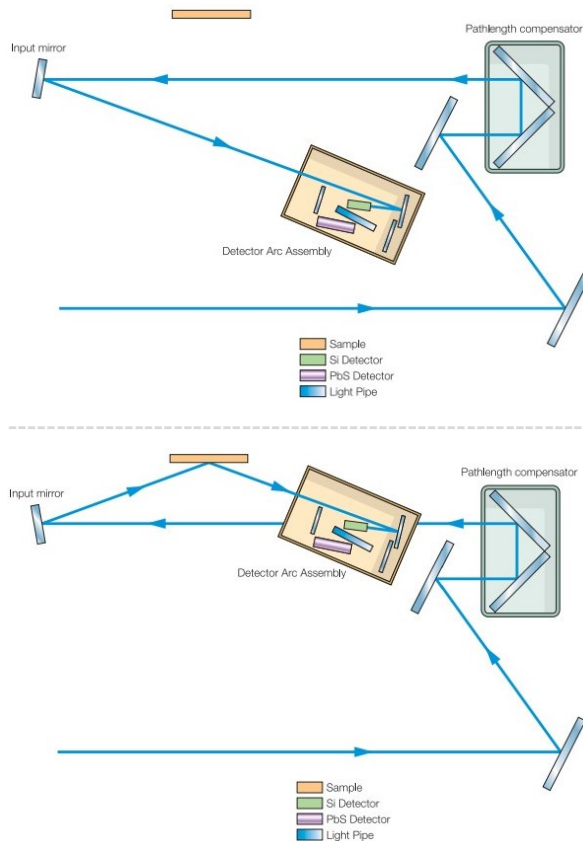


Fig. 072 – Schema per l'analisi della radiazione BASE (angolo di incidenza 68°) proveniente dalla sorgente e schema per la misurazione della radiazione e.m. riflessa sul provino (con ang. Di incidenza di 68°)

Per quanto riguarda la determinazione dei parametri, la normativa UNI EN 410 propone una procedura che tiene conto della misurazione con radiazione incidente quasi parallela e **quasi normale** alla superficie dei valori τ e ρ .

Calcola i valori di trasmittanza e riflettanza mettendoli in relazione con la distribuzione illuminante D65 e la sensibilità dell'occhio umano, ^{Tab.131} con la distribuzione dello spettro solare ^{Tab.135} nell'intervallo 300-2500[nm] e con la precisazione della distribuzione spettrale nella gamma dell'UV. ^{Tab.136}

Quindi viene richiesto di **misurare sperimentalmente**:

-La **trasmittanza luminosa** τ_v e la **riflettanza luminosa** ρ_v nel visibile 380-780[nm], ogni 20 [nm]

-La **trasmittanza solare** τ_e e la **riflettanza solare** ρ_e . 300-2500[nm], ogni 20-50-100[nm] a seconda della vicinanza alla gamma VIS

-La **trasmittanza** nell'**ultravioletto** τ_{UV} 300-380[nm], ogni 5[nm].

E viene richiesto di **ricavare in modo analitico**:

-le rispettive **assorbanze** α_v , α_e , α_{UV}

-il **fattore solare g**

-il coefficiente di ombreggiamento **Shading Coefficient SC**

4.4.1 Caratterizzazione del materiale_Thermalab

Si è proceduto all'impostazione dello strumento ^{Fig.073} con l'inserimento di alcuni parametri per la calibrazione delle sorgenti luminose, dettando il cambio di sorgente a 319.2[nm] (sostituzione della sorgente al deuterio-UV con quella al tungsteno VIS+NIR). Si è poi indicato l'intervallo di analisi 300-2500 [nm] con registrazione dei dati ogni 10 [nm] e si è posizionato il provino sul supporto girevole per le misure di Trasmittanza.

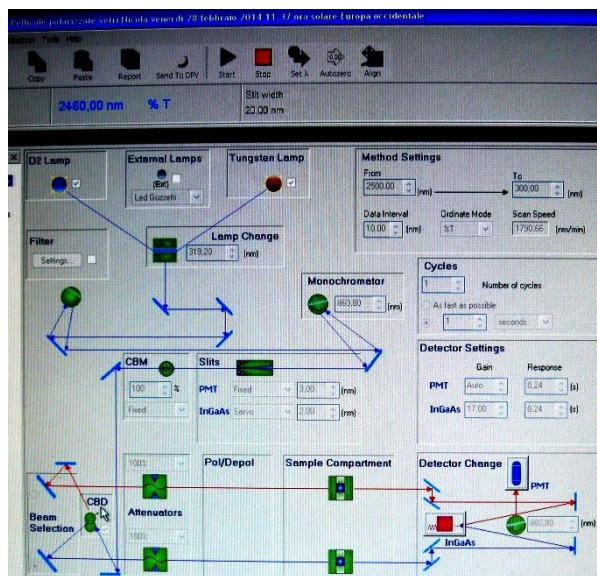


Fig. 073 – Schema per le impostazioni dell'intervallo di lettura, e dell'utilizzo delle lampade. I monocromatori e la slitta mobile permettono il parallelismo e la monocromaticità del raggio (unica lunghezza d'onda analizzata con la precisione massima di 1 [nm]).

- Con la prima misurazione strumentale si è voluto indagare quale fosse la risposta in trasmissione del singolo provino sottoposto a radiazione incidente con angolo d'incidenza quasi normale costante e con orientamenti diversi dell'asse di polarizzazione. Il provino viene ruotato 4 volte attorno all'asse x (posizione del lato superiore "0°"- "45°"- "90°"- "135°"). Fig.074 e Fig.075

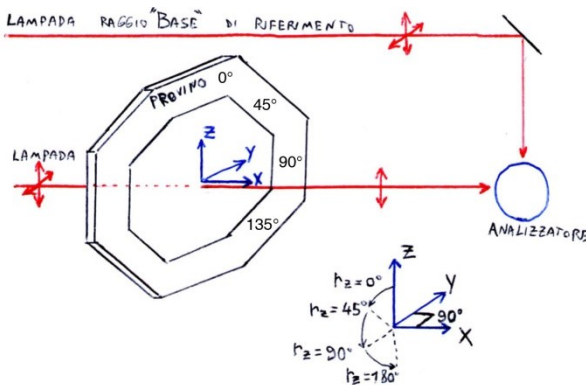


Fig. 074 – Schema con indicazione degli assi e delle rotazioni di giacitura del provino attorno all'asse X.

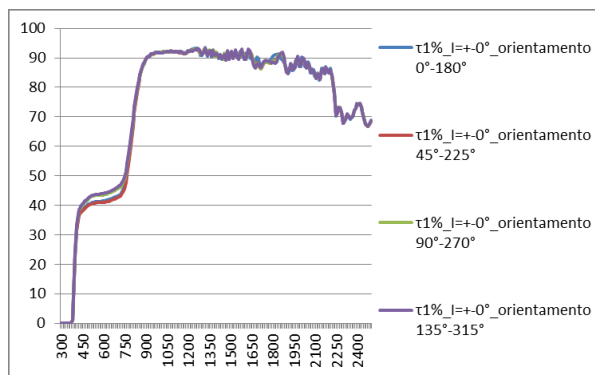


Fig. 075 – Risultati sperimentali. Trasmittanza solare τ di un provino singolo per diverse giaciture. Scostamenti massimi del ~3%

In questo caso^{Fig.075} si nota che, per medesimi angoli di incidenza della "luce", l'anisotropia del materiale cristallino non incide quasi per niente ne sulle prestazioni ottico-visive^{380-780[nm]} ne su quelle termiche^{780-2500[nm]}.

Nel picco di sensibilità visiva diurna^{Fig.022-023} a 550 [nm] lo scostamento dei risultati è nell'ordine del 2.8%. Mentre nel campo termico si hanno dei risultati pressoché uguali per le diverse giaciture.

- Nella seconda serie di misurazioni^{Fig.076}, rappresentate con linee arancioni con differenti tratti, si sono analizzate le **trasmittanze**, **riflettanze** e **assorbanze** di una coppia di provini Polaroid sovrapposta con angolo tra gli assi di polarizzazione uguale a 0° (Stato chiaro). Rispetto ai valori di trasmittanza registrati per il singolo provino, si nota una riduzione di trasmissione del **6,2%** della $\tau_{v\&e}$ a 550 [nm], del **13,8%** della τ_e a 850 [nm] (picco massimo di emissione solare nel vicino infrarosso NIR)^{Fig.015} e del **7,1%** della τ_e a 1000 [nm] (secondo picco di emissione della radiazione solare nel NIR).^{Fig.015}

Complessivamente si registra l'assorbimento quasi totale della radiazione UV ($\alpha_{UV} \sim 96\%$).

Nel visibile si ha, intorno ai 550[nm] un livello di assorbanza poco superiore al 50% ($\alpha_v \sim 57,5\%$) dato dall'effetto di

polarizzazione di circa la metà della componente solare incidente e dall'ulteriore assorbanza propria degli strati di TAC.

E i livelli di trasmittanza e riflettanza misurano rispettivamente ($\tau_V \sim 35\%$) e ($\rho_V \sim 7,5\%$).

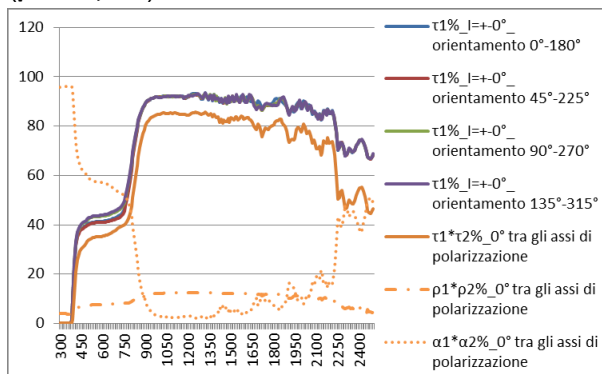


Fig. 076 – Risultati Sperimentali. Le linee arancioni sono riferite alla caratterizzazione di una coppia di filtri polaroid e sono mostrate in contemporanea ai livelli di trasmittanza di un singolo provino (linee colorate).

I valori sopra esposti fanno subito pensare all'inadeguatezza di questo filtro per un'eventuale applicazione come schermatura solare.

L'utente finale, durante la stagione calda, desidererebbe mantenere i livelli di illuminamento atti a soddisfare i diversi compiti visivi legati alle mansioni svolte all'interno dei locali. Ma, è costretto ad interporre degli schermi tra se e la radiazione solare per proteggersi dall'apporto termico che essa comporta.

Infatti, un buon dispositivo, è quello capace

di assorbire o riflettere la componente termica e quella UV lasciandosi oltrepassare solo da quella visibile (seppur sia anch'essa una radiazione energetica che si trasforma in calore per la % assorbita dagli oggetti).

Sebbene il filtro Polaroid analizzato riesca a assorbire gli UV e a modulare la componente VIS^{Fig.077} non ha alcun potere di interazione con la componente NIR che viene riflessa solo per il ($\rho_V \sim 10.7\%$ a 850 [nm] & $\rho_V \sim 12.2\%$ a 1000 [nm]).

Si prenda come riferimento la riflettanza di un vetro float da 4[mm] che vale circa $\rho_V \sim 8\%$ per entrambi i picchi di emissione dei NIR.

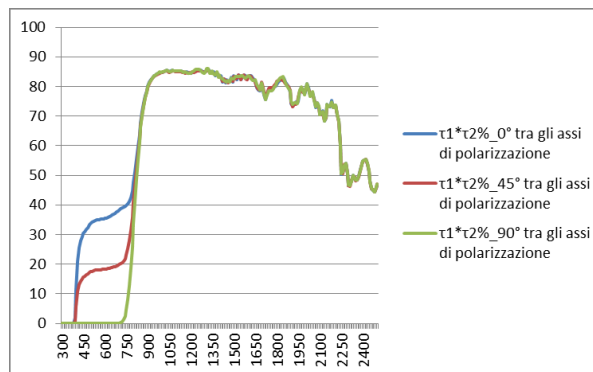


Fig. 077 – Capacità di regolazione della componente visibile per effetto della polarizzazione. L'angolo θ tra gli assi di polarizzazione dei due filtri giustapposti misura: 0° (Stato chiaro) - 45° (stato intermedio) e 90° (Stato scuro).

La capacità di modulare la trasmissione visibile dal ($\tau_{V \text{ chiaro}} \sim 35\%$) al ($\tau_{V \text{ scuro}} \sim 2,6\%$), di assorbire gli UV e di consentire la massima

percentuale di apporti solari gratuiti in ogni stagione rende auspicabile l'installazione di questo dispositivo solo per latitudini elevate ove praticamente non esiste la stagione calda o i picchi termici estivi siano modesti. È quindi ideale per facciate vetrate esposte a Sud capaci di mantenere la monumentalità data dalle superfici vitree e di regolare i fenomeni di abbagliamento senza compromettere l'accumulo degli apporti termici gratuiti offerti dalla radiazione solare.

Il guadagno principale che si ottiene dall'applicazione di polarizzatori "*dinamici*" alle vetrate, e che spesso si tende a trascurare nella stesura del bilancio globale dei benefici che può portare un sistema, è una efficace ma *discreta* modulazione della radiazione visibile, poiché capace di mantenere in ogni istante, il contatto visivo tra interno e esterno.

4.5.0 Progettare pensando alla "*forma*", ruotare l'angolo tra gli assi di polarizzazione senza rotazioni del vetro.

All'inizio si pensava che l'applicazione di questa tecnologia si sarebbe potuta estendere solo al mercato delle nuove costruzioni o ad un mercato di nicchia come quello degli oblò navali.

Il motivo che mi portava a pensarlo era la sostanziale applicabilità limitata alle chiusure trasparenti di *forma circolare*. Come abbiamo visto fino ad ora, per poter modulare la trasparenza di una coppia di filtri polarizzatori è necessario modificare l'angolo che si viene a formare tra i due assi di polarizzazione dei due dispositivi uniformemente e linearmente distribuiti lungo un'asse di P. La soluzione circolare si prestava bene ad una applicazione industriale immediata, con i prodotti già esistenti, ma risultava poco funzionale per la maggior parte dei potenziali fruitori e mal inserita nel processo produttivo. Quindi, il prodotto, sarebbe stato poco scalabile, non accessibile all'ampio mercato dell'edilizia civile e industriale tradizionale ed in definitiva poco ambizioso.

Per fortuna, il pensiero persistente di questo problema e la formazione artistica-scientifica e architettonica che ho ricevuto hanno poco alla volta fatto maturare in me la convinzione che potesse esistere una soluzione *geometrica* utile allo scioglimento della complicazione principale.

Infatti, dopo aver disegnato più volte sui tovaglioli di carta dei dispositivi più o meno articolati che potessero utilizzare una moltitudine di filtri con asse di polarizzazione orientabile o alternabile mi venne l'idea. Si trovò la soluzione "per forma" che risulta ancora valida per i dispositivi più evoluti che verranno introdotti nei prossimi capitoli.

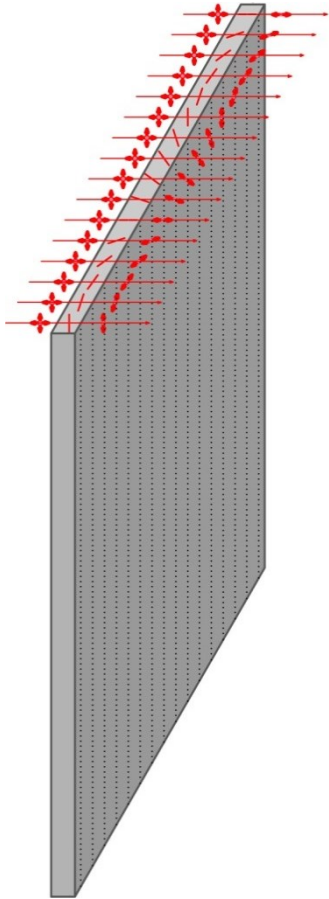


Fig. 078 – Polarizzatore non uniforme. Il filtro è un elemento unico e solidale ma al suo interno la componente cristallina è orientata secondo diverse direzioni preordinate. Il motivo del pattern si ripete più volte per tutta l'estensione del filtro.

La proposta è quella di produrre una coppia di polarizzatori che presentino al loro interno

delle fasce di forma regolare con estensione prettamente longitudinale e il cui asse di polarizzazione differisca dalle fasce adiacenti per un angolo fisso scelto in fase progettuale; più è piccolo questo angolo, maggiori saranno le opzioni di trasparenza intermedia tra lo stato chiaro e quello scuro.

La rotazione progressiva dell'asse di polarizzazione deve essere continua e deve ripetersi per tutta la larghezza del filtro. ^{Fig.078}

I due filtri, caratterizzati da una pluralità ripetitiva di assi di polarizzazione, sono inseriti nella vetrocamera ed almeno uno dei due può muoversi linearmente ed ortogonalmente rispetto alla direzione di estensione delle fasce. ^{Fig. 079}

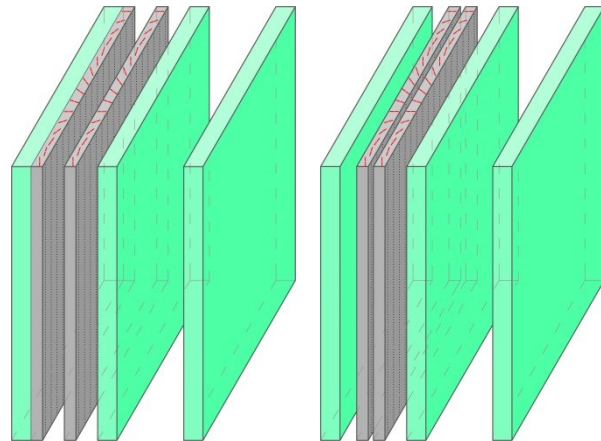


Fig. 079 – (a sinistra) Configurazione del dispositivo con il triplo vetro ed il filtro polarizzatore fisso in adesione con il vetro più esterno per favorire la dispersione dell'energia assorbita. _ (a destra) si ha la medesima configurazione ma il filtro P. viene posizionato in prossimità di quello mobile per incrementare la capacità di estinzione del dispositivo nel caso si adoperi un filtro che interagisce sia con la componente VIS che con quella NIR.

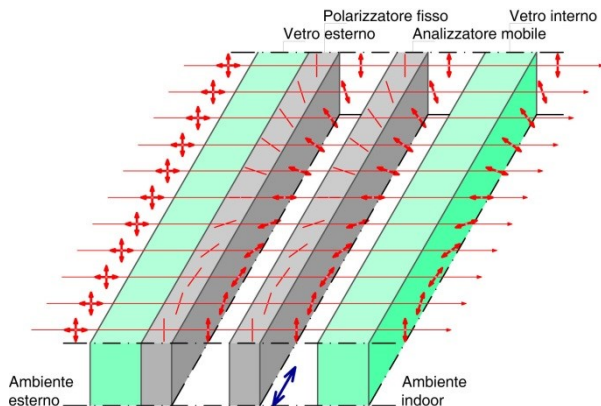


Fig. 080 – Dispositivo allo stato CHIARO. _ L'angolo θ tra la pluralità di assi di polarizzazione propri dei due filtri è uguale a 0° e quindi, secondo la L. di Malus la trasmissione è massima. Circa il 50% della radiazione elettromagnetica incidente.

Lo spostamento relativo tra i due filtri polarizzatori consente la sovrapposizione, lungo la direzione di propagazione della radiazione e.m., di giaciture sempre diverse tali da riuscire a regolare lo stato di trasmissione del dispositivo. Fig.080-081-082

Per verificare l'effetto che un polarizzatore di tale fattura avrebbe potuto dare all'utilizzatore finale si è deciso di realizzare, con i filtri disponibili, dei provini reali.

Si è proceduto quindi al disegno di una maschera CAD da stampare su un primo filtro, utile come guida per la fase di taglio manuale. Fig. 083a-083b

Nella parte bassa della figura 82° si trovano dei piccoli campioni che differiscono per larghezza delle fasce (0,35[mm]; 0,5[mm]; 0,75[mm]; 1,0[mm]; 1,5[mm]). Prove di questo tipo sono state effettuate sia con

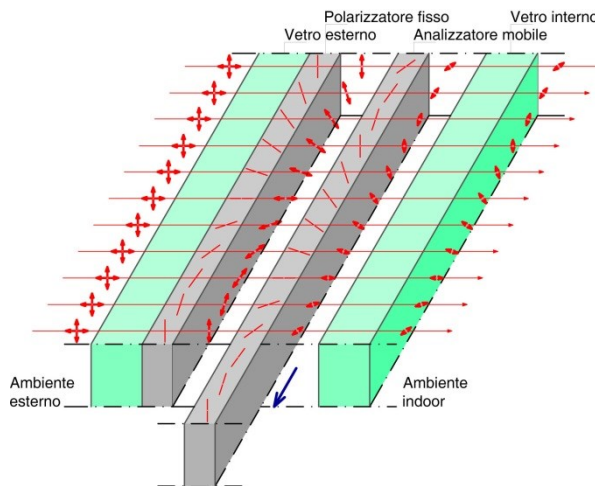


Fig. 081 – Dispositivo allo stato INTERMEDIO. _ L'angolo θ tra la pluralità di assi di polarizzazione propri dei due filtri è uguale a 54° e quindi, secondo la L. di Malus la trasmissione è di circa il 17% rispetto ad I_0 .

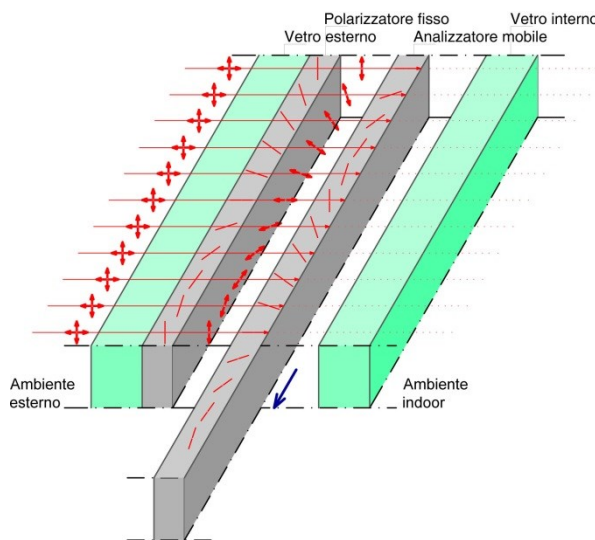


Fig. 082 – Dispositivo allo stato SCURO. _ L'angolo θ tra la pluralità di assi di polarizzazione propri dei due filtri è uguale a 90° e quindi, secondo la L. di Malus la trasmissione è pari a Zero o quasi.

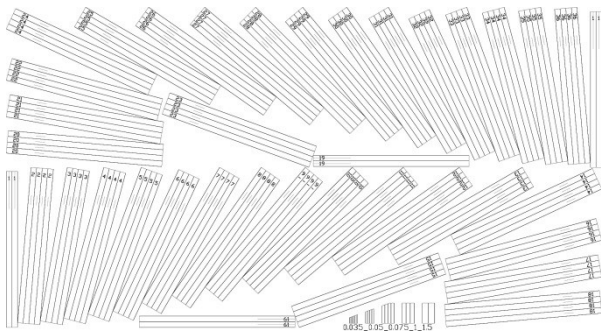


Fig. 082a – Maschera cad che riporta l'orientamento e la numerazione delle fasce caratterizzate da assi di polarizzazione differenti.



Fig. 082b – Impressione della maschera sul primo filtro che è poi stato tagliato manualmente e ricomposto lungo l'asse verticale.

l'ausilio di un cutter manuale che con la tecnologia della stampa a taglio laser per diversi livelli di potenza.

Con una prima verifica qualitativa si è riscontrato un certo grado di imperfezione nei provini realizzati con entrambe le tecniche.

Inoltre, se i risultati ottenuti dal punto di vista ottico possono essere adatti per lo stadio

prototipale, non si può affermare lo stesso per un possibile prodotto industriale.^{Fig.084}

Il sistema dell'interruzione lineare dello strato cristallino genera nella piccola fessura, effetti di distorsione ottica e di diffrazione luminosa visibile come frange bianco-rossastre che riducono notevolmente la nitidezza del dispositivo. Sarebbe necessario ottenere a livello industriale un filtro unico-solidale al cui interno siano disposti gli elementi cristallini lungo assi differenti.

Ciò che si propone rimane tuttavia un desiderio poiché, per quanto riguarda i filtri **polaroid**, attualmente non è possibile realizzare un prodotto così strutturato. La linearità e uniformità del filtro è data dal fissaggio dei cristalli di iodio su catene molecolari mono-assiali di PVA^{Fig.083} che vengono stirate e allungate meccanicamente in un'unica direzione per orientare i cristalli prima del processo di protezione con lo strato di Triacetato di cellulosa.

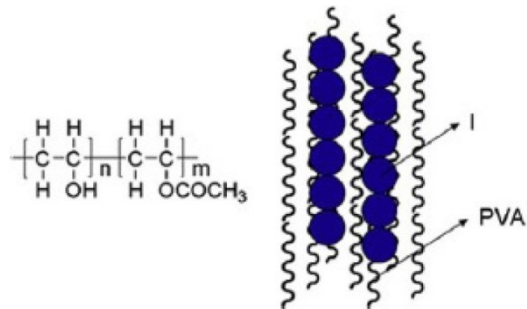


Fig. 084 – Struttura chimica del PVA e orientamento uni-assiale di una catena di molecole drogate con cristalli di iodio.

Risulta difficile pensare ad un sistema complesso ove le catene di alcol polivinilico possano essere allungate progressivamente per angoli diversi mantenendo continuità e dimensioni uniformi per ogni direzione. Prove di disegno geometrico per linee che cambiano direzione o che procedono lungo percorsi curvilinei hanno confermato questo dubbio.

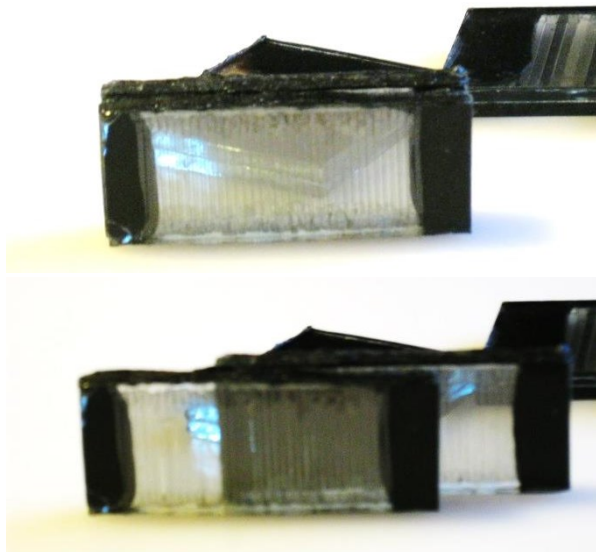


Fig. 084 – (in alto) trasparenza tipica di un provino con polarizzatore multi-assiale. _ (in basso) Traslando linearmente i provini in primo piano si ottiene una riduzione sostanziale dei livelli di trasmittanza della coppia fino ad un livello di trasmissione pressoché nulla.

Una ulteriore difetto riscontrato sui campioni^{Fig.084} è quello della sostanziale dipendenza della trasmittanza dall'angolo di incidenza della radiazione luminosa. Questo comporta che l'utilizzatore, in alcuni momenti

della giornata, noterà differenze di trasmittanza tra un punto e l'altro del dispositivo.

Questo problema è risolvibile sempre per "forma".

Si è pensato che come negli schermi LCD è presente una moltitudine di ri-emettitori di colore rosso-verde e blu invisibili all'occhio umano, già per distanze superiori ai 5 cm, allo stesso modo la riduzione del passo tra le fasce polarizzatrici ad intervalli nell'ordine dei decimi di millimetro porti alla scomparsa di questo lieve disturbo ottico.

Questa meccanica viene ripresa nel progetto GLASS ⚡ SEASON VIS·NR^{BETA} dove l'intervallo di interferenza tra il filtro e la r.e.m. comprende anche la gamma della radiazione visibile.

Per contro, nel caso del prototipo in PVA+TAC^{Fig.048} la riduzione della larghezza della fascia ritagliata darà una predominanza sostanziale al disturbo che si verifica nelle interfacce di taglio rendendo inutilizzabile il prodotto.

5.1.0 Polarizzazione ad ampio spettro

Se nel primo progetto il dispositivo può interagire dinamicamente solo con la componente visibile della radiazione solare 380-780[nm]. In questa ulteriore proposta si è fatto un'ulteriore passo avanti verso la progettazione di un dispositivo adatto al mondo delle protezioni solari per l'architettura.

Per capire come estendere la capacità di polarizzazione all'intera gamma dello spettro solare sono state analizzate le trasmittanze spettrali di centinaia di prodotti presenti sul mercato. L'indagine si è allargata ai mondi dei dispositivi: biomedicali, aerospaziali, per la videoproiezione 3d, per i laser e per la comunicazione di dati con r.e.m. polarizzate trasmesse nelle fibre ottiche.

I dati rilevati sono incoraggianti dal punto di vista delle prestazioni ottiche e termiche, un po' meno da quello dei prezzi per unità di superficie dei polarizzatori commercializzati.

I dispositivi con l'attitudine alla polarizzazione "Broad Band" – cioè a banda larga sono già stati descritti nei capitoli 3.70 e 3.8.0. Come abbiamo visto sono polarizzatori a griglia metallica ove il periodo tra i fili, il materiale costitutivo dei cordoni e il substrato trasparente sul quale viene depositato il reticolo

metallico determinano la prima lunghezza d'onda oltre alla quale si ha un efficace effetto di polarizzazione.

Confrontando la teoria della polarizzazione con le schede tecniche dei polarizzatori lineari uniformi dei principali laboratori (Moxtek,^{120[nm]}Fig.085a-b Thorlabs,^{Fig.086a-b} Edmundoptics,^{Fig.087a-b} Asahi Kasei E-Materials,^{145 e 100[nm]} Fig.087a-b-c-d etc.) si è potuto stabilire che la realizzazione di reticoli metallici con periodo tra i fili $\Lambda < 160[\text{nm}]$ restituisce un filtro capace di polarizzare l'intera gamma dello spettro solare (300-2500[nm])^{Fig.085,086,087} con prestazioni pressoché costanti in tutta la gamma.

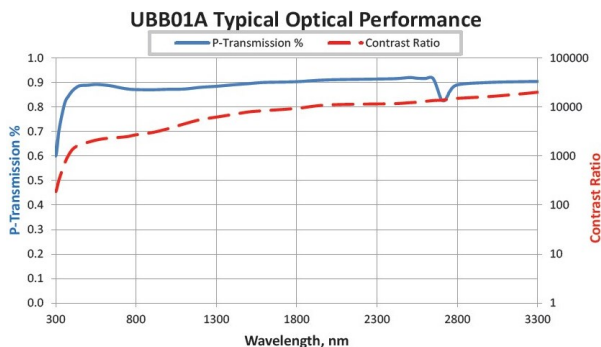
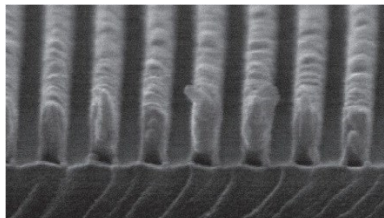


Fig. 085a-b – (sopra) Trasmittanza spettrale T_p 300-3300[nm]. "ProFlux UBB01A Ultra Broadband polarizer"- www.moxtek.com - (sotto) Immagine al microscopio elettronico del filtro – Periodo tra i filamenti ($\Lambda \cong 120[\text{nm}]$).



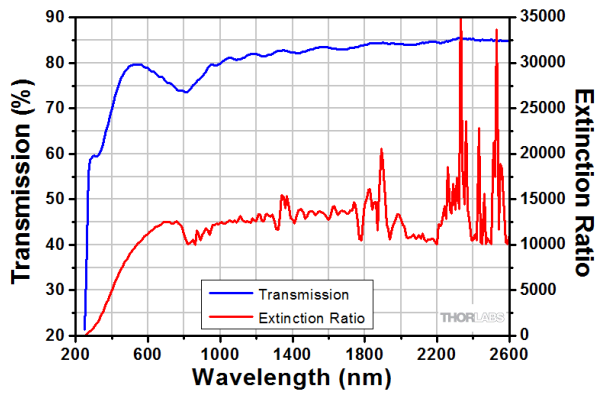


Fig. 086a-b – (sopra) Trasmittanza spettrale Tp 200-2600[nm].
 “Ultra Broad Band Wire Grid Polarizer”- www.thorlabs.de
 (sotto) Foto del filtro (502[€] - 50*50[mm])

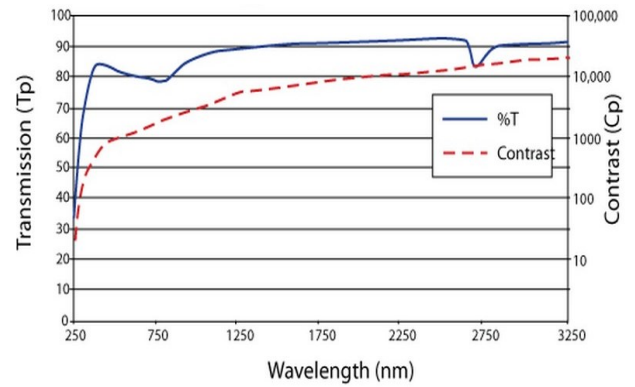


Fig. 087a-b – (sopra) Trasmittanza spettrale Tp 250-3250[nm].
 “Ultra Broad Band Wire Grid Polarizer” con filamenti in alluminio
 nanostruiti fra due strati vitrei- www.Edmundoptics.com -
 (sotto) Foto del filtro (1895[€] - 50*50[mm])



Per i seguenti prodotti WGF (Wire Grid Filter) della Asahi Kasei E-Materials si ha un passo di: $\Lambda \cong 145[\text{nm}]$ per il filtro denominato “Product”; e di $\Lambda \cong 100[\text{nm}]$ per il due filtri denominati “High Contrast “ e “High transmittance” ove cambia leggermente la quantità di alluminio depositato sui filamenti plastici preformati^{Fig.087c} appartenenti al substrato plastico trasparente.

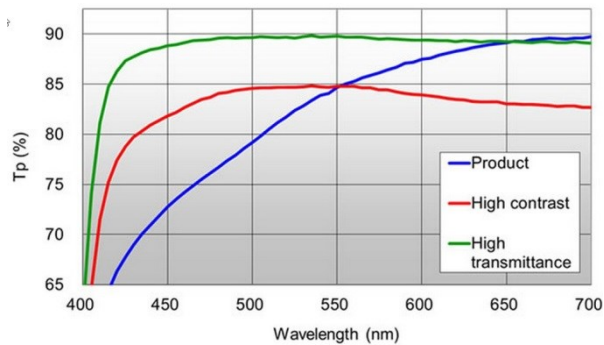


Fig. 087a-b – (in alto) Trasmissione spettrale T_p 400-700[nm]. 3 tipi di prodotti flessibili poiché depositati su pellicole TAC anziché su vetrino “WGF_Wire grid Filter”_Asahi Kasei E-Materials. (in basso) Trasmissione spettrale T_s 400-700[nm]. (300[€] - 260*210[mm])

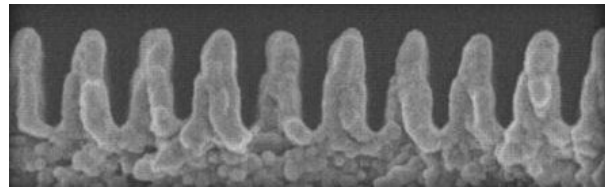
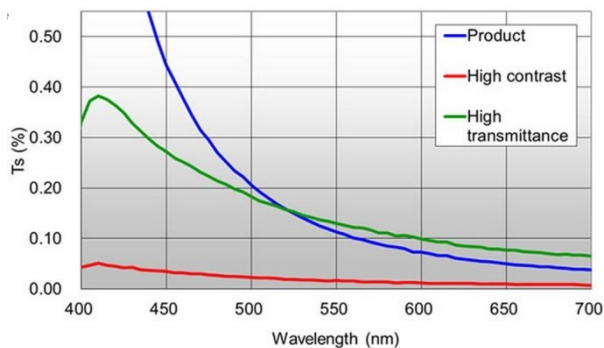


Fig. 087c-d – (in alto) Immagine al microscopio elettronico della sezione della struttura a filamento in Al del WGF. Si noti la presenza di peduncoli plastici rialzati (parte in basso a sinistra dei filamenti) rispetto al substrato plastico e sui quali è fissato l’alluminio (parte superiore e a destra dei filamenti visti in sezione) (in basso) Efficienza di polarizzazione del WGF in confronto ai valori standard dei filtri polaroid (400-700[nm]).

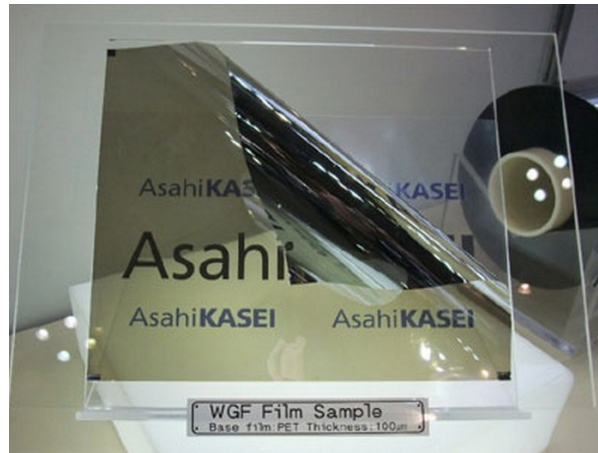
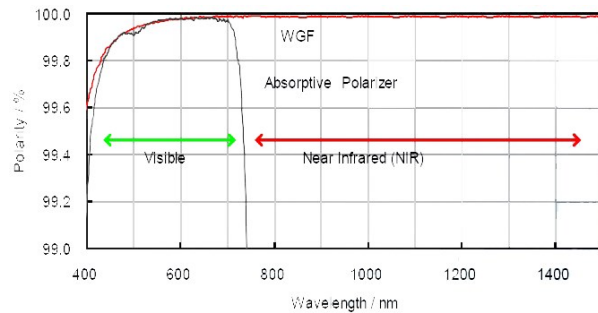


Fig. 088 – Fotografia del filtro WGF di Asahi Kasei E-Materials. Sullo sfondo il rotolo sul quale viene stoccato il filtro dopo il procedimento di nano-fabbricazione “NIL_Roll to Roll”

I dispositivi visti in precedenza, rispetto a quelli della A.K.E-Mat., sono prodotti per la maggior parte mediante deposizione “**Vapor Sputtering deposition**” di uno strato di alluminio su un supporto di vetro.

Successivamente scavato mediante “**Nano-litografia da fascio elettronico**” o tramite attacco chimico con maschere Mold dalle dimensioni limitate. ^{Fig.088}

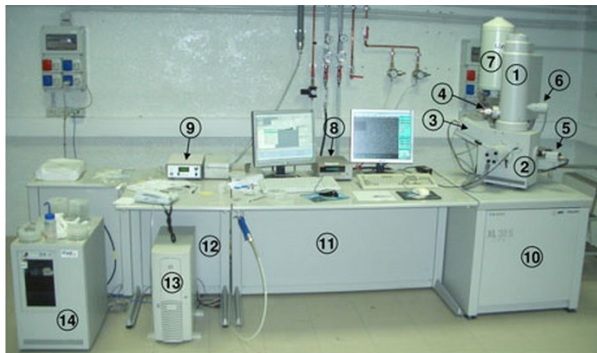
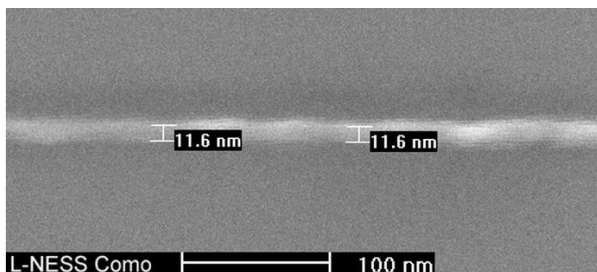


Fig. 088a-b – (in alto) postazione del laboratorio L-Ness del Politecnico di Milano_Polo di Como. Al nr. (2) si ha il cuore del dispositivo per la nano litografia da fascio elettronico “Electron Beam Lithography_Nil-EBL”, con esso si possono realizzare pattern con una precisione che raggiunge i ~10 [nm].

(in basso) una costruzione da 3[nm] di cromo e 10[nm] di oro costruita su un substrato in S_iO_2/Si



L’innovatività del procedimento utilizzato dalla A.K. E-Mat. “Nano Imprinting Lithography” con processo “Roll-toRoll” permette al produttore di realizzare delle superfici continue del medesimo pattern nano-strutturato fino a raggiungere estensioni di centinaia di metri. Questo procedimento realizza un vantaggio competitivo sui competitor portando il prezzo per un singolo foglio di WGF a (300[€] - 260*210[mm]).

Questo significa che per provini delle dimensioni di 50*50[mm]^{dimensione degli altri WGP} il WGF costerebbe 13,63[€] contro i (500-1800[€]) dei WGP prodotti con EBL su vetro.

E’ evidente che i due prodotti sono destinati a mercati differenti, quelli su vetro devono resistere alle alte temperature dei laser mantenendo una purezza ottica costante, mentre il WGF è destinato al mondo della proiezione delle immagini (fotocamere, proiettori, schermi lcd, dispositivi per la realtà aumentata).

5.1.1 Costruiamo un filtro *Wire Grid Broadband* patternizzato per l'architettura

Per far sì che i dispositivi sopra esposti possano trovare spazio in campo architettonico ci sono da compiere ancora alcuni passi per raggiungere un' **integrazione efficace** ed una caratterizzazione specifica che li renda **traslabili linearmente**.

Per questo motivo si prendono in considerazione le analisi già effettuate per il progetto che utilizzava il filtro cristallino.

Quello che si va a determinare è quindi un dispositivo interattivo per il controllo solare selettivo (UV assorbito, VIS e NIR regolati) e dinamico della radiazione solare.

Esso comprende:

Un dispositivo trasparente multistrato composto da due polarizzatori wire grid, selettivi, passivi, non uniformi, con pattern Fig.091 identici tra loro, di dimensioni simili e traslabili linearmente. Fig.081-082-083

Ulteriori strati in aggiunta e/o in adesione rispetto ai due filtri polarizzatori possono formare dispositivi trasparenti mobili, parzialmente mobili, vetrocamere con schermatura integrata o spazi percorribili. In base al tipo di applicazione varierà quindi il numero di strati trasparenti che costituiscono il dispositivo, la loro rigidità, la loro distanza relativa e la dimensione.

I due filtri polarizzatori sono nano-strutturati in base alla componente solare che si sceglie di controllare (UV e/o VIS e/o NIR) e presentano numerosi assi di polarizzazione Fig.078 tali da consentire una capacità di trasmissione passiva ma dinamica della r.e.m. a seguito di una traslazione lineare (orizzontale, verticale, obliqua) di uno dei due o di entrambi.

Il dispositivo il cui pattern è progettato per regolare selettivamente la trasmissione delle componenti UV-VIS+NIR o solamente VIS+NIR con l'UV assorbito ha un passo tra i filamenti $\Lambda < 160$ [nm]. Fig.090

Il filtro che riceve per primo la radiazione solare, poiché più esterno, è costituito da **2** o da **3 componenti** in adesione fra loro:

1^a) E' sempre presente un substrato trasparente Fig.090 **rigido** o **flessibile** il cui indice di rifrazione sia compreso tra 1,3 e 2.7 e calcolato in modo tale da escludere alti ordini di diffrazione. Vedi cap.3.8.0 Il substrato è scelto tra i materiali inorganici e/o organici V. cap.3.8.0 con elevata capacità di trasmissione delle componenti VIS e NIR e opzionalmente con elevata capacità di assorbimento della componente e.m. UV.

La sua superficie può essere liscia o strutturata secondo geometrie in rilievo nano-

orientate e predisposte al futuro fissaggio del pattern polarizzatore metallico.^{Fig.089}

In base alla tecnica di deposizione dei filamenti metallici e al tipo di materiale scelto per il substrato può esserci uno strato di materiale dielettrico tra il substrato trasparente e il pattern polarizzatore atto a migliorare l'adesione tra i filamenti metallici e il substrato.^{Vedi il brevetto WO2009/002792 in appendice.}

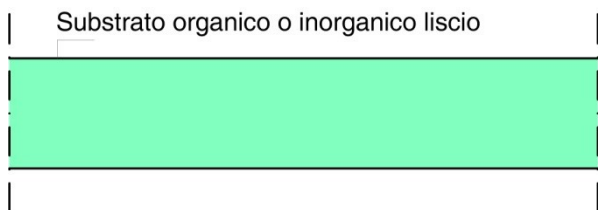
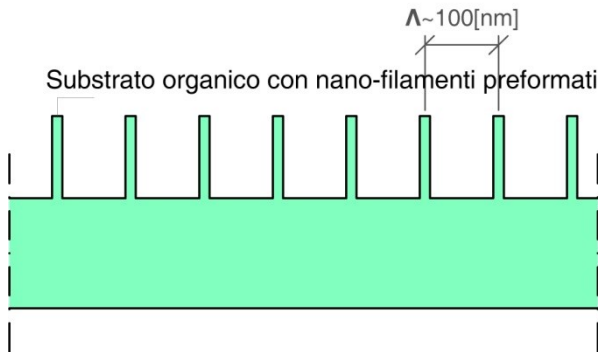


Fig. 089a-b – (in alto) substrato preparato con cordoni plastici nano-strutturati. (n basso) substrato liscio solitamente a matrice silicea

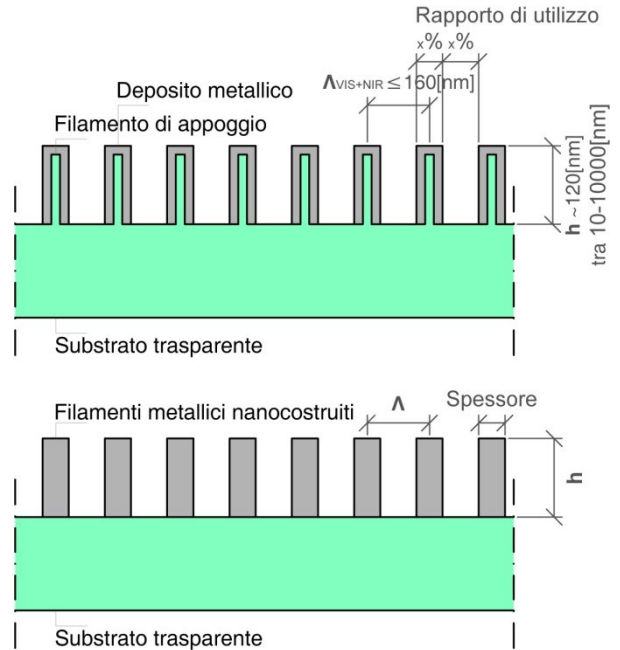


Fig. 090a-b – (in alto) Substrato trasparente nano-strutturato con depositi metallici (solitamente in Alluminio) dello spessore di qualche nanometro.

(n basso) i filamenti metallici sono stati nano-strutturati direttamente sul substrato trasparente

2^a) E' sempre presente un pattern polarizzatore realizzato con fili metallici-riflettenti nano-costruiti^{Fig.090} sul substrato trasparente.

Il pattern è caratterizzato da un unico reticolo metallico costruito a **fasce parallele** di forma regolare^{Fig.091} ove:

Ogni fascia è realizzata da nano fili di materiale riflettente dalle medesime caratteristiche geometriche e disposti a passi regolari (<390 [nm]) tali da poter interagire

Polarizzatore / Analizzatore
WGF con nano-pattern

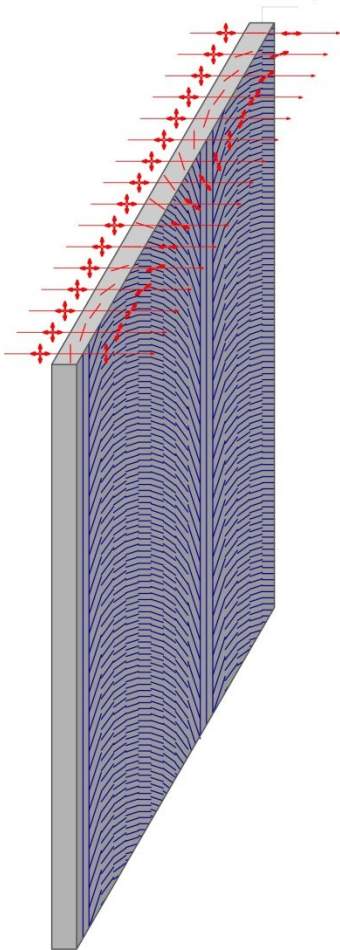


Fig. 091 – Rappresentazione di un filtro WGF con nano pattern costituito da filamenti strutturati in fasce longitudinali caratterizzate da differenti assi di polarizzazione

selettivamente con la gamma della radiazione solare più adeguata all'uso.

I fili metallici occupano in larghezza tra il 2,5 e il 50% del passo-periodo; lo spessore dello

strato metallico depositato e l'altezza dei filamenti variano molto in base al passo scelto e all'efficienza desiderata in termini di estinzione della r.e.m.

Quindi l'altezza dei nano fili, per le lunghezze d'onda considerate, rimane sempre compresa tra $(10[\text{nm}] < h < 1[\mu\text{m}])$, in questo intervallo si può consigliare un valore tra i 60 e i 180 [nm] senza escludere ulteriori realizzazioni possibili con $h < 1[\mu\text{m}]$.

Le fasce presentano tra loro uguali dimensioni ma orientamenti differenti dell'asse di polarizzazione.

La larghezza di ogni fascia è funzione della tipologia applicativa del dispositivo e varia da pochi [micrometri] a pochi [metri].

L'asse di polarizzazione di ogni fascia è ruotato rispetto a quello delle fasce adiacenti per angoli costanti^{Fig.092} scelti nella gamma che va dai decimi di grado a 45° gradi. Più piccolo è quest'angolo maggiori saranno i gradi di trasmissione intermedi tra il livello di massima e di minima trasmissione della componente polarizzata.

I differenti angoli di polarizzazione delle fasce ruotano in un senso, orario o anti-orario, fino a formare un pattern che si ripete per tutta la superficie del filtro e che rimane pressoché bidimensionale. Lo spessore del filtro è trascurabile rispetto alle altre due dimensioni che lo caratterizzano.

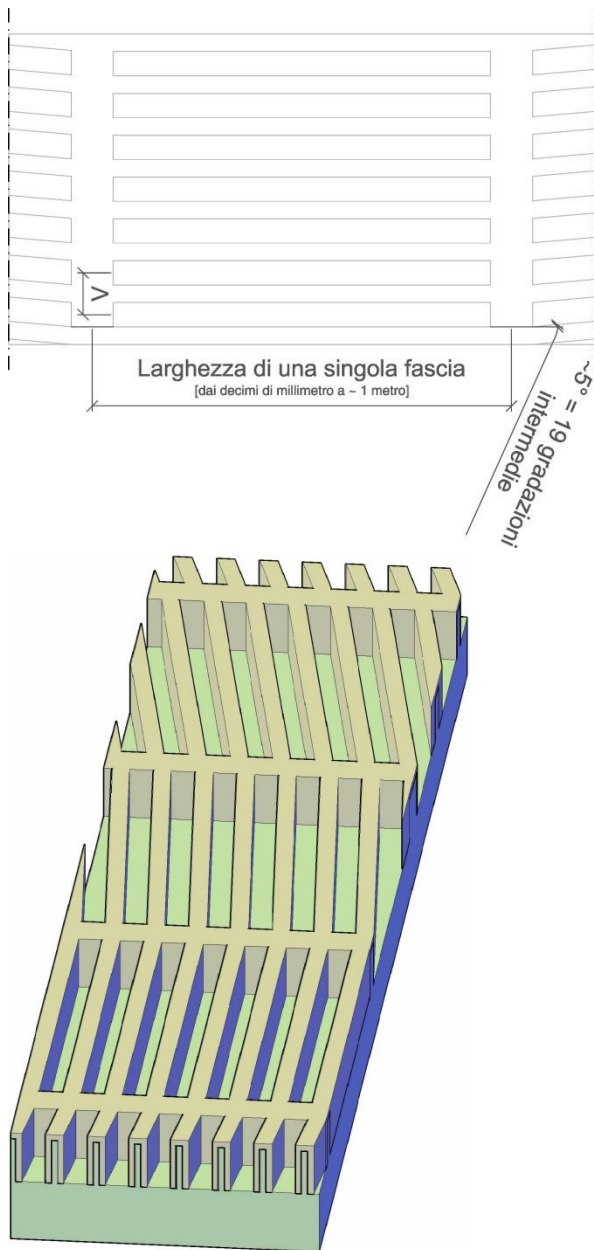


Fig. 092a-b – Vista 2d e tridimensionale di una porzione del pattern polarizzatore progettato.

3^a) Il terzo elemento trasparente, opzionale, è uno **strato di protezione** del pattern polarizzatore che viene realizzato in funzione dell'uso. Questo strato può avere la funzione di filtro per la radiazione Ultravioletta (UV).

Ha elevata trasparenza nella regione del visibile e del vicino infrarosso ed è scelto e poi verificato numericamente a seconda del suo indice di rifrazione che deve essere sempre superiore ad 1,3.

Il filtro che riceve per secondo la radiazione solare, filtrata e polarizzata dal primo, è caratterizzato e si comporta come il primo polarizer.

Tuttavia, per dispositivi in cui risulta importante il massimo oscuramento visivo e/o la massima capacità di estinzione su tutta la gamma dello spettro solare (UV-VIS-NIR) il secondo pattern sarà realizzato come il primo ma con nano fili multistrato in grado di assorbire selettivamente la componente polarizzata ortogonalmente alla componente trasmessa.

Si registra infine che entrambi i filtri polarizzatori vengono realizzati con tecniche di nano-fabbricazione come la nano imprint lithography-**NIL** con processo **Roll to Roll**; è possibile che in futuro vengano sviluppati ed utilizzati altri processi più economici.

5.2.0 Caratterizzazione delle proprietà ottiche-termiche del WGF “A.K. - High Transmission” _ lavoro svolto presso il Thermalab (Dip. di Energia, Politecnico di Milano)

Determinate le caratteristiche fisiche che costituiscono un possibile polarizzatore nano-disegnato sfruttabile in ambito architettonico, rimane da chiederci se effettivamente le prestazioni ottiche dinamiche di questo dispositivo potrebbero migliorare lo stato dell’arte rispetto ai prodotti attualmente offerti dall’industria vetraria.

Per cercare una risposta è necessario determinare in prima istanza i parametri di trasmittanza τ , riflettanza ρ e assorbanza α di un wgf-wgp inserendoli nella procedura di calcolo ^{UNI EN 410} finalizzata alla caratterizzazione delle vetrocamere doppie e triple. Ed infine confrontare i risultati con quelli dei prodotti attualmente in commercio.

Si è proceduto quindi all’acquisizione di un campione di **WGF** della **Asahi Kasei E-Materials** poiché si ritiene che questo tipo di dispositivo, rispetto alle diverse alternative analizzate, sia quello che meglio può adattarsi ad una trasformazione di processo tale da raggiungere gli obiettivi che abbiamo già largamente esposto. E’ inoltre da considerare l’accessibilità del prezzo per superficie utile legato direttamente al metodo

produttivo utilizzato ed alle quantità prodotte dall’azienda.

Tra i prodotti disponibili ^{Fig. 087a-b} si è scelto quello con maggior attitudine alla trasmissione della componente visibile (**HTN-High Transmittance (No glue)**).

		450nm	550nm	650nm	940nm
Prototype (High Contrast)	Tp (%)	82	85	83	
	Ts (%)	0.04	0.02	0.01	
Prototype (High Transmittance)	Tp (%)	89	90	89	
	Ts (%)	0.27	0.13	0.08	
Product	Tp (%)	73	85	89	91
	Ts (%)	0.44	0.11	0.04	0.03

Fig. 093 - Tabella dei dati dichiarati dal produttore in merito a valori di trasmittanza tipici per specifiche lunghezze d’onda.

Per contro, il prodotto scelto è quello che ottiene i risultati peggiori nella capacità di estinzione della r.e.m. visibile (si veda il valore T_s ^{Fig.093-087b}) lasciandosi attraversare dallo 0,15% della radiazione incidente.

Questo determina una flebile visione delle sorgenti luminose che vi si pongono oltre. Per esempio, se fuori da una vetrata che dispone di un tale dispositivo, nel suo stato scuro, vi è il sole con un angolo di elevazione ridotto si noterà la presenza di questa sorgente. ^{Fig.094}

Tuttavia l’impressione maggiore sarà catalizzata dall’effetto di riflessione interna della luce presente nei locali che come per gli specchi, fa percepire gli spazi come più luminosi e più ampi (nel caso di vetrate a

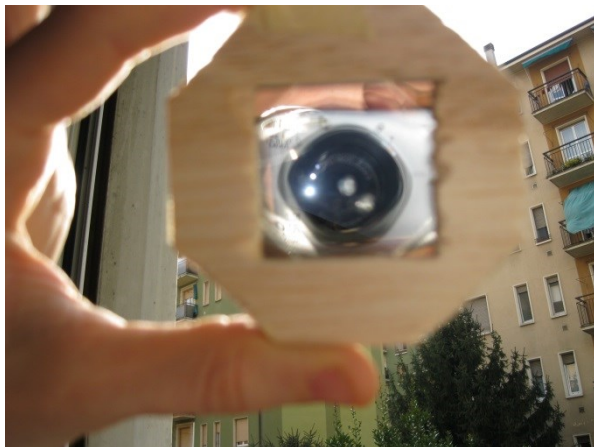


Fig. 093a-b – Fotografia scattata al sole a differenti distanze focali e mediata da due provini sui quali sono montati il filtro WGF-HTN con 90° tra gli assi di polarizzazione.

tutta altezza) di quanto non lo siano effettivamente.

Ulteriori prove qualitative mostrano una sostanziale differenza rispetto ai filtri polaroid del primo progetto. Se nel caso dei polarizzatori cristallini si aveva uno stato scuro “nero” dovuto all’assorbimento



$\theta=90^\circ$



$\theta=67.5^\circ$



$\theta=45^\circ$



$\theta=22,5^\circ$



$\theta=0^\circ$

Fig. 094_a-b-c-d-e – Modulazione della trasmissione luminosa per angoli decrescenti tra gli assi di polarizzazione del primo e del secondo filtro WGF.

Luminoso della gamma VIS. Nel caso dei dispositivi wire grid polarizer si ha invece un effetto a specchio che ne rende molto più piacevole l’utilizzo. Fig.094_a-b-c-d-e

5.2.1 La riflessione come soluzione al problema del surriscaldamento

Oltre all'aspetto percettivo risulta fondamentale, ai fini progettuali, che il filtro polarizzatore assorba meno radiazione incidente possibile poiché si prevede l'inserimento dello stesso all'interno della vetrocamera.

Grazie all'elevato grado di riflettanza^{Fig.093} che si verifica nei polarizzatori a griglia metallica^{Fig.040} si può escludere il problema del **surriscaldamento differenziale** per le vetrate che lo contengono.

E' inoltre ridotto al minimo il problema del **re-irraggiamento interno** del calore assorbito dal sistema. Si evita così l'effetto "**parete calda**" che durante la stagione estiva porta ad un discomfort fisico se vi si deve restare affianco. Si pensi per esempio alle architetture vetrate che ospitano numerose postazioni di lavoro anche in prossimità dell'involucro trasparente.

L'elevato potere riflettente del filtro previene eventuali effetti di **degradazione del substrato protettivo** a matrice organica. (Tema che è già stato approfondito nel cap. 4.2.0)

Tuttavia è da studiare attentamente la morfologia antropica e naturale che circonda gli edifici sui quali viene installato questo dispositivo allo scopo di escludere l'effetto "**specchio ustore** di Archimede" assicurandosi

quindi di non avere superfici trasparenti piane disposte in modo tale da consentire la **concentrazione, in un unico fuoco**, dei raggi riflessi.

5.2.2 Misurazione dei parametri (τ) (ρ) (α)

Come per il filtro polarizzatore ai cristalli di iodio si sono realizzati due campioni dalla forma ottagonale inscritta in un cerchio di diametro 7,5 [cm]. Su di essi sono state realizzate le medesime prove qualitative.

Fig.095 - 096 - 097a-b-c



Fig. 095 - Trasmissione di due filtri *WGF-HTN* singoli con fondale sovraesposto per simulare le condizioni di illuminazione ambientale esterne diurne.

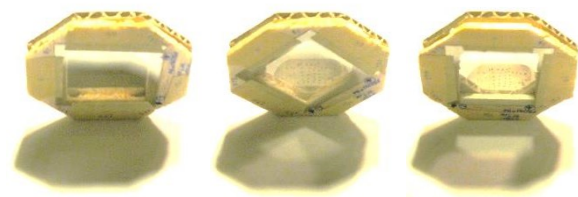


Fig. 096 - Prove qualitative di trasmissione di due provini sovrapposti con angolo tra gli assi di polarizzazione $\theta_1=90^\circ$; $\theta_2=45^\circ$; $\theta_3=0^\circ$



$\theta_1=90^\circ$;



$\theta_2=45^\circ$;



$\theta_3=0^\circ$;

Fig. 097_a-b-c - Trasmissione di due filtri *WGF-HTN* sovrapposti con fondale sovraesposto per simulare le condizioni di illuminazione ambientale esterne diurne. Si propongono 3 situazioni tra quali differisce unicamente l'angolo θ tra l'asse di polarizzazione del primo e del secondo filtro.

A queste va affiancata un'analisi tecnica basata su procedimenti analitici approfonditi nel cap. 4.4.0

In questa sezione si intende discutere dei risultati emersi dalle prove di laboratorio.



Fig. 098 – Postazione utilizzata per le misurazioni strumentali dei provini WGF-HTN tramite spettrofotometro della “Perkin Elmer” modello “Lambda 950”.

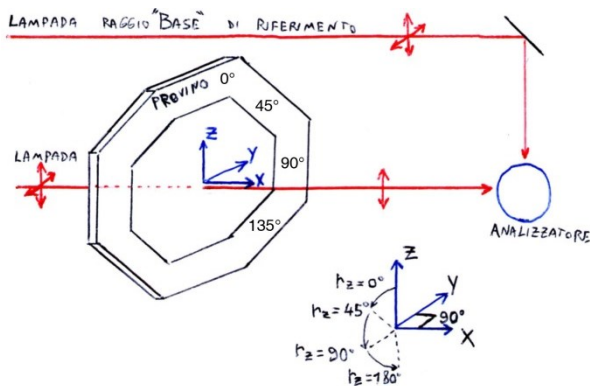
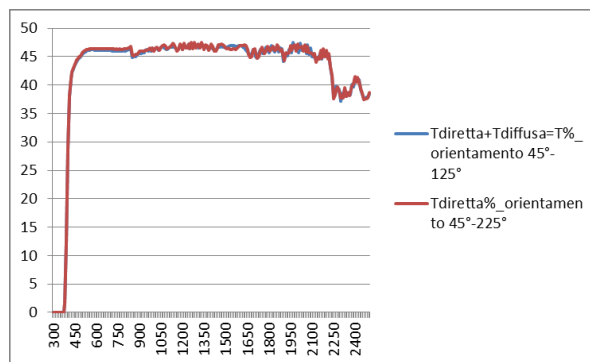
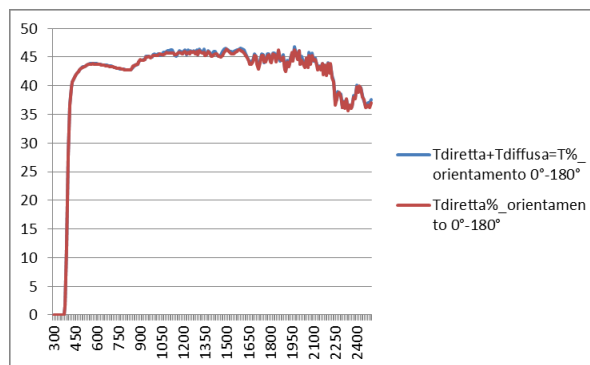
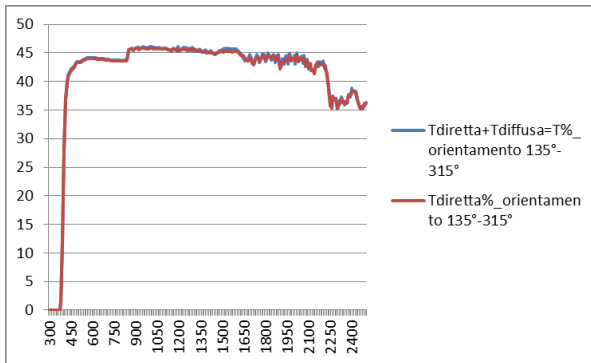


Fig. 074 – Schema con indicazione degli assi e delle rotazioni di giacitura del provino attorno all'asse X.

1°) Le prime misurazioni effettuate sono servite a verificare l'assenza di scattering (effetto di trasmissione deviata/diffusa della radiazione incidente). Per individuare se questo fenomeno fosse presente per una delle giaciture del materiale è stata effettuata la doppia prova in trasmissione con l'asse di polarizzazione ruotato a 0° - 45° - 90° - 135° e il singolo provino posizionato talora a ridosso dell'analizzatore [$\tau(\text{diretta}) + \tau(\text{diffusa})$] e talora sul supporto girevole. [solo la $\tau(\text{diretta})$] ^{Fig.069}



Tab. 099 a-b _ Verifica Scattering



Tab. 099 c-d _ Verifica Scattering

CONCLUSIONI: La radiazione, incidente con angolo normale alla superficie, viene trasmessa senza che la direzione di propagazione venga alterata su nessuna delle lunghezze d'onda esaminate (300-2500 [nm]) lasciando pressoché inalterata l'intensità della radiazione diretta trasmessa e registrata. Si ha una differenza percentuale massima dello 0,3% nel range del Visibile tra 710 e 790[nm]. Nel campo termico della radiazione solare si ha invece un'unico scostamento rilevante che raggiunge l'1,0% a 1900[nm]. Da questi dati si desume che il

materiale utilizzato per la polarizzazione della radiazione elettromagnetica solare non generi fenomeni rilevanti di scattering o diffusione della luce.

Si procede dunque con misurazioni in trasmissione dei provini alloggiandoli sul supporto girevole che consente la misurazione della trasmittanza per vari angoli di incidenza senza muovere fisicamente i campioni. Questa possibilità migliora il livello di affidabilità dei dati.

2°) Il WGF-HTN presenta dei filamenti in alluminio che sono stati depositati in modo asimmetrico sul substrato pre-strutturato. Fig.099

Inoltre la griglia nano-strutturata non risulta esattamente al centro del sandwich costruttivo. Fig.100

Quindi si è voluto verificare l'esistenza di una dipendenza del risultato legata al lato sul quale incide la r.e.m.

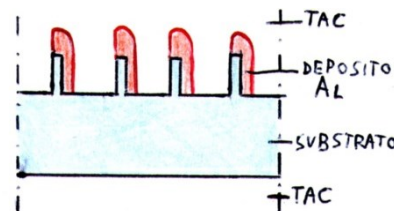


Fig. 100 – Zoom sul particolare dei filamenti metallici depositati sul substrato nano-costruito.

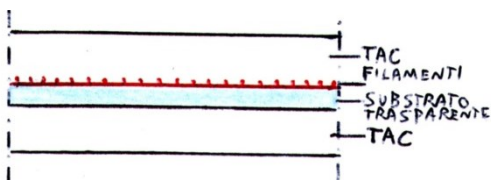
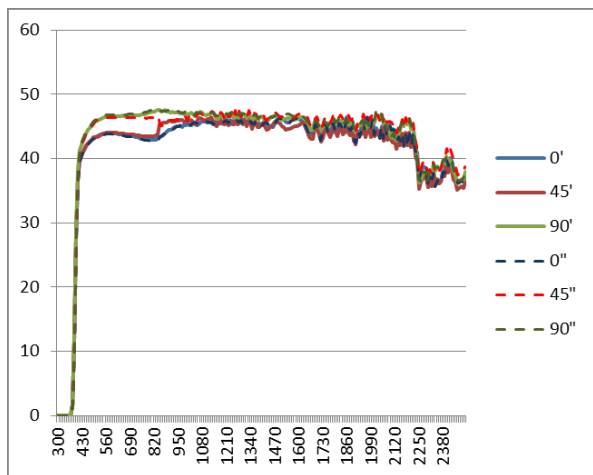
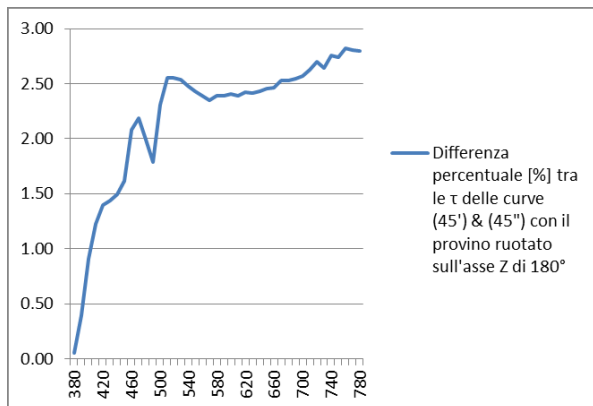


Fig. 101 – Stratigrafia del filtro WGF-HTN



Tab. 103 – Trasmittanza % riferita ad un singolo provino ruotato attorno all'asse x di 0°-45°90° e attorno all'asse Z di 180° (dicitura (n' & n''))



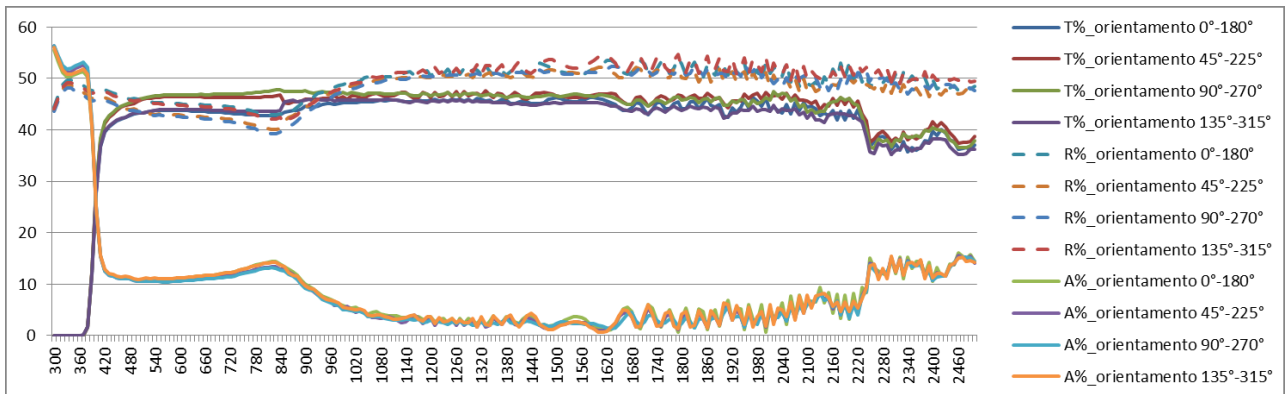
Tab. 104

CONCLUSIONI: Girando il provino di 180° attorno all'asse verticale (z)^{Fig.074} si ha una risposta che rimane pressoché inalterata (vedi le coppie di curve 0°-180°_90°-270°). Quindi la scelta di orientare i filamenti in adesione con lo strato di triacetato di cellulosa verso l'interno o verso l'esterno dell'ambiente confinato non risulta rilevante dal punto di vista della **trasmittanza diretta**.

Nella prova in cui il reticolo metallico è ruotato sull'asse x (che si estende tra la fonte luminosa e il rilevatore sferico) di 45°-225° si nota una flessione nel campo del visibile che varia da un minimo di 1,5% a 440 [nm] ad un massimo del 2.8% a 780 [nm]. Possiamo concludere che questa risulta una differenza irrilevante dal punto di vista dei benefici ottico-visivi che il fruitore finale potrebbe trarre dall'applicazione della pellicola orientata su di un lato piuttosto che sull'altro.

Si prosegue dunque misurando i prossimi valori facendo incidere il raggio luminoso/termico sempre dallo stesso lato del campione.

3°) Si è proceduto con la caratterizzazione dei livelli di trasmittanza, riflettanza e assorbanza con angolo di incidenza "quasi normale" alla superficie del singolo provino _ A.i.~8° (limite tecnico^{Fig.071} di misurazione del dispositivo).^{Tab.105}



Tab. 105 – τ [%], ρ [%], α [%]. Provino singolo misurato per diverse giaciture dell'asse di polarizzazione. Radiazione e.m. con incidenza "Normale" alla superficie.

CONCLUSIONI: Nonostante il materiale risulti anisotropo sia sul piano d'estensione (yz)^{Fig.100} che su quello relativo allo spessore (xz)^{Fig.101} si può notare dall'analisi numerica^{Tab.105} una sostanziale stabilità dei valori di trasmittanza τ [%], riflettanza ρ [%] e assorbanza α [%] per diversi orientamenti del provino attorno all'asse (x). Nello specifico con incidenza normale alla superficie e ruotando il provino attorno all'asse x (che si estende tra la fonte luminosa e il rilevatore sferico) si ha una risposta in trasmissione che rimane pressoché inalterata con differenze massime del **4[%]** nel campo del visibile a 780 [nm]. Sul picco di massima sensibilità visiva, 500 [nm] si ha uno scostamento del **2,91[%]**. Questa alterazione del livello di trasmittanza è direttamente proporzionale alla variazione del livello di riflettanza.

Per quanto riguarda i livelli di assorbanza, analizzati per gli stessi orientamenti, non si riscontrano variazioni significative.

E' quindi da verificare, con delle prove qualitative, se la variazione massima di trasmittanza del 4%, sulle lunghezze d'onda del rosso e del 2,9% su quelle del verde, vengano percepite in modo evidente dai ricettori visivi dell'occhio umano.

Come previsto dalla teoria esposta nei capitoli precedenti ritroviamo dei valori di assorbanza molto piccoli: ~2-5[%] per la componente termica e ~11[%] per quella visibile.

I livelli di riflettanza e quelli di trasmittanza sono simili confermando i supposti teorici. (τ_p massima trasmissione & τ_s minima poiché riflessa)^{Fig.040}

Rispetto ai valori di τ [%] (~46[%]) si registra un piccolo incremento nei valori di riflettanza per la componente termica

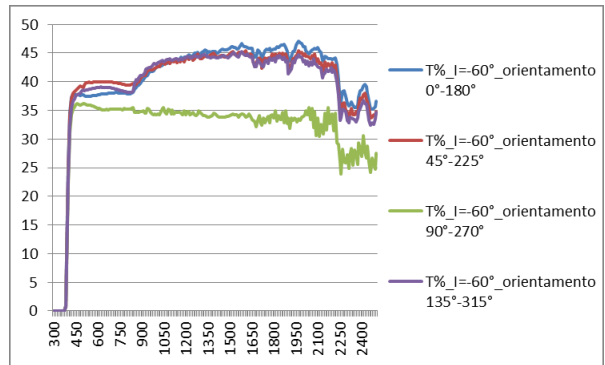
(~52[%]) dovuti probabilmente alla sommatoria della % riflessa dal polarizzatore metallico, di quella r. dagli strati protettivi in Triacetato di cellulosa e quella del substrato trasparente sul quale sono depositati i filamenti metallici.

4°) Avendo proposto un **polarizer** strutturato per fasce caratterizzate da diversi assi di polarizzazione si è reso necessario verificare, sul singolo provino, la costanza della trasmittanza τ [%] per angoli di incidenza solare costanti ma giaciture dell'asse di polarizzazione differenti.

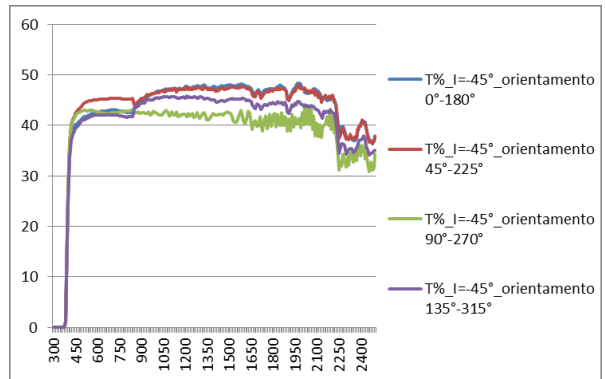
Si sono misurati tali valori ruotando progressivamente il campione attorno all'asse X.

La serie di misurazioni è stata ripetuta per angoli di incidenza variabili ad intervalli significativi.

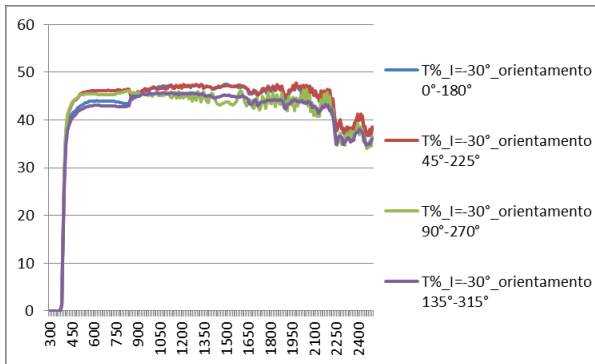
(-60°; -45°; -30°; -15°; $\pm 0^\circ \pm 8^\circ$; +15°; +30°; +45°; +60°) ove il meno indica una rotazione antioraria e il più una rotazione oraria del provino attorno all'asse Z.



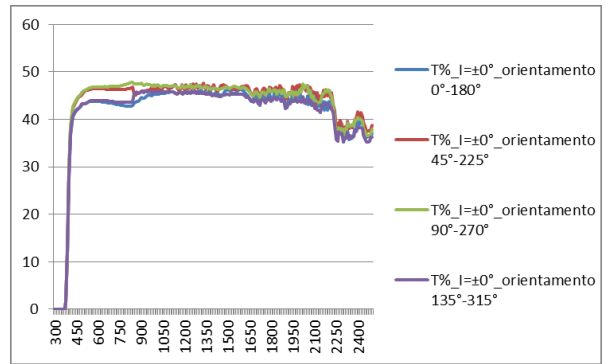
Tab. 106 – Trasmittanza % τ con radiazione incidente a -60° rispetto alla normale. Curve misurate per giaciture dell'asse di polarizzazione differenti (0°; 45°; 90°; 135°)



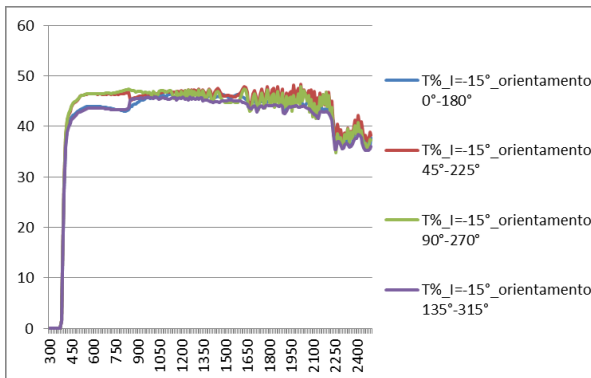
Tab. 107 – Trasmittanza % τ con radiazione incidente a -45° rispetto alla normale. Curve misurate per giaciture dell'asse di polarizzazione differenti (0°; 45°; 90°; 135°)



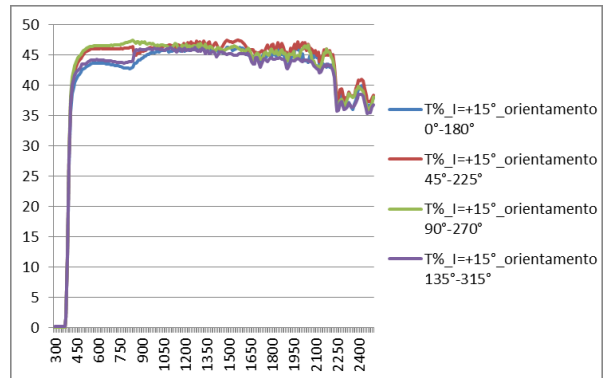
Tab. 108 – Trasmittanza % τ con radiazione incidente a -30° rispetto alla normale. Curve misurate per giaciture dell'asse di polarizzazione differenti (0° ; 45° ; 90° ; 135°)



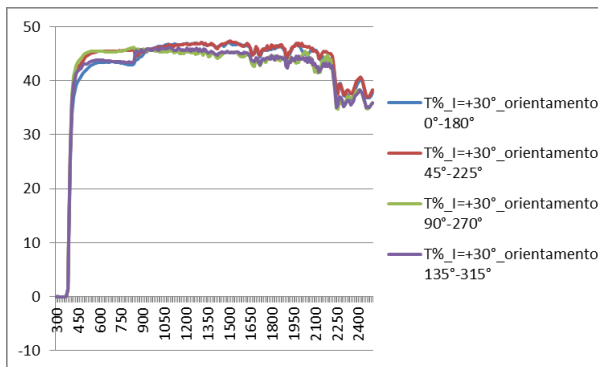
Tab. 110 – Trasmittanza % τ con radiazione incidente a $\pm 0^\circ$ rispetto alla normale. Curve misurate per giaciture dell'asse di polarizzazione differenti (0° ; 45° ; 90° ; 135°)



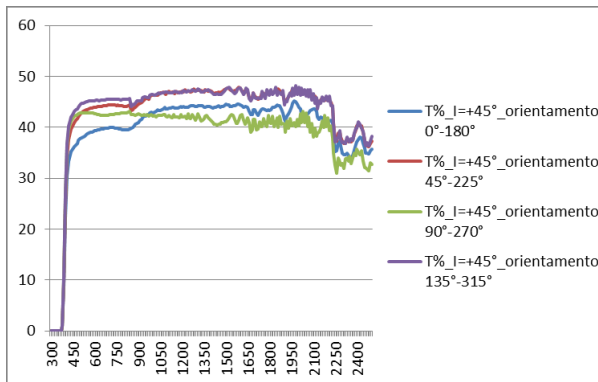
Tab. 109 – Trasmittanza % τ con radiazione incidente a -15° rispetto alla normale. Curve misurate per giaciture dell'asse di polarizzazione differenti (0° ; 45° ; 90° ; 135°)



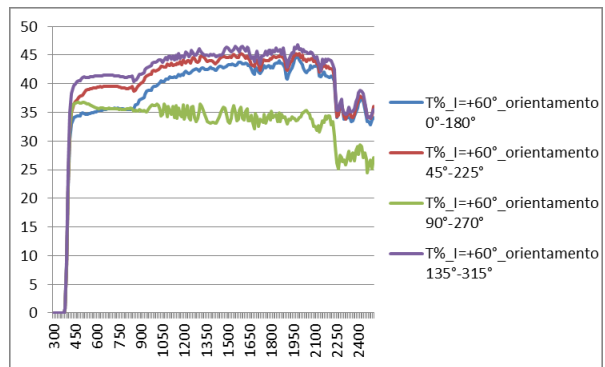
Tab. 111 – Trasmittanza % τ con radiazione incidente a $+15^\circ$ rispetto alla normale. Curve misurate per giaciture dell'asse di polarizzazione differenti (0° ; 45° ; 90° ; 135°)



Tab. 112 – Trasmissanza % τ con radiazione incidente a $+30^\circ$ rispetto alla normale. Curve misurate per giaciture dell'asse di polarizzazione differenti (0° ; 45° ; 90° ; 135°)



Tab. 113 – Trasmissanza % τ con radiazione incidente a $+45^\circ$ rispetto alla normale. Curve misurate per giaciture dell'asse di polarizzazione differenti (0° ; 45° ; 90° ; 135°)



Tab. 114 – Trasmissanza % τ con radiazione incidente a $+60^\circ$ rispetto alla normale. Curve misurate per giaciture dell'asse di polarizzazione differenti (0° ; 45° ; 90° ; 135°)

CONCLUSIONI: verificando il comportamento del campione per angoli di incidenza solare medesima ma per giaciture del piano di polarizzazione differenti si osserva che:

- Per angoli compresi tra -30° e $+30^\circ$ lo scostamento tra le curve, nella gamma del visibile, sia ridotto al $\sim 2,95\%$ a $550[\text{nm}]$ con una differenza massima del $3,65\%$ a $780[\text{nm}]$ livello minimo della curva di sensibilità visiva.

- Per lo stesso intervallo (-30° - $+30^\circ$) nella componente termica le differenze sono minime e non causano alcun disagio ne dal punto di vista visivo ne da quello fisico-percettivo della sensazione termica.

- Per angoli di incidenza solare che si allontanano dalla normale alla superficie (sopra i $+45^\circ$ o -45°) lo scostamento inizia ad essere percepibile nella gamma del visibile.

In questo caso il polarizzatore nano-strutturato con una pluralità di assi di polarizzazione al suo interno potrebbe presentare una leggera striatura dovuta alla differenza del 6,42[%] tra le fasce con giacitura differente.

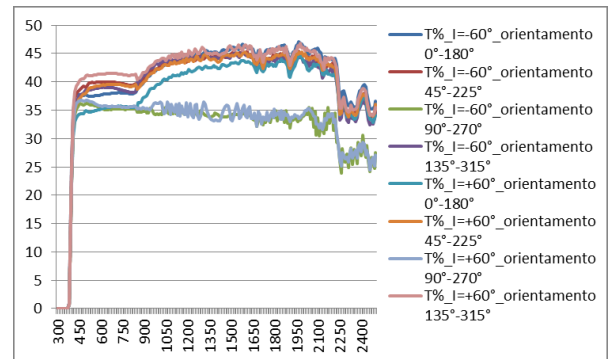
- Questa sensazione va a stabilizzarsi per angoli solari che si allontanano di molto dalla normale alla superficie trasparente. Per angoli di $+60^\circ$ o -60° si ha una differenza del 6,37[%] a 550[nm] e del 5,7[%] a 780[nm].

Lo scostamento maggiore si ha nella gamma della radiazione termica NIR ove si riscontrano perdite di trasmissione del ~ 10 [%] ^{Tab.106,114} quando l'asse di polarizzazione è ruotato a 90-270° rispetto alla posizione di partenza.

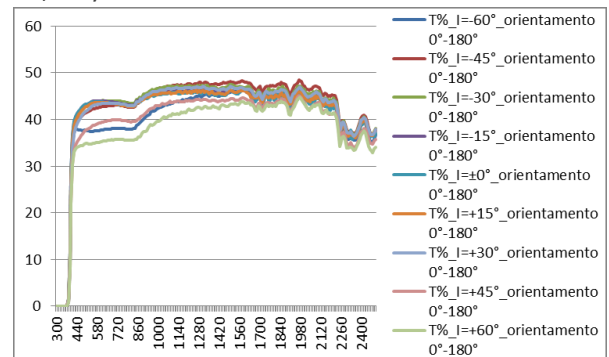
5) Il provino risponde in modo simmetrico per angoli di incidenza uguali ma speculari rispetto alla normale?

CONCLUSIONI: sovrapponendo i dati relativi ai livelli di trasmittanza del dispositivo con angolo di incidenza a $+60^\circ$ e a -60° si nota la sostanziale simmetria di risposta legata all'orientamento dell'asse di polarizzazione.

Tab.115

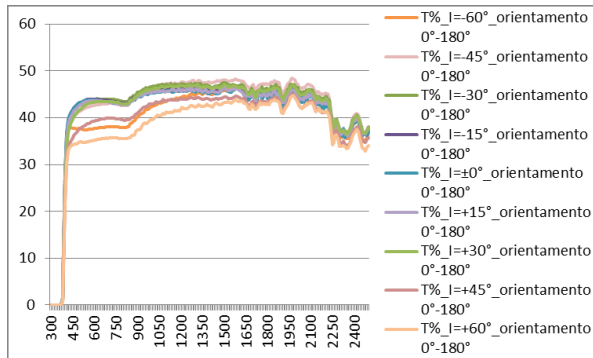


Tab. 115 – Sovrapposizione delle curve di trasmittanza % τ con radiazione incidente a -60° e a $+60^\circ$ rispetto alla normale. Curve misurate per giaciture dell'asse di polarizzazione differenti (0° ; 45° ; 90° ; 135°)



Tab. 116 – Sovrapposizione delle curve di trasmittanza % τ con radiazione incidente a -45° e a $+45^\circ$ rispetto alla normale. Curve misurate per giaciture dell'asse di polarizzazione differenti (0° ; 45° ; 90° ; 135°)

6°) E' interessante stabilire di quanto varia la trasmissione del dispositivo in relazione all'angolo di incidenza.



Tab. 116 – Sovrapposizione delle curve di trasmittanza % τ con radiazione incidente per angoli differenti nell'intervallo -60° _ 0° _ $+60^{\circ}$. Curve misurate per un'unica giacitura di polarizzazione(0°)

CONCLUSIONI: Il grafico^{Tab.116} ci mostra la curva dei valori di trasmittanza tra angoli di incidenza differenti, e quindi tra posizioni del sole differenti o per diversi punti di osservazione dell'utente. Tra la curva della τ_{visibile} con incidenza normale e quella a 60° si ha una variazione del $\sim 10\%$. Tuttavia questa variazione non si può notare nella realtà poiché la posizione solare è unica come è unico il punto di vista di una persona che non può spostarsi così rapidamente da potersi accorgere di questa differenza. La compresenza di queste linee prestazionali è quindi Esclusa. I provini avranno giaciture differenti ma non inclinazioni differenti rispetto alla radiazione incidente.

7°) Si è deciso di ampliare l'indagine quantitativa alle situazioni reali di utilizzo del filtro.

Ci si è chiesto quali siano i valori reali di (τ) (ρ) (α) per una coppia di filtri sovrapposti.

Quale è il decadimento dei tre parametri rispetto alla misurazione del filtro singolo?

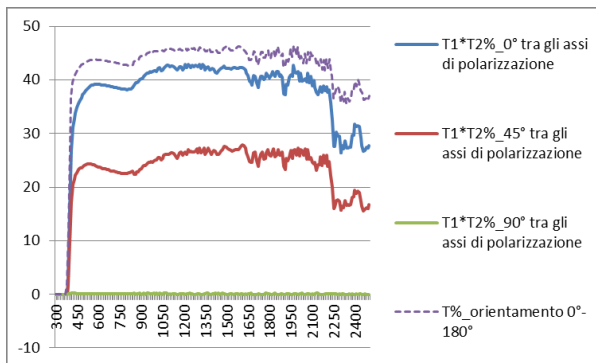
Quali sono le capacità di estinzione termiche-luminose del filtro a seguito della rotazione degli assi di polarizzazione?

CONCLUSIONI: analizzando i risultati numerici rappresentati nel grafico^{Tab.117} si evince che per questa specifica tipologia di vetri dinamici non sarà possibile effettuare i calcoli secondo le procedure indicate nella normativa UNI EN 410 poiché se moltiplicassimo ad esempio la radiazione luminosa incidente (1) per la $\tau_1(\lambda)$ del primo filtro e poi moltiplicassimo il risultato per la $\tau_2(\lambda)$ del secondo filtro, (ipotizzandola uguale a $\tau_1(\lambda)$) non avremo il risultato reale riportato con la linea blu nel grafico^{Tab.117}

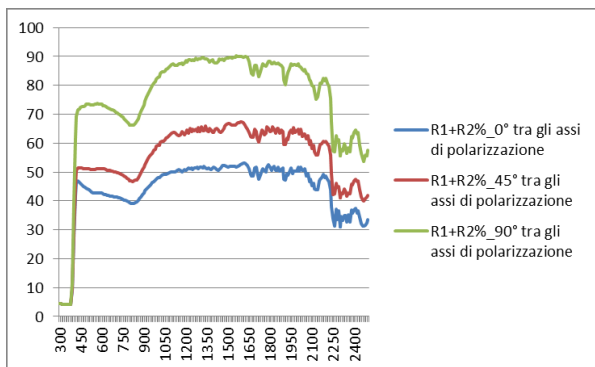
esempio a 550[nm]: $(1 * \tau_{1(\lambda)} * \tau_{2(\lambda)}) * 100 = \tau_{(\lambda)}[\%]$

$$\tau_{(\lambda)}[\%] = (1 * 0.4375 * 0.4375) * 100 = 19.14 [\%]_{(\lambda = 550[\text{nm}])}$$

Ci accorgiamo quindi che il livello di trasmittanza che vale per il primo filtro non



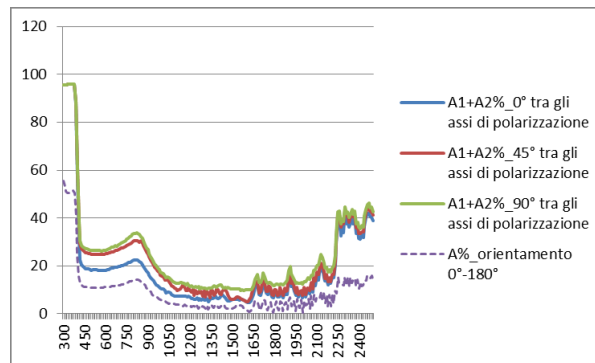
Tab. 117 – Trasmissione $\tau\%$ di due provini sovrapposti, misurata per diversi angoli θ tra gli assi di polarizzazione. _ (linea tratteggiata) confronto con la $\tau\%$ del singolo provino.



Tab. 118 – Riflettanza $\rho\%$ di due provini sovrapposti, misurata per diversi angoli θ tra gli assi di polarizzazione. _ (linea tratteggiata) confronto con la $\rho\%$ del singolo provino.

vale anche per il secondo.

Infatti il primo filtro è trasparente al 43% ($\lambda = 550[\text{nm}]$) nei confronti della radiazione solare VIS^{550[nm]} poiché non è polarizzata. Viceversa la $\tau_{2(\lambda)}[\%]$ del secondo è funzione dell'efficienza di polarizzazione del filtro e dell'angolo θ che si forma **tra gli assi di polarizzazione** dei due filtri sovrapposti.

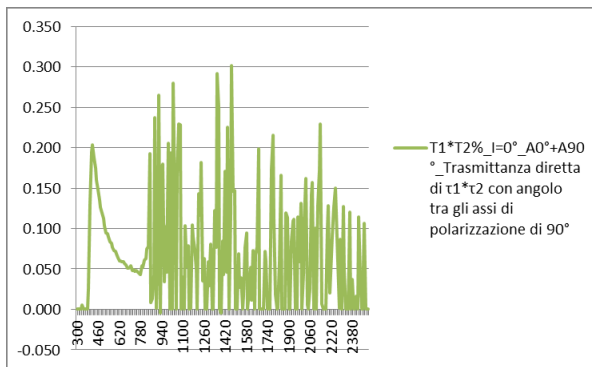


Tab. 119 – Assorbanza $\alpha\%$ di due provini sovrapposti, misurata per diversi angoli θ tra gli assi di polarizzazione. _ (linea tratteggiata) confronto con la $\alpha\%$ del singolo provino.

Infatti, accoppiando due filtri, si verifica una riduzione dei livelli di trasmittanza reale che vale il $\sim 4,8\%$ (^a 550[nm]) nel visibile e del $4,4\%$ (^a 850[nm]).

Sempre dal primo grafico risulta possibile che la riduzione dei livelli di trasmittanza siano di tipo lineare e siano compresi tra ~ 0 e ~ 50 come teorizzato da **Malus**. I livelli di trasmittanza reale sono quindi rappresentati nel grafico¹¹⁷ e risultano influenzati dalla struttura non ideale del dispositivo che assorbe e riflette parte della radiazione e.m. incidente che dovrebbe attraversarlo.

Lo stesso discorso è valido per la capacità di estinzione. Prendendo la curva di trasmissione dei due provini sovrapposti con angolo $\theta=90^\circ$ avremo ciò che è rappresentato nel grafico^{Tab.120} e qualitativamente visibile nelle figure^{Fig.093a-b}.



Tab. 120 – Trasmissione di due provini sovrapposti WGF-HTN nella configurazione scura. Angolo di incidenza *normale* alla superficie.

Nella registrazione del parametro di riflettanza $\rho(\lambda)$ [%] della coppia di filtri si riscontra l'incremento atteso nella gamma VIS e NIR. Il valore è legato alla rotazione graduale dell'asse di polarizzazione per angoli θ che vanno da 0° a 90° .

La riflessione del primo polarizzatore $\sim 42\%^{VIS}$ $\sim 52\%^{NIR}$ sommata alla % riflessa della componente trasmessa dal primo filtro e riflessa da secondo filtro raggiunge livelli massimi del $\sim 74\%^{550nm-VIS}$ e dell' $\sim 83\%^{1000nm-NIR}$ di riflessione globale nella configurazione scura. Dal punto di vista qualitativo si constata una nitidezza visiva continua fino a quando i livelli di luminanza degli oggetti interni ai locali non risultino maggiori di quelli percepiti dagli oggetti esterni ai locali.

Nel grafico 119 si riportano i livelli di assorbanza $\alpha(\lambda)$ [%] del dispositivo nelle diverse configurazioni.

Questi valori risultano sempre modesti nella gamma del visibile e del Nir registrando piccoli incrementi dell' $\sim 8\%$ per la configurazione più scura rispetto a quella chiara. Questo effetto è dovuto alla percentuale assorbita nelle inter-riflessioni multiple che avvengono fra i due dispositivi soprattutto per le configurazioni intermedie.

Si noti la stretta vicinanza tra la riga rossa e quella verde. Stati di polarizzazione intermedi generano numerose inter-riflessioni poiché la radiazione riflessa dal secondo filtro non riesce a riattraversare completamente il filtro più esterno a causa della differenza tra il piano di vibrazione della luce e l'asse di p. del filtro.

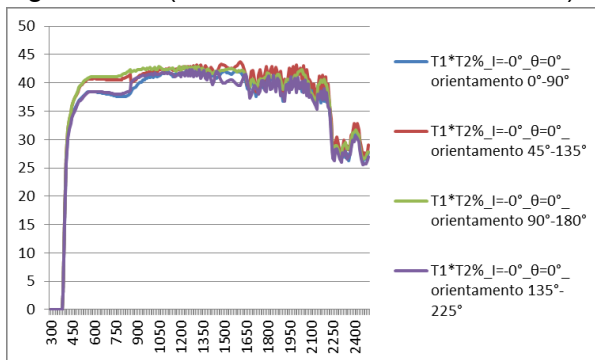
I valori maggiori di Assorbanza $\sim 96\%^{UV}$ si hanno nella gamma ultravioletta grazie all'opacità selettiva dello strato protettivo TAC.

8°) Le misurazioni esposte in questo paragrafo mirano a quantificare la problematica della variazione del livello di trasmissione delle fasce caratterizzate da assi di polarizzazione autonomi rispetto alle fasce adiacenti.

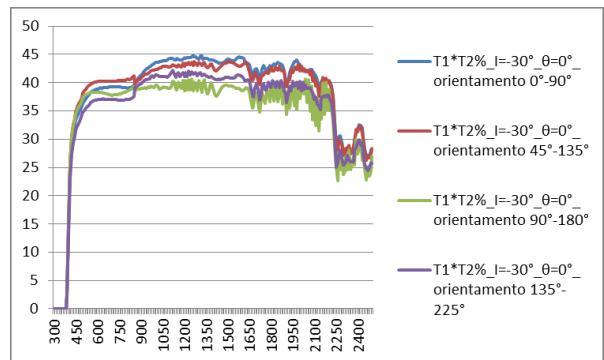
Anticipiamo subito che questo problema è risolvibile e dovrebbe presentarsi solo per dispositivi in grado di polarizzare la componente visibile come questo e come quello del progetto che adottava il filtro cristallino.

Come è già stato enunciato, il problema viene risolto riducendo la dimensione delle singole fasce fino al decimo di millimetro imitando la tecnica utilizzata per la visualizzazione con schermi RGB. Fig.064

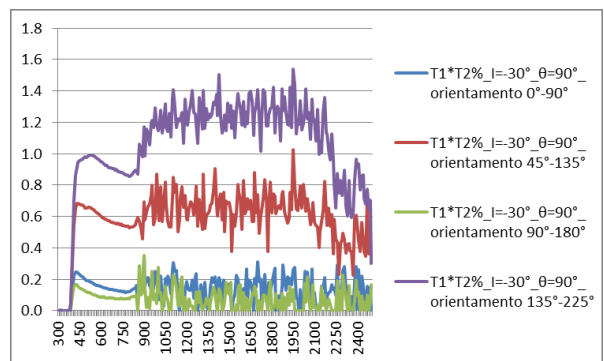
Quantifichiamo graficamente, per il doppio provino, la variazione di trasmissione misurata lungo la direzione di propagazione dell'onda e.m. per fasce con angolo θ significativo (0° config. CHIARA e 90° config. SCURA).



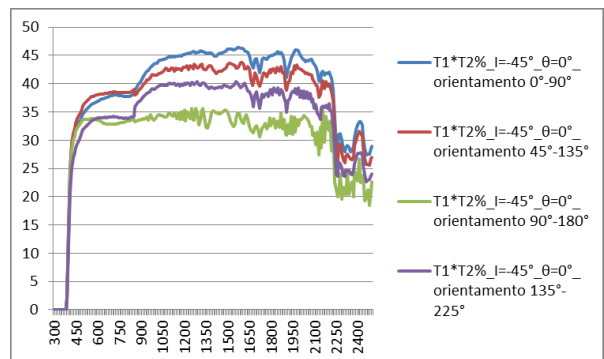
Tab. 121 – $\tau\%$ (CHIARO) di due provini sovrapposti, Angolo di incidenza fisso e giacitura dell'asse di polarizzazione variabile.



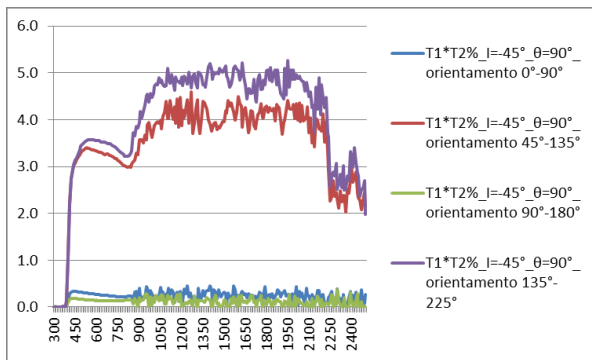
Tab. 122 – $\tau\%$ (CHIARO) di due provini sovrapposti, Angolo di incidenza fisso e giacitura dell'asse di polarizzazione variabile.



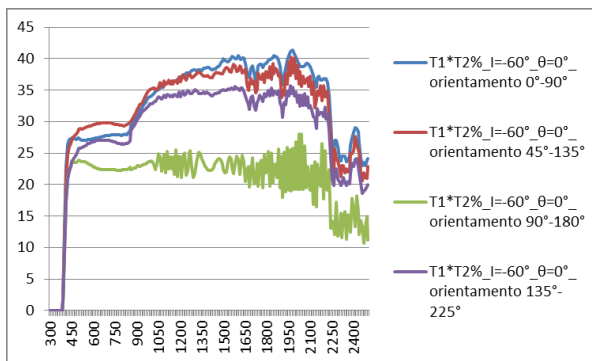
Tab. 123 – $\tau\%$ (SCURO) di due provini sovrapposti, Angolo di incidenza fisso e giacitura dell'asse di polarizzazione variabile.



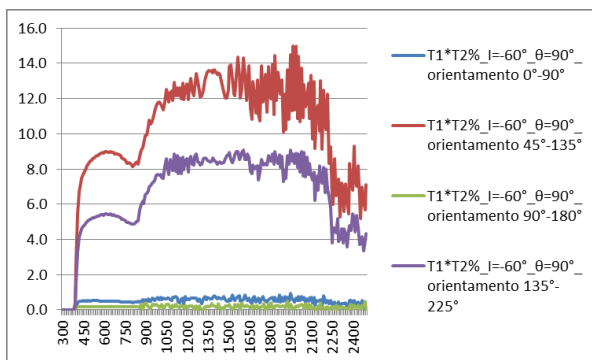
Tab. 124 – $\tau\%$ (CHIARO) di due provini sovrapposti, Angolo di incidenza fisso e giacitura dell'asse di polarizzazione variabile.



Tab. 125 – $\tau\%$ (SCURO) di due provini sovrapposti, Angolo di incidenza fisso e giacitura dell'asse di polarizzazione variabile.



Tab. 126 – $\tau\%$ (CHIARO) di due provini sovrapposti, Angolo di incidenza fisso e giacitura dell'asse di polarizzazione variabile.



Tab. 127 – $\tau\%$ (SCURO) di due provini sovrapposti, Angolo di incidenza fisso e giacitura dell'asse di polarizzazione variabile.

CONCLUSIONI: come abbiamo visto nella 4^a analisi di questo capitolo lo scostamento delle misurazioni in trasmittanza dei provini ruotati attorno all'asse x si amplifica quando l'angolo di incidenza si allontana dalla normale.

Tuttavia se per un singolo provino si avevano variazioni massime del 6,4% con angolo di incidenza $I=45^\circ$, nel caso del doppio provino ^{Configurazione CHIARA} si misurano variazioni nell'ordine del 10-11% ^{Tab.124}

Aumentando l'angolo di incidenza ($I=60^\circ$) si hanno valori instabili nel visibile ($\tau_{\min}[\%]^{550[\text{nm}]}=23,5[\%]$ & $\tau_{\max}[\%]^{550[\text{nm}]}=29,1[\%]$) come nella gamma termica ($\tau_{\min}[\%]^{1000[\text{nm}]}=23,7\%$ & $\tau_{\max}[\%]^{1000[\text{nm}]}=35.2\%$).

Questo effetto è presente anche quando la coppia di provini è nella configurazione SCURA determinando una perdita di efficacia per alcune giaciture ^{Tab.123,125,127} ove si determina una trasmittanza che può raggiungere l'8% nel visibile e il 12% per la componente termica. ^{Tab.127}

5.2.3 Necessità di un aggiornamento alla normativa

Partendo dagli assunti esposti nella 7° analisi del capitolo 5.2.2 si cerca di individuare quale sia la procedura più corretta per poter determinare le caratteristiche luminose e solari di questo particolare dispositivo trasparente.

Poiché la procedura indicata dalla normativa non risulta interamente applicabile per questo specifico prodotto, ci si è rivolti alla risoluzione del problema tramite **metodo grafico**.

Mediante tale metodo è possibile scrivere una **nuova procedura matematica** che non trascuri inter-riflessioni o ritrasmissioni significative.

La costruzione di questa procedura è stata elaborata inserendo i dati effettivamente rilevati in laboratorio per il polarizzatore WGF-HTN per la lunghezza d'onda di 550[nm].

Per ottenere i valori reali sono stati misurati e pesati i parametri $\tau_{3(\lambda)}[\%]$; $\rho_{3(\lambda)}[\%]$ e $\alpha_{3(\lambda)}[\%]$ per le quattro giaciture principali con angolo di incidenza $I=0^\circ$ **normale** indicazione della normativa UNI EN 410, Pag.8 alla superficie del filtro più interno Strato(3).

I risultati sono pesati per la radiazione elettromagnetica polarizzata Fig.40 sull'asse **P**

$$\mathbf{P} \rightarrow \tau_{3p(\lambda)}; \rho_{3p(\lambda)}; \alpha_{3p(\lambda)}$$

e sull'asse **S**

$$\mathbf{S} \rightarrow \tau_{3(\lambda)}; \rho_{3p(\lambda)}; \alpha_{3p(\lambda)}$$

Tali valori valgono anche per il filtro posizionato verso l'ambiente esterno Strato(2), dopo il vetro Strato(1), nei casi in cui la radiazione incidente sul 2° filtro Strato(3) o sui vetri interni Strati(4-5) viene polarizzata e riflessa verso l'esterno.

$$\mathbf{P} \rightarrow \tau_{2p(\lambda)}; \rho_{2p(\lambda)}; \alpha_{2p(\lambda)}$$

$$\mathbf{S} \rightarrow \tau_{2p(\lambda)}; \rho_{2p(\lambda)}; \alpha_{2p(\lambda)}$$

Quindi i **filtri polarizzatori** si caratterizzano utilizzando questi tre parametri: Tab.128

τ_2 -> per radiazione e.m. non polarizzata

ρ_2 -> per radiazione e.m. non polarizzata

α_2 -> per radiazione e.m. non polarizzata

$$\tau_{3p.media.pesata(\lambda)} = \tau_{2p.media.pesata(\lambda)} \quad \theta=0^\circ \rightarrow \text{CHIARO}$$

$$\tau_{3s.media.pesata(\lambda)} = \tau_{2s.media.pesata(\lambda)} \quad \theta=90^\circ \rightarrow \text{SCURO}$$

$$\rho_{3p.media.pesata(\lambda)} = \rho_{2p.media.pesata(\lambda)} \quad \theta=0^\circ \rightarrow \text{CHIARO}$$

$$\rho_{3s.media.pesata(\lambda)} = \rho_{2s.media.pesata(\lambda)} \quad \theta=90^\circ \rightarrow \text{SCURO}$$

$$\alpha_{3p.media.pesata(\lambda)} = \alpha_{2p.media.pesata(\lambda)} \quad \theta=0^\circ \rightarrow \text{CHIARO}$$

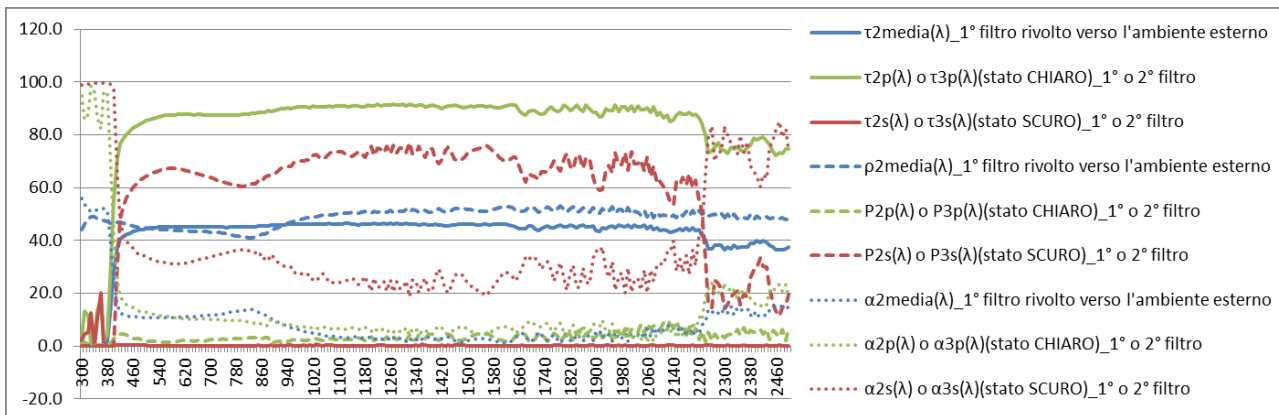
$$\alpha_{3s.media.pesata(\lambda)} = \alpha_{2s.media.pesata(\lambda)} \quad \theta=90^\circ \rightarrow \text{SCURO}$$

Per i parametri tipici degli strati di vetro si è utilizzato un vetro Float chiaro della SaintGobainGlass denominato "Planilux_4[mm]". I suoi valori caratteristici sono riportati nel grafico Tab.129 e valgono per tutti gli strati disegnati della vetrocamera Strati 1,4 e 5.

$$\tau_1(\lambda) = \tau_4(\lambda) = \tau_5(\lambda)$$

$$\rho_1(\lambda) = \rho_4(\lambda) = \rho_5(\lambda)$$

$$\alpha_1(\lambda) = \alpha_4(\lambda) = \alpha_5(\lambda)$$



Tab. 128 - Grafico riassuntivo dei parametri τ ρ α che caratterizzano il primo polarizzatore^{strato 2} e il secondo^{strato 3} per r.e.m. non polarizzata (pedice [nr]) e polarizzata (pedici [nrP] e [nrS])



Tab. 129 - Grafico riassuntivo dei parametri τ ρ α che caratterizzano il vetro float Planilux_SGG da 4[mm]^{strato 1,4,5}
 Dati estrapolati dalle tabelle sintetiche del manuale SGG e dal software per la caratterizzazione delle vetrate "Window 6.0"

Una volta che sono state determinate le curve che rappresentano i valori spettrali incogniti^{Tab.128,129} utili alla determinazione dei parametri riconosciuti dal SI si può procedere con la fase di calcolo.

Sym.	Deutsch/English/Anglais	$\rho(\lambda)$	spectral reflectance
D65	standard illuminant D65	τ_v	light transmittance
UV	ultraviolet radiation	ρ_v	light reflectance
τ_{UV}	ultraviolet transmittance	τ_e	solar direct transmittance
$\tau(\lambda)$	spectral transmittance	ρ_e	solar direct reflectance
h_e	external heat transfer coefficient	g	total solar energy transmittance (solar factor)
h_i	internal heat transfer coefficient	R_a	general colour rendering index
ϵ	corrected emissivity	D_λ	relative spectral distribution of illuminant D65
ϵ_n	normal emissivity	$V(\lambda)$	spectral efficiency luminous
A	thermal conductance	α_e	solar direct absorptance
λ	wavelength	ϕ_e	incident solar radiant flux
$\Delta\lambda$	wavelength interval	q_i	secondary internal heat transfer factor
U_λ	relative spectral distribution of UV in solar radiation	q_e	secondary external heat transfer factor
SC	shading coefficient	S_λ	relative spectral distribution of solar radiation

Tab. 130 - Abaco delle nomenclature riconosciute nel SI

Scopriamo quali sono i valori da indicare per il nostro provino.

Determinazione dei valori generali: nell'intervallo visibile VIS ($\tau_v \rho_v \alpha_v$); per tutta la gamma energetica SOLARE ($\tau_e \rho_e \alpha_e$); i valori di trasmittanza della componente UV (τ_{UV}); il fattore solare FS (**g**) e lo Shading Coefficient (**SC**).

Procedendo nell'ordine indicato dalla norma abbiamo:

$$\tau_v = \frac{\sum_{\lambda=380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} D_{\lambda} \tau(\lambda) V(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} D_{\lambda} V(\lambda) \Delta\lambda}$$

5.2 Light transmittance

Ove l'unica incognita, non fornita dalla norma, è il valore di $\tau(\lambda)$.

Per le altre variabili si rimanda alla tabella. ^{Tab.131}

La determinazione di tale variabile $\tau(\lambda)$ viene solitamente stabilita secondo le procedure (2),(3) della medesima norma.

Come già anticipato, il calcolo effettuato con questo metodo porta il risultato molto lontano dalla realtà a causa del **comportamento anisotropo** del filtro trasparente WGF-HTN.

λ nm	$D_{\lambda} V(\lambda) \Delta\lambda \cdot 10^2$	λ nm	$D_{\lambda} V(\lambda) \Delta\lambda \cdot 10^2$
380	0,000 0	580	7,899 4
390	0,000 5	590	6,330 6
400	0,003 0	600	5,354 2
410	0,010 3	610	4,249 1
420	0,035 2	620	3,150 2
430	0,094 8	630	2,081 2
440	0,227 4	640	1,381 0
450	0,419 2	650	0,807 0
460	0,666 3	660	0,461 2
470	0,985 0	670	0,248 5
480	1,518 9	680	0,125 5
490	2,133 6	690	0,053 6
500	3,349 1	700	0,027 6
510	5,139 3	710	0,014 6
520	7,052 3	720	0,005 7
530	8,799 0	730	0,003 5
540	9,442 7	740	0,002 1
550	9,807 7	750	0,000 8
560	9,430 6	760	0,000 1
570	8,689 1	770	0,000 0
		780	0,000 0

Tab. 131 – Table 1 - Normalized relative spectral distribution D_{λ} of illuminant D_{65} multiplied by the spectral luminous efficiency $V(\lambda)$ and by the wavelength interval $\Delta\lambda$. ^{UNI EN 430}

Quindi è necessario calcolare i valori caratteristici sia della configurazione CHIARA ($\tau_{p(\lambda)}$) che di quella SCURA ($\tau_{s(\lambda)}$). In linea con la legge di Malus i valori intermedi si troveranno lungo una linea retta tra i due punti poiché la variazione tra le due configurazioni è pressoché lineare.

Si procede quindi con la verifica secondo il **metodo grafico**:

1° es.) Triplo Vetro (3 vetri float da 4mm) con interposti nella prima intercapedine due filtri polarizzatori di tipo "WGF". In questo caso i polarizer hanno gli assi di polarizzazione allineati in modo parallelo fra loro (stato CHIARO).

Formula elaborata per il calcolo della trasmittanza luminosa/termica $\tau_{p(\lambda)}$ di vetrate triple dove si utilizzano vetri con depositi. Quindi superfici trasparenti caratterizzate da valori di riflettanza ($\rho > 20\%$) per i quali il calcolo della 1° riflessione che avviene sul vetro centrale potrebbe risultare rilevante.

$$\tau_{p(\lambda)} = 1 * \tau_{1(\lambda)} * \tau_{2(\lambda)} * \tau_{3(\lambda)} * \tau_{4(\lambda)} * \tau_{5(\lambda)} + 1 * \tau_{1(\lambda)} * \tau_{2(\lambda)} * \tau_{3(\lambda)} * \tau_{4(\lambda)} * \rho_{5(\lambda)} * \rho_{4'(\lambda)} * \tau_{5(\lambda)} + 1 * \tau_{1(\lambda)} * \tau_{2(\lambda)} * \tau_{3(\lambda)} * \rho_{4(\lambda)} * \tau_{3p(\lambda)} * \tau_{2p(\lambda)} * \rho_{1'(\lambda)} * \tau_{2(\lambda)} * \rho_{3p(\lambda)} * \tau_{4(\lambda)} * \tau_{5(\lambda)}$$

Formula elaborata per il calcolo della trasmittanza $\tau_{p(\lambda)}$ in vetrate triple dove si utilizzano vetri float semplici con valore di riflettanza ($v < 20\%$).

$$\tau_{p(\lambda)} = 1 * \tau_{1(\lambda)} * \tau_{2(\lambda)} * \tau_{3(\lambda)} * \tau_{4(\lambda)} * \tau_{5(\lambda)} + 1 * \tau_{1(\lambda)} * \tau_{2(\lambda)} * \tau_{3(\lambda)} * \tau_{4(\lambda)} * \rho_{5(\lambda)} * \rho_{4'(\lambda)} * \tau_{5(\lambda)}$$

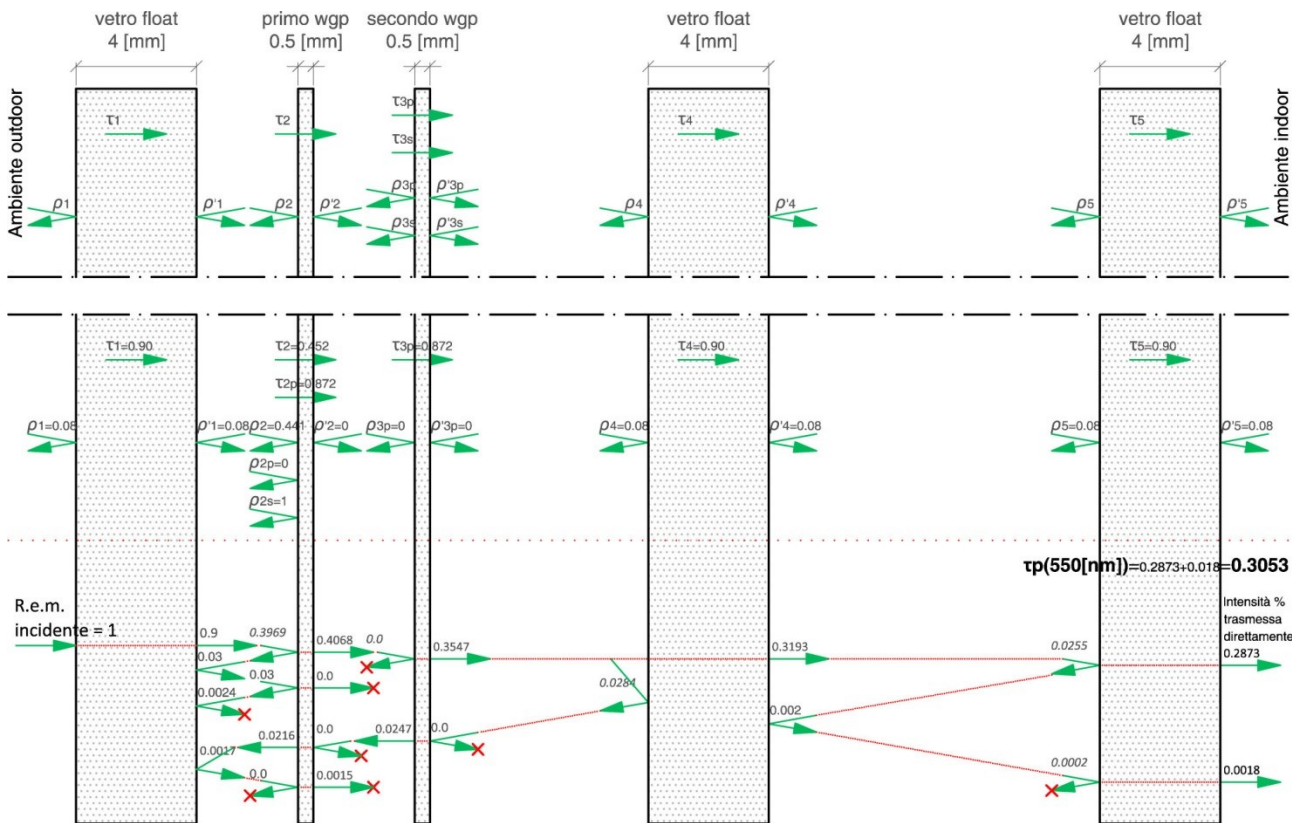


Fig.132 - Rappresentazione in Scala 4:1 _ Unità di misura [mm] _ riportato in una scala che va da 0 a 1.

Soluzione grafica di esempio per il calcolo della trasmissione specifica $\tau_{p(\lambda)}$ _ $\theta = 0^\circ$ alla lunghezza d'onda di 550 [nm]. La X rossa blocca la propagazione del raggio poiché il valore risulta insignificante rispetto ai valori registrati nella trasmissione diretta.

2° es.) Triplo Vetro (3 vetri float da 4mm) con interposti nella prima intercapedine i due filtri polarizzatori di tipo "wire grid filter". I polarizer in questo caso presentano gli assi di polarizzazione ortogonali fra loro consentendo un livello di trasmissione Minimo (stato SCURO).

Formula elaborata per il calcolo della trasmittanza $\tau_{s(\lambda)}$ (stato Scuro) in vetrate triple con wgp.

$$\tau_{s(\lambda)} = 1 * \tau_{1(\lambda)} * \tau_{2(\lambda)} * \tau_{3s(\lambda)} * \tau_{4(\lambda)} * \tau_{5(\lambda)}$$

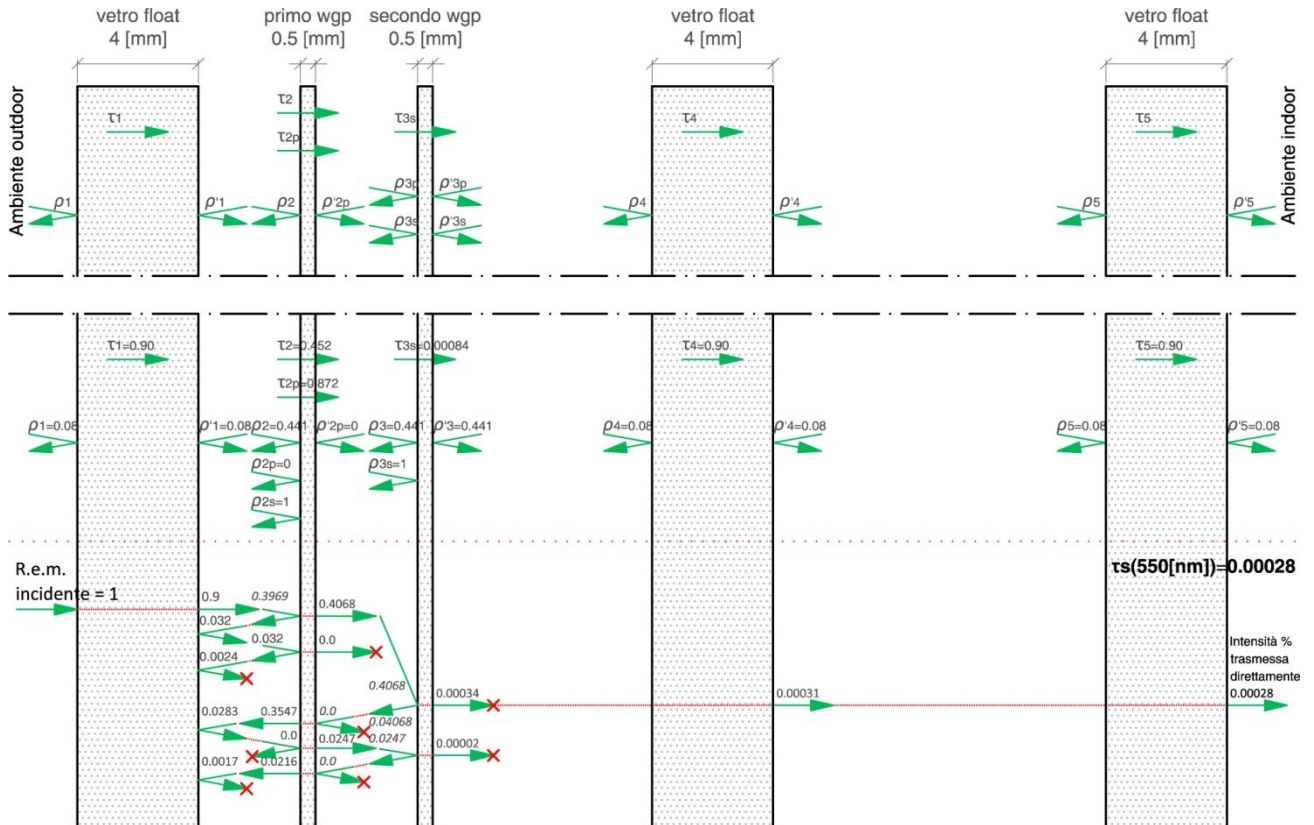


Fig. 133 - Rappresentazione in Scala 4:1 _ Unità di misura [mm] _ riportato in una scala che va da 0 a 1.

Soluzione grafica di esempio per il calcolo della trasmissione specifica $\tau_{s(\lambda)}$ _ $\theta = 90^\circ$ alla lunghezza d'onda di 550 [nm]. La X rossa blocca la propagazione del raggio poiché il valore risulta insignificante rispetto ai valori registrati nella trasmissione diretta.

3° es.) Doppio Vetro (2 vetri float da 4mm) con interposti nell'intercapedine i due filtri polarizzatori di tipo "wire grid polarizer". I polarizer in questo caso presentano gli assi di polarizzazione paralleli fra loro consentendo il livello di trasmissione massimo (stato CHIARO).

Formula elaborata per il calcolo della trasmittanza $\tau_{p(\lambda)}$ (stato Chiaro) in vetrate doppie con wgp.

$$\tau_{p(\lambda)} = 1 * \tau_{1(\lambda)} * \tau_{2(\lambda)} * \tau_{3p(\lambda)} * \tau_{4(\lambda)} + 1 * \tau_{1(\lambda)} * \tau_{2(\lambda)} * \tau_{3p(\lambda)} * \rho_{4(\lambda)} * \tau_{3p(\lambda)} * \tau_{2p(\lambda)} * \rho_{1'(\lambda)} * \tau_{2p(\lambda)} * \tau_{3p(\lambda)} * \tau_{4(\lambda)}$$

Formula alternativa elaborata per il calcolo della trasmittanza $\tau_{s(\lambda)}$ (stato Scuro che qui non è rappresentato) in vetrate doppie con wgp.

$$\tau_{p(\lambda)} = 1 * \tau_{1(\lambda)} * \tau_{2(\lambda)} * \tau_{3s(\lambda)} * \tau_{4(\lambda)}$$

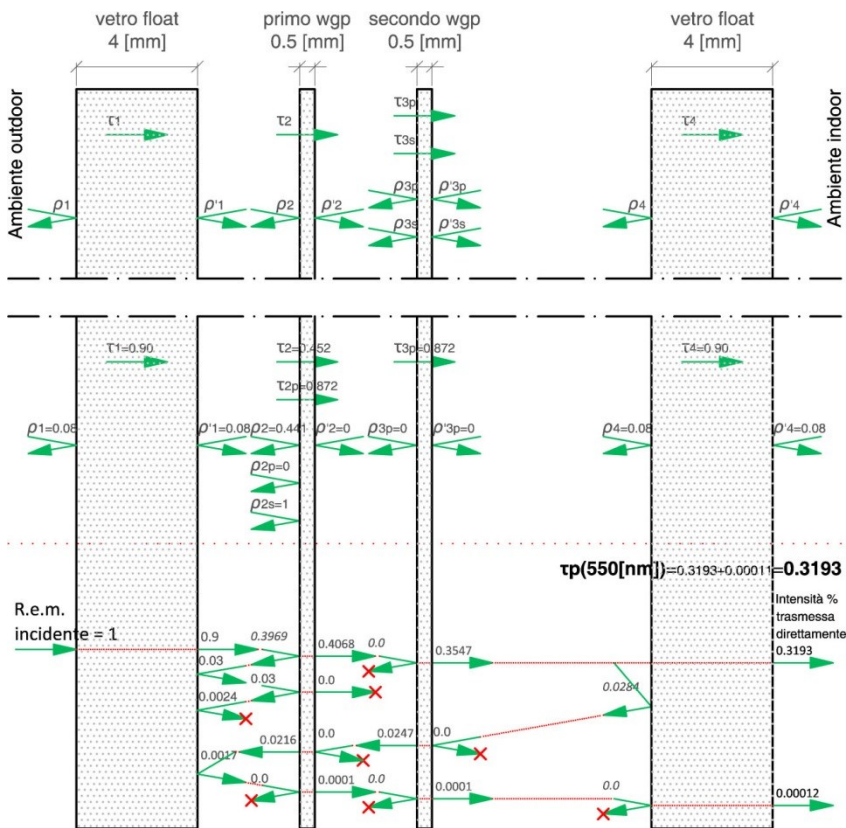


Fig.134 - Rappresentazione in Scala 4:1 _ Unità di misura [mm] _ riportato in una scala che va da 0 a 1.

Soluzione grafica di esempio per il calcolo della trasmissione specifica $\tau_{p(\lambda)}$ $\theta=0^\circ$ alla lunghezza d'onda di 550 [nm]. La X rossa blocca la propagazione del raggio poiché il valore risulta insignificante rispetto ai valori registrati nella trasmissione diretta.

Le formule elaborate vengono utilizzate anche per quantificare i livelli di trasmittanza solare (τ_e)

$$\tau_e = \frac{\sum_{\lambda=300 \text{ nm}}^{2500 \text{ nm}} S_{\lambda} \tau(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=300 \text{ nm}}^{2500 \text{ nm}} S_{\lambda} \Delta\lambda}$$

5.4.3 *Solar direct transmittance*, formula (10) _ Le variabili $S_{\lambda}^* \Delta_{\lambda}$ vengono fornite dalla tabella ^{Tab.135}

e quelli di trasmittanza nella gamma UV (τ_{uv})

$$\tau_{uv} = \frac{\sum_{\lambda=280 \text{ nm}}^{380 \text{ nm}} U_{\lambda} \tau(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=280 \text{ nm}}^{380 \text{ nm}} U_{\lambda} \Delta\lambda}$$

5.5 *UV-transmittance*, formula (25) _ Le variabili $U_{\lambda}^* \Delta_{\lambda}$ vengono fornite dalla tabella ^{Tab.136}

- Lo stesso metodo grafico è stato applicato per determinare il valore della variabile ($\rho_{p(\lambda)}$) e ($\rho_{s(\lambda)}$) caratteristica del dispositivo proposto e richiesta nella determinazione dei livelli di **riflettanza** per la configurazione chiara e per quella scura.

Come per la trasmittanza si sono effettuati i calcoli relativi al singolo provino, al doppio provino, al doppio vetro con wgf e al triplo vetro con wgf nell'intercapedine più esterna.

Con le formule elaborate tramite il metodo grafico illustrato nelle prossime pagine si sono determinate le incognite $\rho(\lambda)$ delle seguenti formule:

$$\rho_v = \frac{\sum_{\lambda=380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} D_{\lambda} \rho(\lambda) V(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} D_{\lambda} V(\lambda) \Delta\lambda}$$

5.3 *Light reflectance*, formula (4) _ Le variabili $D_{\lambda}^* V_{\lambda}^* \Delta_{\lambda}$ vengono fornite dalla tabella ^{Tab.131}

$$\rho_e = \frac{\sum_{\lambda=300 \text{ nm}}^{2500 \text{ nm}} S_{\lambda} \rho(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=300 \text{ nm}}^{2500 \text{ nm}} S_{\lambda} \Delta\lambda}$$

5.4.4 *Solar direct reflectance*, formula (11) _ Le variabili $S_{\lambda}^* \Delta_{\lambda}$ vengono fornite dalla tabella ^{Tab.135}

λ nm	$S_{\lambda} \Delta \lambda^a$	λ nm	$S_{\lambda} \Delta \lambda^a$
300	0,0005	1000	0,0329
320	0,0069	1050	0,0306
340	0,0122	1100	0,0185
360	0,0145	1150	0,0136
380	0,0177	1200	0,0210
400	0,0235	1250	0,0211
420	0,0268	1300	0,0166
440	0,0294	1350	0,0042
460	0,0343	1400	0,0010
480	0,0339	1450	0,0044
500	0,0326	1500	0,0095
520	0,0318	1550	0,0123
540	0,0321	1600	0,0110
560	0,0312	1650	0,0106
580	0,0294	1700	0,0093
600	0,0289	1750	0,0068
620	0,0289	1800	0,0024
640	0,0280	1850	0,0005
660	0,0273	1900	0,0002
680	0,0246	1950	0,0012
700	0,0237	2000	0,0030
720	0,0220	2050	0,0037
740	0,0230	2100	0,0057
760	0,0199	2200	0,0066
780	0,0211	2300	0,0060
800	0,0330	2400	0,0041
850	0,0453	2500	0,0006
900	0,0381		
950	0,0220		

^a The relative spectral distribution of global solar radiation (direct and diffuse) is calculated from the values given in Bibliography, [6] for air mass= 1; water content = 1,42 cm precipitable water, ozone content = 0,34 cm at standard temperature and pressure; albedo of earth surface = 0,2; spectral optical depth of aerosol extinction (at $\lambda = 500$ nm)= 0,1.

Tab. 135 – Table 2 - Normalized relative spectral distribution of global solar radiation S_{λ} multiplied by the wavelength interval $\Delta\lambda$.

UNI EN 410

λ nm	$U_{\lambda} \Delta \lambda$
300	0,000 63
305	0,005 54
310	0,014 71
315	0,027 50
320	0,039 75
325	0,051 25
330	0,067 57
335	0,068 22
340	0,071 83
345	0,072 42
350	0,076 81
355	0,078 86
360	0,081 42
365	0,090 22
370	0,099 11
375	0,102 23
380	0,051 93

Tab. 136 – Table 3 - Normalized relative spectral distribution of the UV part of the global solar radiation multiplied by the wavelength interval $\Delta\lambda$.
UNI EN 410

4° es.) Tripla Vetro (3 vetri float da 4mm) con interposti nella prima intercapedine due filtri polarizzatori di tipo "WGF". In questo caso i polarizer hanno gli assi di polarizzazione allineati in modo parallelo fra loro (stato CHIARO).

Formula elaborata per il calcolo della riflettanza luminosa/termica $\rho_p(\lambda)$ di vetrate triple con filtro polarizer integrato.

$$\rho_p(\lambda) = 1 * \rho_{1(\lambda)} + 1 * \tau_{1(\lambda)} * \rho_{2(\lambda)} * \tau_{1(\lambda)} + 1 * \tau_{1(\lambda)} * \rho_{2(\lambda)} * \rho_{1'(\lambda)} * \rho_{2s(\lambda)} * \tau_{1(\lambda)} + 1 * \tau_{1(\lambda)} * \rho_{2(\lambda)} * \rho_{1'(\lambda)} * \rho_{2s(\lambda)} * \rho_{1'(\lambda)} * \rho_{2s(\lambda)} * \tau_{1(\lambda)} + 1 * \tau_{1(\lambda)} * \tau_{2(\lambda)} * \tau_{3p(\lambda)} * \rho_{4(\lambda)} * \tau_{3p(\lambda)} * \tau_{2p(\lambda)} * \tau_{1(\lambda)} + 1 * \tau_{1(\lambda)} * \tau_{2(\lambda)} * \tau_{3p(\lambda)} * \tau_{4p(\lambda)} * \rho_{5(\lambda)} * \tau_{4p(\lambda)} * \tau_{3p(\lambda)} * \tau_{2p(\lambda)} * \tau_{1(\lambda)}$$

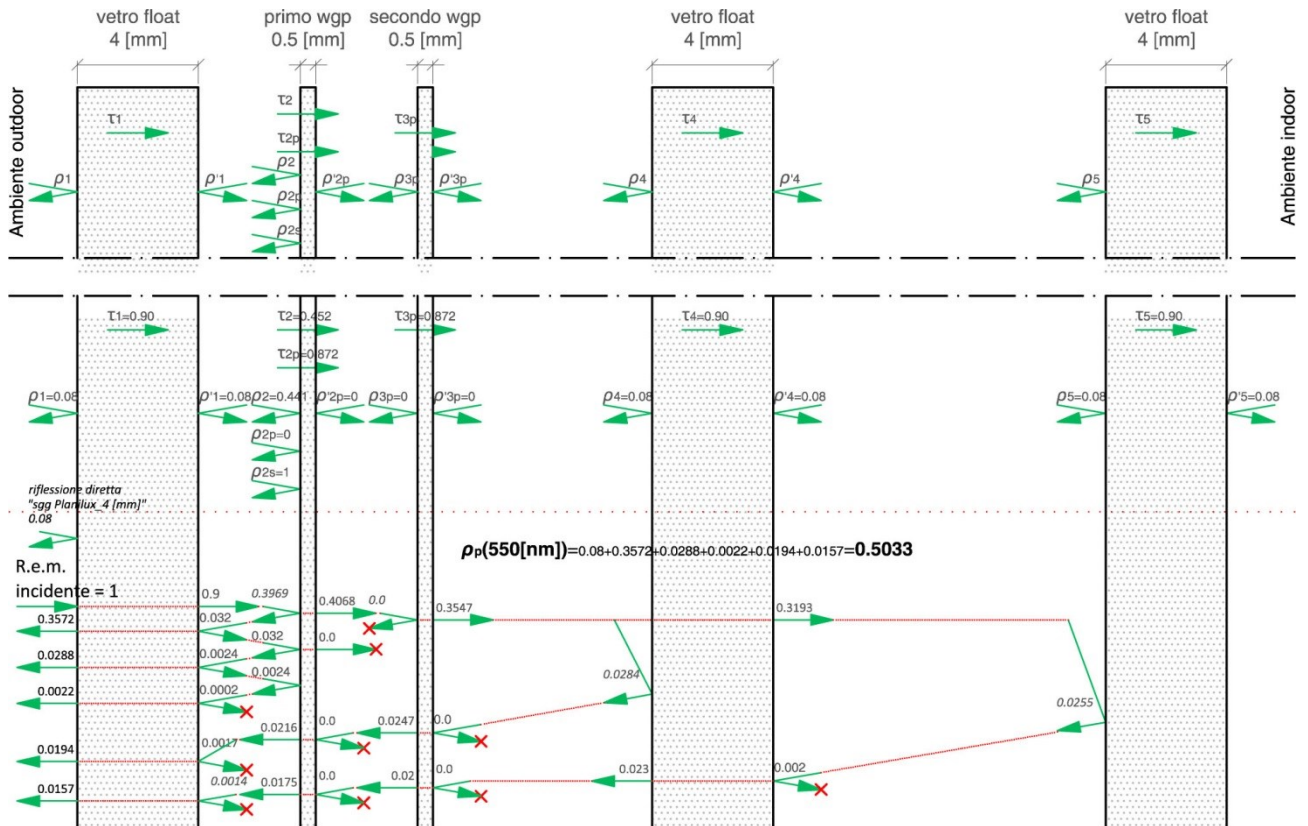


Fig.137 - Rappresentazione in Scala 4:1 _ Unità di misura [mm] _ riportata in una scala che va da 0 a 1.

Soluzione grafica di esempio per il calcolo della riflettanza specifica $\rho_p(\lambda)$ _ $\theta=0^\circ$ alla lunghezza d'onda di 550 [nm]. La X rossa blocca la propagazione del raggio poiché il valore risulta insignificante rispetto ai valori registrati nella trasmissione diretta.

5° es.) Triplo vetro (3 vetri float da 4mm) con interposti nella prima intercapedine i due filtri polarizzatori di tipo "wire grid polarizer". In questo caso i polarizer hanno gli assi di polarizzazione allineati in modo ortogonale fra loro (stato SCURO).

Formula elaborata per il calcolo della riflettanza luminosa/termica $\rho_{s(\lambda)}$ di vetrate triple con filtro polarizer integrato.

$$\rho_{s(\lambda)} = 1 * \rho_{1(\lambda)} + 1 * \tau_{1(\lambda)} * \rho_{2(\lambda)} * \tau_{1(\lambda)} + 1 * \tau_{1(\lambda)} * \rho_{2(\lambda)} * \rho_{1'(\lambda)} * \rho_{2s(\lambda)} * \tau_{1(\lambda)} + 1 * \tau_{1(\lambda)} * \rho_{2(\lambda)} * \rho_{1'(\lambda)} * \rho_{2s(\lambda)} * \rho_{1'(\lambda)} * \rho_{2s(\lambda)} * \tau_{1(\lambda)} + 1 * \tau_{1(\lambda)} * \tau_{2(\lambda)} * \rho_{3s(\lambda)} * \tau_{2p(\lambda)} * \tau_{1(\lambda)} + 1 * \tau_{1(\lambda)} * \tau_{2(\lambda)} * \rho_{3s(\lambda)} * \tau_{2p(\lambda)} * \rho_{1's(\lambda)} * \tau_{2p(\lambda)} * \rho_{3s(\lambda)} * \tau_{2p(\lambda)} * \tau_{1(\lambda)}$$

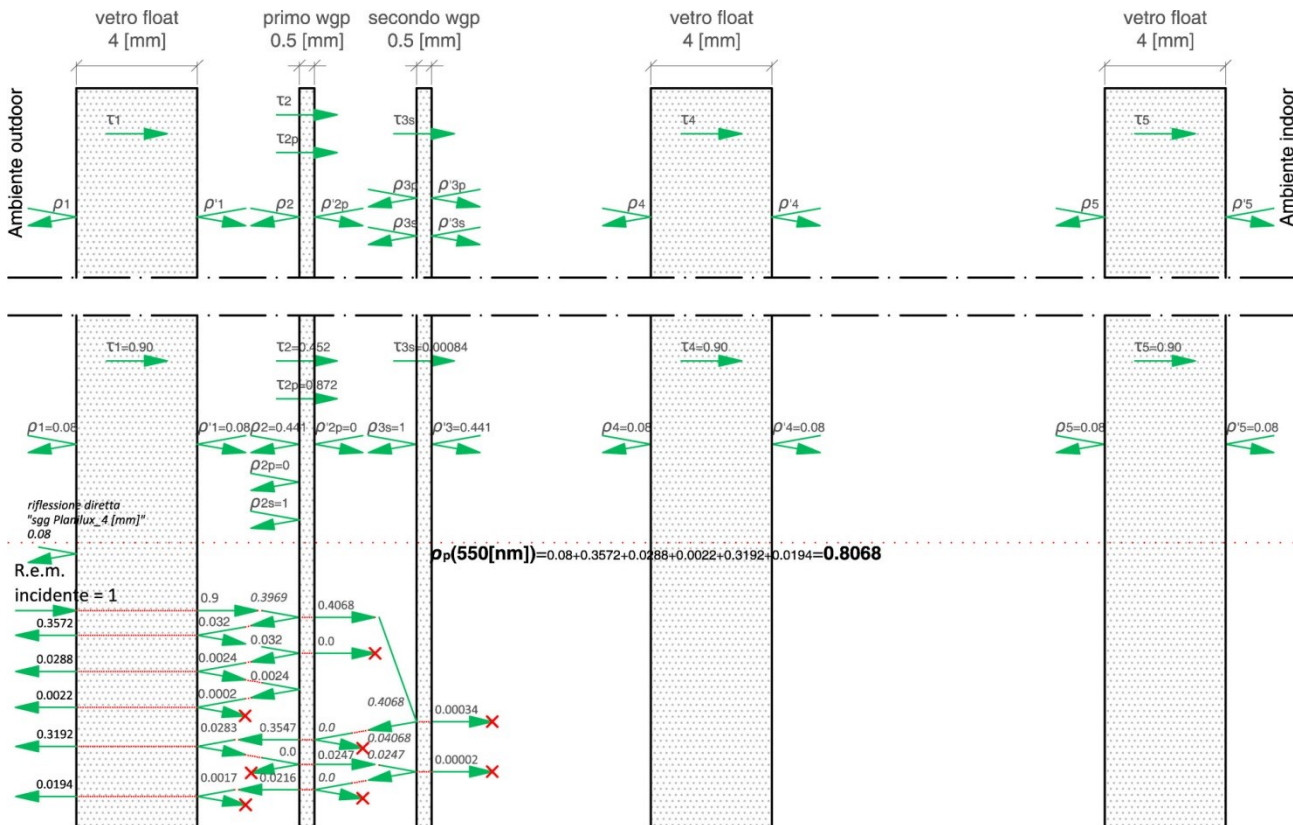


Fig. 138 - Rappresentazione in Scala 4:1 _ Unità di misura [mm] _ riportato in una scala che va da 0 a 1. Soluzione grafica di esempio per il calcolo della trasmissione specifica $\rho_{s(\lambda)}$ _ $\theta = 90^\circ$ alla lunghezza d'onda di 550 [nm]. La x rossa blocca la propagazione del raggio poiché il valore risulta insignificante rispetto agli altri valori registrati.

6° es.) Doppio Vetro (2 vetri float da 4mm) con interposti nell'intercapedine i due filtri polarizzatori di tipo "wire grid filter". I polarizzatori in questo caso presentano gli assi di polarizzazione paralleli fra loro consentendo il livello di trasmissione massimo (stato CHIARO).

Formula elaborata per il calcolo della riflettanza luminosa/termica $\rho_p(\lambda)$ di vetrate doppie con filtro polarizer integrato. (stato Chiaro)

$$\rho_p(\lambda) = 1 * \rho_{1(\lambda)} + 1 * \tau_{1(\lambda)} * \rho_{2(\lambda)} * \tau_{1(\lambda)} + 1 * \tau_{1(\lambda)} * \rho_{2(\lambda)} * \rho_{1'(\lambda)} * \rho_{2s(\lambda)} * \tau_{1(\lambda)} + 1 * \tau_{1(\lambda)} * \rho_{2(\lambda)} * \rho_{1'(\lambda)} * \rho_{2s(\lambda)} * \rho_{1'(\lambda)} * \rho_{2s(\lambda)} * \tau_{1(\lambda)} + 1 * \tau_{1(\lambda)} * \tau_{2(\lambda)} * \tau_{3p(\lambda)} * \rho_{4(\lambda)} * \tau_{3p(\lambda)} * \tau_{2p(\lambda)} * \tau_{1(\lambda)}$$

Formula elaborata per il calcolo della riflettanza luminosa/termica $\rho_s(\lambda)$ di vetrate doppie con filtro polarizer integrato. (stato Scuro che qui non è rappresentato)

$$\rho_s(\lambda) = 1 * \rho_{1(\lambda)} + 1 * \tau_{1(\lambda)} * \rho_{2(\lambda)} * \tau_{1(\lambda)} + 1 * \tau_{1(\lambda)} * \rho_{2(\lambda)} * \rho_{1'(\lambda)} * \rho_{2s(\lambda)} * \tau_{1(\lambda)} + 1 * \tau_{1(\lambda)} * \rho_{2(\lambda)} * \rho_{1'(\lambda)} * \rho_{2s(\lambda)} * \tau_{1(\lambda)} + 1 * \tau_{1(\lambda)} * \tau_{2(\lambda)} * \tau_{3s(\lambda)} * \rho_{3s(\lambda)} * \tau_{2p(\lambda)} * \rho_{1's(\lambda)} * \tau_{2p(\lambda)} * \rho_{3s(\lambda)} * \tau_{2p(\lambda)} * \tau_{1(\lambda)}$$

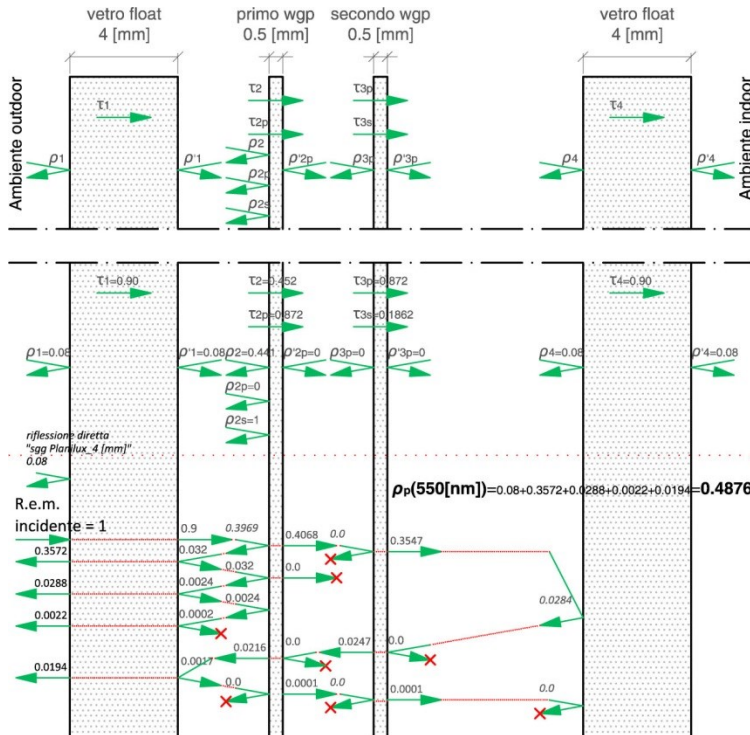


Fig.139 - Rappresentazione in Scala 4:1 _ Unità di misura [mm] _ riportato in una scala che va da 0 a 1.

Soluzione grafica di esempio per il calcolo della riflettanza specifica $\rho_p(\lambda)$ _ $\theta=0^\circ$ alla lunghezza d'onda di 550 [nm]. La X rossa blocca la propagazione del raggio poiché il valore risulta insignificante rispetto ai valori registrati nella trasmissione diretta.

Utilizzando le formule generate dal metodo grafico si è proceduto con l'elaborazione dei risultati mediante una cartella **excel**.

I valori di assorbanza delle diverse configurazioni per i due dispositivi (doppio e triplo vetro) si sono ricavate per differenza:

$$\alpha_e = 1 - \tau_e - \rho_e$$

5.4.2 Direct absorptance, formula (8).^{UNI EN 410}

Per il calcolo dei guadagni solari per riemissione (q_i e q_e) della % di r.e.m. assorbita si è utilizzata la formula empirica^{"Manuale tecnico del vetro"_Saint Gobain Glass} che prevede che **1/3** di α_e venga trasmesso verso l'interno dei locali (q_i) mentre i rimanenti **2/3** verranno riemessi e quindi dispersi nell'ambiente esterno (q_e).

$$\alpha_e = \frac{1 * q_i}{3} + \frac{2 * q_e}{3}$$

Dal manuale tecnico del vetro^{SGG}

Uno studio più approfondito degli effettivi guadagni e delle perdite per ri-emissione può essere svolto secondo la procedura descritta nel paragrafo 5.4.^{seguenti} della UNI EN 410 una volta che si è scelta la stratigrafia dei vetri. Viene valutato in base alla scelta di adottare o meno vetrate con depositi basso-emissivi come 5° strato, o altri abbinamenti specifici legati alle condizioni finali d'uso.

Calcolato il contributo q_i si può finalmente determinare il fattore solare FS (g) che viene utilizzato nel settore edile per confrontare i singoli dispositivi o i pacchetti di vetri per l'architettura. Questo valore indica la totalità dell'energia che penetra per trasferimento diretto o per trasferimento secondario (trasferimenti per convezione-conduzione e irraggiamento a lunghezze d'onda del medio e lontano infrarosso) all'interno dei locali.

$$g = \tau_e + q_i$$

5.4.1 Total solar energy transmittance (solar factor), formula (7).^{UNI EN 410}

Infine si è calcolato l'altro parametro di confronto che viene adottato nei paesi anglosassoni. Lo Shading Coefficient SC è un indicatore che corrisponde alla totalità dell'energia trasmessa dal pacchetto/vetro in prova in rapporto con l'energia totale trasmessa da un vetro float chiaro dallo spessore nominale si ~3-4[mm] che vale 0,87.

$$SC = \frac{g}{0,87}$$

5.7 Shading Coefficient.^{UNI EN 410}

CONCLUSIONI: Dai risultati numerici si confermano tutti gli assunti teorici.

La massima trasmissione della componente polarizzata si ha quando i diversi assi di polarizzazione del primo e del secondo filtro sono paralleli fra loro e allineati lungo la direzione di propagazione dell'onda e.m. incidente. La componente della r.e.m. ortogonale all'asse di polarizzazione, che consente la trasmissione, viene polarizzata e riflessa.

La minima trasmissione della componente polarizzata si ha quando i diversi assi di polarizzazione del primo e del secondo filtro sono ortogonali fra loro e allineati lungo la direzione di propagazione dell'onda e.m. incidente. In questo caso la riflessione è massima.

Angoli intermedi tra gli assi di polarizzazione daranno una trasmissione variabile linearmente tra il minimo e il massimo.

La componente della r.e.m. incidente, non polarizzata dal pattern metallico, è trasmessa in percentuali relative al grado di trasmissione, per le specifiche lunghezze d'onda, dei materiali trasparenti utilizzati.

Esponiamo dunque i valori determinati per il progetto GLASS ✦ SEASON VIS+NR^{BETA}, misurati e calcolati secondo la Normativa di indirizzo "UNI EN 410":

RIASSUNTO DEI RISULTATI DA "UNI EN 410" e modifiche

Pagine Normativa	Capitolo	Nr. Formula	Valore Scala [%]	Risultato	Configurazione del dispositivo
------------------	----------	-------------	------------------	-----------	--------------------------------

VIS_380-780[nm]	8 - 11 5.2_Light Transmittance (g4sVIS+NIR)	1	$\tau_v =$	47.0	Singolo Filtro	
			1+2 (modificata)	$\tau_{v(chiaro)} =$	40.6	Doppio filtro (Stato Chiaro)
		$\tau_{v(scuro)} =$		0.2	Doppio filtro (Stato Scuro)	
		$\tau_{v(chiaro)} =$		32.2	Doppio vetro con doppio filtro (stato Chiaro)	
		$\tau_{v(scuro)} =$		0.1	Doppio vetro con doppio filtro (stato scuro)	
		1+3 (modificata)	$\tau_{v(chiaro)} =$	28.9	Triplo vetro con doppio filtro	
	$\tau_{v(scuro)} =$		0.0	Triplo vetro con doppio filtro (stato scuro)		
	11 - 12 5.3_Light reflectance (g4sVIS+NIR)	4	$\rho_v =$	46.0	Singolo Filtro	
			4+5 (modificata)	$\rho_{v(chiaro)} =$	46.8	Doppio filtro (Stato Chiaro)
				$\rho_{v(scuro)} =$	78.7	Doppio filtro (Stato Scuro)
$\rho_{v(chiaro)} =$				49.3	Doppio vetro con doppio filtro (stato Chiaro)	
$\rho_{v(scuro)} =$		71.0		Doppio vetro con doppio filtro (stato scuro)		
4+6 (modificata)		$\rho_{v(chiaro)} =$	50.9	Triplo vetro con doppio filtro		
		$\rho_{v(scuro)} =$	71.0	Triplo vetro con doppio filtro (stato scuro)		
		14 5.4.3_Solar direct transmittance (g4sVIS+NIR)	10	$\tau_e =$	42.3	Singolo Filtro
	10+2 (modificata)			$\tau_{e(chiaro)} =$	36.7	Doppio filtro (Stato Chiaro)
$\tau_{e(scuro)} =$				0.1	Doppio filtro (Stato Scuro)	
$\tau_{e(chiaro)} =$				26.1	Doppio vetro con doppio filtro (stato Chiaro)	
$\tau_{e(scuro)} =$			0.1	Doppio vetro con doppio filtro (stato scuro)		
10+3 (modificata)	$\tau_{e(chiaro)} =$		22.3	Triplo vetro con doppio filtro		
	$\tau_{e(scuro)} =$	0.0	Triplo vetro con doppio filtro (stato scuro)			
UV+VIS+NIR_300-2500[nm]	14 5.4.3_Solar direct reflectance (g4sVIS+NIR)	11	$\rho_e =$	45.9	Singolo Filtro	
			11+2 (modificata)	$\rho_{e(chiaro)} =$	47.0	Doppio filtro (Stato Chiaro)
				$\rho_{e(scuro)} =$	71.0	Doppio filtro (Stato Scuro)
				$\rho_{e(chiaro)} =$	43.0	Doppio vetro con doppio filtro (stato Chiaro)
		$\rho_{e(scuro)} =$		58.9	Doppio vetro con doppio filtro (stato scuro)	
		11+3 (modificata)	$\rho_{e(chiaro)} =$	44.1	Triplo vetro con doppio filtro	
	$\rho_{e(scuro)} =$		58.9	Triplo vetro con doppio filtro (stato scuro)		
	13-15 5.4.3_Solar direct absorptance (g4sVIS+NIR)	8	$\alpha_e =$	11.9	Singolo Filtro	
$\alpha_{e(chiaro)} =$			16.2	Doppio filtro (Stato Chiaro)		
$\alpha_{e(scuro)} =$			28.9	Doppio filtro (Stato Scuro)		
$\alpha_{e(chiaro)} =$			30.8	Doppio vetro con doppio filtro (stato Chiaro)		
$\alpha_{e(scuro)} =$			41.0	Doppio vetro con doppio filtro (stato scuro)		
$\alpha_{e(chiaro)} =$			33.6	Triplo vetro con doppio filtro		
$\alpha_{e(scuro)} =$	41.0	Triplo vetro con doppio filtro (stato scuro)				

RIASSUNTO DEI RISULTATI DA "UNI EN 410" e modifiche					
Pagine Normativa	Capitolo	Nr. Formula	Valore Scala [%]	Risultato	Configurazione del dispositivo
UV+VIS+NIR_300-2500[nm]	12-19	5.4.1_Solar factor FS (g4sVIS+NIR)	7	g=	46.2 Singolo Filtro
				$g_{(chiaro)}$	42.2 Doppio filtro (Stato Chiaro)
				$g_{(scuro)}$	9.7 Doppio filtro (Stato Scuro)
				$g_{(chiaro)}$	36.4 Doppio vetro con doppio filtro (stato Chiaro)
				$g_{(scuro)}$	13.7 Doppio vetro con doppio filtro (stato scuro)
				$g_{(chiaro)}$	33.5 Triplo vetro con doppio filtro
				$g_{(scuro)}$	13.7 Triplo vetro con doppio filtro (stato scuro)
	22	5.7_Shading coefficient SC (g4sVIS+NIR)	48	SC=	53.1 Singolo Filtro
				$SC_{(chiaro)}$	48.5 Doppio filtro (Stato Chiaro)
				$SC_{(scuro)}$	11.2 Doppio filtro (Stato Scuro)
				$SC_{(chiaro)}$	41.9 Doppio vetro con doppio filtro (stato Chiaro)
				$SC_{(scuro)}$	15.8 Doppio vetro con doppio filtro (stato scuro)
				$SC_{(chiaro)}$	38.5 Triplo vetro con doppio filtro
				$SC_{(scuro)}$	15.7 Triplo vetro con doppio filtro (stato scuro)
UV_300-380[nm]	19	5.5_UV - transmittance (g4sVIS+NIR)	25	τ_{UV}	0.188 Singolo Filtro
				$\tau_{UV(chiaro)}$	0.007 Doppio filtro (Stato Chiaro)
				$\tau_{UV(scuro)}$	0.001 Doppio filtro (Stato Scuro)
				$\tau_{UV(chiaro)}$	0.005 Doppio vetro con doppio filtro (stato Chiaro)
				$\tau_{UV(scuro)}$	0.000 Doppio vetro con doppio filtro (stato scuro)
				$\tau_{UV(chiaro)}$	0.004 Triplo vetro con doppio filtro
				$\tau_{UV(scuro)}$	0.000 Triplo vetro con doppio filtro (stato scuro)

Fig.140 – Risultati riferiti al polarizzatore WGF-HTN della Asahi Kasei E-Materials inserito in doppio o triplo vetro e caratterizzato dal punto di vista solare-energetico e da quello delle prestazioni ottiche-visive.

Rielaborazione dei dati numerici raccolti durante la campagna di misura svolta presso il Thermalab del Politecnico di Milano.

Configurazione del dispositivo Parametro [%]	R.E.M. DANNOSE UV_300-380[nm]		FATTORE LUMINOSO VIS_380-780[nm]				FATTORI ENERGETICI SOLARI UV+VIS+NIR_300-2500[nm]						Parametri energetici generali			
	Chiaro τ_{UV}	Scuro τ_{UV}	Chiaro τ_v	Scuro τ_v	Chiaro ρ_v	Scuro ρ_v	Chiaro τ_e	Scuro τ_e	Chiaro ρ_e	Scuro ρ_e	Chiaro α_e	Scuro α_e	Chiaro g	Scuro g	Chiaro SC	Scuro SC
Doppio filtro	0.007	0.001	40.6	0.2	46.8	78.7	36.7	0.1	47.0	71.0	16.2	28.9	42.2	9.7	48.5	11.2
Doppio vetro con doppio filtro	0.005	0.000	32.2	0.1	49.3	71.0	26.1	0.1	43.0	58.9	30.8	41.0	36.4	13.7	41.9	15.8
Triplo vetro con doppio filtro	0.004	0.000	28.9	0.0	50.9	71.0	22.3	0.0	44.1	58.9	33.6	41.0	33.5	13.7	38.5	15.7

Fig.141 – Report sintetico delle prestazioni ottiche e termiche dei 3 dispositivi ipotizzati.

6.1.0 Quale soluzione possibile per il fruitore comune?

Come avrete già notato, dalle curve di trasmissione del filtro WGF-HTN^{Tab.117} la percentuale della radiazione solare responsabile della percezione dei colori va a ridursi drasticamente alla prima necessità di riduzione dei carichi termici dovuti alla sommatoria della radiazione e.m. VIS e NIR entrante nei locali. Infatti, se il dispositivo appena approfondito può risultare ideale per superfici trasparenti orizzontali o verticali di grandi dimensioni come quelle dei grattacieli, delle serre agricole, etc. non può dirsi lo stesso per le finestre di piccole porzioni.

La riduzione lineare della componente VIS e NIR ed una trasparenza massima allo stato “Chiaro” nell’ordine del ~30% non favoriscono l’installazione di questi dispositivi ottici in edifici sui quali siano stati fatti in fase progettuale ragionamenti volti al massimo risparmio possibile.

E’ noto che le superfici trasparenti siano la parte più costosa del sistema d’involucro verticale. Non c’è quindi da stupirsi se i progettisti, obbedendo alle indicazioni dei loro committenti, si adoperino per far rientrare a malapena nelle disposizioni normative le dimensioni di tali superfici. (Rapporto aero illuminate = 1/8 della superficie di pavimento del locale).

Il compito di un buon architetto penso sia assimilabile quello di un abile mediatore che da conoscitore della materia e degli strumenti “possibili” messi a disposizione del progetto sia in grado di offrire il maggior livello di comfort fisico e psicologico all’utente finale senza tradire le disposizioni della committenza.

Come laureando magistrale in Architettura penso quindi che le mie attenzioni debbano rivolgersi verso la creazione di sistemi funzionali al progetto e che sappiano rispondere al meglio alle esigenze del fruitore. In questo caso i risultati di progetto ottenuti non potevano incidere sulla più grossa sfida di fronte alla quale siamo posti.

La prova della conservazione del costruito. Un patrimonio edilizio dalle dimensioni sconvolgenti che attualmente, per i costi delle fonti energetiche, per l’emergenza del riversamento in atmosfera dei gas climalteranti e per la crisi economica che sta colpendo i ceti medi e medio-poveri dei paesi più industrializzati, necessita di una tempestiva ed efficace rivisitazione.

Le politiche energetiche e di incentivazione volte al miglioramento prestazionale degli involucri opachi e trasparenti sono un primo passo che va nella direzione giusta.

La mia domanda è:

gli architetti saranno in grado di proporre soluzioni efficaci per il controllo degli scambi

radiativi e conduttivi senza aggravare ulteriormente il bilancio energetico dell'edificio con soluzioni attive o con materiali che richiedono un'energia elevata per essere prodotti?

La mia domanda vuole essere uno stimolo per coloro che credono in un futuro ove le soluzioni **naturali** e i dispositivi **passivi**, ottimizzati con micro-controlli di tipo attivo a basso consumo possano entrare nella cultura dei progettisti.

Ma scrivo di più, io credo che tra i compiti dell'architetto ci sia quello di essere dei ricercatori attivi. Ricercatori magari inconsapevoli ma che con il loro operato tentano di migliorare lo stato della tecnica senza aspettare che qualcuno dall'alto cali delle soluzioni tecnologiche miracolose che magari vanno bene per tutti gli edifici e per tutti gli areali geografici.

L'architettura di qualità è dunque quella vicina al fruitore e all'ambiente nella quale si inserisce. Soluzioni dinamiche come quella che è stata descritta nel capitolo precedente sono in grado di mantenere un contatto visivo continuo tra lo spazio aperto e quello confinato.

Tuttavia, riducendo considerevolmente la trasmittanza di partenza rispetto ad un vetro float chiaro non può andare a soddisfare le esigenze di molti.

Seguendo questi assunti e seguendo il cuore si è deciso di impegnarsi a fondo nella ricerca della soluzione che potesse dare l'opportunità di installare un vetro dinamico anche all'utente comune.

La soluzione era più vicina di quello che credevo. Se fino a settembre 2013 avevo cercato una soluzione che riuscisse a filtrare dinamicamente, in modo passivo, l'intera gamma dello spettro solare. Da quel mese in poi cambiai rotta. Il novo obiettivo si chiamava "**selettività**".

Fino a quel momento mi ero imbattuto nelle descrizioni dei coating che vengono applicati alle superfici vetrate. Tuttavia il campo della chimica mi era molto lontano e apportare una miglioria tramite processi complessi legati al mondo delle leghe e dei composti risultava assai difficile.

E' solo ripensando alle regole che governavano la costruzione dei reticoli di diffrazione WGP che mi venne un'intuizione.

Se è vero che per polarizzare l'intera radiazione solare dall'UV al NIR è necessario ridurre il passo tra i filamenti di $\frac{1}{2}$ della lunghezza d'onda da trattare poteva essere vero che aumentando tale distanza il polarizzatore avrebbe potuto filtrare dinamicamente la sola componente termica lasciandosi attraversare dalla r.e.m. visibile.

Finalmente era pronto! Il progetto più utile era pronto.

Si è trattato unicamente di trovarne una realizzazione che confermava la teoria matematica. Si ripercorsero i passi esplorativi nei campi che si erano già indagati per la ricerca di un polarizzatore Broadband.

Tuttavia, cercando tra i filtri polarizzatori presenti nel mercato si riscontravano unicamente filtri per il NIR opachi nelle lunghezze d'onda del visibile.

Tutto ad un tratto le risposte sono emerse dalla ricerca nello sconfinato mondo brevettuale.

Il documento più utile fu quello denominato JP2012-118237 che mostra questo grafico.^{Fig.142}

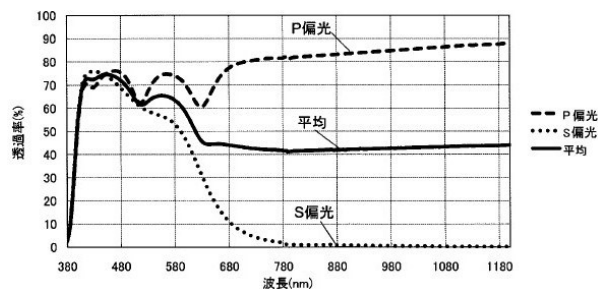


Fig. 142 – Valori di trasmittanza registrati per il prototipo del wgp della Asahi Kasei.
JP2012-118237

Il grafico mostra i livelli di trasmittanza τ_p e τ_s di un prototipo wire grid il cui passo tra i filamenti è di 230 [nm]. Ogni filamento è alto 120[nm] e i fili sono di alluminio.

Come si può vedere la capacità di estinzione della radiazione incidente con asse di vibrazione S è elevata nella gamma dei NIR >780[nm] e pressoché ininfluyente nel visibile

fino a ~550[nm] dove inizia l'effetto di polarizzazione.

Questo prototipo è stato realizzato dalla Asahi Kasei e descritto nel brevetto.

La presenza di questo oggetto reale che conferma la teoria matematica consente uno sviluppo ulteriore della proposta progettuale.

L'applicazione dell'idea del pattern^{Fig.091, 092} studiato per una traslazione lineare di uno dei due dispositivi consente l'utilizzo di un tale dispositivo nelle videocamere per l'architettura estendendone la possibilità di utilizzo alle superfici di piccole dimensioni.

6.2.0 Polarizzazione della sola componente termica della radiazione solare

Ricordando che l'intensità della radiazione solare incidente al suolo è suddivisa in **UV 3,4[%]**; **VIS 57[%]**; **NIR 39,6[%]**.^{cap.3.2.1} Si mira ad ottenere un dispositivo opaco nei confronti della radiazione ultravioletta e che consenta durante la stagione calda l'abbattimento della sola componente termica (meno 39.6% della radiazione totale).

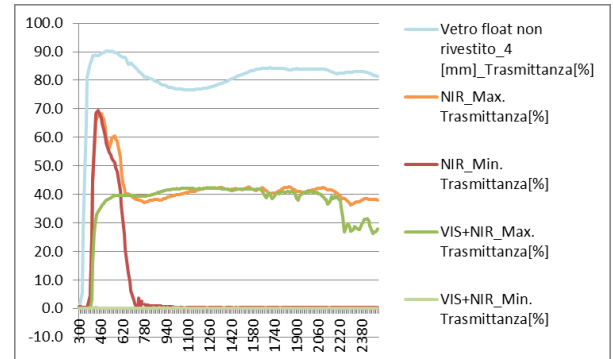
Viceversa durante il periodo invernale si potrebbe ottenere un apporto solare gratuito (~76,8%) composto dal VIS +1/2 del NIR poiché quest'ultimo è polarizzato.

Dalle analisi fin qui realizzate si può prevedere che la prestazione di un wire grid polarizer del genere riesca ad estendere la sua influenza ben oltre i 1180[nm].

Ci si rende conto delle opportunità offerte da questa ipotesi mettendo a confronto le curve dei livelli di trasmittanza del filtro NIR con quelle del filtro WGF-HTN e con la curva tipica del vetro float chiaro da 4[mm].^{Fig.143}

La curva rossa e quella arancione mostrano come, con questo nuovo dispositivo, si riesca a superare il fatidico limite per polarizzazione ($\tau_{max} < 50\%$) ottenendo trasmittanze del ~60,1[%]^{a 550[nm]} nel visibile con una riduzione progressiva verso la parte finale della curva

di sensibilità dell'occhio umano (intorno ai 780[nm]).^{Cap. 3.2.3}



Tab. 143 – Grafico di confronto dei livelli di trasmittanza % globale di coppie di polarizzatori sovrapposti con angoli $\theta=0^\circ$ -> (NIR_Max. configurazione CHIARA) e angoli $\theta=90^\circ$ -> (NIR_Min. configurazione scura). Le due coppie di polarizzatori lineari uniformi wgp differiscono principalmente nella misura del passo tra i filamenti.

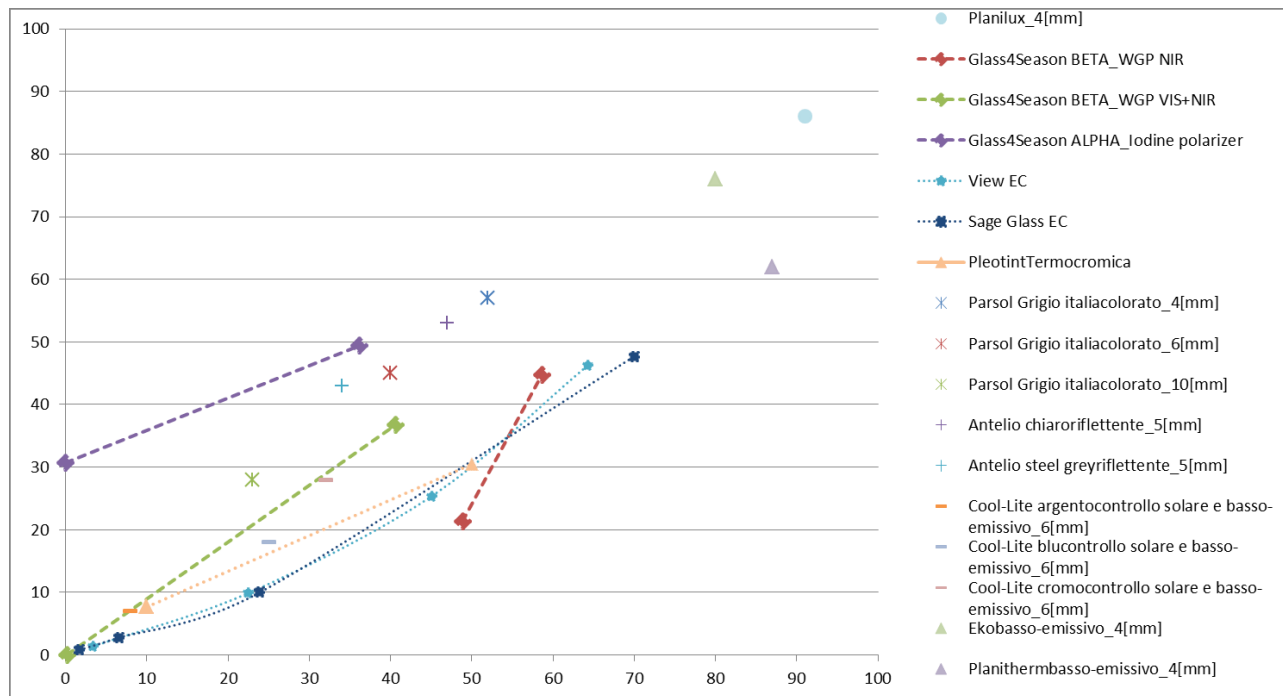
L'utente finale non dovrà più preoccuparsi di cercare un compromesso tra la luce e il risparmio energetico, negli ambienti già scarsamente illuminati, bensì questa soluzione consente l'adozione di dinamiche di micro-controllo stagionali, più semplici da gestire.

Come per il WGF è possibile ottenere svariati livelli di trasmissione intermedia tra il massimo e il minimo permettendo una regolazione degli apporti solari personalizzata a seconda delle necessità.

Quello che si è creato è un dispositivo trasparente selettivo (poiché filtra dinamicamente solo la componente NIR e assorbe quella UV tramite lo strato di TAC)

con proprietà che vengono chiamate a “controllo solare” e il cui raggio d’azione copre una gamma di trasmittanze solari τ_e tipiche dei vetri colorati, riflettenti e a controllo solare mantenendo tuttavia un livello di trasparenza superiore nella gamma del visibile. ^{Fig.145}

Oltre al risparmio elettrico durante la fase d’uso si hanno ulteriori vantaggi dal punto di vista termico-visivo nel confronto fra questo dispositivo g4s NIR e i vetri **Smart** (elettrocromici e termo-cromici”. Infatti il punto di massimo oscuramento della componente NIR, riporta valori di τ_{vis} superiori del 9% rispetto ad entrambe le tecnologie intelligenti.



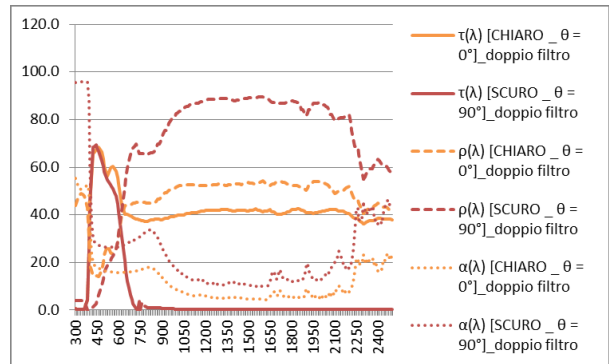
Tab. 145 – Elaborazione di una tabella di confronto fra le principali tecnologie statiche (vetri colorati, riflettenti, a controllo solare e basso emissive) e quelle dinamiche (vetri elettro-cromici, termo-cromici e i tre progetti Glass4SeasonALPHA e BETA VIS+NIR e BETA NIR) Sull’asse delle ordinate (y) vi sono i valori percentuali di trasmissione energetica τ_e mentre sulla retta delle ascisse (x) c’è la % di trasmissione luminosa τ_v .

6.3.0 Determinazione delle grandezze termiche ed ottiche.

Anche per questo filtro sono stati effettuati i calcoli secondo norma UNI EN 410 per valutarne le prestazioni Termiche e luminose.

Conoscendo la struttura materica del filtro NIR e possedendo la sola curva di trasmittanza per la componente τ_p e τ_s si sono ipotizzati livelli di assorbimento simili a quelli misurati per il filtro WGF-HTN.

Di conseguenza si è ricavata la curva di riflessione del singolo filtro come della coppia di filtri sia per la configurazione CHIARA che per quella SCURA. ^{Tab.146}



Tab.146 – Curve di Trasmittanza, Riflettanza, Assorbanza del dispositivo Glass4Season ^{BETA NIR}

Non si è potuta elaborare la serie di risultati per il doppio e il triplo vetro a causa della grossa probabilità di errore dovuta alle ipotesi fatte per i livelli spettrali di riflessione e inter-riflessione con luce polarizzata.

Si restituiscono in tabella i risultati dei calcoli relativi al doppio filtro sovrapposto nella configurazione Chiara ed in quella Scura. ^{Tab.147}

Configurazione del dispositivo	R.E.M. DANNOSE UV_300-380[nm]		FATTORE LUMINOSO VIS_380-780[nm]				FATTORI ENERGETICI SOLARI UV+VIS+NIR_300-2500[nm]						Parametri energetici generali			
	Chiaro	Scuro	Chiaro	Scuro	Chiaro	Scuro	Chiaro	Scuro	Chiaro	Scuro	Chiaro	Scuro	Chiaro	Scuro	Chiaro	Scuro
Parametro [%]	τ_{UV}	τ_{UV}	τ_v	τ_v	ρ_v	ρ_v	τ_e	τ_e	ρ_e	ρ_e	α_e	α_e	g	g	SC	SC
Doppio filtro_ GLASS4SEASON ^{BETA NIR}	1.124	1.124	58.6	48.9	28.8	28.4	44.7	21.4	39.0	49.9	16.2	28.8	50.2	31.0	57.6	35.6

Tab.147 – Report sintetico delle prestazioni ottiche e termiche del dispositivo ipotizzato nella configurazione scura ed in quella intermedia.

6.4.0 Progettazione materica del dispositivo filtrante.

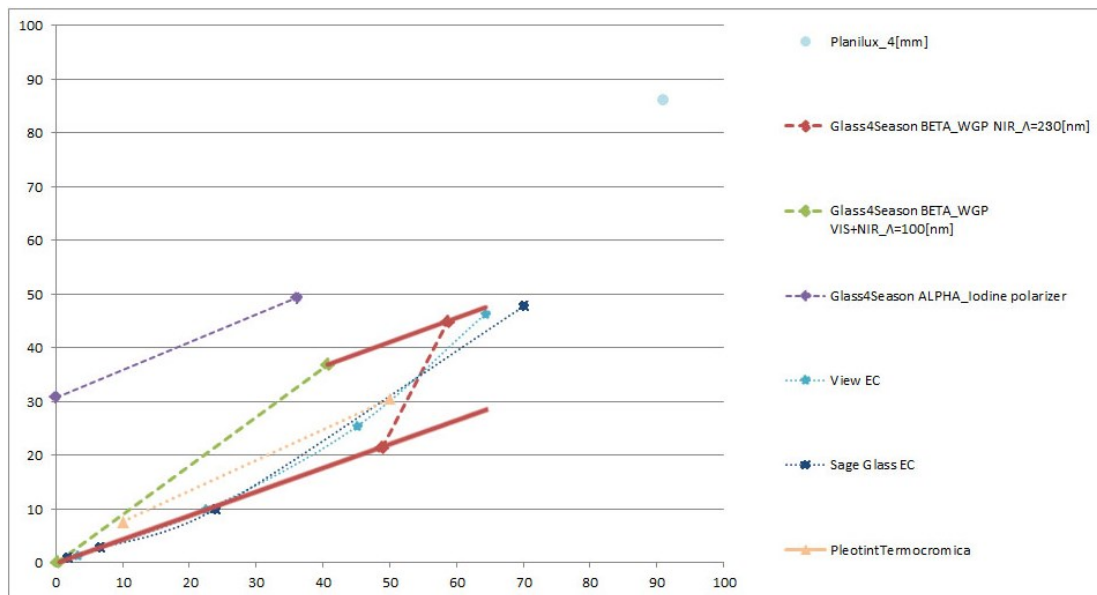
Nella determinazione delle caratteristiche materiche e di disposizione dei filamenti rimangono validi tutti i ragionamenti esposti fino ad ora nei capitoli precedenti.

La differenza sostanziale tra questo nuovo progetto e quelli precedenti sta nella realizzazione di passi più larghi tra i filamenti nano-strutturati e nano-orientati che consentono la polarizzazione della luce.

Il periodo tipico tra i filamenti, da utilizzare per la costituzione di un pattern polarizzatore selettivo ^{NIR}, dovrà esser compreso tra 160 e

390 [nm]. La progettazione all'interno di questo intervallo genererà curve di trasmissione differenti. Per i nuovi dispositivi si registreranno prestazioni intermedie fra la rappresentazione di g4s NIR $\Lambda \approx 230[\text{nm}]$ “riga rossa tratteggiata” e quella “verde tratteggiata” del prototipo g4s VIS+NIR $\Lambda \approx 100[\text{nm}]$ del grafico 148. ^{Tab.148}

a) Per le soluzioni il cui passo tra i filamenti, nano-orientati nel pattern, sia compreso tra i 160 e i 200 [nm], la finestra dinamica si modificherà visivamente in base al grado di selettività richiesto istantaneamente dall'utente o dalle impostazioni legate al controllo delle variabili ambientali.



Tab. 148 – Elaborazione di un grafico nel quale vengono riportate le caratteristiche di trasmissione energetica diretta $\tau_e (y)$ e di trasmissione luminosa $\tau_v (x)$ per i principali dispositivi dinamici. In particolare si evidenziano, con due linee rosse, le rette sulle quali si trovano i minimi e i massimi dei dispositivi wgf progettati con passi tra i filamenti inferiori a $\Lambda < 390[\text{nm}]$

Questo succede poiché oltre al controllo totale (>99%) della componente termica NIR si riesce a polarizzare la parte alta dello spettro visibile.

Al variare dell'angolo θ che si forma tra gli assi di polarizzazione delle fasce polarizzatrici dei due filtri anche le percentuali trasmesse della componente rossa e di quella gialla varieranno progressivamente.

b) - Per valori di passo tra i filamenti metallici che si aggirano tra i 200 e i 260 [nm] di passo si avrà un colore pressoché neutro^{Tab.146} nel Visibile e una capacità di controllo quasi totale (>95%) del vicino infrarosso. Esiste già un wire grid polarizer lineare e uniforme con passo di 230 [nm] il cui grafico delle trasmittanze è pubblicato sul brevetto jp2012155163_^{Fig.142}; questo grafico dimostra che la soluzione così strutturata risulta già più che soddisfacente sia come capacità di estinzione del NIR che come livelli di trasmissione nella gamma VIS. Lo spessore consigliato di deposizione metallica sui filamenti plastici in rilievo, solidali al substrato, misurerà circa 10[nm]^{Fig.092,100}

c) - Per valori di passo che stanno tra i 260 e i 390 [nm] si avrà una trasmissione dello spettro Visibile quasi completa e lineare per la quale si dovrà verificare l'esistenza di fenomeni di diffrazione luminosa di ordine superiore al 1° che potrebbero interessare la parte bassa dello spettro luminoso. (viola e blu).

Ad una riduzione dell'attitudine alla polarizzazione dello spettro VIS segue una progressiva riduzione della % controllata della componente termica NIR.

La determinazione finale delle gamme dei prodotti che si intende sviluppare andranno rivedute numericamente tramite software di simulazione dei reticoli di diffrazione^{cap.3.8.0} e testate sperimentalmente su prototipi di piccola dimensione.

Il mercato di riferimento

7.1.0 Grandezza ed evoluzione del mercato di riferimento

Sono tre le fonti principali degli indicatori di mercato sulle quali si basa per la seguente analisi:

-Glass Magazine_11-2011_che cita "Next-Generation Smart Windows: Materials and markets 2011 _ www.nanomarkets.net"

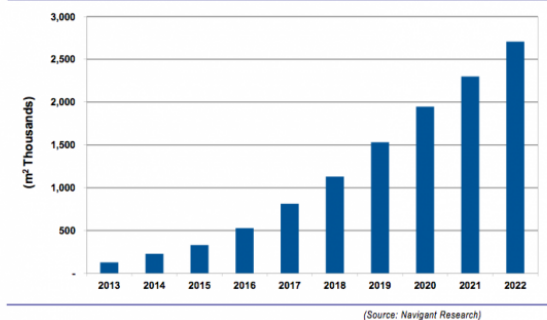
-Ricerca Navigant Research "Smart Glass" previsioni 2013-2022

-IDTechEx, Mr Franco Gonzalez, "Smart Glass 2014-2024: Technologies, Markets, Forecast", 11_2013

Per il mercato dei vetri dinamici si prevede una crescita continua. ^{Tab.149,151}

Nanomarkets, stima una crescita pressoché costante e, nel 2011, prevedeva il superamento del miliardo di dollari di fatturato annuo per il 2017. ^{Tab.151}

Chart 1.1 Volume of Smart Glass Glazing Unit Area, All Technologies, World Markets: 2013-2022



Tab. 149 – Previsioni di vendita dei vetri dinamici espresso in migliaia di [m2] venduti in un anno. Previsione 2013-2022

Navigant R. indica in 250'000[mq/annui] la produzione annuale corrente di Smart Glass e prevede che il fatturato del mercato passerà dagli attuali 88 milioni di dollari annui²⁰¹³ a 899 million\$/year nel 2022.

È prevista una crescita costante per tutte le 4 tecnologie principali Elettro-cromiche (EC), Termo-cromiche (TC), a Cristalli liquidi (LC) e a Particelle sospese (SPD).

Tuttavia sono solo le prime due (EC-TC) quelle che stanno crescendo maggiormente nel campo delle applicazioni architettoniche.

Dal 2003 al 2013 si è registrata l'installazione complessiva di 2,7 milioni di metri quadrati di vetri dinamici. Valori che affiancati alle stime indicano un incremento costante delle vendite al quale segue una progressiva riduzione del prezzo che oggi si attesta tra i 500€/mq^{grossi appalti} e i 4500€/mq a seconda della tecnologia e delle quantità installate.



Fig.150 – Principali stabilimenti produttivi delle tecnologie vetrate dinamiche EC_Elettro-Cromia e TC_Termo-Cromia per l'architettura.

ELECTROCHROMIC TECHNOLOGY								
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Electrochromic Window Glass Volume (Million Square Meters)	0.19	0.35	0.61	0.96	1.49	2.30	3.54	5.48
Average Cost per Square Meter (\$)	700.0	609.0	529.8	461.0	401.0	348.9	303.5	264.1
Electrochromic Glass Revenues (\$ Million)	136.0	213.5	321.7	443.9	597.8	800.9	1075.2	1446.3
THERMOCHROMIC TECHNOLOGY								
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Thermochromic Window Glass Volume (Million Square Meters)	0.07	0.10	0.14	0.26	0.48	0.76	1.06	1.48
Average Cost per Square Meter (\$)	400.0	352.0	309.8	272.6	239.9	211.1	185.8	163.5
Thermochromic Glass Revenues (\$ Million)	30.0	35.7	42.4	71.8	114.9	160.5	196.9	242.3

Source: "Next-Generation Smart Windows: Materials and Markets: 2011," available from Nanomarkets, www.nanomarkets.net.

Tab. 151 – Prospettive di crescita del mercato EC e TC.

Le principali industrie produttrici di vetri elettrocromici (SageGlass di **Saint Gobain e View.it**) si aspettano che nei prossimi 10 anni il prezzo dei loro dispositivi riuscirà a calare drasticamente arrivando a toccare i 200€/mq a seguito di una produzione e distribuzione di massa. Entrambe le aziende sopra citate hanno fatto rispettivamente investimenti di 80 e 60 milioni di euro per potenziare la propria capacità produttiva portandola a circa 5000 mq/annui.

Su tutti i portali dei diversi competitors attualmente non è pubblicato il prezzo al mq

e viene indicata come inopportuna la volontà di confrontare il valore del dispositivo con vetri di tipo statico il cui valore si aggira tra i 50 e i 250 €/mq^{prontuario dei costi del vetro_infovetro.it} a seconda della finitura o della deposizione magnetronica o pirolitica che vi viene applicata.

Il nodo della questione per i produttori di vetri dinamici risiede in una valutazione complessiva dei risparmi. Si contano: i risparmi diretti per illuminazione, per raffrescamento estivo e riscaldamento invernale, riduzione della potenza installata

per gli impianti di raffrescamento, riduzione dei costi per sovrastrutture esterne o interne per la schermatura ma soprattutto si esalta il guadagno impagabile in termini di visione e contatto continuo tra ambiente confinato e aperto con condizioni di comfort costanti regolate automaticamente.

Secondo alcune pubblicazioni delle interviste effettuate agli AD e/o ai responsabili del marketing di queste aziende il mercato attuale degli **smart glass** interesserebbe solo l'1% dell'intero mercato del vetro per l'architettura a causa di alcune barriere che riducono l'accesso al mercato globale di queste tecnologie:

- Il prezzo elevato;
- Preoccupazioni sull'effettiva longevità dei dispositivi (la garanzia più estesa che si trova è di 10 anni);
- Difficoltà di integrazione nella fase di costruzione (spesso servono tecnici specializzati della ditta produttrice);
- L'impossibilità di schermare selettivamente la sola componente termica della radiazione solare con conseguente riduzione quasi lineare della componente visiva. Quindi la riduzione dei benefici per installazioni su superfici di piccola e media dimensione;
- Le perplessità, nel caso dei vetri elettrocromici, sull'utilizzo di corrente elettrica per

mantenere trasparente la superficie vetrata e sulla creazione di campi elettromagnetici costanti;

- Le perplessità, nel caso dei vetri termocromici, sulla impossibilità di regolazione personalizzata e sulle tempistiche di transizione;

Penso che i dispositivi ideati nel 2° e nel 3° progetto di questo saggio riescano a superare praticamente tutte queste barriere d'ingresso per:

- la sua costituzione materica molto semplice;
- la durabilità naturale dei materiali che lo costituiscono;
- le prestazioni previste in termini di regolazione selettiva della radiazione solare
- per l'assemblaggio in vetrocamera con la possibilità di integrare la sensoristica nei ferma-vetri senza modificare i processi produttivi dei serramenti attualmente in commercio.

L'unica incognita che andrà ancora approfondita con la ricerca di un eventuale partner industriale sarà il prezzo di produzione. Infatti, si calcola, che se dovessimo auto-costruire una coppia di filtri da un m² l'uno pagando 300 euro a foglio i dispositivi WGF si andrebbe a spendere circa 11'000 euro.

Risulta evidente che portando il processo produttivo verso dinamiche di massa in mercati internazionali si potrà prevedere una riduzione drastica del costo di produzione e di vendita di questo dispositivo che attualmente viene prodotto con un unico asse di polarizzazione e viene utilizzato nella realizzazione di piccoli sensori, lenti per fotocamere o videoproiettori stereoscopici, apparecchiature laser e biomedicali, etc. che ne richiedono piccole quantità.

7.1.1 Distribuzione geografica

Il mercato potenziale di riferimento è molto esteso poiché è legato a doppio filo con le condizioni climatiche delle aree.

I due progetti ^{Glass4Season BETA VIS+NIR e Glass4Season BETA NIR} sono studiati per applicazioni di differente misura e la loro installazione è finalizzata alla massimizzazione del risparmio di energia per l'illuminazione artificiale, per il raffrescamento estivo e consentono durante la stagione invernale un discreto apporto solare gratuito.

Le aree che otterrebbero benefici nell'utilizzo di questi nuovi dispositivi sono quindi tutte quelle aree che presentano periodi dell'anno ove l'apporto solare gratuito risulta eccessivo causando problemi di surriscaldamento nei locali.

Si può delimitare, con un piccolo grado di approssimazione, l'area d'uso a tutte quelle nazioni che si trovano tra il $+45^\circ$ e il -45° parallelo. ^{Fig.152}

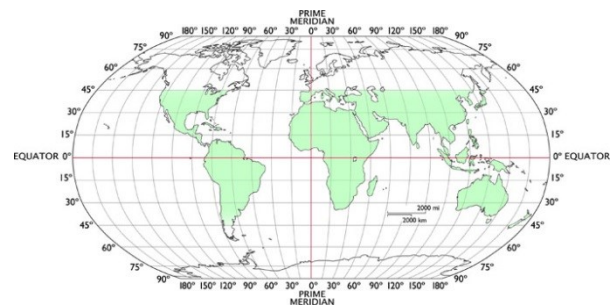


Fig.152 – Nell'immagine sono evidenziati i paesi nei quali l'utilizzo del progetto g4s comporta dei benefici reali agli ambienti confinati.

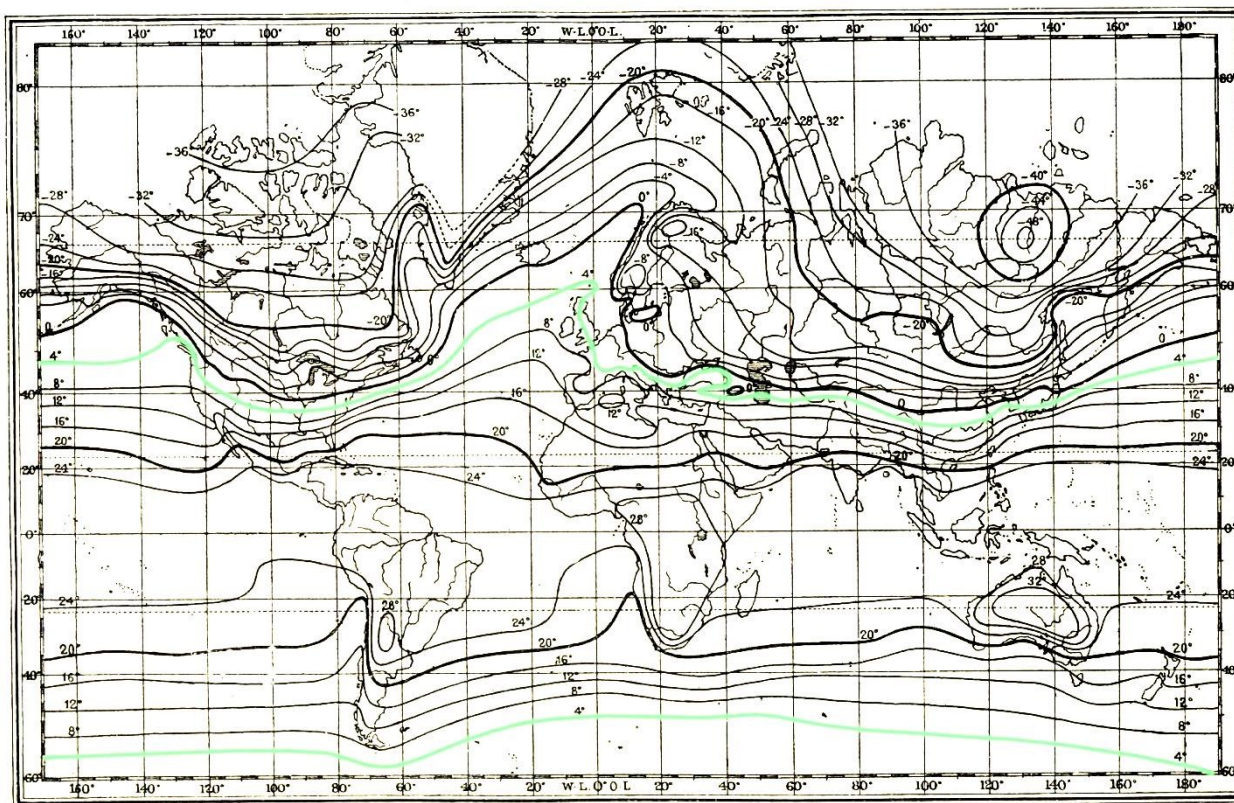


Fig.153 – Rappresentazione delle isoterme terrestri. È stata evidenziata la linea dei 4° (colore verde) come spartiacque tra le località nelle quali si verifica una stagione con picchi di calore rilevanti e areali geografici nei quali la temperatura estiva è facilmente controllabile con sistemi costruttivi ben isolati o di tipo massivo.

Una delimitazione più precisa è realizzata utilizzando le isoterme globali prendendo come limite a nord e a sud del globo quella con valore +4° . Fig.153

Per una analisi puntuale nazione per nazione, soprattutto per quelle che si trovano sui limiti dell'isoterma citata ci sono banche

dati climatiche consultabili legate ai software di simulazione dinamica utilizzati in architettura.

La sottoscrizione del protocollo di Kyoto a livello internazionale e la ratifica della direttiva europea 20-20-20 hanno generato forti opportunità di mercato anche per quanto

riguarda la sostituzione dei dispositivi trasparenti in nome di una maggiore efficienza energetica.

Quindi, si mira a fornire un piccolo contributo tecnico-architettonico atto a favorire la sostituzione nel medio periodo (10 anni) delle tradizionali tecnologie statiche per il controllo solare (pellicole riflettenti, vetri selettivi e a controllo solare) in ragione di tecnologie passive *“intelligenti”* che, con un uso ridottissimo di energia elettrica per la sola funzione di micro-elaborazione dei dati, forniscono la possibilità di controllo e personalizzazione istantanea del dispositivo.

Il controllo personalizzato del guadagno solare (per esempio invernale o estivo) crea valore aggiunto rispetto alle soluzioni tradizionali incrementando ulteriormente il risparmio energetico previsto in fase di gestione.

Progettare con la testa e con le mani

8.1.0 La filosofia Arduino e il micro-controllo delle dinamiche ambientali

Durante i lavori di ricerca e progettazione del primo progetto (quello con polarizzatori cristallini) si è deciso di inoltrarsi in un territorio fino a quel momento a me quasi sconosciuto, la “realizzazione pratica di ciò che si progetta”.

Durante l’iter universitario si è sempre adottato un processo di apprendimento top-down dove le informazioni venivano comunicate e trasmesse da personalità che invece avevano potuto toccare con mano la materia della quale ci raccontavano.

Allora decisi che per questo progetto non mi sarei accontentato dello sviluppo di un progetto con le sue relative teorie architettoniche e fisiche. Volevo puntare in alto e approfondire tutti gli aspetti che derivano dal gesto progettuale.

Così è iniziata la ricerca di un sistema che permettesse:

- la traslazione lineare del filtro patternizzato;
- la registrazione ed il controllo delle variazioni ambientali;
- l’integrazione massima nei processi produttivi dei vetri e dei serramenti;
- l’autocostruzione e l’auto-calibrazione dell’intero sistema da parte di un utente comune;

-di non vanificare la scelta forte di progettare una schermatura ottica autonoma dal punto di vista energetico;

-un’agevole interazione fra il dispositivo e l’utente.

Come succede spesso, in architettura, il processo di creazione parte spesso da un intervento di decostruzione e di smontaggio fisico delle componenti caratteristiche di un luogo o di un manufatto. In questo caso si sono studiati i sistemi di monitoraggio e controllo prodotti dalle principali aziende inserite nel mercato della domotica.

E’ stato importante capire quali fossero le dimensioni reali dei componenti che dovevano partecipare come un solo organismo alla realizzazione del risultato.

Lo studio delle dinamiche di micro-controllo portò il progetto a fondersi con una piattaforma hardware e software che ha più a che fare con il mondo della filosofia e della socialità che con quello dell’elettronica.

Il mondo ARDUINO è una rete di persone e di banche dati dove gli **“sviluppositori”** condividono le esperienze, i successi e gli insuccessi per fertilizzare quel substrato di idee che spesso non trovano una modalità per emergere e competere con i team di progettazione delle multinazionali dell’elettronica e dell’informatica.

Si è scelto di utilizzare una tale piattaforma perché si sono condivisi gli ideali di base e si

spera con questo progetto di apportare un piccolo miglioramento al mondo della tecnologia a supporto dell'architettura sostenibile.

Il meraviglioso mondo di ARDUINO mette a disposizione dei creativi e dei progettisti una piattaforma **Open Source** per la realizzazione di prototipi interattivi. Il progetto, nato ad Ivrea nel 2005 dalle idee di (Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino, e David Mellis) permette una prototipazione rapida ed economica di dispositivi gestiti da un micro-controllore che processa i dati scritti o richiesti dal programma che vi si installa sopra.

Il linguaggio di programmazione semplificato **"ARDUINO"**, (basato su **Wiring**), in un ambiente di sviluppo simile a quello di **Processing** consente a tutti di imparare in poco tempo l'alfabeto di questo sistema.

Le migliaia di forum e di pubblicazioni dei progetti sveltiscono ulteriormente questa fase consentendo la prova pratica di software scritti da altri utenti e sui quali è già stato effettuato un primo processo di controllo degli errori. I progetti altrui sono spesso la base per poter sviluppare nuovi hardware con maggiori funzionalità o che con la stessa componentistica siano in grado di risolvere problematiche differenti. La comunità di Arduino è quindi la vera forza del sistema che fa sì che anche un architetto possa entrarvi. Il mio scopo era ed è quello di imparare a sviluppare dispositivi per l'architettura che

comprendano diversi gradi di complessità nelle dinamiche di interazione e gestione dei parametri umani e ambientali.

8.2.0 Fattibilità del progetto

Il lavoro più esaltante, ma allo stesso tempo faticoso è stato quello di ricerca e test effettuato sulla componentistica hardware che avrebbe potuto aiutarmi a rispondere in modo efficace alle esigenze progettuali.

Il progetto, per essere valevole di menzione, deve poter migliorare lo stato dell'arte risolvendo soprattutto la discrasia filosofica e morale che affligge i sistemi elettro-cromici. Infatti, come abbiamo già anticipato, i dispositivi EC debbono utilizzare dell'energia elettrica per mantenere la configurazione chiara.

La ricerca della componentistica, esposta in questo saggio, mantiene sempre al primo posto la performance energetica richiesta dalle soluzioni di registrazione e controllo delle variabili ambientali (i TRASDUTTORI). Allo stesso modo, anche per gli attuatori si orienterà la scelta verso soluzioni a basso consumo o la cui gestione software consenta una limitazione dell'alimentazione per brevi intervalli temporali.

8.2.1 Ragionamenti sulle fasi del processo produttivo e di installazione

La misurazione dello spessore delle vetrocamere, della dimensione in sezione dei telai mobili e dei ferma vetro ha diretto il progetto verso la direzione dell'integrazione massima possibile.

Dal confronto con i professionisti del settore mi è stato fatto notare che è sconsigliato l'inserimento di componentistica hardware nella parte di serramento mobile poiché essa è calcolata e progettata per il trasferimento ottimale dei carichi vitrei verso i cardini che la sostengono.

Inoltre, la creazione di una tasca nel serramento mobile avrebbe richiesto una lavorazione studiata su misura per ogni tipo di serramento presente sul mercato. Se nell'industria vetraria sono 4-5 i produttori di vetro piano per l'edilizia nel mondo dei serramenti si registra invece una variabilità di modelli che si caratterizza in modo differente di nazione in nazione a seconda delle esigenze di isolamento termico.

Troveremo dunque serramenti estrusi o laminati alveolati, con camere d'aria interne regolari o irregolari, con giustapposizione di strati isolanti a strati strutturale, con fissaggi a scorrimento tra gli strati o a fissaggio per punti. E' evidente quindi la difficoltà di inserimento della componentistica di controllo in questo elemento.



E' stata quindi rivolta l'attenzione allo spazio libero tra le vetrate rinchiuso nell'intercapedine della vetrocamera. In questo senso si è pensato che l'unica posizione disponibile per l'inserimento di semilavorati per la traslazione, di attuatori o di trasduttori fosse la parte superiore poiché risulta protetta dall'irraggiamento solare, causa della fotodegradazione dei materiali.

Lungo il profilo distanziatore inferiore si potrebbero inserire i sensori di luce e della componente termica NIR atti a misurare la presenza e l'intensità dell'irraggiamento solare dopo il passaggio attraverso i due filtri polarizzatori. Nonostante ciò il profilo distanziatore è un elemento delicato che insieme al sigillante butilico e ai sali disidratati di cui è riempito deve assicurare la tenuta stagna della vetrocamera (preservazione dei gas isolanti) ed escludere la formazione di condensa interstiziale.

In ogni caso si è deciso di inserire all'interno della camera protetta solamente il doppio filtro con il suo attuatore atto a garantirne la traslazione lineare. In questo modo si riducono al minimo le probabilità di guasto dell'attuatore e si evitano inconvenienti legati alla gestione e/o manutenzione/sostituzione dei sensori che sono la parte più soggetta a guasto.

Nondimeno, per non compromettere la tenuta dei fermavetro si è preferito ridurre al minimo l'inserimento di elementi elettronici



Fig.154 – Panoramica delle soluzioni per serramenti ad alte prestazioni in (pvc); (pvc-legno); (pvc-alluminio); (legno); (legno-alluminio); (alluminio).

che potessero andare ad interrompere la continuità del profilo distanziatore e del butile che lo circonda.

Va scartata anche la soluzione di alloggiare i dispositivi di controllo nel telaio fisso, per evitare che i depositi di sporcizia interstiziali e l'ossidazione dei contatti possano causare dei malfunzionamenti. A questo punto rimane solo il fermavetro.

Un elemento così piccolo e allo stesso tempo così flessibile da prestarsi perfettamente allo scopo. In ragione del progetto proposto si avrà un elemento la cui modifica tramite fresa o riprogettazione risulta poco onerosa e sarebbe da fare solo qualora si decidesse di installare un dispositivo dinamico di questo tipo.

Le misure standard di questo elemento sono di 18*18[mm] tuttavia è presente una varietà infinita di soluzioni tra i 13 e i 40[mm] di lato che dipendono soprattutto dalla grandezza della superficie vetrata e quindi dalla tenuta al vento che essa deve dimostrare.

Risultano ideali anche per la fase di montaggio che si trova alla fine del processo di fissaggio e calibrazione del vetro. Tramite questa procedura si consente all'installatore di completare l'assemblaggio e l'eventuale regolazione del dispositivo a lavoro concluso attaccando dei semplici connettori elettrici tra

il fermavetro accessorato premontato^{Fig.156} e il cavo che alimenta l'attuatore presente nella vetrocamera.

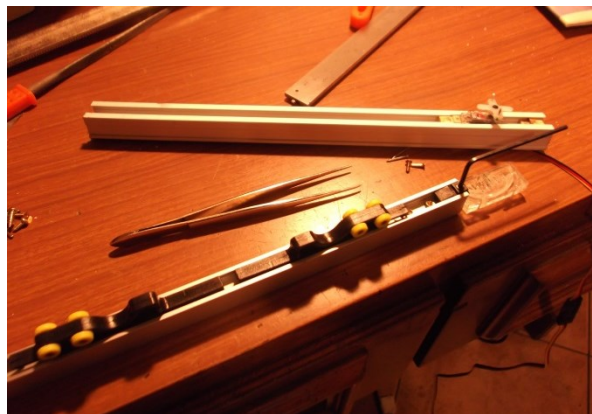


Fig.155 – Primo sistema di scorrimento. In alto il binario/profilo distanziatore e l'attuatore. In basso il profilo che reggerà il filtro polarizzatore mobile e che ne permetterà la traslazione controllata. [Binario 4.91€/m; Profilo reggi vetro 4.52€/m; tappi laterali del reggi vetro 0.29€ cad.; carrello con ruote in nylon 3.40€ cad.; guida inferiore per il vetro 0.35€ cad.]

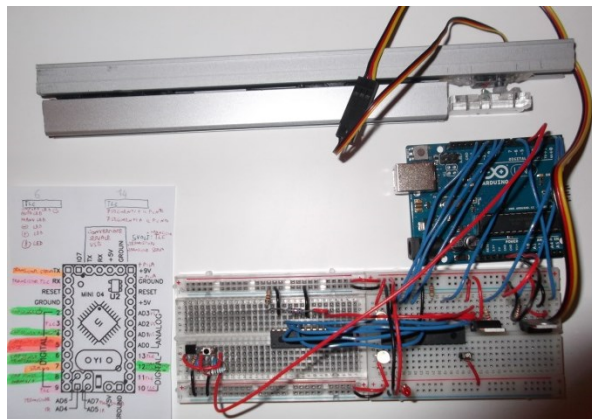


Fig.156 – Montaggio e test ultimato per un sistema di scorrimento da inserire nella vetrocamera. Capacità di traslazione ~13[mm]

8.3.0 Trasduttori

I trasduttori non sono altro che dispositivi atti alla trasposizione di una forma di energia in un'altra. Nel caso applicativo descritto si hanno valori (quantità luminose, termiche, capacità elettriche di una persona, vibrazioni, livelli di umidità, riflessioni di onde sonore, durata di impulsi luminosi, etc.) che vengono trasposti in grandezze elettriche interpretabili matematicamente.

8.3.1 Rilevare la radiazione NIR con i Fototransistor e controllarla con Arduino Mini 05 Light

Per ottenere un dispositivo capace di interagire con la radiazione solare di tipo termico NIR (780-2500 [nm]) non basta avere un filtro in grado di regolarne la % trasmessa. Serve necessariamente un trasduttore in grado di sostituirsi all'occhio umano per poter vedere quale sia il grado di irraggiamento NIR entrante nella casa e regolare il filtro di conseguenza

Per fare ciò si sono trovati dei fototransistor^{Fig.156} la cui curva di sensibilità^{Fig.157} spettrale è concentrata in uno dei due picchi di emissione della radiazione solare (850 o 1000 [nm]).^{Tab.157,158}

Un transistor va immaginato come un piccolissimo pulsante che quando è schiacciato consente il passaggio della corrente tra i suoi due connettori, quando

invece viene rilasciato cessa il flusso di corrente poiché il circuito è aperto.



Fig.156 – Fototransistor NIR_picco di sensibilità a 1000 [nm]. I due contatti (*Collettore* ed *Emettore* sono sull'angolo in basso a sinistra e sull'angolo in basso a destra) il connettore che apre e chiude il passaggio della corrente (*Base*) è quel cerchio nero che riesce a valorizzare l'energia radiante ricevuta nella gamma del NIR. Dimensioni (3.4*3*2 [m]). [0.42€ cad.]

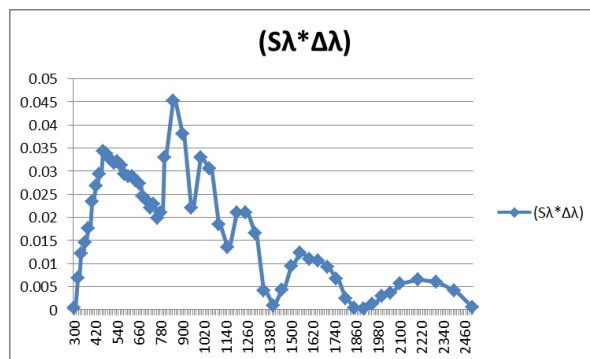


Fig.157 – Table 2^{Tab.135} - Normalized relative spectral distribution of global solar radiation S_{λ} multiplied by the wavelength interval $\Delta\lambda$. UNI EN 410

La chiusura del circuito (lo schiacciamento del pulsantino) nel foto-transistor avviene tramite l'immissione di energia su uno dei tre piedini che lo caratterizzano. Il piedino da alimentare è tuttavia nascosto poiché a

differenza di un transistor normale esso viene alimentato dalla radiazione luminosa ed in questo caso termica. ^{Fig.158}

Il bello di questo sensore è che la quantità di energia che lo colpisce determina la tensione (il voltaggio) della corrente che si ritroverà al di là del foto-transistor.

A questo punto entra in gioco Arduino e il software scritto appositamente per interpretare il valore ricevuto dal micro-controllore.

Tramite i pin analogici di arduino ^{Fig.160,161} è possibile registrare la tensione da 0 a 5 [Volt]

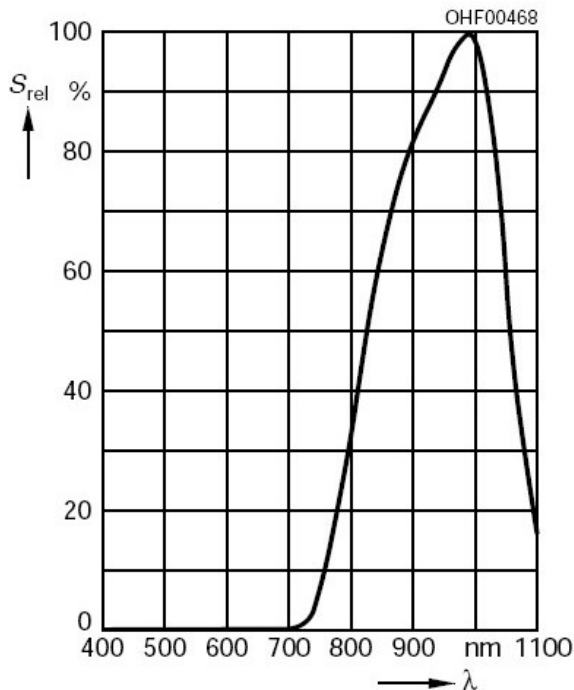


Fig.158 – Sensibilità spettrale relative del foto-transistor NIR

che raggiunge questo pin. In questo modo si potranno stabilire delle regole per condizioni di illuminazione differenti ove si registreranno i valori caratteristici (notte, cielo sereno, cielo nuvoloso o parzialmente nuvoloso, radiazione diretta etc.)

In questo caso, però, il foto-transistor verrà utilizzato per confrontare la trasmissione massima con quella minima ricevuta a seconda della configurazione del dispositivo. Dalla registrazione di questi due parametri esso potrà stabilire, a seconda delle opzioni scelte dall'utente, la posizione intermedia ideale minimizzando l'apporto solare gratuito nel periodo estivo e viceversa massimizzandolo nel periodo invernale.

Un'altra caratteristica fondamentale per la quale si è scelto questo specifico dispositivo è l'ampiezza dell'angolo di apertura di sensibilità. ^{Fig.159} Questa caratteristica

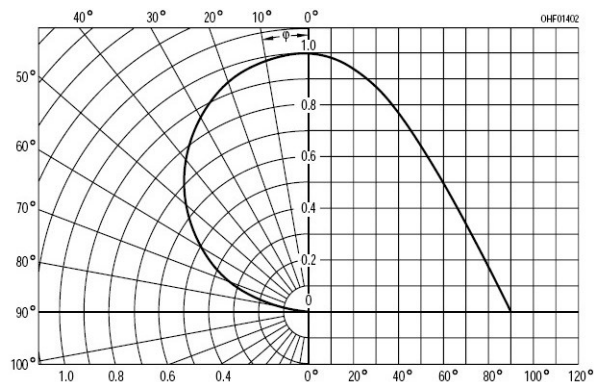


Fig.159 – Caratteristiche direzionali legate alla sensibilità rispetto al flusso incidente.

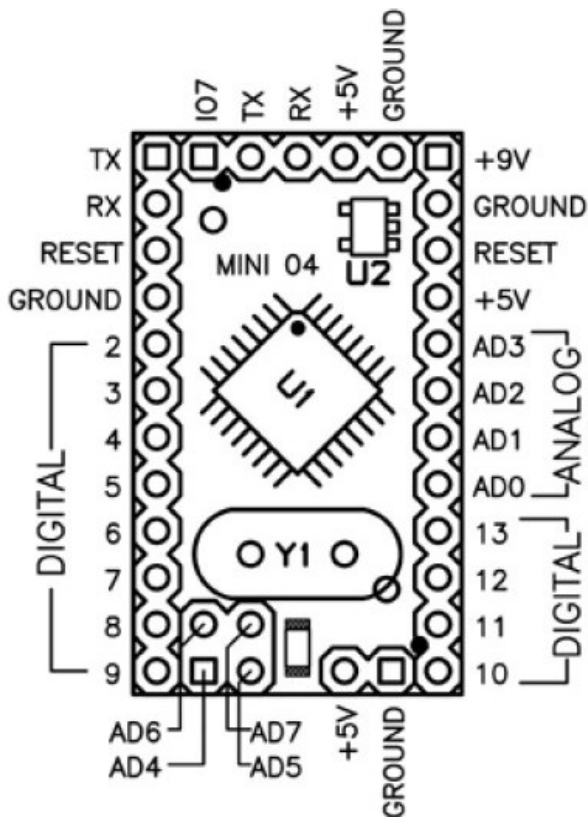


Fig.160 – Schema che indica la funzione dei fori/pin presenti su Arduino Mini V.05 Light

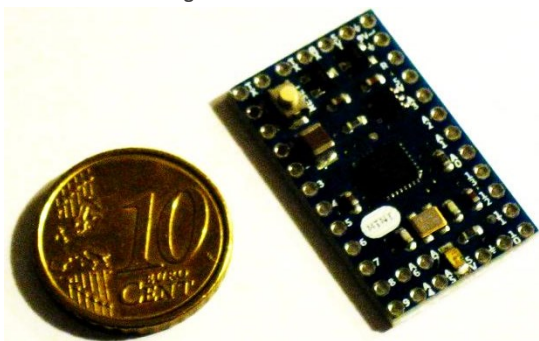


Fig.161 – Fotografia del microcontrollore scelto per la ricezione ed elaborazione dei segnali input ed output che comandano il dispositivo schermante. [11.50€ cad.]

determina una maggior linearità di risultato per qualsiasi posizione solare rispetto alla maggior parte dei foto-transistor che è caratterizzata da angoli di sensibilità più stretti.

Per quanto riguarda l'alimentazione del microcontrollore si collega il segno + delle 5 batterie stilo da 1,2 [V] volt, disposte in serie, al connettore (+9V).

Invece il polo negativo (-) come tutti i catodi (poli negativi) dei trasduttori e degli attuatori utilizzati andrà collegato ad uno dei tanti pin contrassegnati dal segno della terra GND \perp che sono interconnessi fisicamente sulla scheda "Arduino mini 05 Light".

Si è scelto di utilizzare questo modello specifico di Arduino per poter contenere al massimo le dimensioni [L 17,9 * A 30.7* Spessore 4.2 mm dove c'è il RESET] e l'assorbimento elettrico legato all'assenza della porta di interconnessione diretta USB.

L'assenza di questa sola porta fa scendere l'assorbimento istantaneo (in un secondo) da 25[mA] di **Arduino^{uno} Rev 3** a 12,5-15[mA] di **Arduino^{Mini 05 Light}**.

Mantenere acceso il solo arduino mini con le 5 pile ricaricabili da 1,2[V] -> (6[V]) con capacità nominale di 2700[mAh] senza nessun sensore attaccato porta l'esaurimento

dell'energia accumulata in soli 7 giorni e mezzo.

Il motivo di questo consumo è da cercarsi nella struttura che governa il sistema di calcolo. Il software/firmware che si carica sulla piattaforma fisica andrà a ripetersi in loop richiedendo al processore ATM Mega di effettuare lo stesso calcolo in continuazione per migliaia di volte al secondo. In questo senso si può intervenire progettando un software capace di mettere in stand-by questo processo di calcolo per intervalli di attesa personalizzabili.

Utilizzando il comando `Narcoleptic.delay (millisecondi)`

<https://code.google.com/p/narcoleptic/> l'assorbimento energetico di arduino mini scenderà a meno di un centesimo dell'1% dell'assorbimento iniziale (15[mA] -> 0,001[mA]) estendendo la vita utile potenziale delle batterie a 75'000 giorni.

In ragione di queste informazioni si può procedere con la ricerca nel mercato di sensori e attuatori il cui consumo sia limitato al minimo e che garantiscano allo stesso tempo la precisione del dato.

Per esempio, il foto-transistor, ^{Fig.156} scelto per le sue caratteristiche specifiche di captazione selettiva della radiazione solare ha un livello di corrente al collettore di 15[mA]. Il suo

utilizzo risulta quindi energivoro per l'applicazione che si sta progettando. Tuttavia è sufficiente non alimentarlo per tutto il periodo in cui non è richiesta la lettura della condizione ambientale. Il tempo di avviamento utile alla stabilizzazione del dato è di 7[μ s] microsecondi. Ipotizzando un'alimentazione di 1 [millisecondo] = 1000 [μ s] ogni 5 minuti si avrà un consumo annuo di 1576,8[mAs] che porterebbero all'esaurimento delle batterie in ~6164 anni.

L'apertura e la chiusura dell'alimentazione a questi dispositivi può essere controllata tramite le indicazioni scritte nel software che ordinano l'alimentazione delle porte digitali; oppure si può inserire un transistor ^{Fig.162} in serie ai dispositivi da sconnettere dal circuito.

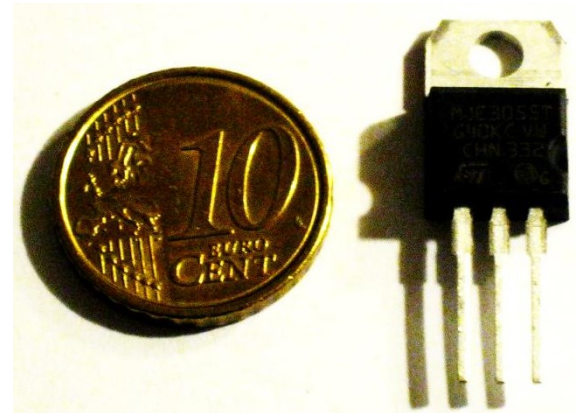


Fig.162 – Transistor bipolare NPN. I tre piedi corrispondono, a partire da sinistra al 1 Base, 2 Collettore, 3 Emettitore. [0.47€ cad.]

8.3.2 Rilevazione della radiazione visibile con i Fotodiodi

Nel caso di un prodotto selettivo come quello del 3° progetto proposto risulta necessario intercettare e valutare anche la componente della radiazione solare che viene trasmessa direttamente dal filtro senza subire l'effetto polarizzatore dello stesso.

Questo tipo di valutazione consente al progettista e quindi poi al software di determinare le condizioni luminose sia degli ambienti esterni che di quelli interni.

Si riesce quindi a stabilire le condizioni del cielo e se la finestra è irraggiata direttamente dalla radiazione solare. ^{Fig.166}

Inoltre l'utilizzo dello stesso sensore sul fermavetro interno può determinare l'effettiva condizione di illuminamento del locale. ^{Fig.167}

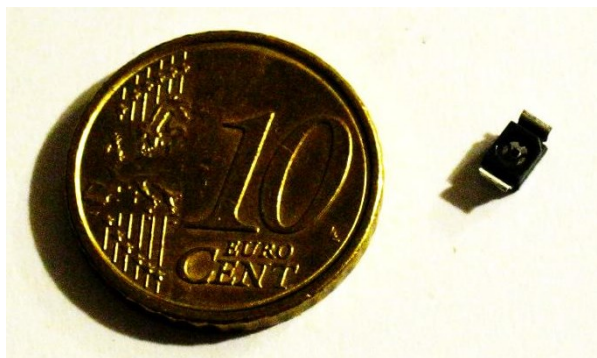


Fig.163 – Foto-diodo VIS_picco di sensibilità a 560 [nm]. I due contatti (Collettore ed Emettore sono sull'angolo in alto a sinistra e sull'angolo in alto a destra) il connettore che apre e chiude il passaggio della corrente (Base) è quella parte argentata al centro che riesce a valorizzare l'energia radiante VIS ricevuta. Dimensioni (4*4*2 [m]). [0.64€ cad.]

Nella ricerca di mercato si è individuato un fotodiodo ^{Fig.163} dalle caratteristiche elettriche compatibili con i livelli di tensione forniti da Arduino e che risponde in modo adeguato ai ragionamenti già fatti per il fototransistor con l'unica sostanziale differenza del picco di sensibilità legato al suo funzionamento.

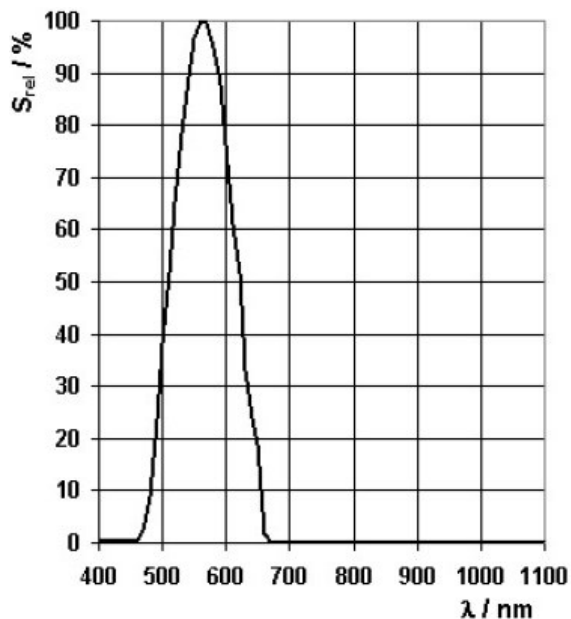


Fig.164 – Sensibilità spettrale relative del foto-transistor VIS

In questo caso il fotodiodo “vede” ^{Fig.164} unicamente all'interno dell'intervallo della radiazione visibile con il picco di sensibilità a 560 [nm]. Quindi ha una sensibilità simile a quella dell'occhio umano con la perdita di una porzione del viola da un lato e del rosso dall'altro.

Ai fini progettuali è importante che la curva di sensibilità sia il più stretta possibile per poter

valutare la radiazione visibile in ognuno dei casi in cui sia proposto il progetto g4s^{BETA NIR} ove viene modificata la trasmittanza della sola componente termica.

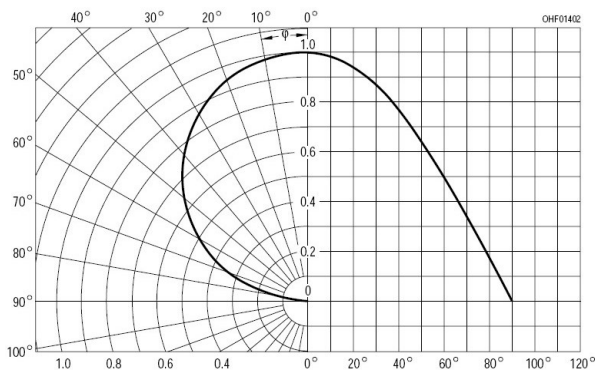


Fig.159 – Caratteristiche direzionali legate alla sensibilità rispetto al flusso incidente.

Dal punto di vista dell'assorbimento elettrico si registra un valore nominale di 100 [nA] ed un tempo di avviamento di 6 [μ s].

Nonostante il fabbisogno sia estremamente limitato si adotta un sistema controllato da transistor per ridurre al minimo gli sprechi di energia.

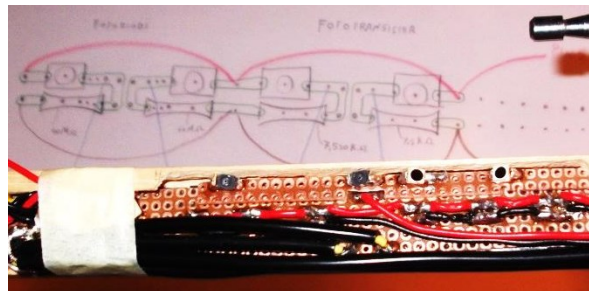


Fig.166 – Prototipo. Posizionamento dei sensori nella parte alta del fermavetro.



Fig.167a – Alloggiamento del fotodiodo responsabile della misurazione dell'illuminamento interno ai locali. È situato nella parte alta del fermavetro verticale in modo tale da risentire minimamente delle posizioni relative degli utenti all'interno del locale.

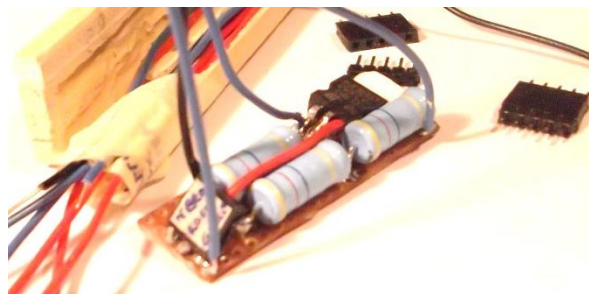


Fig.167b – Resistenze da 50[M Ω] che rendono molto sensibile il fotodiodo atto a registrare l'illuminamento interno ai locali.

8.3.3 Controllo e determinazione della temperatura

Nell'ottica di un dispositivo che interagisce con l'uomo e che ne aumenta le capacità sensoriali, la misurazione della temperatura ambientale è una delle variabili più importanti insieme a quella dell'illuminamento degli spazi confinati.

Per questo motivo si sono previsti due termistori^{Fig.168a} che sono banalmente delle resistenze il cui potere resistivo varia (non linearmente) a seconda della temperatura.

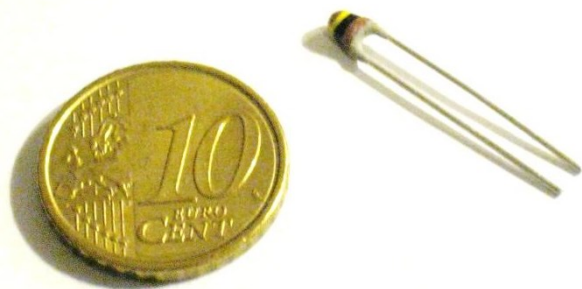


Fig.168a – Termistore per la misurazione della temperatura interna ed esterna. [0.47€ cad.]

Per l'interpretazione del parametro elettrico letto da Arduino bisogna inserire nel software la formula di "Steinhart and Hart"
$$T_{(R)} = \left(A_1 + B_1 \ln \frac{R}{R_{ref}} + C_1 \ln^2 \frac{R}{R_{ref}} + D_1 \ln^3 \frac{R}{R_{ref}} \right)^{-1} \quad (2)$$

ove le costanti A1, B1, C1, D1 tipiche dello specifico termistore e si trovano in Appendice nel rigo 11 della seconda pag. del data-sheet.^{Parameter for determining nominal resistance values}

R è il valore in [Ohm] della resistenza posta tra il termistore e la terra (GND).

R_{ref} vale 100'000 [Ω] ed è la resistenza del termistore a 25°; infine T è la temperatura in °K che si trova nel locale esaminato.

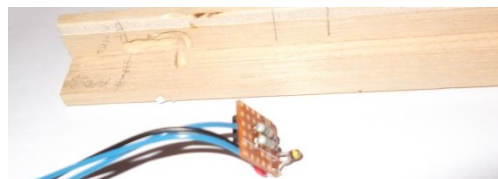
Solitamente si utilizzano termistori da 500-1000 o 10'000 [Ω] ma si è cercato il termistore dalla forma compatta, con il range di esercizio tra -40°C e +125°C, con il minimo errore percentuale (1,5[%]) e con i livelli di assorbimento più piccoli possibili.

La scelta del 100[KΩ] comporta assorbimenti che valgono 0,011 [mA]_{-5°C}; 0,05 [mA]_{+25°C} e 0,096 [mA]_{+40°C} secondo la legge di ohm

$$I[mA] = \frac{V[Volt] * 1000}{R[ohm]}$$

R_{-5°C}=445'300[Ω]; R_{+25°C}=100'000[Ω];
R_{+40°C}=51'750[Ω]; V=5[Volt]

Per alcuni ambienti particolari come il bagno e la cucina si potrà implementare il dispositivo con valvole automatiche per la gestione del ricambio d'aria naturale in condizioni di temperatura e umidità inaccettabili.



8.3.4 Interagire con il dispositivo tramite sensori capacitivi o bottoni _ Principi di *Physical Computing*

Una delle sfide più importanti per un progetto di architettura/design è quella del confronto finale tra l'oggetto/il luogo e le persone che dovranno viverlo.

Lo studio del Physical computing mi ha portato a cercare di prevedere, con un buon grado di precisione, quali siano le aspettative dell'utente interpretandole nelle scelte progettuali al fine di aumentare le capacità umane.

Da questo filone teorico emergono molti spunti di interazione e scambio di informazioni tra uomo e macchina. Il dispositivo architettonico non rimane più uno strumento passivo come il computer^{Fig.168b} ma può integrarsi nelle scelte umane tramite una serie di soluzioni hardware capaci di migliorare lo stato di comfort del fruitore.

Tramite l'uso di trasduttori la nostra soluzione trasparente potrà interagire in molti modi tra i quali:

-Essere comandata da telecomandi (tramite impulsi luminosi IR).

-Reagire alla presenza di persone nella stanza o nelle sue prossimità (sensori di distanza a ultrasuoni, IR; sensori di presenza IR; fotoresistenze, fotodiodi o fototransistor che sentono quando vengono oscurati da un soggetto).

-Reagire alla variazione di condizioni ambientali per noi difficili da interpretare con precisione (umidità, temperatura, velocità dell'aria interna o esterna).

-Colloquiare con banche dati on-line o sistemi per la simulazione energetico-ambientale (previsione, mutazione delle variabili di controllo, registrazione delle condizioni per ulteriori implementazioni).

-Supportare le disabilità fisico-motorie nel compito di apertura e chiusura della parte mobile del serramento.

-Emettere segnali sonori per la sicurezza e l'orientamento delle persone non vedenti.

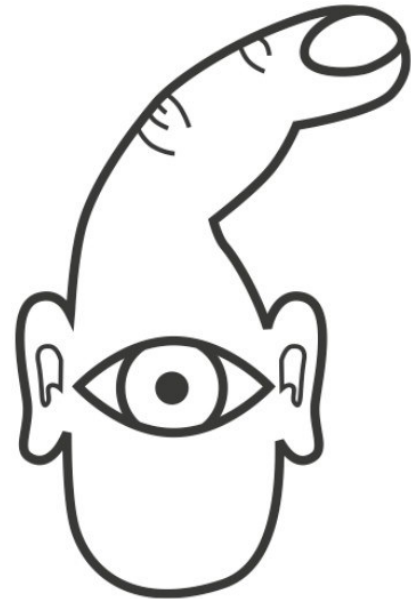


Fig.168b – L'immagine che un computer ha di noi. Dovuta al modo con il quale si hanno interazioni tra l'utente e il dispositivo. (Una tastiera, delle casse e uno schermo)

Il compito del progettista è quindi quello di sfruttare tutte le opportunità date dai computer che, se collegati ad opportuni trasduttori (input) e Attuatori (Output), possono accrescere le possibilità percettive e attuative dell'essere umano che li usa.

Per raggiungere questo scopo abbiamo già scoperto che esistono sensori dalle piccolissime dimensioni, si tratta ora di decidere quale sia una modalità intelligente per gestire lo scambio di informazioni tra il microcontrollore e l'utente.

Da analisi precedenti si è deciso di introdurre tutti gli apparati di intelligenza aumentata nel fermavetro ad esclusione del sistema di traslazione del dispositivo. Questa scelta sembra la più appropriata per consentire una durata considerevole al filtro e al meccanismo di movimentazione preservandolo dagli agenti esterni.

Allo stesso modo la posizione dei sensori, degli accumulatori e del microcontrollore (nel fermavetro) consentono eventuali operazioni di manutenzione e sostituzione degli organismi che si danneggiano.

Per garantire il massimo livello di affidabilità temporale del dispositivo si ritiene utile proteggere la componentistica elettronica all'interno del fermavetro. La protezione fisica da polvere, umidità, vapori di cottura etc. estenderà di molto la vita utile dell'organismo di controllo.

In tal senso si sono valutati due tipi di dispositivi atti all'interazione diretta e consapevole tra Arduino e l'utente.^{Fig.169}

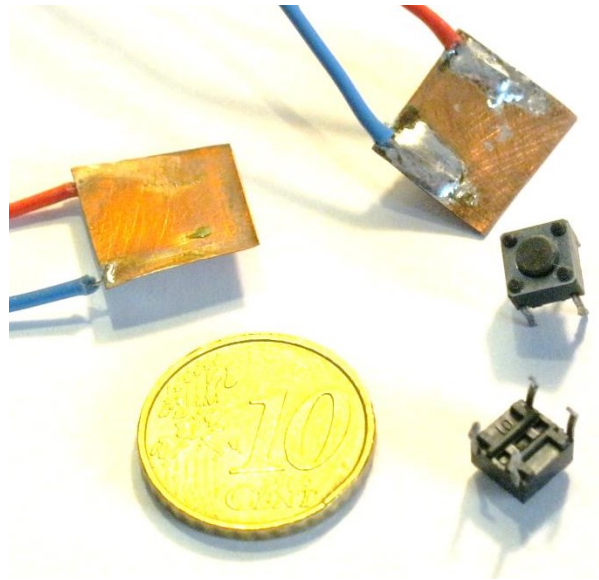


Fig.169 – (in alto) due sensori capacitivi; (a destra) due pulsanti a bottone. [~0.49€ cad.]

I sensori capacitivi e i pulsanti a bottone.

I primi possono essere creati con una qualsiasi superficie metallica conduttiva connessa a due fili conduttivi (va evitato l'acciaio poiché ha una resistenza elettrica maggiore rispetto agli altri metalli). Questo piccolo foglietto di rame è in grado di percepire la presenza di una persona (o meglio, la sua capacità elettrica) da situazioni di contatto diretto fino a 15 cm di distanza con interposizioni di altri materiali non conduttivi (plastiche, legno, carta, etc).

Questa peculiarità permette al sensore di essere completamente protetto dentro al fermavetro^{Fig.170} evitando depositi di grasso sulla sua superficie e mantenendo valori stabili nel tempo.

L'inserimento in serie di resistenze^{Fig.172} dal valore compreso tra 10 e 100 [MΩ] determina a 5 [Volt]^{Tensione nominale di arduino} fabbisogni elettrici annui esigui.

Secondo la legge di Ohm

$$I[\text{Ampere}] = \frac{V[\text{Volt}]}{R[\text{Ohm}]}$$

$5[V] * 1000 / 50'000'000[\Omega] = 0,0001[\text{mA}]$ istantanei che rispetto alla capacità totale delle batterie stilo scelte ($9'720'000 [\text{mA}]$) porterebbero all'esaurimento di questa energia in ~3082 anni.

Invece, il **pulsante a bottone** è un dispositivo affidabile e sicuro che determina l'apertura o la chiusura di un circuito elettrico in base alla sua configurazione e il cui segnale è facilmente interpretabile tramite il software. Però si è scelto di escludere questo dispositivo poiché comporta una apertura diretta della superficie del fermavetro favorendo l'ingresso di polvere o vapori che sul lungo periodo potrebbero ridurre le funzionalità del sistema di controllo. Questo dispositivo si rende necessario per serramenti metallici ove il telaio

rappresenterebbe un'antenna capace di intercettare la presenza umana con effetti di forte disturbo per i sensori capacitivi.

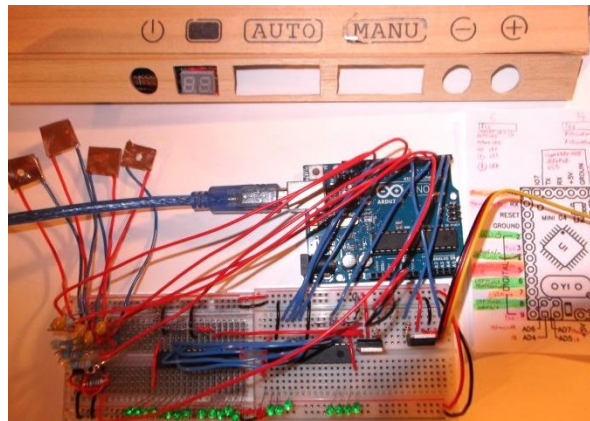


Fig.170 – Prototipo. Test dei sensori capacitivi con Arduino Uno Rev.3; predisposizione del fermavetro tramite fresatura e preparazione di una maschera lignea serigrafata con i simboli dei comandi principali che andranno a coprire i sensori capacitivi e la retroilluminazione.

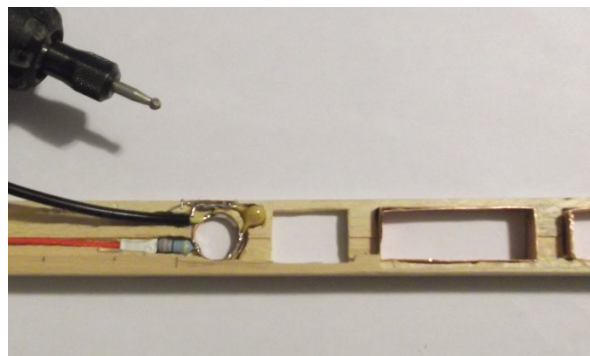


Fig.170 – Prototipo. Installazione del sensore capacitivo; resistenza da 47 [MΩ] tra i 5V e il sensore; connessione con il pin digitale di lettura tramite il cavo giallo; connessione alla terra tramite

condensatore da 100[pF] e maglia in rame che scherma il cavo giallo.

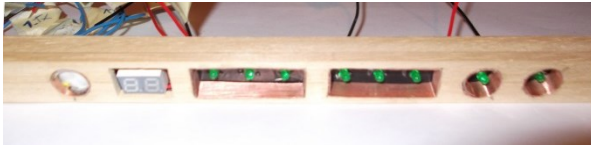


Fig.170 – Prototipo. Colelgamento completo dei sensori capacitivi e installazione della retroilluminazione a led.

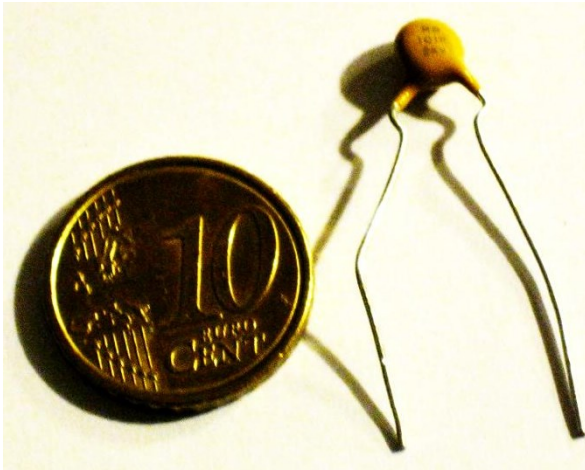


Fig.171 – Il condensatore ceramico da 100[pF] stabilizza i segnali elettrici. [0.09€ cad.]

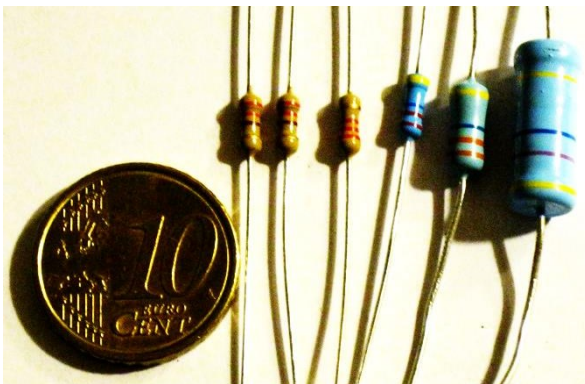


Fig.172 – Resistenze fisse da (220[Ω]; 10[KΩ]; 31[MΩ]; 40[MΩ]; 50[MΩ]). [tra 0.04 & 0.57€ cad.]

8.4.0 Attuatori

Analogamente ai trasduttori, anche gli attuatori sono dispositivi capaci di trasformare-convertire una forma di energia in un'altra. La differenza sostanziale è quella che in questo caso l'output è destinato ad interagire direttamente con il mondo fisico che circonda il dispositivo.

Tra gli attuatori troviamo dispositivi predisposti ad emettere:

(segnali sonori, onde radio, onde IR, micro-onde, luci colorate o monocromatiche, vibrazioni, scariche elettriche, azioni di moto cinematico, dati per la rete wireless, quantità di corrente la cui tensione o la forma d'onda è regolata, etc.).

Solitamente, l'uso intelligente di questi dispositivi è finalizzato al raggiungimento di obiettivi che l'essere umano non è in grado di raggiungere con le proprie forze ed abilità.

L'attuatore è quindi uno strumento utile all'incremento delle possibilità pratiche dell'utente finale tramite processi di integrazione e affiancamento.

8.4.1 Il responso semplificato e l'interpretazione dei valori tramite led e display led a 7 segmenti

In questo progetto si utilizzano attuatori di indirizzo che consigliano all'utente, in modo intuitivo, la procedura da seguire per la modifica dei parametri d'esercizio.

Si adottano per esempio segnalazioni luminose^{Fig.175} lampeggianti e/o fisse per evidenziare i simboli serigrafati da sfiorare al fine di variare i livelli di illuminamento presenti all'interno della stanza.

Avvicinando il dito ai sensori capacitivi si attivano le funzioni di scelta e guidati dalla retroilluminazione e dal doppio display led a 7 segmenti^{Fig.173,174} si può variare il parametro dell'illuminamento da 0 a 99.

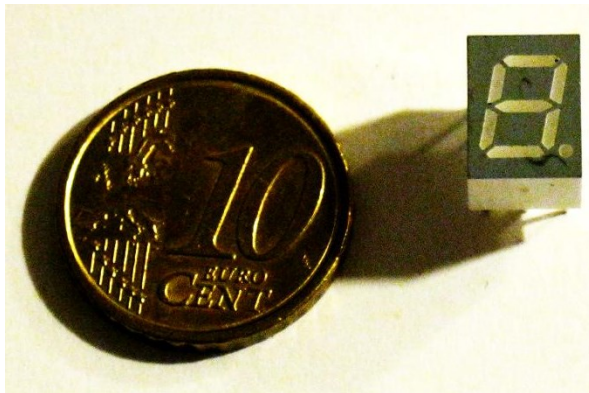


Fig.173 – Display led a 7 segmenti (verde – 630[nm]). Dimensioni (7.4 * 9.9 *6 [mm]). [0.92€ cad.]

Un chip-driver TLC5940NT^{Fig.176} permette di incrementare il numero di porte digitali di Arduino da 14 a 25 consentendo l'utilizzo di un numero maggiore di trasduttori o attuatori.

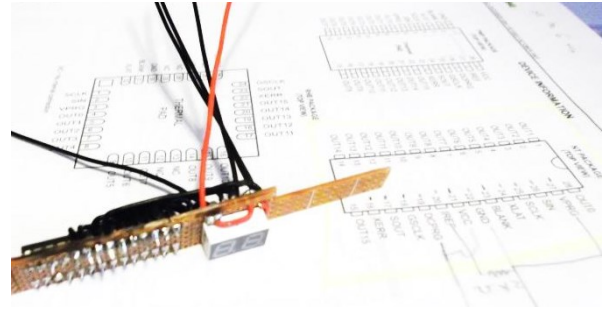


Fig.174 – Display a sette segmenti saldato su di una scheda PCB e connesso con il driver TLC5940NT che lo comanda e che comanda due dei dispositivi atti alla retroilluminazione delle icone serigrafate sul fermavetro.

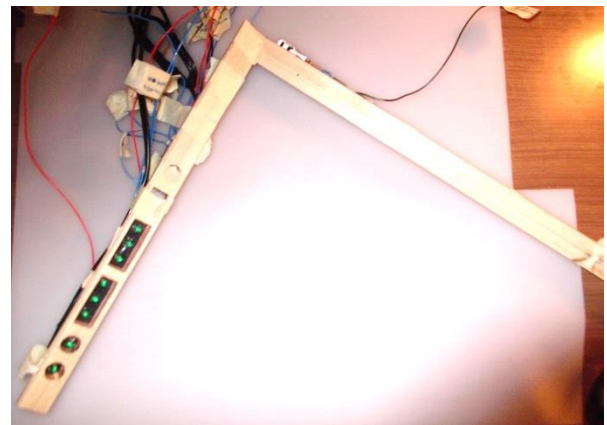


Fig.175 – Fermavetro modificati. A destra si vede il sensore che valuta l'illuminamento degli spazi interni ai locali. A sinistra c'è l'alloggiamento dei led che permettono la retroilluminazione dei sensori capacitivi.

[mA] per led singolo. Nonostante siano degli assorbimenti considerevoli va sottolineato

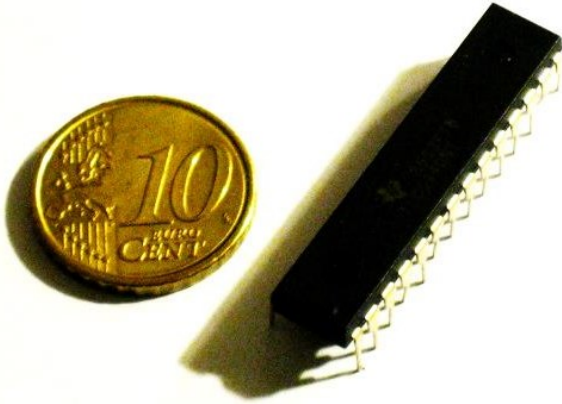


Fig.176 – Chip driver TLC5940NT a 16 porte-output. [3.04€ cad.]

Nella realizzazione del prototipo si sono utilizzati 15 segmenti del display e 8 Led verdi per la retroilluminazione. ^{Fig.177}

I led che retro-illuminano i simboli dei comandi se sono più di uno sono collegati in parallelo e in fase di scrittura del software si è dato il triplo di energia a questa parte del circuito rispetto a quelle ove è collegato un singolo led.

Per regolare la tensione su ogni dispositivo viene utilizzato il sistema di regolazione di impulso (PWM Pulse Width Modulation) che modula l'impulso per durate temporali specifiche tra lo 0 e il 100% (variabile 0-255).

Infine i livelli di assorbimento dei display led sono nell'ordine di 17[mA] a segmento e di 30

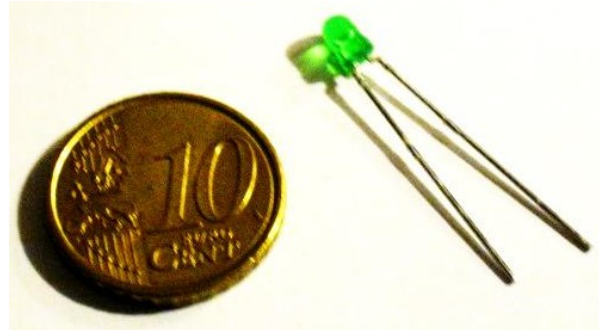


Fig.177 – Display led a 7 segmenti (verde – 555[nm]). [0.17€ cad.]

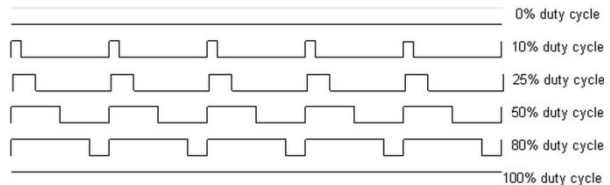


Fig.178 – Schemi di funzionamento del PWM. Quando la linea è alta vuol dire che passa la corrente, quando è bassa il circuito è aperto.

che tali segnali visivi si attivano solo quando l'utente si interagisce con il pannello dei comandi per cambiare le impostazioni delle variabili.

8.4.2 Traslare linearmente il dispositivo tramite un servo motore

Nella ricerca di un sistema atto alla traslazione lineare (orizzontale, obliqua, verticale) di un filtro o di un vetro con applicato il polarizzatore vanno considerati: le dimensioni degli elementi che si devono traslare, il loro peso e l'attrito che si genera tra gli elementi che scorrono e l'eventuale binario.

Per il progetto in grado di regolare unicamente la componente del vicino infrarosso $g4s^{BETA\ NIR}$ si può ipotizzare una traslazione lineare da effettuare 2-3 volte in un anno e quindi si adatterebbe meglio ad una traslazione verticale. Uno spostamento di questo tipo non richiede l'inseguimento solare e le fasce costitutive del pattern devono avere dimensioni legate alla distanza tra i due filtri e allo spazio a disposizione per la traslazione (spazio protetto dai fermavetro superiore e inferiore).

Fasce del pattern dalle dimensioni considerevoli riducono notevolmente il numero di spostamenti da effettuare al variare dell'altezza solare. Si consideri che fasce di piccole dimensioni (<2[mm]) richiedono ~4-6 spostamenti giornalieri per massimizzare il beneficio dovuto alla riflessione del NIR.

Si consideri che gli spostamenti verticali richiedono un grande quantitativo di Torque per il motore. Per ragioni estetiche e funzionali si è deciso che il motore debba essere di piccolissime dimensioni ^{Fig.178} adattandosi così ad ogni tipo di vetrocamera in commercio. Di conseguenza si è resa necessaria un'approfondita indagine nel mondo dei servo motori. Questi attuatori, tramite una serie di moltipliche interne, riescono a ottenere una coppia considerevole (~0,8 [Kg] ad un cm dall'asse dell'ingranaggio superiore) ^{Fig.178} con dimensioni minime e tensioni d'esercizio di 4,8[Volt].

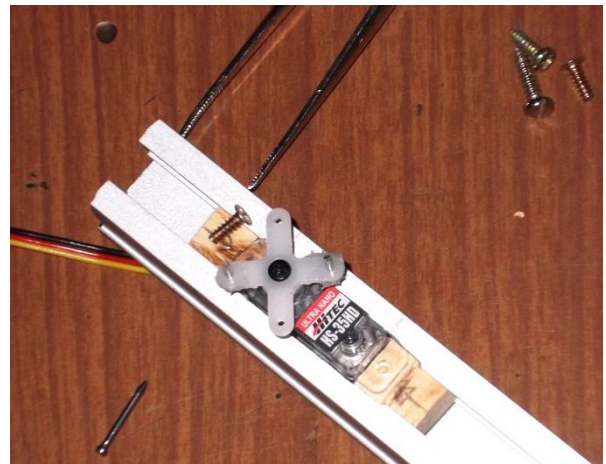


Fig.178 – Servo motore HS-35HD ultra nano. output. [3.04€ cad.]

Tra tutti i servo in commercio si è scelto quello che possedeva il miglior rapporto tra il torque e la qualità degli ingranaggi. La durata di questo componente è fondamentale per la buona riuscita del progetto poiché la sua posizione risulterà difficilmente raggiungibile

per le operazioni di manutenzione/sostituzione. Questo dispositivo è solitamente utilizzato per gli aeromodelli ed è quindi dotato di alti standard di precisione e resistenza. Esso è il servomotore più piccolo che ci sia tra quelli con ingranaggi in karbonite ed il suo peso è di 4,5 [gr]. Dimensioni (18.6*7.6*15.5 [mm])

A differenza dei motori passo-passo e dei motori brush-less i servo motori si caratterizzano per la precisione dello spostamento e della regolazione potendo ruotare solamente di 180°. Questa peculiarità insieme alla grande potenza in torsione ne fa il servo ideale per il progetto **g4s**.

La potenza rilevata dal data-sheet risulta tuttavia insufficiente per sollevare verticalmente un vetro di una finestra standard (1500*500*4[mm] con 2100 [kg/m³]).

Il vetro ipotizzato ha un peso di 6,3[kg] e richiede la fabbricazione di mini paranchi^{Fig.179} dalla geometria complessa da posizionare sui due lati del vetro polarizzato.

Altresì si dovrà pensare a soluzioni con traslazione orizzontale ove il peso viene scaricato omogeneamente su tutta larghezza del vetro tramite un binario con mini-carrelli scorrevoli.

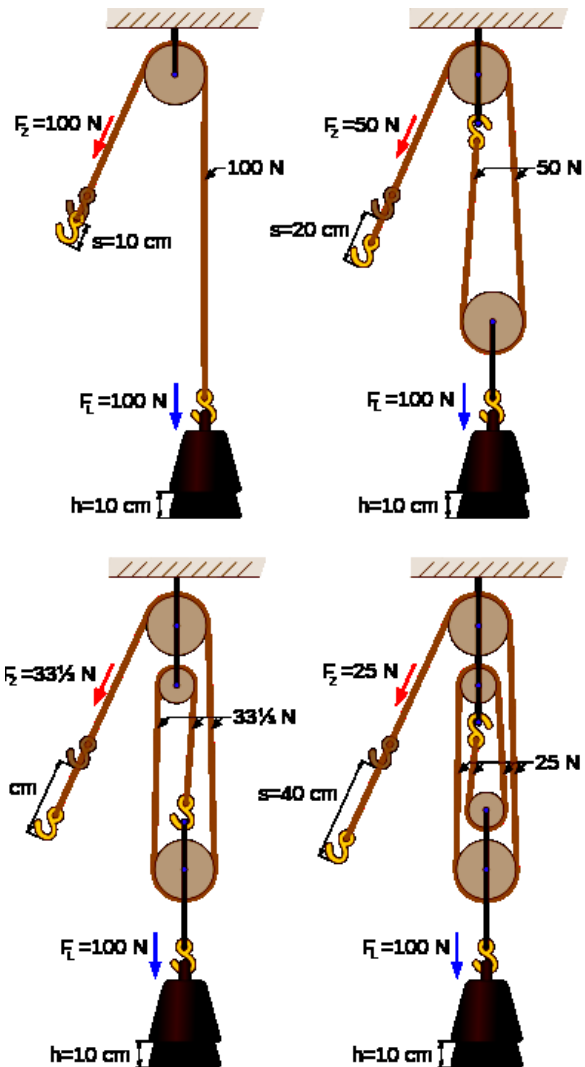


Fig.179 – Schema di funzionamento di una carrucola e di paranchi più complessi atti alla riduzione del peso/forza da impiegare per sollevare un carico da 10[Kg] in direzione verticale.

Questa soluzione è particolarmente favorevole per le applicazioni del progetto g4s^{BETA VIS+NIR} ove la dimensione delle fasce con differente asse di polarizzazione è piccolissima.

La traslazione orizzontale consente l'inseguimento solare da parte del filtro garantendo così un livello di trasmissione costante nel tempo. Inoltre l'utilizzo di carrelli e binari orizzontali riduce al 5% la forza richiesta per la traslazione del carico.

Torque necessario = $6.3[\text{kg}] * 0.05 = 0.315[\text{kg}]$

Per questo tipo di spostamento si sfrutta solo il 40% del Torque massimo dell'HS-35HD prolungandone di molto la vita utile.

Nel prototipo realizzato si è previsto uno spostamento lineare del vetro di 2,6 [cm]; misura impossibile per un servo motore dalle dimensioni ridotte e con rotazione fissa a 180°. Per questo motivo si sono progettate^{Fig.180} e costruite due moltipliche utilizzando la piattaforma **CAD**, un po' di calcoli matematici relativi alle caratteristiche del cerchio e una stampante 3d.

La cremagliera che viene fissata al reggi vetro ha uno spazio di movimentazione di 3 [cm] e lo spostamento relativo del vetro non sporge mai dai fermavetro laterali risultando invisibile.

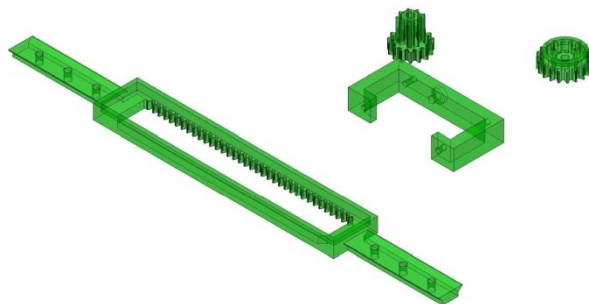


Fig.180 – Progetto Cad di ingranaggi e cremagliera per la traslazione del vetro polarizzato

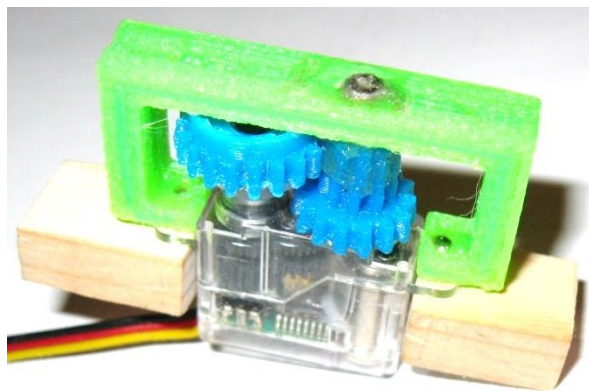


Fig.181 – Nano Servo con blocchi per il fissaggio nel binario e sovra-montaggio delle ulteriori moltipliche.

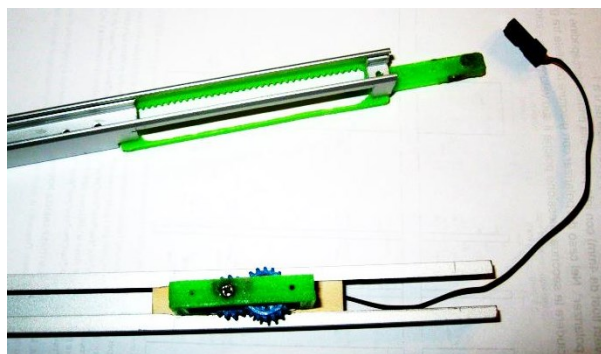


Fig.182 – Intervento di post produzione e predisposizione del binario e del reggi vetro con relativo sistema di traslazione lineare.

8.5.0 Il consumo di energia per il funzionamento del dispositivo, confronto con l'elettro-cromia

In questo capitolo si farà un esercizio accademico per la valutazione della velocità di scaricamento di una fila di 5 batterie stilo AA da 1,2 [Volt]_{cad.} installate nel dispositivo

prototipato per valutare se effettivamente si può prevederne l'autosufficienza energetica.

Si vuole dimostrare che la scelta di utilizzare filtri ottici "*passivi*" con micro-controlli "*attivi*" rende il prodotto "*quasi*" autosufficiente pur ottenendo i vantaggi di un dispositivo che reagisce dinamicamente alle situazioni ambientali.

Tipo funzionale	Componente	nr.	Vcc [Volt]	Capacità di carica nominale [mAh]	[mA _{sec.}] totali assorbibili
Accumulatori	Batterie 1,2[V]	5	6	2700	9720000

Tipo funzionale	Componente	nr. Dispositivi	Vcc [Volt]	Assorbimento [mAs]	Tempo d'uso standard	Secondi di accensione in un giorno [sec]	Assorbimento giornaliero [mA _{giorno}]	Assorbimento annuo [mA _{anno}]
μ controller	Arduino	1	6	15	5 secondi ogni 5 minuti	1440	21600	7884000
Trasduttori	Fototransistor NIR	2	5	15	0,005 secondi ogni 5 minuti	1.44	43.2	15768
	Fotodiodo VIS	3	5	0.0001	0,005 secondi ogni 5 minuti	1.44	0.000432	0.15768
	Termistore	2	5	0.096	sempre attivo	86400	16588.8	6054912
	Sensori capacitivi	5	5	0.0001	sempre attivo	86400	43.2	15768
Attuatori	Display Led	15	5	17	5 minuti in un mese	10	2550	930750
	Led verdi	8	5	30	5 minuti in un mese	10	2400	876000
	Servo motore	1	5	400	1.25 secondi ogni 5 minuti (solo di giorno)	180	72000	26280000
Tot							115225.2004	42057198.16
							Giorni di carica utile delle batterie	Numero di ricariche necessarie in un anno [nr.]
							84	4.3

Tab.183 – Caratterizzazione energetica dell'intero dispositivo GLASS/SEASON BETA VIS+ NIR

Corrente media assorbita in un secondo [mA _{sec.}]	1.3336250
Potenza assorbita in un secondo P[Watt]=V[Volt]*(I[A]*1000[conversione mA->A])	0.0066681

Tab.189 – Caratterizzazione dell'assorbimento e della potenza istantanea media del dispositivo GLASS/SEASON BETA VIS+ NIR

	Potenza assorbita P[Watt/mq]	Fabbisogno energetico orario [kWh/m ²]	Tempo di scarica delle 5 batterie [nr. di giorni]
GLASS SEASON BETA VIS+NIR	0.00666813	0.024	84.36
Sage Glass_EC	0.3	1.08	1.88
View_EC	0.3	1.08	1.88
Innovative Glass_SPD	1.8	6.48	0.31

Tab.190 – Tabella di confronto con i principali prodotti trasparenti dinamici regolabili presenti sul mercato.

Dalla tabella concludiamo che il servomotore rimane, come previsto in fase di analisi, il componente più energivoro. E' infatti il pezzo che deve compiere lo sforzo maggiore per spostare il vetro battendo le forze d'attrito.

Un altro dato rilevante è quello che indica quanti giorni impiega il sistema a scaricare le 5 batterie stilo posizionate in uno dei 4 fermavetro. (~84 giorni) In ogni caso va considerato che le batterie ricaricabili tendono a perdere nei mesi parte della loro carica anche se non viene richiesta energia dal dispositivo.

Per la ricarica delle batterie non sarà obbligatorio smontare il fermavetro poiché è stato installato un jack "DC Barrel" Fig.191 tipico dei trasformatori a 7 [Volt].

Per ricaricare una di queste batterie serve che su ognuna cadano ~1,4 [Volt].

$1.4[V] * nr. Batterie = Tensione del trasformatore$

$1,4 * 5 = 7[Volt]$

Inoltre si sono messi a confronto i fabbisogni energetici medi (le potenze impegnate) dai principali prodotti che dominano il mercato delle schermature dinamiche programmabili.

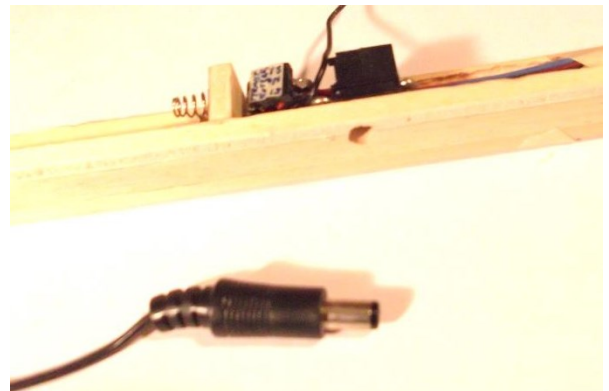


Fig.191 – Attacco DC Barrel in parallelo con le pile stilo AA

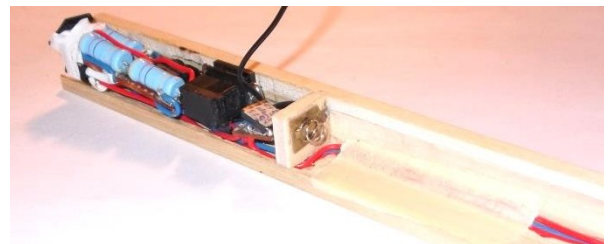


Fig.192 – Alloggiamento delle pile nel fermavetro e attacco DC Barrel

Un m² di superficie trasparente dei dispositivi elettro-cromici EC consumerà mediamente, in un anno, come ¼ dell'energia che si dovrebbe utilizzare per tenere sempre acceso questo faretto^{Fig.193} ad altissima efficienza (in pratica è come se accendesse solo uno dei 4 led presenti nel faretto)

La tecnologia Suspended particle device SPD invece consuma molta più energia dovendo accendere quasi 7 dei led da 1 Watt presenti nel faretto (1 faretto e mezzo) per 1 [m²] di superficie vetrata.

Infine, il progetto proposto risulta sulla carta il più virtuoso dal punto di vista dei consumi e la proprietà di riflessione passiva della radiazione VIS+NIR consente una riduzione notevole rispetto alle altre tecnologie (nonostante non siano così energivore da vanificare i benefici attesi). In questo caso, sempre per riprendere il paragone del faretto con 4 led da 1[Watt] si avrà un fabbisogno simile all'accensione di uno solo dei 4 led ma al 2,5% della sua potenza.

Abbiamo quindi un fabbisogno che è 43 volte inferiore a quello previsto per la migliore delle tecnologie dinamiche regolabili disponibili.



Fig.193 – Faretto da 4 [Watt]. All'interno del proiettoe si notano i 4 led da 1 Watt che costituiscono la sorgente luminosa.

E' interessante alla luce dei dati esposti nel saggio prendere nuovamente visione della Tab. di confronto della trasmissione visibile e energetica delle differenti tecnologie.

E all'inizio dell'appendice si trova un riassunto delle prestazioni UV_VIS_Solari dei tre progetti qui presentati* seguita dalle tabelle sintetiche dei prodotti statici per il controllo solare della Saint Gobain Glass e dalle schede prestazionali dei prodotti Sage Glass e View.

*

GLASS / SEASON VIS ALPHA
GLASS / SEASON VIS+NR BETA
GLASS / SEASON NR BETA

Bibliografia

Monografie:

Serra Florensa Rafael, Coch Roura Helena; Scudo Gianni, Rogora Alessandro (a cura di), ***L'energia nel progetto di architettura***, Città studi edizioni, Truccazzano 2001

Szokolay Steven V., ***Introduzione alla progettazione sostenibile***, Ulrico Hoepli, Milano 2006

Fabbrica pisana Saint Gobain (a cura di), ***Manuale tecnico del vetro***, Fabbrica pisana spa, Milano 1993

Mencuccini Corrado, Silvestrini Vittorio, ***Fisica II – Elettromagnetismo e ottica*** (Corso di fisica per le facoltà tecnico-scientifiche corredato di esempi ed esercizi), Liguori editore, Napoli 2000, Pag. 424-448

Focardi S., Massa I., Uguzzoni A., ***Fisica generale*** (onde e ottica, dipartimento di fisica dell'università di Bologna)^{2° ed.}, Casa Editrice Ambrosiana, Milano 2010, Pag. 266-277

Mazzoldi P., Nigro M., Voci C., ***Elementi di fisica*** (elettromagnetismo e onde, dipartimento di fisica Galileo Galilei, Padova)^{2°Ed.}, Edises, Napoli 2012, Pag.267-270

Yeh Di Pochi, Gu Claire, ***Optics of Liquid Crystal Display***^{2°Ed.}, John Wiley & Sons Inc., Hoboken-USA 2010

Wigginton Michael, ***Glass in architecture***, Phaidon Press, Londra 1996

Loughran Patrick, ***Falling glass*** (problems and solutions in contemporary architecture), Birkhauser, Basilea 2003

Compagno Andrea, ***Intelligent Glass Façades***, Artemis, Basel 2002

Hyatt Peter, ***Great glass buildings*** (50 modern classics, design with glass), Images Publishing Group, 2004

Imbrighi Giampaolo, ***Trasparenze: vetro e materiali sintetici***, NIS, Roma 1993

Schittich C., Staib, Balkow, Schuler, Sobek, ***Glass construction manual***, Birkhauser edition detail, Monaco 1999

Moor Andrew, ***Colours of architecture*** (coloured glass in contemporary buildings), Beazley Mitchell, Londra 2006

Rice Peter, Dutton Hugh; Albin Marco (a cura di), ***Il vetro strutturale***, Tecniche Nuove, Milano 1991

Conio Claudio, ***La tecnologia della trasparenza***, Tecnomedia, Milano 1995

Van Uffelen Chris, ***Vetro*** (Collana: Materiali per l'architettura contemporanea), Motta architettura, Milano 2009

Wurm Jan, ***Glass structures*** (Design and construction of self-supporting skin), Birkhauser, Basel 2007

Croce Sergio, Poli Tiziana, **Transparency: facciate in vetro tra architettura e sperimentazione**, (Collana "I libri di Arketipo"), Il Sole 24 ORE-Arketipo, Milano 2013

Krampen Martin, Schempp Dieter, **Glass Architects** (Concepts, Buildings, Perspectives), Avedition, Ludwigsburg 1999

Richards Brent, **Nouvelle Architecture de verre**, Le Seuil, Parigi 2006

Finnazzer Flory Massimiliano, Marinelli Giovanni, **Non solo vetro** (L'impresa del vetro tra arte e scienza), Skira, Milano 2004

Weller Bernhard, **Glass in building** (Principles Applications Examples), Birkhauser - Detail Practice, Monaco 2009

Brandi Licht Ulrike; De Angelis Enrico (a cura di), **Luce naturale e artificiale**, Utet scienze tecniche, Detail, Monaco di Baviera 2007

Carotti Attilio (a cura di), **Vetro strutturale e facciate continue** (collana: Quaderni di Innovazione e Hi-Tech in Architettura ed Edilizia, quaderno uno), Libreria Clup, Milano 2003

Kaltenbach Frank; De Angelis Enrico (a cura di), **Trasparenze** (vetri plastiche e metalli), , Utet scienze tecniche, Detail, Monaco di Baviera 2007

Banzi Massimo, **Arduino** (La guida ufficiale), Tecniche Nuove, Milano 2012

Margolis Michael, **Arduino** (progetti e soluzioni), Tecniche Nuove, Milano 2013

Tettamanzi Matteo, **Il Piccolo Manuale di Arduino (Il cuore della robotica fai da te)**, Apogeo, Milano 2012

Shmidt Maik, **Il manuale di Arduino** (IMPARARE a programmare nel linguaggio di Arduino, REALIZZARE progetti e prototipi interattivi partendo da zero), Apogeo, Milano 2011

Riviste e Documenti e Sitografia:

www.Infovetro.it, **Prontuario dei costi del vetro** (Aggiornato al 12-10-2008)

Santulli Carlo, **degradazione dei polimeri**, Università di Roma - La Sapienza, Dip. di ingegneria elettrica

Rubin M., Nichelatti E., Polato P., **Equivalent models for the prediction of angular glazing properties.**

Hutchins M.G. et al., **Measurement and prediction of angle dependent optical properties of coated glass products: results of an inter-laboratory comparison of spectral transmittance and reflectance.**

Maccari A., Polato P., Report on the activities of the ADOPT and ALTSET European projects.

Glass Magazine_(che cita) **"Next-Generation Smart Windows: Materials and markets 2011 _ www.nanomarkets.net"**_11-2011

L'ARCHITETTURA, L'AMBIENTE E LA TRASPARENZA POSSIBILE. Tesi sperimentale e progettuale di sistemi vetrati interattivi per il controllo selettivo e dinamico della radiazione solare. Dispositivi di micro-controllo open e nanotecnologie al servizio dell'uomo, dell'architetto e dell'ambiente.

Normativa:

UNI EN 410_marzo 2011, ***Vetro per edilizia-Determinazione delle caratteristiche luminose e solari delle vetrate***

UNI EN 572-1_ottobre 2012, ***Vetro per edilizia-Prodotti di base di vetro di silicato sodo-calcico – Parte 1: Definizioni e proprietà generali fisiche e meccaniche***

UNI EN 572-2_ottobre 2012, ***Vetro per edilizia-Prodotti di base di vetro di silicato sodo-calcico – Parte 2: Vetro float***

UNI EN 673_marzo 2011, ***Vetro per edilizia-Determinazione della trasmittanza termica (Valore-U)_Metodo di calcolo***

UNI EN 674_luglio 2011, ***Vetro per edilizia-Determinazione della trasmittanza termica (Valore-U)_Metodo della piastra calda con anello di guarda***

UNI EN 675_luglio 2011, ***Vetro per edilizia-Determinazione della trasmittanza termica (Valore-U)_Metodo dei termoflussimetri***

UNI EN 1096-1-2-3-4_2012, ***Vetro per edilizia-Vetro rivestito (1-2-3-4 per le definizioni e per la classificazione dei coating A,B,C,D,S)***

UNI EN 11404_febbraio 2011, ***Vetrate isolanti per impiego in edilizia – Qualità ottica e visiva per serramenti.***

UNI EN 1279-1-2-3-4_ottobre 2004, ***Vetro per edilizia-Vetrate isolanti (1-2-3-4 per generalità, tolleranze dimensionali e per le verifiche specifiche di invecchiamento e perdita di gas dalla vetrocamera)***

UNI EN 6534, ***Vetro per edilizia-Progettazioni materiali e posa in opera.***

UNI EN 7142, ***Vetri piani-Vetri temprati per edilizia ed arredamento.***

UNI EN 7143, ***Vetri piani-Spessore dei vetri piani per vetrazioni in funzione delle loro dimensioni, dell'azione del vento e del carico neve.***

UNI EN 7172, ***Vetri piani-Vetri stratificati per edilizia ed arredamento***

UNI EN 7697_2007, Criteri di sicurezza nelle applicazioni vetrarie

UNI EN 13363-1_marzo 2008, Dispositivi di protezione solare in combinazione con vetrate – Calcolo della trasmittanza solare e luminosa – Parte 1 : Metodo semplificato

UNI EN 13363-2_marzo 2008, Dispositivi di protezione solare in combinazione con vetrate – Calcolo della trasmittanza solare e luminosa – Parte 1 : Metodo di calcolo dettagliato

. UNI EN 14449_settembre 2005, **Vetro per edilizia-Vetro stratificato e Vetro stratificato di sicurezza-Valutazione della conformità**

UNI EN 14500_settembre 2008, Tede e chiusure oscuranti – Benessere termico e visivo – Metodi di prova e di calcolo.

UNI EN 14501_febbraio 2006, Tede e chiusure oscuranti – Benessere termico e visivo – Caratteristiche prestazionali e classificazione.

UNI EN 12898_maggio 2002, **Vetro per edilizia-Determinazione dell'emissività**

Lo spirito del progetto:

Ho voluto riportare le parole di alcuni personaggi che inconsapevolmente mi hanno accompagnato durante tutto il percorso progettuale. Mi hanno sostenuto nei momenti in cui ho provato fatica e mi hanno incoraggiato di fronte ai molteplici problemi.

“Lo scoprire, consiste nel vedere ciò che tutti hanno visto e nel pensare ciò che nessuno ha mai pensato prima” »Albert Szent Györgyi_(1893-1986)

“Il valore di un'idea, sta nel metterla in pratica.” »Thomas Alva Edison_(1847-1931)

“un problema è una possibilità che ci viene offerta per fare di meglio” »Ellington Duke_(1899-1974)

“C'è vero progresso, solo quando i vantaggi di una nuova tecnologia diventano per tutti.” »Henry Ford_(1863-1947)

APPENDICE

Riepilogo delle proprietà fisiche dei 3 progetti Glass4Season e confronto con i principali competitors:

Configurazione del dispositivo	R.E.M. DANNOSE UV_300-380[nm]		FATTORE LUMINOSO VIS_380-780[nm]				FATTORI ENERGETICI SOLARI UV+VIS+NIR_300-2500[nm]								Parametri energetici generali				Fonte:
	Chiaro	Scuro	Chiaro	Scuro	Chiaro	Scuro	Chiaro	Scuro	Chiaro	Scuro	Chiaro	Scuro	Chiaro	Scuro	Chiaro	Scuro	Chiaro	Scuro	
Parametro [%]	τ_{UV}	τ_{UV}	τ_v	τ_v	ρ_v	ρ_v	τ_e	τ_e	ρ_e	ρ_e	α_e	α_e	g	g	SC	SC			
Doppio filtro_ GLASS4SEASON ALPHA VIS	0.004	0.001	36.1	0.0	7.5	7.5	49.4	30.7	8.8	8.8	41.8	60.5	63.3	50.9	72.8	58.5	Calcolo		
Doppio filtro_ GLASS4SEASON BETA NIR	1.124	1.124	58.6	48.9	28.8	28.4	44.7	21.4	39.0	49.9	16.2	28.8	50.2	31.0	57.6	35.6	Calcolo		
Doppio filtro_ GLASS4SEASON BETA VIS+NIR	0.007	0.001	40.6	0.2	46.8	78.7	36.7	0.1	47.0	71.0	16.2	28.9	42.2	9.7	48.5	11.2	Calcolo		
Filtro SageGlass_Elettrocromico	-	-	69.6	3.9	16.7	5.9	49.8	1.8	13.1	10.3	37.1	87.9	-	-	-	-	Window 6		
Filtro View_Elettrocromico	-	-	64.3	3.4	14.3	7.3	46.3	1.4	16.3	11.0	37.4	87.6	-	-	-	-	Window 6		
Doppio v. con GLASS4SEASON BETA VIS+NIR	0.005	0.000	32.2	0.1	49.3	71.0	26.1	0.1	43.0	58.9	30.8	41.0	36.4	13.7	41.9	15.8	Calcolo		
Doppio v. con View_Elettrocromico	3.000	0.000	58.0	3.0	18.0	7.0	37.0	1.0	18.0	11.0	45.0	88.0	46.0	9.0	-	-	Data Sheet		
Doppio v. con SageGlass_Elettrocromico	5.000	0.500	62.0	2.0	11.0	5.0	38.0	0.7	-	-	-	-	47.0	9.0	-	-	Data Sheet		
Doppio v. con SageGlass+LOW-E_Elettroc.	-	-	55.0	1.0	10.0	5.0	-	-	-	-	-	-	39.0	5.0	-	-	Data Sheet		
Doppio v. con Pleotint_Termocromico	-	-	60.0	13.0	-	-	26.0	8.0	10.0	5.0	64.0	87.0	37.0	17.0	-	-	Data Sheet		
Triplo v. con GLASS4SEASON BETA VIS+NIR	0.004	0.000	28.9	0.0	50.9	71.0	22.3	0.0	44.1	58.9	33.6	41.0	33.5	13.7	38.5	15.7	Calcolo		
Triplo v. con SageGlass_Elettrocromico	3.700	0.400	55.0	1.0	-	-	31.0	0.6	-	-	-	-	42.0	7.0	-	-	Data Sheet		
Triplo v. con SageGlass+Low-E_Elettroc.	2.100	0.200	54.0	1.0	14.0	5.0	29.0	0.6	-	-	-	-	40.0	4.0	-	-	Data Sheet		

Caratteristiche fisico-tecniche dei prodotti vetrari SGG:

PRODOTTI	Spessore mm	Fattore Luminoso %		Fattore Energetico %			Fattore solare	Shading coeff.	$K_w = \frac{W}{m^2K}$	$K_h = \frac{Kcal}{h m^2C}$	
		Trasmiss. luminosa	Rifless. luminosa	Trasmiss. energet.	Rifless. energet.	Absorbim. energet.					
LASTRA SINGOLA	- PLANILUX chiaro	3	91	8	87	8	5	0.89	1.00	5.9	5.1
		4	91	8	86	8	6	0.87	0.98	5.8	5.0
		5	90	8	84	8	8	0.86	0.97	5.8	5.0
		6	90	8	83	8	9	0.86	0.97	5.8	5.0
		8	89	8	81	7	12	0.84	0.94	5.7	4.9
		10	89	8	78	7	15	0.82	0.92	5.6	4.8
		12	88	8	76	7	17	0.80	0.90	5.6	4.8
		15	87	8	72	7	21	0.78	0.88	5.5	4.7
		19	86	8	68	7	25	0.75	0.84	5.4	4.6
	- PARSOL ambra	3	67	6	67	6	27	0.74	0.83	5.9	5.1
		4	61	6	61	6	33	0.69	0.78	5.8	5.0
		5	55	6	55	6	39	0.65	0.73	5.8	5.0
		6	50	6	50	6	44	0.61	0.69	5.8	5.0
		8	41	5	41	6	53	0.55	0.62	5.7	4.9
		10	34	5	34	5	61	0.50	0.56	5.6	4.8
	- PARSOL bronzo	3	67	6	68	6	26	0.74	0.83	5.9	5.1
		4	60	6	61	6	33	0.69	0.78	5.8	5.0
		5	55	6	55	6	39	0.65	0.73	5.8	5.0
6		49	5	50	5	45	0.61	0.69	5.8	5.0	
8		40	5	41	5	54	0.55	0.62	5.7	4.9	
10		33	5	34	5	61	0.50	0.56	5.6	4.8	
12	27	5	28	5	67	0.45	0.51	5.6	4.8		

PRODOTTI	Spessore mm	Fattore Luminoso %		Fattore Energetico %			Fattore solare	Shading coeff.	K _e = W m ² K	K _e = Kcal h m ² °C	
		Trasmis. luminosa	Rifless. luminosa	Trasmis. energet.	Rifless. energet.	Assorbim. energet.					
LASTRA SINGOLA	- PARSOL grigio Europa	3	62	6	64	6	30	0.72	0.81	5.9	5.1
		4	64	6	57	6	37	0.66	0.74	5.8	5.0
		5	47	5	50	5	45	0.62	0.70	5.8	5.0
		6	41	5	45	5	50	0.58	0.65	5.8	5.0
		8	32	5	36	5	59	0.51	0.57	5.7	4.9
		10	24	5	28	5	67	0.46	0.52	5.6	4.8
	12	19	4	22	5	73	0.41	0.46	5.6	4.8	
	- PARSOL grigio Italia	3	60	6	64	6	30	0.71	0.80	5.9	5.1
		4	52	6	57	6	37	0.66	0.74	5.8	5.0
		5	46	5	50	6	44	0.62	0.70	5.8	5.0
		6	40	5	45	5	50	0.58	0.65	5.8	5.0
		8	30	5	35	5	60	0.51	0.57	5.7	4.9
		10	23	5	28	5	67	0.46	0.52	5.6	4.8
	- PARSOL rosaline	3	80	7	81	7	12	0.84	0.94	5.9	5.1
		4	76	7	78	7	15	0.82	0.92	5.8	5.0
		5	73	7	75	7	18	0.79	0.89	5.8	5.0
		6	70	7	72	7	21	0.77	0.87	5.8	5.0
		10	59	6	62	6	32	0.70	0.79	5.6	4.8

LASTRA SINGOLA	- PARSOL verde	3	81	7	65	6	29	0.72	0.81	5.9	5.1	
		4	78	7	58	6	36	0.68	0.76	5.8	5.0	
		5	75	7	53	6	41	0.64	0.72	5.8	5.0	
		6	72	7	48	6	46	0.60	0.67	5.8	5.0	
		8	66	6	40	5	55	0.54	0.61	5.7	4.9	
		10	61	6	34	5	61	0.50	0.56	5.6	4.8	
CRISTALLI STRATIFICATI	VISARM	33	6/7	90	8	81	7	12	0.84	0.94	5.8	5.0
		53	8/9	89	8	77	7	16	0.82	0.92	5.7	4.9
		64	10/11	88	8	76	7	17	0.80	0.90	5.6	4.8
	VISARM	64 S	11/12	84	8	73	7	20	0.73	0.82	5.6	4.8
		19/21	19/21	79	8	60	7	33	0.70	0.79	5.4	4.6
	BLINDOVIS	18/19	18/19	81	8	59	6	35	0.68	0.76	5.4	4.6
	BLINDOVIS	18/19 R	19/20	80	8	58	6	36	0.67	0.75	5.3	4.5
		26/27	26/27	75	7	51	6	43	0.62	0.70	5.2	4.4
		27/29	27/29	75	7	51	6	43	0.61	0.69	5.0	4.3
	BLINDOVIS	27/29 R	29/30	74	7	51	6	43	0.60	0.65	4.9	4.2
		28/30	28/30	79	7	55	6	39	0.65	0.73	4.1	3.6
		29/31	29/31	76	7	51	6	43	0.60	0.67	4.8	4.1
	BLINDOVIS	36/38	36/38	74	7	45	5	50	0.58	0.65	4.9	4.2
		36/38 R	39/40	73	7	44	5	51	0.57	0.64	4.8	4.1
	BLINDOVIS	38/40	38/40	74	7	50	6	44	0.61	0.69	4.0	3.5
39/41		39/41	73	7	52	6	52	0.56	0.63	4.5	3.9	
39/41 R		50/52	62	6	29	4	67	0.42	0.47	4.3	3.7	

PRODOTTI		Spessore mm	Fattore Luminoso %		Fattore Energetico %			Fattore solare	Shading coeff.	K= $\frac{W}{m^2K}$	K= $\frac{Kcal}{h m^2C}$	
			Trasmis. luminosa	Rifless. luminosa	Trasmis. energet.	Rifless. energet.	Assorbim. energet.					
LASTRA SINGOLA	ANTELIO Elite	faccia 1	6	67	31	65	24	11	0.68	0.76	5.7	4.9
			8	66	31	63	24	13	0.66	0.76	5.7	4.9
		faccia 2	6	67	31	65	22	13	0.68	0.74	5.7	4.9
			8	66	31	63	22	15	0.67	0.75	5.7	4.9
	ANTELIO Chiaro	faccia 1	5	47	32	53	26	21	0.59	0.66	5.7	4.9
			6	47	32	52	26	22	0.58	0.65	5.7	4.9
			8	47	32	50	26	24	0.57	0.64	5.7	4.9
			10	46	32	49	26	25	0.55	0.62	5.7	4.9
		faccia 2	5	47	26	53	20	27	0.60	0.67	5.7	4.9
			6	47	26	52	19	29	0.60	0.67	5.7	4.9
			8	47	26	50	19	31	0.58	0.65	5.7	4.9
			10	46	25	49	18	33	0.57	0.64	5.7	4.9
ANTELIO Havane	faccia 1	5	27	34	34	27	39	0.44	0.49	5.7	4.9	
		6	24	34	30	27	43	0.41	0.46	5.7	4.9	
		8	20	33	25	27	48	0.37	0.42	5.7	4.9	
	faccia 2	5	27	13	34	12	54	0.48	0.54	5.7	4.9	
		6	24	12	30	10	60	0.46	0.52	5.7	4.9	
		8	20	9	25	8	67	0.42	0.47	5.7	4.9	

PRODOTTI		Spessore mm	Fattore Luminoso %		Fattore Energetico %			Fattore solare	Shading coeff.	K= $\frac{W}{m^2K}$	K= $\frac{Kcal}{h m^2C}$	
			Trasmis. luminosa	Rifless. luminosa	Trasmis. energet.	Rifless. energet.	Assorbim. energet.					
LASTRA SINGOLA	ANTELIO Gold	faccia 1	5	29	33	39	26	34	0.48	0.54	5.7	4.9
			6	26	33	37	26	37	0.46	0.52	5.7	4.9
			8	22	33	31	26	43	0.42	0.49	5.7	4.9
		faccia 2	5	29	14	39	13	48	0.52	0.58	5.7	4.9
			6	26	12	37	11	52	0.50	0.56	5.7	4.9
			8	22	10	31	9	59	0.47	0.54	5.7	4.9
	ANTELIO Steel Grey	faccia 1	5	34	33	43	25	31	0.51	0.59	5.7	4.9
			6	29	33	39	25	36	0.48	0.54	5.7	4.9
			8	22	32	32	25	43	0.43	0.48	5.7	4.9
		faccia 2	5	33	12	43	12	45	0.55	0.62	5.7	4.9
			6	29	11	39	10	51	0.52	0.58	5.7	4.9
			8	22	8	32	8	60	0.47	0.53	5.7	4.9
ANTELIO Smeraldo	faccia 1	6	54	30	33	22	45	0.44	0.49	5.7	4.9	
		8	50	30	27	22	51	0.40	0.45	5.7	4.9	
	faccia 2	6	54	21	33	12	55	0.47	0.53	5.7	4.9	
		8	50	19	27	10	63	0.43	0.48	5.7	4.9	

PRODOTTI		Spessore mm	Fattore Luminoso %		Fattore Energetico %			Fattore solare	Shading coeff.	K= $\frac{W}{m^2K}$	K= $\frac{Kcal}{h m^2C}$
			Trasmis. luminosa	Rifless. luminosa	Trasmis. energet.	Rifless. energet.	Assorbim. energet.				
LASTRA SINGOLA	EKO faccia 2	4	80	16	76	10	14	0.78	0.88	4.3	3.7
		5	79	15	74	10	16	0.77	0.87	4.3	3.7
6		79	15	73	10	17	0.76	0.85	4.3	3.7	
	PLANITHERM faccia 2	4	87	6	62	15	23	0.76	0.85	-	-
		6	86	6	56	15	29	0.73	0.82	-	-
CRISTALLI STRATIFICATI	VISARM - EKO 33	6/7	79	16	72	11	17	0.76	0.85	4.3	3.7
	VISARM - EKO 53	8/9	78	16	65	11	20	0.74	0.83	4.3	3.7
	VISARM - EKO 64	10/11	78	15	67	10	23	0.72	0.81	4.3	3.7
	VISARM - ANTELIO CH 64	10/11	46	32	47	26	27	0.54	0.61	5.6	4.8
	VISARM - STAMPATO C 44	8/9	77	8	77	7	16	0.81	0.91	5.7	4.9
	VISARM - ANTELIO Elite 64	10/11	66	31	58	23	19	0.63	0.71	5.6	4.8
	VISARM 64 con PVB Bianco Latte	10/11	70	6	62	7	31	0.70	0.79	5.6	4.8
	VISARM 64 con PVB Grey	10/11	28	5	34	5	61	0.48	0.54	5.6	4.8

COOL-LITE			Spessore mm	Fattore Luminoso %		Fattore Energetico %			Fattore solare	Shading coeff.	K= $\frac{W}{m^2K}$	K= $\frac{Kcal}{h m^2C}$	
Supporto	Colore (1)	Codice		Trasmis. luminosa	Rifless. luminosa	Trasmis. energet.	Rifless. energet.	Assorbim. energet.					
LASTRA SINGOLA	Chiaro	ARGENTO	SS 108	6	8	42	7	35	58	0.18	0.20	4.2	3.6
			SS 114	6	14	31	11	27	62	0.23	0.26	4.3	3.7
			SS 120	6	20	24	16	21	63	0.29	0.33	4.7	4.0
			SS 132	6	32	14	26	13	61	0.39	0.44	4.9	4.2
			TS 120	6	20	22	14	22	64	0.27	0.30	4.5	3.8
	Chiaro	OCRA	TE 110	6	10	21	6	24	70	0.21	0.24	4.6	3.9
			TE 115	6	15	25	10	25	65	0.23	0.26	4.4	3.8
	Chiaro	BLU	TB 125	6	25	19	18	19	63	0.31	0.35	4.7	4.0
			TB 130	6	30	16	23	16	61	0.36	0.40	4.9	4.2
			TB 140	6	40	10	32	10	58	0.46	0.52	5.1	4.4
	Chiaro	PELTRO	SC 108	6	8	43	6	36	58	0.17	0.19	4.3	3.7
			SC 114	6	14	33	10	28	62	0.22	0.25	4.4	3.8
			SC 120	6	20	23	16	21	63	0.29	0.33	4.7	4.0
	Chiaro	CROMO	SR 132	6	32	13	28	11	61	0.47	0.47	5.1	4.5
			BLU PASTELLO	PB 108-N	6	8	26	8	23	69	0.21	0.24	4.5
	Chiaro	PASTELLO	PB 114-N	6	14	22	13	18	69	0.27	0.30	4.7	4.0
			PB 120-N	6	20	16	18	14	68	0.33	0.37	5.0	4.3
			PB 135-N	6	35	6	31	7	62	0.46	0.52	5.4	4.6
	Bronzo	BRONZO ARGENTO	SS 208	6	5	15	4	15	81	0.19	0.21	4.2	3.6
			SS 214	6	8	12	7	12	81	0.22	0.25	4.3	3.7
SS 220			6	11	10	10	10	80	0.26	0.29	4.7	4.0	
SS 232			6	18	7	15	7	78	0.32	0.36	4.9	4.2	

(1) Colore della facciata esterna con depositi riflettenti in faccia 2

COOL-LITE			Spessore mm	Fattore Luminoso %		Fattore Energetico %			Fattore solare	Shading coeff.	K _e = $\frac{W}{m^2 \cdot K}$	K _h = $\frac{Kcal}{h \cdot m^2 \cdot C}$	
Supporto	Colore (1)	Codice		Trasmis. luminosa	Rifless. luminosa	Trasmis. energet.	Rifless. energet.	Assorbim. energet.					
LASTRA SINGOLA	Grigio	GRIGIO	SS 308	6	4	12	4	13	83	0.19	0.21	4.2	3.6
		ARGENTO	SS 314	6	7	10	6	11	83	0.22	0.25	4.3	3.7
			SS 320	6	9	9	9	9	82	0.26	0.29	4.7	4.0
			SS 332	6	15	6	14	7	79	0.31	0.35	4.9	4.2
	Verde	VERDE ARGENTO	SS 408	6	7	28	4	17	79	0.19	0.21	4.2	3.6
			SS 414	6	11	21	7	13	80	0.22	0.25	4.3	3.7
			SS 420	6	16	17	10	11	79	0.26	0.29	4.7	4.0
			SS 432	6	26	10	15	8	77	0.32	0.36	4.9	4.2
	Verde	VERDE AZZURRO	TS 420	6	16	16	9	11	80	0.25	0.28	4.6	3.9
			TB 425	6	20	14	11	10	79	0.28	0.31	4.7	4.0
			TB 430	6	24	11	14	8	78	0.30	0.34	4.9	4.2
			TB 440	6	32	8	19	7	74	0.36	0.40	5.1	4.4
	Verde	VERDE ACQUA MARINA	PB 408-N	6	6	19	4	12	84	0.21	0.24	4.6	4.0
			PB 414-N	6	11	16	7	11	82	0.25	0.24	4.7	4.0
			PB 420-N	6	16	12	10	9	81	0.28	0.31	4.9	4.2
			PB 435-N	6	28	6	18	5	77	0.37	0.42	5.4	4.6
	Rosa	ROSA ARGENTO	SS 508	6	7	27	6	27	67	0.18	0.20	4.2	3.6
			SS 514	6	11	20	9	21	70	0.23	0.26	4.3	3.7
			SS 520	6	16	16	13	17	70	0.28	0.31	4.7	4.0
			SS 532	6	25	10	22	11	67	0.37	0.42	4.9	4.2
	Ambra	ORO	SS 608	6	5	16	4	16	80	0.19	0.21	4.2	3.6
			SS 614	6	8	13	6	13	81	0.22	0.25	4.3	3.7
			SS 620	6	11	11	9	11	80	0.26	0.29	4.7	4.0
			SS 632	6	18	7	15	7	78	0.32	0.36	4.9	4.2

(1) Colore della facciata esterna con deposito riflettente in faccia 2.

PRODOTTI		Spessore mm	Fattore Luminoso %		Fattore Energetico %			Fattore solare	Shading coeff.	K _e = $\frac{W}{m^2 \cdot K}$	K _h = $\frac{Kcal}{h \cdot m^2 \cdot C}$
			Trasmis. luminosa	Rifless. luminosa	Trasmis. energet.	Rifless. energet.	Assorbim. energet.				
VETRATA ISOLANTE CLIMALIT - BIVER	PLANILUX + PLANILUX	4-4	83	15	74	14	12	0.78	0.88	2.9	2.5
		5-5	82	15	71	14	15	0.76	0.85	2.9	2.5
		6-6	82	15	69	14	17	0.75	0.84	2.9	2.5
		8-8	80	14	66	12	22	0.74	0.83	2.9	2.5
		10-8	80	14	63	11	26	0.71	0.80	2.9	2.5
	PARSOL bronzo * + PLANILUX	4-4	55	8	50	8	42	0.58	0.65	2.9	2.5
		5-5	50	8	45	8	47	0.54	0.61	2.9	2.5
		6-6	44	7	39	7	54	0.48	0.54	2.9	2.5
	PARSOL grigio * + PLANILUX	8-8	36	6	30	6	64	0.40	0.45	2.9	2.5
		4-4	52	8	50	8	42	0.58	0.65	2.9	2.5
		5-5	45	8	45	8	47	0.54	0.61	2.9	2.5
	PARSOL verde * + PLANILUX	6-6	38	7	40	7	53	0.49	0.55	2.9	2.5
		8-8	31	6	32	6	62	0.43	0.48	2.9	2.5
		4-4	72	12	44	12	44	0.51	0.57	2.9	2.5
	PARSOL verde * + PLANILUX	5-5	70	12	41	12	47	0.49	0.55	2.9	2.5
		6-6	67	11	38	11	51	0.47	0.53	2.9	2.5
		8-8	62	10	32	10	58	0.43	0.48	2.9	2.5
	PARSOL ambra * + PLANILUX	4-4	54	8	50	8	42	0.57	0.64	2.9	2.5
		5-5	50	8	46	8	46	0.55	0.62	2.9	2.5
		6-6	44	8	39	8	53	0.48	0.54	2.9	2.5
	PARSOL rosaline * + PLANILUX	8-8	37	6	32	6	62	0.42	0.47	2.9	2.5
		4-4	68	12	68	12	20	0.71	0.80	2.9	2.5
		5-5	65	12	64	12	24	0.69	0.78	2.9	2.5
	PARSOL rosaline * + PLANILUX	6-6	60	11	59	11	30	0.67	0.75	2.9	2.5
8-8		51	10	51	10	39	0.61	0.69	2.9	2.5	

* In ogni caso si considera il vetro colorato posto all'esterno.

	PRODOTTI	Spessore mm	Fattore Luminoso %		Fattore Energetico %			Fattore solare	Shading coeff.	$K = \frac{W}{m^2K}$	$K = \frac{Kcal}{h m^2C}$
			Trasmiss. luminosa	Rifless. luminosa	Trasmiss. energet.	Rifless. energet.	Assorbim. energet.				
VETRATA ISOLANTE PARSOLEFLEX	PARSOL Grigio + ANTELIO Chiario faccia 3	5-6	22	13	29	13	58	0.42	0.47	2.9	2.5
	PARSOL Ambra + ANTELIO Chiario faccia 3	5-6	27	17	32	15	53	0.45	0.51	2.9	2.5
	PARSOL Verde + ANTELIO Chiario faccia 3	5-6	36	26	23	14	63	0.37	0.41	2.9	2.5
	PARSOL Rosaline + ANTELIO Chiario faccia 3	5-6	35	25	40	21	39	0.53	0.60	2.9	2.5
	PARSOL Grigio + ANTELIO Elite faccia 3	5-6	32	12	35	12	53	0.45	0.51	2.9	2.5
	PARSOL Ambra + ANTELIO Elite faccia 3	5-6	39	16	39	14	47	0.48	0.54	2.9	2.5
	PARSOL Verde + ANTELIO Elite faccia 3	5-6	52	26	31	14	55	0.40	0.45	2.9	2.5
	PARSOL rosaline + ANTELIO Elite faccia 3	5-6	50	24	49	20	31	0.58	0.65	2.9	2.5

	PRODOTTI	Spessore mm	Fattore Luminoso %		Fattore Energetico %			Fattore solare	Shading coeff.	$K = \frac{W}{m^2K}$	$K = \frac{Kcal}{h m^2C}$	
			Trasmiss. luminosa	Rifless. luminosa	Trasmiss. energet.	Rifless. energet.	Assorbim. energet.					
VETR. ISOLANTE	PLANILUX + EKO •	4-4	73	22	66	16	18	0.74	0.83	2.3	1.9	
		6-6	72	21	62	16	22	0.72	0.81	2.3	1.9	
	PLANILUX + PLANITHERM •	4-4	79	11	52	21	27	0.66	0.74	1.8	1.5	
		5-5	78	11	50	21	29	0.64	0.72	1.8	1.5	
		6-6	77	11	48	20	32	0.62	0.70	1.8	1.5	
		8-8	75	10	45	19	36	0.58	0.65	1.8	1.5	
	• Lastra basso emessiva posta verso l'interno del locale con faccia trattata in intercapedine.											

PRODOTTI			Spessore mm	Fattore Luminoso %		Fattore Energetico %			Fattore solare	Shading coeff.	K= $\frac{W}{m^2K}$	K= $\frac{Kcal}{h m^2C}$
				Trasmiss. luminosa	Rifless. luminosa	Trasmiss. energet.	Rifless. energet.	Assorbim. energet.				
VETRATA ISOLANTE CLIMALIT - BIVER	ANTELIO Elite + PLANILUX	faccia 1	6-5	62	35	55	27	18	0.60	0.67	2.8	2.4
			8-6	61	35	53	27	20	0.59	0.66	2.8	2.4
	ANTELIO Elite + PLANILUX	faccia 2	6-5	62	35	55	26	19	0.60	0.67	2.8	2.4
			8-6	61	34	53	25	22	0.59	0.66	2.8	2.4
	ANTELIO Chiaro + PLANILUX	faccia 1	5-4	43	34	46	28	26	0.51	0.57	2.9	2.5
			6-5	43	34	44	28	28	0.50	0.56	2.8	2.4
			8-6	43	34	42	28	30	0.49	0.55	2.8	2.4
			10-8	42	34	39	27	34	0.47	0.53	2.8	2.4
	ANTELIO Chiaro + PLANILUX	faccia 2	5-4	44	28	46	22	32	0.52	0.58	2.9	2.5
			6-5	43	28	44	21	35	0.51	0.57	2.8	2.4
			8-6	43	27	42	20	38	0.50	0.56	2.8	2.4
			10-8	42	27	40	20	40	0.48	0.54	2.8	2.4
ANTELIO Havane + PLANILUX	faccia 1	5-4	25	34	29	28	43	0.36	0.40	2.9	2.5	
		6-5	22	34	25	28	47	0.33	0.37	2.8	2.4	
		8-6	18	34	21	27	52	0.29	0.33	2.8	2.4	
ANTELIO Havane + PLANILUX	faccia 2	5-4	25	14	29	12	59	0.38	0.43	2.9	2.5	
		6-5	23	12	26	11	63	0.35	0.39	2.8	2.4	
		8-6	18	10	21	9	70	0.31	0.35	2.8	2.4	

N.B.: Si preferisce assemblare Climalit e Biver utilizzando spessori differenziati, per limitare spiacevoli effetti estetici in facciata continua, dovuti a deformazioni della lastra riflettente.

PRODOTTI			Spessore mm	Fattore Luminoso %		Fattore Energetico %			Fattore solare	Shading coeff.	K= $\frac{W}{m^2K}$	K= $\frac{Kcal}{h m^2C}$
				Trasmiss. luminosa	Rifless. luminosa	Trasmiss. energet.	Rifless. energet.	Assorbim. energet.				
VETRATA ISOLANTE CLIMALIT - BIVER	ANTELIO Gold + PLANILUX	faccia 1	6-5	24	33	30	28	42	0.38	0.43	2.8	2.4
			faccia 2	6-5	24	13	30	13	57	0.40	0.45	2.8
	ANTELIO Steel Grey + PLANILUX	faccia 1	6-5	27	33	32	26	42	0.40	0.45	2.8	2.4
			faccia 2	6-5	27	11	33	12	55	0.42	0.47	2.8
	ANTELIO Smeraldo + PLANILUX	faccia 1	6-5	50	32	29	23	48	0.36	0.40	2.8	2.4
			faccia 2	6-5	50	24	29	13	58	0.37	0.42	2.8
	ANTELIO Elite + EKO faccia 3	faccia 1	6-5	56	39	49	29	22	0.57	0.64	2.2	1.9
			8-6	55	39	47	29	26	0.56	0.62	2.2	1.9
	ANTELIO Elite + EKO faccia 3	faccia 2	6-5	56	39	49	27	24	0.58	0.65	2.2	1.9
			8-6	55	38	47	26	27	0.56	0.62	2.2	1.9
	ANTELIO Chiaro + EKO faccia 3	faccia 1	5-4	39	36	41	29	30	0.48	0.54	2.2	1.9
			6-5	39	36	39	29	32	0.47	0.53	2.2	1.9
			8-6	38	36	37	29	34	0.46	0.52	2.2	1.9
	ANTELIO Chiaro + EKO faccia 3	faccia 2	5-4	40	30	41	23	36	0.49	0.55	2.2	1.9
			6-5	39	30	39	22	39	0.48	0.54	2.2	1.9
			8-6	39	29	38	21	41	0.47	0.53	2.2	1.9

PRODOTTI		Spessore mm	Fattore Luminoso %		Fattore Energetico %			Fattore solare	Shading coeff.	K _e = $\frac{W}{m^2 \cdot K}$	K _e = $\frac{Kcal}{h \cdot m^2 \cdot C}$
			Trasmiss. luminosa	Rifless. luminosa	Trasmiss. energet.	Rifless. energet.	Assorbim. energet.				
VETRATA ISOLANTE CLIMALIT - BIVER	ANTELIO Havane faccia 1 + EKO faccia 3	5-4 6-5 8-6	22 20 16	35 35 34	25 22 18	28 28 28	47 50 54	0.33 0.30 0.26	0.37 0.34 0.29	2.2 2.2 2.2	1.9 1.9 1.9
	ANTELIO Havane faccia 2 + EKO faccia 3	5-4 6-5 8-6	23 20 17	15 13 10	25 22 18	13 11 9	62 67 73	0.33 0.32 0.28	0.37 0.36 0.32	2.2 2.2 2.2	1.9 1.9 1.9
	ANTELIO Gold faccia 1 + EKO faccia 3	6-5	21	34	26	28	46	0.35	0.39	2.2	1.9
	ANTELIO Gold faccia 2 + EKO faccia 3	6-5	22	14	27	13	60	0.37	0.42	2.2	1.9
	ANTELIO Steel Grey faccia 1 + EKO faccia 3	6-5	24	34	28	27	45	0.37	0.42	2.2	1.9
	ANTELIO Steel Grey faccia 2 + EKO faccia 3	6-5	25	12	29	12	59	0.39	0.44	2.2	1.9
	ANTELIO Smeraldo faccia 1 + EKO faccia 3	6-5	45	35	25	24	51	0.33	0.37	2.2	1.9
	ANTELIO Smeraldo faccia 2 + EKO faccia 3	6-5	45	26	26	14	60	0.34	0.38	2.2	1.9
	ANTELIO Elite faccia 1 + PLANITHERM faccia 3	6-5	56	33	38	35	27	0.49	0.55	1.7	1.4

VETRATA ISOLANTE CLIMALIT - BIVER	ANTELIO Elite faccia 2 + PLANITHERM faccia 3	6-5	56	33	38	33	29	0.49	0.55	1.7	1.4
	ANTELIO Chiaro faccia 1 + PLANITHERM faccia 3	6-5	39	33	29	35	36	0.39	0.44	1.7	1.4
	ANTELIO Chiaro faccia 2 + PLANITHERM faccia 3	6-5	39	27	29	29	42	0.40	0.45	1.7	1.4
	ANTELIO Havane faccia 1 + PLANITHERM faccia 3	6-5	20	34	16	31	53	0.24	0.27	1.7	1.4
	ANTELIO Havane faccia 2 + PLANITHERM faccia 3	6-5	20	12	17	14	69	0.26	0.29	1.7	1.4
	ANTELIO Gold faccia 1 + PLANITHERM faccia 3	6-5	22	33	18	33	49	0.27	0.30	1.7	1.4
	ANTELIO Gold faccia 2 + PLANITHERM faccia 3	6-5	22	13	19	18	63	0.29	0.33	1.7	1.4
	ANTELIO Steel Grey faccia 1 + PLANITHERM faccia 3	6-5	24	33	21	31	48	0.30	0.34	1.7	1.4
	ANTELIO Steel Grey faccia 2 + PLANITHERM faccia 3	6-5	25	11	21	16	63	0.32	0.36	1.7	1.4
	ANTELIO Smeraldo faccia 1 + PLANITHERM faccia 3	6-5	46	31	22	23	55	0.30	0.34	1.7	1.4
	ANTELIO Smeraldo faccia 2 + PLANITHERM faccia 3	6-5	46	22	23	13	64	0.31	0.35	1.7	1.4

COOL-LITE			Spessore mm	Fattore Luminoso %		Fattore Energetico %			Fattore solare	Shading coeff.	K _e = W m ² K	K _e = Kcal h m ² C	
Supporto	Colore	Codice		Trasmis. luminosa	Rifless. luminosa	Trasmis. energet.	Rifless. energet.	Assorbim. energet.					
VETRATA ISOLANTE CLIMALIT - BIVER con PLANILUX	Chiario	ARGENTO	SS 108	6-5	41	42	6	35	59	0.12	0.13	2.2	1.9
			SS 114	6-5	13	31	10	27	63	0.17	0.19	2.3	2.0
			SS 120	6-5	19	24	14	21	65	0.22	0.25	2.4	2.1
			SS 132	6-5	30	14	22	14	64	0.31	0.35	2.5	2.2
			TS 120	6-5	19	23	13	22	65	0.20	0.22	2.4	2.1
	Chiario	OCRA	TE 110	6-5	10	22	6	24	70	0.14	0.16	2.4	2.1
			TE 115	6-5	14	25	9	25	66	0.16	0.18	2.3	2.0
	Chiario	BLU	TB 125	6-5	23	20	16	19	65	0.24	0.27	2.5	2.2
			TB 130	6-5	28	17	20	17	63	0.28	0.31	2.5	2.2
			TB 140	6-5	37	12	28	11	61	0.36	0.40	2.6	2.2
	Chiario	CROMO	SC 108	6-5	8	43	5	36	59	0.11	0.12	2.3	2.0
			SC 114	6-5	13	33	9	28	63	0.16	0.18	2.3	2.0
			SC 120	6-5	19	23	14	21	65	0.22	0.25	2.4	2.1
			SR 132	6-5	30	14	24	12	64	0.33	0.37	2.6	2.2
	Chiario	BLU PASTELLO	PB 108-N	6-5	7	26	7	23	70	0.14	0.16	2.3	2.0
			PB 114-N	6-5	13	22	11	19	70	0.20	0.22	2.5	2.2
			PB 120-N	6-5	19	16	16	14	70	0.25	0.28	2.5	2.2
			PB 135-N	6-5	32	7	27	7	66	0.36	0.40	2.7	2.3
	Bronzo	BRONZO ARGENTO	SS 208	6-5	4	16	3	16	81	0.12	0.13	2.2	1.9
			SS 214	6-5	7	12	6	12	82	0.14	0.16	2.3	2.0
			SS 220	6-5	10	10	8	10	82	0.18	0.20	2.4	2.1
			SS 232	6-5	16	7	13	8	79	0.23	0.26	2.5	2.2

COOL-LITE			Spessore mm	Fattore Luminoso %		Fattore Energetico %			Fattore solare	Shading coeff.	K _e = W m ² K	K _e = Kcal h m ² C	
Supporto	Colore	Codice		Trasmis. luminosa	Rifless. luminosa	Trasmis. energet.	Rifless. energet.	Assorbim. energet.					
VETRATA ISOLANTE CLIMALIT - BIVER con PLANILUX	Grigio	GRIGIO ARGENTO	SS 308	6-5	4	12	3	13	84	0.12	0.13	2.2	1.9
			SS 314	6-5	6	10	5	11	84	0.14	0.16	2.3	2.0
			SS 320	6-5	9	9	8	9	83	0.17	0.17	2.4	2.1
			SS 332	6-5	14	6	12	7	81	0.22	0.25	2.5	2.2
			SS 408	6-5	6	28	4	17	79	0.12	0.13	2.2	1.9
	Verde	VERDE ARGENTO	SS 414	6-5	11	21	6	14	80	0.14	0.16	2.3	2.0
			SS 420	6-5	15	17	9	11	80	0.18	0.20	2.4	2.1
			SS 432	6-5	24	11	14	8	78	0.23	0.26	2.5	2.2
			TS 420	6-5	15	16	8	11	80	0.17	0.19	2.4	2.1
	Verde	VERDE AZZURRO	TB 425	6-5	18	14	10	10	80	0.18	0.20	2.5	2.2
			TB 430	6-5	22	11	12	9	79	0.21	0.24	2.5	2.2
			TB 440	6-5	29	9	17	8	75	0.25	0.28	2.6	2.2
			PB 408-N	6-5	6	19	4	12	84	0.13	0.15	2.3	2.0
	Verde	VERDE ACQUA MARINA	PB 414-N	6-5	10	16	7	11	82	0.16	0.18	2.5	2.2
			PB 420-N	6-5	15	12	9	9	81	0.19	0.21	2.5	2.2
			PB 435-N	6-5	26	6	16	6	77	0.26	0.29	2.7	2.3
			SS 508	6-5	6	27	5	27	68	0.12	0.13	2.2	1.9
	Rosa	ROSA ARGENTO	SS 514	6-5	10	20	8	21	71	0.16	0.18	2.3	2.0
			SS 520	6-5	14	16	12	17	71	0.20	0.22	2.4	2.1
			SS 532	6-5	23	10	19	11	70	0.28	0.31	2.5	2.2
			SS 608	6-5	4	16	3	16	81	0.12	0.13	2.2	1.9
	Ambra	ORO	SS 614	6-5	7	13	5	13	82	0.14	0.16	2.3	2.0
			SS 620	6-5	10	11	8	11	81	0.17	0.19	2.4	2.1
SS 632			6-5	17	7	13	8	79	0.23	0.26	2.5	2.2	

Data Sheet:

-Arduino Mini 05 Light	174
-Arduino Uno Rev.3 ATmega328	175
-Condensatore Vishay 100[pF]	179
-Driver Led TLC5940NTG4 _ 16 uscite	180
-Fotodiodo Osram Opto SFH 2270-R _ Luce visibile	183
-Fototransistor Osram Opto SFH 320 FA-3/4 120° _ Infrarossi	185
-Servomotore HS-35HD Ultra Nano Servo	188
-Display Led a 7 segmenti	189
-Led Verde 565[nm]	192
-Termistore NTC BC 100'000[Ω] ±5%	194
-Transistor bipolare NPN MJE3055T 10Ampere 5V	197

Arduino Mini 05 Light

Arduino Mini



Arduino Mini Front without headers



Arduino Mini Rear

Find more Distributors

Overview

The Arduino Mini is a small microcontroller board originally based on the ATmega168, but now supplied with the 328. ([datasheet](#)), intended for use on breadboards and when space is at a premium. It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 8 analog inputs, and a 16MHz crystal oscillator. It can be programmed with the [USB Serial adapter](#) or other USB or RS232 to TTL serial adapter.

The new Mini (revision 05) has a new package for the ATmega328, which enables all components to be on the top of the board. It also has an onboard reset button. The new version has the same pin configuration as revision 04.

Warning: Don't power the Arduino mini with more than 9 volts, or plug the power in backwards: you'll probably kill it.

Summary

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage	7-9 V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	8 (of which 4 are broken out onto pins)
DC Current per I/O Pin	40 mA
Flash Memory	32 KB (of which 2 KB used by bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz

Programming

The Arduino Mini can be programmed with the Arduino software ([download](#)). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

To program the Arduino Mini, you will need a [USB Serial adapter](#) or other USB or RS232 to TTL serial adapter. See the page on [getting started with the Arduino Mini](#) for instructions.

The ATmega328 on the Arduino Mini comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an in-system-programmer. The bootloader communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the ATmega328 with ICSP (In-Circuit Serial Programming); see the page on [bootloading the Mini](#) for information on wiring up an ICSP header to the Mini and the [programmer](#) for instructions on using a programmer to upload a sketch.

Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Mini can be used as an input or output. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. Pins 3, 5, 6, 9, 10, and 11 can provide PWM output; for details see the [analogWrite\(\)](#) function. If anything besides the Mini USB (or other) adapter is connected to pins 0 and 1, it will interfere with the USB communication, preventing new code from being uploaded or other communication with the computer.

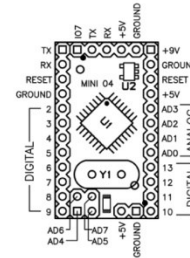
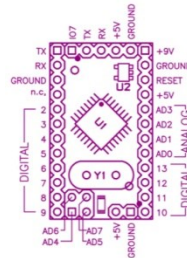
The Mini has 8 analog inputs, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values).

Inputs 0 to 3 are broken out onto pins; input 4 to 7 require soldering into the provided holes. By default the analog inputs measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and some low-level code.

See also the [mapping between Arduino pins and ATmega168/328 ports](#).

Pinout

Note: the pinout changed from version 03 to version 04 of the Mini, please be sure you use the right diagram.

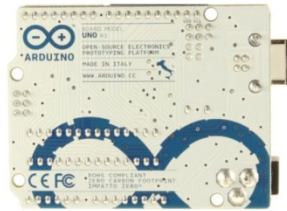


Arduino Uno Rev.3 ATmega328

Arduino Uno



Arduino Uno R3 Front



Arduino Uno R3 Back



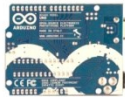
Arduino Uno R2 Front



Arduino Uno SMD



Arduino Uno Front



Arduino Uno Back

Buy From
Arduino Store

Buy From
Distributors

Overview

The Arduino Uno is a microcontroller board based on the ATmega328P ([datasheet](#)). It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz ceramic resonator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started.

The Uno differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the ATmega16U2 (ATmega8U2 up to version R2) programmed as a USB-to-serial converter.

Revision 2 of the Uno board has a resistor pulling the 8U2 HWB line to ground, making it easier to put into **DFU mode**.

Revision 3 of the board has the following new features:

- 1.0 pinout: added SDA and SCL pins that are near to the AREF pin and two other new pins placed near to the RESET pin, the IOREF that allow the shields to adapt to the voltage provided from the board. In future, shields will be compatible with both the board that uses the AVR, which operates with 5V and with the Arduino Due that operates with 3.3V. The second one is a

not connected pin, that is reserved for future purposes.

Stronger RESET circuit.

ATmega 16U2 replace the 8U2.

"Uno" means one in Italian and is named to mark the upcoming release of Arduino 1.0. The Uno and version 1.0 will be the reference versions of Arduino, moving forward. The Uno is the latest in a series of USB Arduino boards, and the reference model for the Arduino platform; for a comparison with previous versions, see the [index of Arduino boards](#).

Summary

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

Schematic & Reference Design

EAGLE files: [arduino-uno-Rev3-reference-design.zip](#) (NOTE: works with Eagle 6.0 and newer)

Schematic: [arduino-uno-Rev3-schematic.pdf](#)

Note: The Arduino reference design can use an ATmega8, 168, or 328, Current models use an ATmega328, but an ATmega8 is shown in the schematic for reference. The pin configuration is identical on all three processors.

Power

The Arduino Uno can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack.

Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The power pins are as follows:

- VIN. The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- 5V. This pin outputs a regulated 5V from the regulator on the board. The board can be supplied with power either from the DC power jack (7 - 12V), the USB connector (5V), or the VIN pin of the board (7-12V). Supplying voltage via the 5V or 3.3V pins

bypasses the regulator, and can damage your board. We don't advise it.

3V3. A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
GND. Ground pins.

IOREF. This pin on the Arduino board provides the voltage reference with which the microcontroller operates. A properly configured shield can read the IOREF pin voltage and select the appropriate power source or enable voltage translators on the outputs for working with the 5V or 3.3V.

Memory

The ATmega328 has 32 KB (with 0.5 KB used for the bootloader). It also has 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Uno can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

Serial 0 (RX) and 1 (TX). Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.

External Interrupts: 2 and 3. These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.

PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11. Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.

SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). These pins support SPI communication using the [SPI library](#).

LED: 13. There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.

The Uno has 6 analog inputs, labeled A0 through A5, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and the [analogReference\(\)](#) function. Additionally, some pins have specialized functionality:

TWI: A4 or SDA pin and A5 or SCL pin. Support TWI communication using the [Wire library](#).

There are a couple of other pins on the board:

AREF. Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).

Reset. Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

See also the [mapping between Arduino pins and ATmega328 ports](#). The mapping for the Atmega8, 168, and 328 is identical.

Communication

The Arduino Uno has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega328 provides UART TTL (5V) serial communication, which is available on digital pins 0 (RX) and 1 (TX). An ATmega16U2 on the board channels this serial communication over USB and appears as a virtual com port to software on the computer. The '16U2

firmware uses the standard USB COM drivers, and no external driver is needed. However, on [Windows, a .inf file is required](#). The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the Arduino board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the USB-to-serial chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Uno's digital pins.

The ATmega328 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a [Wire library](#) to simplify use of the I2C bus; see the [documentation](#) for details. For SPI communication, use the [SPI library](#).

Programming

The Arduino Uno can be programmed with the Arduino software ([download](#)). Select "Arduino Uno from the Tools > Board menu (according to the microcontroller on your board). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega328 on the Arduino Uno comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference, C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.

The ATmega16U2 (or 8U2 in the rev1 and rev2 boards) firmware source code is available .

The ATmega16U2/8U2 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by:

On Rev1 boards: connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Italy) and then resetting the 8U2.

On Rev2 or later boards: there is a resistor that pulling the 8U2/16U2 HWB line to ground, making it easier to put into DFU mode.

You can then use [Atmel's FLIP software](#) (Windows) or the [DFU programmer](#) (Mac OS X and Linux) to load a new firmware. Or you can use the ISP header with an external programmer (overwriting the DFU bootloader). See [this user-contributed tutorial](#) for more information.

Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Uno is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2/16U2 is connected to the reset line of the ATmega328 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload.

This setup has other implications. When the Uno is connected to either a computer running Mac OS X

or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Uno. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

The Uno contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see [this forum thread](#) for details.

USB Overcurrent Protection

The Arduino Uno has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

Physical Characteristics

The maximum length and width of the Uno PCB are 2.7 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Four screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.

Technical Specification

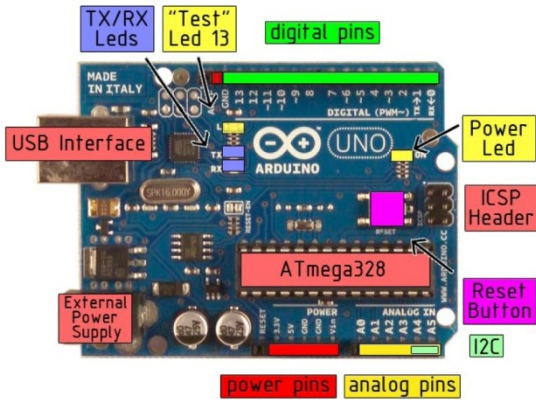


EAGLE files: [arduino-duemilanove-uno-design.zip](#) Schematic: [arduino-uno-schematic.pdf](#)

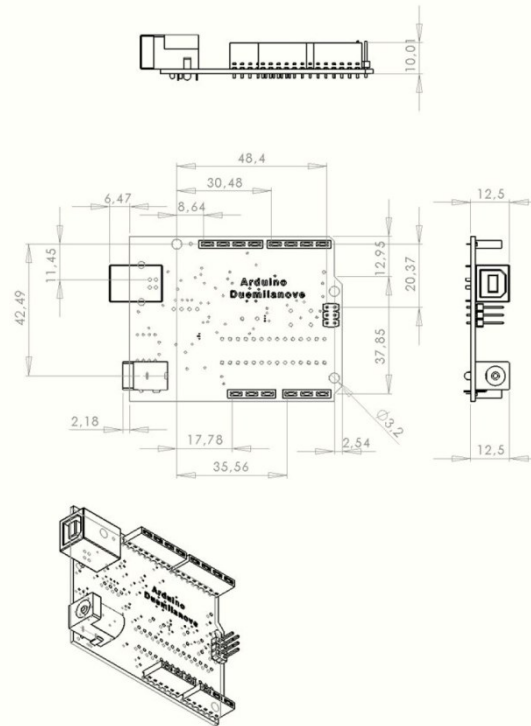
Summary

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz

the board



Dimensioned Drawing



radiospares RADIONICS



radiospares RADIONICS

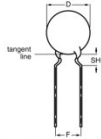


Condensatore Vishay 100[pF]

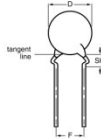


HV LDF 0.2 %
Vishay

Ceramic Disc DC Capacitors Class 2, Low Loss 500 V, 1 kV, 2 kV and 3 kV



Capacitors with inside kink lead spacing



Capacitors with outside kink lead spacing

FEATURES

- High reliability
- Low losses
- High capacitance in small size
- Kinked leads
- Compliant to RoHS directive 2002/95/EC

APPLICATIONS

In electronic circuits where low losses and high capacitance per volume are essential, for example:

- SMPS
- HF ballast
- Snubber and high voltage circuits

DESIGN

The capacitors consist of a ceramic disc both sides of which are silver-plated. Connection leads are made of tinned copper having a diameter of 0.5 mm or 0.8 mm.

The capacitors are spotted with kinked leads and lead spacings of 5 mm or 7.5 mm and 10 mm. Encapsulation is made of epoxy-resin, flammable resistant in accordance with UL94V-0.

CAPACITANCE RANGE

100 pF to 4700 pF

RATED DC VOLTAGE

500 V; 1 kV; 2 kV; 3 kV

DIELECTRIC STRENGTH

200 % of rated voltage

INSULATION RESISTANCE AT 500 V (DC)

≥ 10 000 MΩ min.

TOLERANCE ON CAPACITANCE

± 10 %; ± 20 %

DISSIPATION FACTOR

0.2 % max.

OPERATING TEMPERATURE RANGE

-30 °C to +125 °C

TEMPERATURE COEFFICIENT YSR (20°C)

-30 °C TO +85 °C:

± 15 %

SECTIONAL SPECIFICATIONS

IEC 60384-9, EIA 198

AGING

Typical 0.5 % per time decade



RoHS
COMPLIANT

MARKING

Marking indicates capacitance value and tolerance in accordance with "EIA 198" and voltage marks.

EXAMPLES OF MARKING CODE

Disc size (D_{max}) ≤ 6.5 mm:

RR = Low loss with T.C.

YSR

101 K

2 kV

Disc size (D_{max}) ≥ 7.5 mm:

DC

RR

102 K

3 kV

Note

The capacitors meet the essential requirements of "IEC 60384-9 and EIA 198". Unless stated otherwise all electrical values apply at an ambient temperature of 25 ± 3 °C, at normal atmospheric conditions

Document Number: 28500
Revision: 26-May-09

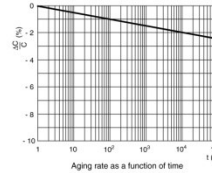
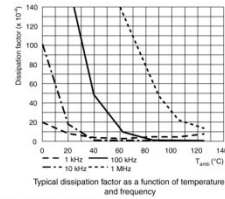
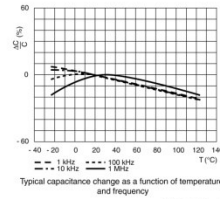
For technical questions, contact: CDC@vishay.com

www.vishay.com
1



HV LDF 0.2 %
Vishay

Ceramic Disc DC Capacitors Class 2, Low Loss 500 V, 1 kV, 2 kV and 3 kV



ORDERING INFORMATION

C (pF)	TOL (%)	D _{max} (mm)	LEAD SPACING S (mm)	SH (mm)	CLEAR TEXT CODE
					3 RD DIGIT: T = REEL; U = AMMO; 3 = BULK 16 TH DIGIT: R = RoHS COMPLIANT
500 V					
100		5.0	5.0	4.0	F10HK2YSRLL6JS
120					F12HK2YSRLL6JS
150					F15HK2YSRLL6JS
180					F18HK2YSRLL6JS
220					F22HK2YSRLL6JS
270		F27HK2YSRLL6JS			
330		F33HK2YSRLL6JS			
390		F39HK2YSRLL6JS			
470		F47HK2YSRLL6JS			
560	± 10	6.5	7.5	4.0	F56HK2YSRLL6JS
680					F68HK2YSRLL6JS
800		F80HK2YSRLL6JS			
1000		F1000K2YSRLL6JS			
1200		F1200K2YSRLL6JS			
1500		8.5	7.5	4.0	F1500K3YSRLL6JS
1800	F1800K3YSRLL6JS				
2200	F2200K3YSRLL6JS				
2700	F2700K3YSRLL6JS				
		12.0			F272K47YSRLL6JUT

www.vishay.com
2

For technical questions, contact: CDC@vishay.com

Document Number: 28500
Revision: 26-May-09

Driver Led TLC5940NTG4 _ 16 uscite

Driver LED TLC5940NTG4 16 segmenti, alimentazione 3.3, 5V, PDIP 28 pin



Prezzo per: Unità	
Identificati cliccando qui - Login	
Quantità	Prezzo
1	€ 3,73
10	€ 3,25
50	€ 3,18
100	€ 3,11
250	€ 3,04

A stock - in consegna il giorno lavorativo successivo per ordini pervenuti entro le 19:00.

Verifica disponibilità

Codice RS **422-283**
 Costruttore **Texas Instruments**
 Codice costruttore **TLC5940NT**
 Stato RoHS **RoHS**
 Opinioni dei clienti **(0)** Inserisci una recensione

Dettagli prodotto

Ulteriori dettagli

Prodotti simili

Opinioni dei clienti (0)

Documentazione Tecnica

TLC5940 16 CHANNEL LED DRIVER WITH DOT CORRECTION AND GRAYSCALE PWM CONTROL Data Sheet

Specifiche

Altezza	4.57mm
Corrente di alimentazione massima	60 mA
Dimensioni	35.69 x 6.73 x 4.57mm
Larghezza	6.73mm
Lunghezza	35.69mm
Massima temperatura operativa	+85 °C
Minima temperatura operativa	-40 °C
Numero di segmenti	16
Numero pin	28
Tensione di alimentazione operativa tipica	3.3 V, 5 V
Tipo di montaggio	Su foro
Tipo di package	PDIP



TLC5940

SLVSS15C-DECEMBER 2004-REVISED OCTOBER 2007

16 CHANNEL LED DRIVER WITH DOT CORRECTION AND GRAYSCALE PWM CONTROL

FEATURES

- 16 Channels
- 12 bit (4096 Steps) Grayscale PWM Control
- Dot Correction
 - 6 bit (64 Steps)
 - Storable in Integrated EEPROM
- Drive Capability (Constant-Current Sink)
 - 0 mA to 60 mA ($V_{CC} < 3.6 V$)
 - 0 mA to 120 mA ($V_{CC} > 3.6 V$)
- LED Power Supply Voltage up to 17 V
- $V_{CC} = 3 V$ to 5.5 V
- Serial Data Interface
- Controlled In-Rush Current
- 30MHz Data Transfer Rate
- CMOS Level I/O
- Error Information
 - LOD: LED Open Detection
 - TEF: Thermal Error Flag

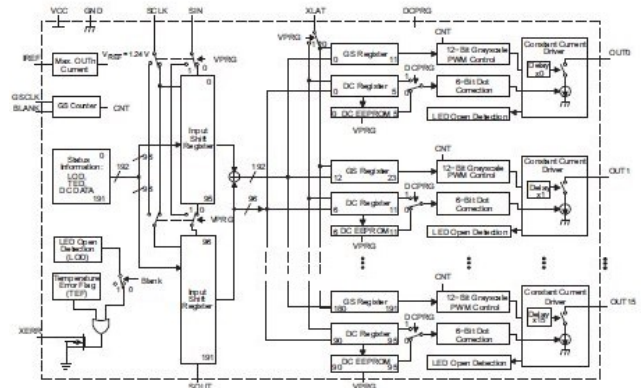
APPLICATIONS

- Monocolor, Multicolor, Full-Color LED Displays
- LED Signboards
- Display Backlighting
- General, High-Current LED Drive

DESCRIPTION

The TLC5940 is a 16-channel, constant-current sink LED driver. Each channel has an individually adjustable 4096-step grayscale PWM brightness control and a 64-step, constant-current sink (dot correction). The dot correction adjusts the brightness variations between LED channels and other LED drivers. The dot correction data is stored in an integrated EEPROM. Both grayscale control and dot correction are accessible via a serial interface. A single external resistor sets the maximum current value of all 16 channels.

The TLC5940 features two error information circuits. The LED open detection (LOD) indicates a broken or disconnected LED at an output terminal. The thermal error flag (TEF) indicates an overtemperature condition.





These devices have limited built-in ESD protection. The leads should be shorted together or the device placed in conductive foam during storage or handling to prevent electrostatic damage to the MOS gates.

ORDERING INFORMATION

T _A	PACKAGE ⁽¹⁾	PART NUMBER
-40°C to 85°C	28-pin HTSSOP PowerPAD™	TLC5940PWP
	32-pin 5mm x 5mm QFN	TLC5940RHB
	28-pin PDIP	TLC5940NT

(1) For the most current package and ordering information, see the Package Option Addendum at the end of this document, or see the TI website at www.ti.com.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS.

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)⁽¹⁾

		UNIT
V _I	Input voltage range ⁽²⁾	V _{CC}
I _O	Output current (dc)	-0.3V to 0V
		130mA
V _I	Input voltage range	V _{I(BLANK)} , V _{I(DCPRG)} , V _{I(SCLK)} , V _{I(XLAT)} , V _{I(SIN)} , V _{I(OSCLK)} , V _{I(REF)}
		-0.3V to V _{CC} +0.3V
V _O	Output voltage range	V _{I(SOUT)} , V _{I(XERR)}
		-0.3V to V _{CC} +0.3V
		V _{I(OUT0)} to V _{I(OUT15)}
		-0.3V to 18V
	EEPROM program range	V _{I(VPRG)}
		-0.3V to 24V
	EEPROM write cycles	50
	ESD rating	HBM (JEDEC JESD22-A114, Human Body Model)
		2kV
		CBM (JEDEC JESD22-C101, Charged Device Model)
		600V
T _{STG}	Storage temperature range	-65°C to 150°C
T _A	Operating ambient temperature range	-40°C to 85°C
	Package thermal impedance ⁽³⁾	HTSSOP (PWP) ⁽⁴⁾
		31.58°C/W
		QFN (RHB)
		35.9°C/W
		PDIP (NP)
		48°C/W

(1) Stresses beyond those listed under absolute maximum ratings may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under recommended operating conditions is not implied. Exposure to absolute maximum rated conditions for extended periods may affect device reliability.

(2) All voltage values are with respect to network ground terminal.

(3) The package thermal impedance is calculated in accordance with JEDEC 51-7.

(4) With PowerPAD soldered on PCB with 2 oz. (56.7 grams) trace of copper. See SLMA002 for further information.

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

	MIN	NOM	MAX	UNIT
DC CHARACTERISTICS				
V _{CC}	Supply Voltage	3	5.5	V
V _O	Voltage applied to output (OUT0–OUT15)		17	V
V _{IH}	High-level input voltage	0.8 V _{CC}	V _{CC}	V
V _{IL}	Low-level input voltage	GND	0.2 V _{CC}	V
I _{OH}	High-level output current	V _{CC} = 0V at SOUT	-1	mA
I _{OL}	Low-level output current	V _{CC} = 0V at SOUT_XERR	1	mA
I _{OCC}	Constant output current	OUT0 to OUT15, V _{CC} < 3.0V	60	mA
		OUT0 to OUT15, V _{CC} > 3.0V	120	mA
V _{I(VPRG)}	EEPROM program voltage	20	22	23
T _A	Operating free-air temperature range	-40	85	°C
AC CHARACTERISTICS				
V _{CC} = 3 V to 5.5 V, T _A = -40°C to 85°C (unless otherwise noted)				
f _(SCLK)	Data shift clock frequency			30
				MHz
f _(GSCLK)	Grayscale clock frequency	GSCLK		30
				MHz
t _{setup} /t _{hold}	SCLK pulse duration	SCLK = HL (see Figure 11)	16	ns
t _{setup} /t _{hold}	GSCLK pulse duration	GSCLK = HL (see Figure 11)	16	ns
t _{setup}	XLAT pulse duration	XLAT = H (see Figure 11)	20	ns
t _{setup}	BLANK pulse duration	BLANK = H (see Figure 11)	20	ns
t _{setup}		SIN to SCLK t ⁽¹⁾ (see Figure 11)	5	ns
t _{setup}		SCLK ↓ to XLAT ↑ (see Figure 11)	10	ns
t _{setup}		XLAT ↑ to SCLK ↑ (see Figure 11)	10	ns
t _{setup}		VPRG ↑ ↓ to SCLK ↑ (see Figure 11)	10	ns
t _{setup}		VPRG ↑ ↓ XLAT ↑ (see Figure 11)	10	ns
t _{setup}		BLANK ↓ to GSCLK ↑ (see Figure 11)	10	ns
t _{setup}		XLAT ↑ to GSCLK ↓ (see Figure 11)	30	ns
t _{setup}		VPRG ↑ to DCPRG ↓ (see Figure 11)	1	ns
t _{setup}		SCLK ↓ to SIN (see Figure 11)	3	ns
t _{setup}		XLAT ↓ to SCLK ↑ (see Figure 11)	10	ns
t _{setup}		SCLK ↑ to VPRG ↑ ↓ (see Figure 11)	10	ns
t _{setup}		XLAT ↓ to VPRG ↑ ↓ (see Figure 11)	10	ns
t _{setup}		GSCLK ↑ to BLANK ↓ (see Figure 11)	10	ns
t _{setup}		DCPRG ↓ to VPRG ↑ (see Figure 11)	1	ns
t _{setup}		Programming time for EEPROM (see Figure 11)	20	ms

(1) ↑ and ↓ indicates a rising edge, and a falling edge respectively.

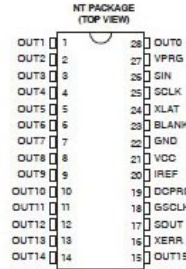
ELECTRICAL CHARACTERISTICS

V_{CC} = 3 V to 5.5 V, T_a = -40°C to 85°C (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT	
V _{OH}	High-level output voltage I _{OH} = 1mA, SOUT			V _{CC} - 0.5	V	
V _{OL}	Low-level output voltage I _{OL} = 1mA, SOUT			0.5	V	
I _I	Input current V _I = V _{CC} or GND, BLANK, DCPRO, GSCLK, SOLK, SIN, XLAT	-1		1	µA	
	V _I = GND, VPRG	-1		1	µA	
	V _I = V _{CC} , VPRG			50	µA	
	V _I = 25V, VPRG; DCPRO = V _{CC}		4	10	mA	
I _{CC}	Supply current No data transfer, all output OFF, V _O = 1V, R _{REFN} = 10kΩ		0.9	6	mA	
	No data transfer, all output OFF, V _O = 1V, R _{REFN} = 1.3kΩ		5.2	12	mA	
	Data transfer 30kHz, all output ON, V _O = 1V, R _{REFN} = 1.3kΩ		16	25	mA	
I _{OL(C)}	Constant sink current (see Figure 1)		54	61	69	mA
	I _g	Leakage output current All output OFF, V _O = 15V, R _{REFN} = 640Ω, OUTD to OUT15		0.1	µA	
ΔI _{OL(C)}	Constant sink current error (see Figure 1)		1	±4	%	
	All output ON, V _O = 1V, R _{REFN} = 640Ω, OUTD to OUT15 ⁽¹⁾		1	±6	%	
	All output ON, V _O = 1V, R _{REFN} = 320Ω, OUTD to OUT15, -20°C to 85°C		1	±6	%	
ΔI _{OL(D)}	Constant sink current error (see Figure 1)		-2	+4	%	
	Device to device, Averaged current from OUTD to OUT15, R _{REFN} = 1520Ω (20mA) ⁽²⁾		-0.4		%	
ΔI _{OL(E)}	Constant sink current error (see Figure 1)		-2.7	+2	µA	
	Device to device, Averaged current from OUTD to OUT15, R _{REFN} = 480Ω (80mA) ⁽³⁾		-2.7	+2	µA	
ΔI _{OL(G)}	Line regulation (see Figure 2)		1	±4	%/V	
	All output ON, V _O = 1V, R _{REFN} = 640Ω, OUTD to OUT15, V _{CC} = 3V to 5.5V ⁽⁴⁾		±1	±5	%/V	
	All output ON, V _O = 1V to 3V, R _{REFN} = 640Ω, OUTD to OUT15 ⁽⁵⁾		±2	±6	%/V	
ΔI _{OL(H)}	Load regulation (see Figure 2)		2	±8	%/V	
	All output ON, V _O = 1V to 3V, R _{REFN} = 320Ω, OUTD to OUT15 ⁽⁵⁾		2	±8	%/V	
T _{TH}	Thermal error flag threshold junction temperature ⁽⁶⁾		150	170	°C	
V _{LED}	LED open detection threshold		0.3	0.4	V	
V _{REFN}	Reference voltage output R _{REFN} = 640Ω	1.20	1.24	1.28	V	

- (1) The deviation of each output from the average of OUTD-15 constant current. It is calculated by Equation 1 in Table 3.
- (2) The deviation of average of OUTD-15 constant current from the ideal constant-current value. It is calculated by Equation 2 in Table 3.
- (3) The ideal current is calculated by Equation 3 in Table 3.
- (4) The line regulation is calculated by Equation 4 in Table 3.
- (5) The load regulation is calculated by Equation 5 in Table 3.
- (6) Not tested. Specified by design.

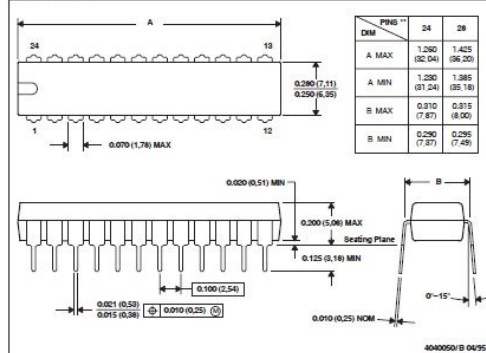
DEVICE INFORMATION



MECHANICAL DATA

NT (R-POIP-T1) PLASTIC DUAL-IN-LINE PACKAGE

24 PINS SHOWN



- NOTES: A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
B. This drawing is subject to change without notice.

Fotodiode Osram Opto SFH 2270-R _ Luce visibile

Hochgenaue Umgebungslicht-Fotodiode
High Precision Ambient Light Photodiode
Lead (Pb) Free Product - RoHS Compliant

SFH 2270R

SFH 2270R



Vorläufige Daten / Preliminary Data

Wesentliche Merkmale

- Nahezu perfekt an die Augenempfindlichkeit (V_λ) angepasst
- Schwarz eingefärbtes TOPLED®-Gehäuse
- Geringer Dunkelstrom

Anwendungen

- Umgebungslichtsensor

Features

- Nearly perfect match with Human Eye Sensitivity (V_λ)
- Black coloured TOPLED®-package
- Low leakage current

Applications

- Ambient light sensor

Typ Type	Bestellnummer Ordering Code	Fotostrom, $E_b = 10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, $\lambda = 560 \text{ nm}$, $V_R = 1 \text{ V}$ ¹⁾ Photocurrent I_p (nA)
SFH 2270R	Q65110A9911	5,6 (>4.4)

¹⁾ corresponds to an illuminance of app. 55 lx

Grenzwerte ($T_\lambda = 25 \text{ }^\circ\text{C}$)

Maximum Ratings

Bezeichnung Parameter	Symbol	Wert Value	Einheit Unit
Betriebs- und Lagertemperatur Operating and storage temperature range	T_{op}, T_{stg}	-40 ... +100	$^\circ\text{C}$
Sperrspannung Reverse voltage	V_R	2	V

Kennwerte ($T_\lambda = 25 \text{ }^\circ\text{C}$)

Characteristics

Bezeichnung Parameter	Symbol	Wert Value	Einheit Unit
Empfohlener Arbeitsbereich Beleuchtungsstärke Recommended operating range for illuminance	E_b	5 ... 100000	lx
Fotostrom, $V_R = 1 \text{ V}$, $E_b = 1000 \text{ lx}$, standard light A Photocurrent	I_p	100	nA
Fotostrom, $V_R = 1 \text{ V}$, $E_b = 10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, $\lambda = 560 \text{ nm}$ ¹⁾ Photocurrent	I_p	5,6 (>4.4)	nA
Wellenlänge der max. Fotoempfindlichkeit Wavelength of max. sensitivity	λ_{smax}	560	nm
Spektraler Bereich der Fotoempfindlichkeit Spectral range of sensitivity $S = 10\%$ of S_{max}	λ	480 ... 650	nm
Bestrahlungsempfindliche Fläche Radiant sensitive area	A	0.15	mm^2
Abmessung der Chipfläche Dimensions of chip area	$L \times B$ $L \times W$	0.4×0.4	$\text{mm} \times \text{mm}$
Halbwinkel Half angle	φ	± 60	Grad. deg.
Kapazität, $V_R = 0 \text{ V}$, $f = 1 \text{ MHz}$, $E = 0$ Capacitance	C_0	42	pF
Dunkelstrom, $V_R = 1 \text{ V}$ Dark current	I_R	5 (<150)	pA
Anstiegs- und Abfallzeit des Fotostromes Rise and fall time of the photocurrent $R_t = 50 \text{ k}\Omega$; $V_R = 1 \text{ V}$, white LED	t_r, t_f	6	μs
Temperaturkoeffizient von I_{SC} , Standard light A Temperature coefficient of I_{SC}	TK_1	0.17	%/K

¹⁾ corresponds to an illuminance of app. 55 lx

2010-03-30

1

2010-03-30

2

Opto Semiconductors

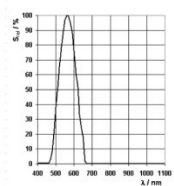
OSRAM

Opto Semiconductors

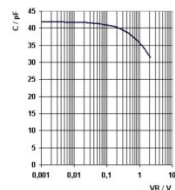
OSRAM

SFH 2270R

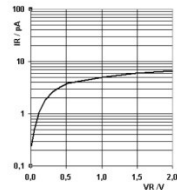
Relative Spectral Sensitivity
 $S_{rel} = f(\lambda)$



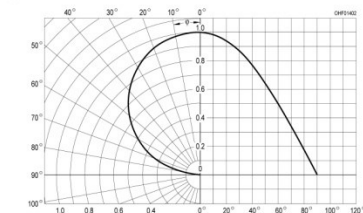
Capacitance
 $C = f(V_R), f = 1 \text{ MHz}, E = 0$



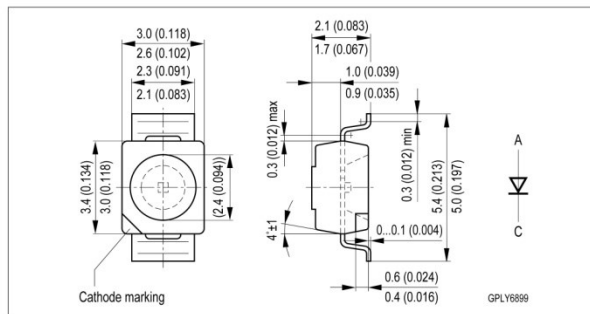
Dark Current
 $I_R = f(V_R), E = 0$



Directional Characteristics
 $S_{rel} = f(\varphi)$



Maßzeichnung
 Package Outlines



Maße in mm (inch) / Dimensions in mm (inch)

Gehäuse / Package	TOPLED® schwarz reverse gullwing / TOPLED® black reverse gullwing
Farbe / Colour	Farblos klar / colourless clear
Anschlusbelegung / Pin configuration	siehe Maßzeichnung / see Package Outlines

2010-03-30

3

Opto Semiconductors

OSRAM

2010-03-30

4

Opto Semiconductors

OSRAM

Fototransistor Osram Opto SFH 320 FA-3/4 120° _ Infrarossi

NPN-Silizium-Fototransistor im SMT TOPLED®-Gehäuse
Silicon NPN Phototransistor in SMT TOPLED®-Package
Lead (Pb) Free Product - RoHS Compliant

SFH 320
SFH 320 FA



Wesentliche Merkmale

- Speziell geeignet für Anwendungen im Bereich von 380 nm bis 1150 nm (SFH 320) und bei 880 nm (SFH 320 FA)
- Hohe Linearität
- P-LCC-2 Gehäuse
- Gruppirt lieferbar
- Für alle Lötverfahren geeignet.

Anwendungen

- Miniaturlichtschranken für Gleich- und Wechsellichtbetrieb
- Industrieelektronik
- „Messen/Steuern/Regeln“

Features

- Especially suitable for applications from 380 nm to 1150 nm (SFH 320) and of 880 nm (SFH 320 FA)
- High linearity
- P-LCC-2 package
- Available in groups
- Suitable for all soldering methods.

Applications

- Miniature photointerrupters
- Industrial electronics
- For control and drive circuits

Typ Type	Bestellnummer Ordering Code	Typ Type	Bestellnummer Ordering Code
SFH 320	065110A2471	SFH 320 FA	065110A2472
SFH 320-3	065110A2469	SFH 320 FA-3	065110A2470
SFH 320-3/4	065110A1781	SFH 320 FA-3/4	065110A2475
SFH 320-4	065110A2510	SFH 320 FA-4	065110A1836

2005-05-12

1

Opto Semiconductors

OSRAM

SFH 320, SFH 320 FA

Grenzwerte

Maximum Ratings

Bezeichnung Parameter	Symbol Symbol	Wert Value	Einheit Unit
Betriebs- und Lagertemperatur Operating and storage temperature range	T_{op}, T_{stg}	-40 ... +100	°C
Kollektor-Emitterspannung Collector-emitter voltage	V_{CE}	35	V
Kollektorstrom Collector current	I_C	15	mA
Kollektorspitzenstrom, $t < 10 \mu s$ Collector surge current	I_{CS}	75	mA
Verlustleistung, $T_A = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ Total power dissipation	P_{tot}	165	mW
Wärmewiderstand für Montage auf PC-Board Thermal resistance for mounting on pcb	R_{thJA}	450	K/W

2005-05-12

2

Opto Semiconductors

OSRAM

Kennwerte ($T_A = 25^\circ\text{C}$, $\lambda = 950\text{ nm}$)
Characteristics

Bezeichnung Parameter	Symbol Symbol	Wert Value		Einheit Unit
		SFH 320	SFH 320 FA	
Wellenlänge der max. Fotoempfindlichkeit Wavelength of max. sensitivity	$\lambda_{0.1\text{max}}$	980	980	nm
Spektraler Bereich der Fotoempfindlichkeit $S = 10\%$ von S_{max} Spectral range of sensitivity $S = 10\%$ of S_{max}	λ	450 ... 1150	750 ... 1120	nm
Bestrahlungsempfindliche Fläche ($\varnothing 220\ \mu\text{m}$) Radiant sensitive area	A	0.038	0.038	mm^2
Abmessung der Chipfläche Dimensions of chip area	$L \times B$ $L \times W$	0.45×0.45	0.45×0.45	$\text{mm} \times \text{m}$ m
Halbwinkel Half angle	φ	± 60	± 60	Grad deg.
Kapazität, $V_{\text{CE}} = 0\text{ V}$, $f = 1\text{ MHz}$, $E = 0$ Capacitance	C_{CE}	5.0	5.0	pF
Dunkelstrom Dark current $V_{\text{CE}} = 20\text{ V}$, $E = 0$	I_{CEO}	1 (≤ 50)	1 (≤ 50)	nA

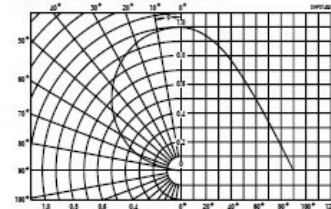
Die Fototransistoren werden nach ihrer Fotoempfindlichkeit gruppiert und mit arabischen Ziffern gekennzeichnet.
The phototransistors are grouped according to their spectral sensitivity and distinguished by arabian figures.

Bezeichnung Parameter	Symbol Symbol	Wert Value				Einheit Unit
		SFH 320 /FA	-2	-3	-4	
Fotostrom, $\lambda = 950\text{ nm}$ Photocurrent $E_s = 0.1\text{ mW/cm}^2$, $V_{\text{CE}} = 5\text{ V}$ SFH 320:	I_{PCE}	≥ 16	16 ... 32	25 ... 50	40 ... 80	μA
$E_s = 1000\text{ lx}$, Normlicht/standard light A, $V_{\text{CE}} = 5\text{ V}$	I_{PCE}	–	420	650	1000	μA
Anstiegszeit/Abfallzeit Rise and fall time $I_C = 1\text{ mA}$, $V_{\text{CC}} = 5\text{ V}$, $R_L = 1\text{ k}\Omega$	t_r , t_f	7	6	7	8	μs
Kollektor-Emitter-Sättigungsspannung Collector-emitter saturation voltage $I_C = I_{\text{PCE(max)}}^{(1)} \times 0.3$, $E_s = 0.1\text{ mW/cm}^2$	$V_{\text{CE(sat)}}$	150	150	150	150	mV

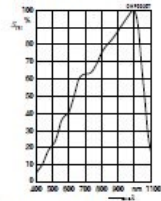
¹⁾ $I_{\text{PCE(min)}}$ ist der minimale Fotostrom der jeweiligen Gruppe.

¹⁾ $I_{\text{PCE(min)}}$ is the min. photocurrent of the specified group.

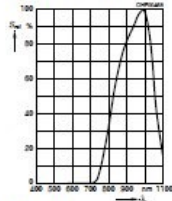
Directional Characteristics $S_{\text{rel}} = f(\varphi)$



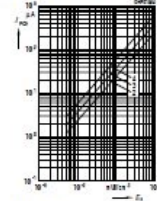
Relative Spectral Sensitivity,
SFH 320 $S_{rel} = f(\lambda)$



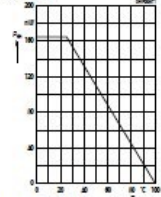
Relative Spectral Sensitivity,
SFH 320 FA $S_{rel} = f(\lambda)$



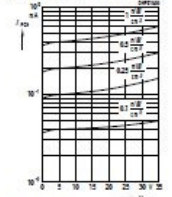
Photocurrent
 $I_{PC} = f(E_a), V_{CE} = 5 V$



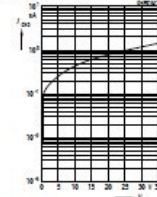
Total Power Dissipation
 $P_{tot} = f(T_a)$



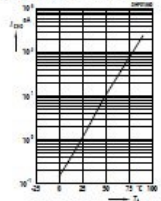
Photocurrent
 $I_{PC} = f(V_{CE}), E_a = \text{Parameter}$



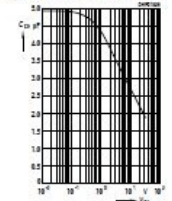
Dark Current
 $I_{CD} = f(V_{CE}), E = 0$



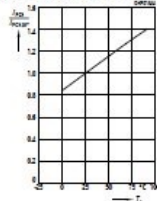
Dark Current
 $I_{CD} = f(T_a), V_{CE} = 5 V, E = 0$



Capacitance
 $C_{CE} = f(V_{CE}), f = 1 \text{ MHz}, E = 0$



Photocurrent
 $I_{PC, \text{ref}} = f(T_a), V_{CE} = 5 V$



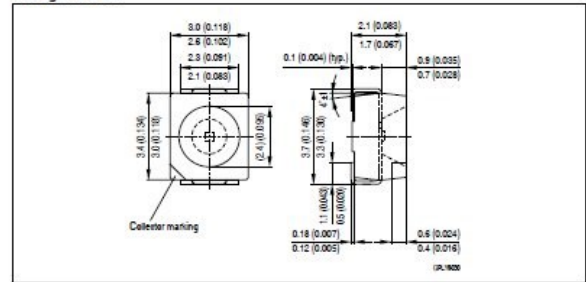
2005-05-12

5

Opto Semiconductors

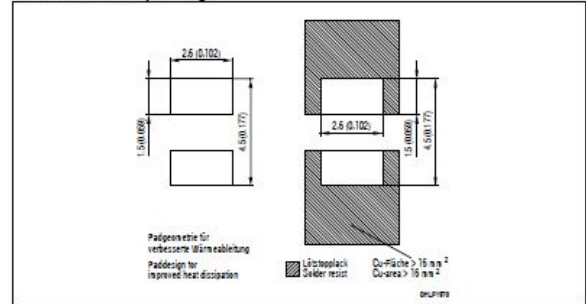
OSRAM

Maßzeichnung
Package Outlines



Maße werden wie folgt angegeben: mm (inch) / Dimensions are specified as follows: mm (inch).

Empfohenes Lötpeddesign
Recommended Solderpad Design



Maße werden wie folgt angegeben: mm (inch) / Dimensions are specified as follows: mm (inch).

2005-05-12

6

Opto Semiconductors

OSRAM

Servomotore HS-35HD Ultra Nano Servo

HS-35HD Ultra Nano Servo

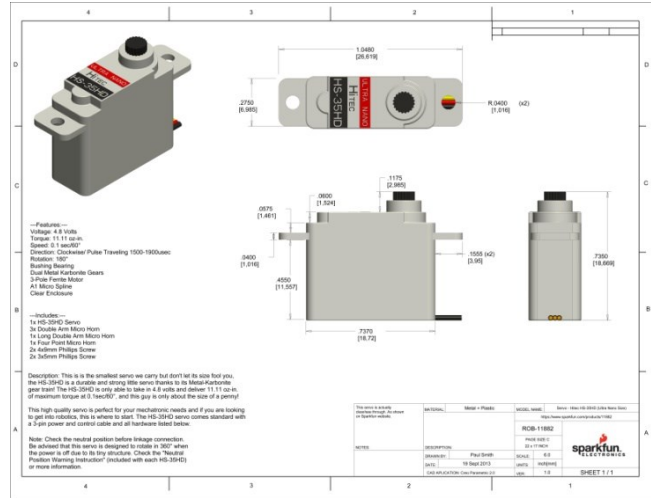
Part No: 33035S



Click image above for full size.

[Previous Photo](#) [Next Photo](#)

Additional Views



Product Description

Never before has a servo so small delivered so big. The HS-35HD Ultra Nano servo offers unprecedented durability thanks to our exclusive Metal-Karbonite™ gear train. Delivering maximum performance at minimum weight, the HS-35HD is destined to become an industry favorite. Its long life and uniquely engineered gear train will make it one of the most reliable and efficient "tiny" servos on the market. The HS-35HD is perfect for micro 3D and sport aircraft as well as many small helicopters.

Features

- Ultra-Light Weight Nano Size
- Long Life Potentiometer
- Metal Karbonite™ Gear Train
- Multi-directional Servo Cable Joint

Specifications

Motor Type:	None
Bearing Type:	None
Speed (4.8V/6.0V):	0.10 / NA
Torque oz./in. (4.8V/6.0V):	1.1 / NA
Torque kg./cm. (4.8V/6.0V):	0.8 / NA
Size in Inches:	0.74 x 0.30 x 0.62
Size in Millimeters:	18.6 x 7.6 x 15.5
Weight ounces:	0.16
Weight grams:	4.5

Display Led a 7 segmenti



TDSG1150, TDSG1160, TDSO1150, TDSO1160, TDSY1150, TDSY1160
Vishay Semiconductors

Standard 7-Segment Display 7 mm



DESCRIPTION

The TDS.11.. series are 7 mm character seven segment LED displays in a very compact package. The displays are designed for a viewing distance up to 3 m and available in four bright colors. The grey package surface and the evenly lighted untinted segments provide an optimum on-off contrast. All displays are categorized in luminous intensity groups. That allows users to assemble displays with uniform appearance. Typical applications include instruments, panel meters, point-of-sale terminals and household equipment.

FEATURES

- Evenly lighted segments
- Grey package surface
- Untinted segments
- Luminous intensity categorized
- Yellow and green categorized for color
- Wide viewing angle
- Suitable for DC and high peak current
- Compliant to RoHS directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC



RoHS
COMPLIANT

APPLICATIONS

- Panel meters
- Test- and measure- equipment
- Point-of-sale terminals
- Control units

PRODUCT GROUP AND PACKAGE DATA

- Product group: display
- Package: 7 mm
- Product series: standard
- Angle of half intensity: $\pm 50^\circ$

PARTS TABLE			
PART	COLOR	LUMINOUS INTENSITY AT 10 mA	CIRCUITRY
TDSO1150	Orange red	$I_f = 3000 \mu\text{cd}$ (typ.)	Common anode
TDSO1150-K	Orange red	$I_f = (1800 \text{ to } 3600) \mu\text{cd}$	Common anode
TDSO1160	Orange red	$I_f = 3000 \mu\text{cd}$ (typ.)	Common cathode
TDSO1160-K	Orange red	$I_f = (1800 \text{ to } 3600) \mu\text{cd}$	Common cathode
TDSO1160-KL	Orange red	$I_f = (1800 \text{ to } 3600) \mu\text{cd}$	Common cathode
TDSY1150	Yellow	$I_f = 3000 \mu\text{cd}$ (typ.)	Common anode
TDSY1150-K	Yellow	$I_f = (1800 \text{ to } 3600) \mu\text{cd}$	Common anode
TDSY1150-KL	Yellow	$I_f = (1800 \text{ to } 3600) \mu\text{cd}$	Common anode
TDSY1160	Yellow	$I_f = 3000 \mu\text{cd}$ (typ.)	Common cathode
TDSG1150	Green	$I_f = 6000 \mu\text{cd}$ (typ.)	Common anode
TDSG1150-LM	Green	$I_f = (2800 \text{ to } 9000) \mu\text{cd}$	Common anode
TDSG1160	Green	$I_f = 6000 \mu\text{cd}$ (typ.)	Common cathode

TDSG1150, TDSG1160, TDSO1150, TDSO1160, TDSY1150, TDSY1160
Vishay Semiconductors Standard 7-Segment Display 7 mm



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_{\text{amb}} = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified)				
TDSO1150, TDSO1160, TDSY1150, TDSY1160, TDSG1150, TDSG1160				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
Reverse voltage per segment or DP		V_R	6	V
		TDSO1150	17	
		TDSO1160	17	
		TDSY1150	17	
		TDSY1160	17	
		TDSG1150	17	
DC forward current per segment or DP		I_f	17	mA
		TDSO1150	0.15	
		TDSO1160	0.15	
		TDSY1150	0.15	
		TDSY1160	0.15	
		TDSG1150	0.15	
Surge forward current per segment or DP	$t_p \leq 10 \mu\text{s}$ (non repetitive)	I_{FSM}	17	A
			0.15	
			0.15	
			0.15	
			0.15	
			0.15	
Power dissipation	$T_{\text{amb}} \leq 45^\circ\text{C}$	P_V	400	mW
Junction temperature		T_J	100	$^\circ\text{C}$
Operating temperature range		T_{amb}	-40 to +85	$^\circ\text{C}$
Storage temperature range		T_{stg}	-40 to +85	$^\circ\text{C}$
Soldering temperature	$t \leq 3 \text{ s}$, 2 mm below seating plane	T_{sd}	260	$^\circ\text{C}$
Thermal resistance LED junction/ambient		R_{thJA}	140	K/W

OPTICAL AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{\text{amb}} = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified)							
TDSO1150, TDSO1160, ORANGE RED							
PARAMETER	TEST CONDITION	PART	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Luminous intensity per segment (digit average) ⁽¹⁾	$I_f = 10 \text{ mA}$	TDSO1150	I_v	450	3000	-	μcd
		TDSO1150-K		1800	-	3600	
		TDSO1160		450	3000	-	
		TDSO1160-K		1800	-	3600	
		TDSO1160-KL		1800	-	5600	
		Dominant wavelength		$I_f = 10 \text{ mA}$		λ_d	
Peak wavelength	$I_f = 10 \text{ mA}$		λ_p	-	630	-	nm
Angle of half intensity	$I_f = 10 \text{ mA}$	TDSO1150, TDSO1160	θ	-	± 50	-	deg
Forward voltage per segment or DP	$I_f = 20 \text{ mA}$		V_f	-	2	3	V
Reverse voltage per segment or DP	$I_R = 10 \mu\text{A}$		V_R	6	15	-	V

Note

⁽¹⁾ I_{min} and I_v groups are mean values of all segments (a to g, D1 to D4), matching factor within segments is ≥ 0.5 , excluding decimal points and colon.



OPTICAL AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T _{amb} = 25 °C, unless otherwise specified) TDSY1150, TDSY1160, YELLOW							
PARAMETER	TEST CONDITION	PART	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Luminous intensity per segment (digit average) ⁽¹⁾	I _F = 10 mA	TDSY1150	I _v	450	3000	-	μcd
		TDSY1150-K		1800	-	3600	
		TDSY1150-KL		1800	-	5600	
		TDSY1150L		2800	-	5600	
		TDSY1160		450	3000	-	
Dominant wavelength	I _F = 10 mA	TDSY1150, TDSY1160	λ _d	581	-	594	nm
Peak wavelength	I _F = 10 mA		λ _p	-	585	-	nm
Angle of half intensity	I _F = 10 mA		φ	-	± 50	-	deg
Forward voltage per segment or DP	I _F = 20 mA		V _F	-	2.4	3	V
Reverse voltage per segment or DP	I _R = 10 μA		V _R	6	15	-	V

Note
⁽¹⁾ I_{min} and I_v groups are mean values of all segments (a to g, D1 to D4), matching factor within segments is ≥ 0.5, excluding decimal points and colon.

OPTICAL AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T _{amb} = 25 °C, unless otherwise specified) TDSG1150, TDSG1160, GREEN							
PARAMETER	TEST CONDITION	PART	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Luminous intensity per segment (digit average) ⁽²⁾	I _F = 10 mA	TDSG1150	I _v	450	6000	-	μcd
		TDSG1150-LM		2800	-	9000	
Dominant wavelength	I _F = 10 mA	TDSG1160	λ _d	450	6000	-	nm
				562	-	575	
Peak wavelength	I _F = 10 mA	TDSG1150, TDSG1160	λ _p	-	565	-	nm
Angle of half intensity	I _F = 10 mA		φ	-	± 50	-	deg
Forward voltage per segment or DP	I _F = 20 mA	TDSG1150, TDSG1160	V _F	-	2.4	3	V
Reverse voltage per segment or DP	I _R = 10 μA		V _R	6	15	-	V

Note
⁽¹⁾ I_{min} and I_v groups are mean values of all segments (a to g, D1 to D4), matching factor within segments is ≥ 0.5, excluding decimal points and colon.

LUMINOUS INTENSITY CLASSIFICATION		
GROUP	LIGHT INTENSITY (μcd)	
STANDARD	MIN.	MAX.
E	180	360
F	280	560
G	450	900
H	700	1400
I	1100	2200
K	1800	3600
L	2800	5600
M	4500	9000
N	7000	14 000

Note
The above type numbers represent the order groups which include only a few brightness groups. Only one group will be shipped in one tube (there will be no mixing of two groups in one tube). In order to ensure availability, single brightness groups will not be orderable.

COLOR CLASSIFICATION						
GROUP	ORANGE RED		YELLOW		GREEN	
	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.
1	598	601	581	584	-	-
2	600	603	583	586	562	565
3	602	605	585	588	564	567
4	604	607	587	590	566	569
5	606	609	589	592	568	571
6	608	611	591	594	570	573
7	-	-	-	-	570	575

Note
Wavelengths are tested at a current pulse duration of 25 ms and an accuracy of ± 1 nm.



TYPICAL CHARACTERISTICS (T_{amb} = 25 °C, unless otherwise specified)

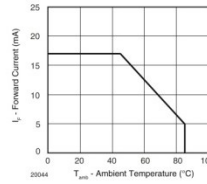


Fig. 1 - Forward Current vs. Ambient Temperature

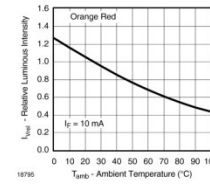


Fig. 4 - Rel. Luminous Intensity vs. Ambient Temperature

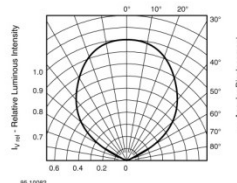


Fig. 2 - Rel. Luminous Intensity vs. Angular Displacement

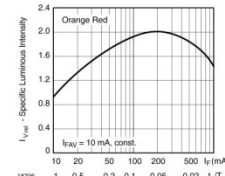


Fig. 5 - Rel. Luminous Intensity vs. Forw. Current/Duty Cycle

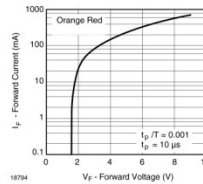


Fig. 3 - Forward Current vs. Forward Voltage

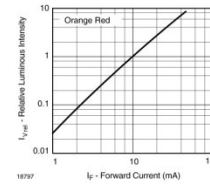


Fig. 6 - Relative Luminous Intensity vs. Forward Current

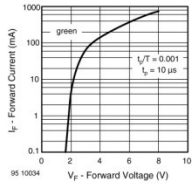


Fig. 13 - Forward Current vs. Forward Voltage

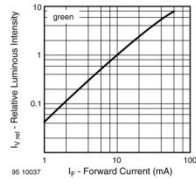


Fig. 16 - Relative Luminous Intensity vs. Forward Current

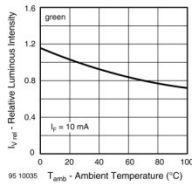


Fig. 14 - Rel. Luminous Intensity vs. Ambient Temperature

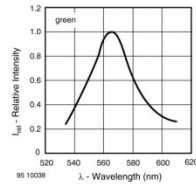


Fig. 17 - Relative Intensity vs. Wavelength

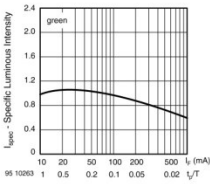


Fig. 15 - Specific Luminous Intensity vs. Forward Current

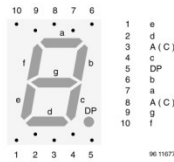
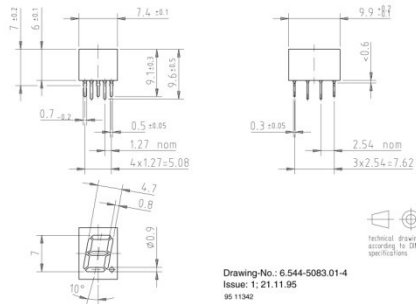


Fig. 18 - TDS.11..

PACKAGE DIMENSIONS FOR TDS.11.. in millimeters



Drawing No.: 6.544-5083.01-4
 Issue: 1.21.11.95
 95 1194z

Led Verde 565[nm]



TLHP42J2L1
Vishay Semiconductors

High Intensity LED in Ø 3 mm Tinted Clear Package



FEATURES

- Standard Ø 3 mm (T-1) package
- Small mechanical tolerances
- Suitable for DC and high peak current
- Wide viewing angle
- Very high intensity
- Luminous intensity and color categorized
- ESD-withstand voltage: up to 2 kV HBM according to JESD22-A114-B
- Compliant to RoHS Directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC



APPLICATIONS

- Status lights
- Off/on indicator
- Background illumination
- Readout lights
- Maintenance lights
- Legend light

DESCRIPTION

This series is housed in a 3 mm tinted, clear plastic package. The wide viewing angle of these devices provides a high brightness across a large field of view. All packing units are categorized in luminous intensity and color groups. That allows users to assemble LEDs with uniform appearance.

PRODUCT GROUP AND PACKAGE DATA

- Product group: LED
- Package: 3 mm
- Product series: standard
- Angle of half intensity: $\pm 22^\circ$

PARTS TABLE

PART	COLOR, LUMINOUS INTENSITY	TECHNOLOGY
TLHP42J2L1	Pure green, I_v (5.6 to 14) mcd	GaP on GaP

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (T_{amb} = 25 °C, unless otherwise specified)

PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
Reverse voltage		V _R	6	V
DC forward current	T _{amb} ≤ 60 °C	I _F	30	mA
Surge forward current	t _p ≤ 10 μs	I _{F(SM)}	1	A
Power dissipation	T _{amb} ≤ 60 °C	P _V	100	mW
Junction temperature		T _J	100	°C
Operating temperature range		T _{amb}	-40 to +100	°C
Storage temperature range		T _{stg}	-55 to +100	°C
Soldering temperature	t ≤ 5 s, 2 mm from body	T _{sol}	260	°C
Thermal resistance junction/ambient		R _{thJA}	400	K/W

** Please see document "Vishay Material Category Policy": www.vishay.com/doc?99902

Document Number 62400 For technical support, please contact: LED@vishay.com www.vishay.com
Rev. 1.1, 15-Apr-11
This document is subject to change without notice.
THE PRODUCT DESCRIBED HEREIN AND THIS DOCUMENT ARE SUBJECT TO SPECIFIC DISCLAIMERS, SET FORTH AT www.vishay.com/doc?91000

TLHP42J2L1

Vishay Semiconductors



OPTICAL AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_{amb} = 25 °C, unless otherwise specified)

PARAMETER	TEST CONDITION	PARTS	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Luminous intensity ¹⁾	I _F = 10 mA	TLHP42J2L1	I _v	5.6	14		mcd
Dominant wavelength	I _F = 10 mA		λ _d	555		565	nm
Peak wavelength	I _F = 10 mA		λ _p		555		nm
Angle of half intensity	I _F = 10 mA		φ		± 22		deg
Forward voltage	I _F = 10 mA		V _F		2.2	2.6	V
Reverse current	V _R = 6 V		I _R			10	μA
Junction capacitance	V _R = 0, f = 1 MHz		C _J		50		pF

Note:
1) In one packing unit I_{v(max)}/A_{v(max)} ≤ 1.6

LUMINOUS INTENSITY CLASSIFICATION

GROUP	LIGHT INTENSITY (mcd)		
	STANDARD	OPTIONAL	MIN. MAX.
J	2	5.6	7.1
K	1	7.1	9
	2	9	11.2
L	1	11.2	14

Note:
Luminous intensity is tested at a current pulse duration of 25 ms and an accuracy of ± 11 %.
The above type numbers represent the order groups which include only a few brightness groups. Only one group will be shipped on each bag (there will be no mixing of two groups on each bag).
In order to ensure availability, single brightness groups will not be orderable.
In a similar manner for colors where wavelength groups are measured and binned, single wavelength groups will be shipped on any one bag. In order to ensure availability, single wavelength groups will not be orderable.

COLOR CLASSIFICATION

GROUP	PURE GREEN	
	DOM. WAVELENGTH (nm)	
	MIN.	MAX.
0	555	559
1	558	561
2	560	563
3	562	565

Note:
Wavelengths are tested at a current pulse duration of 25 ms.

TYPICAL CHARACTERISTICS (T_{amb} = 25 °C, unless otherwise specified)

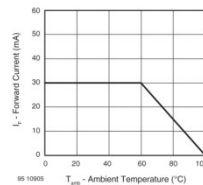


Figure 1. Forward Current vs. Ambient Temperature

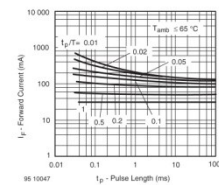


Figure 2. Forward Current vs. Pulse Length

www.vishay.com

For technical support, please contact: LED@vishay.com

Document Number 62400

2

This document is subject to change without notice.

Rev. 1.1, 15-Apr-11

THE PRODUCT DESCRIBED HEREIN AND THIS DOCUMENT ARE SUBJECT TO SPECIFIC DISCLAIMERS, SET FORTH AT www.vishay.com/doc?91000



TLHP42J2L1
Vishay Semiconductors

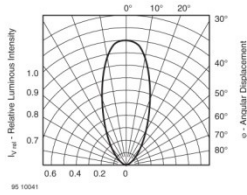


Figure 3. Rel. Luminous Intensity vs. Angular Displacement

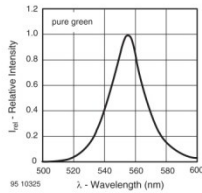


Figure 4. Relative Intensity vs. Wavelength

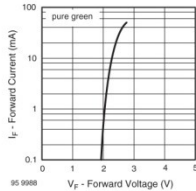


Figure 5. Forward Current vs. Forward Voltage

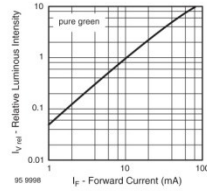


Figure 6. Relative Luminous Intensity vs. Forward Current

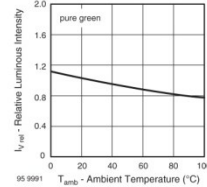


Figure 7. Rel. Luminous Intensity vs. Ambient Temperature

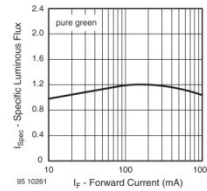
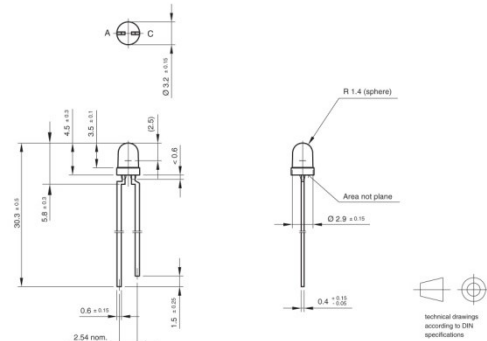


Figure 8. Specific Luminous Flux vs. Forward Current

TLHP42J2L1
Vishay Semiconductors

PACKAGE DIMENSIONS in millimeters



Drawing No.: 6.544.5255.01-4
Issue: 7.25.09.08
95 10913

Document Number 82400 For technical support, please contact: LED@vishay.com www.vishay.com
Rev. 1.1, 15-Apr-11 This document is subject to change without notice. 4
THE PRODUCT DESCRIBED HEREIN AND THIS DOCUMENT ARE SUBJECT TO SPECIFIC DISCLAIMERS, SET FORTH AT www.vishay.com/doc?91000

Document Number 82400 For technical support, please contact: LED@vishay.com www.vishay.com
Rev. 1.1, 15-Apr-11 This document is subject to change without notice. 4
THE PRODUCT DESCRIBED HEREIN AND THIS DOCUMENT ARE SUBJECT TO SPECIFIC DISCLAIMERS, SET FORTH AT www.vishay.com/doc?91000

Termistore NTC BC 100'000[Ω] ±5%

Termistore NTC BC Components 238164063104, 100000Ω ±5%, 15s, 3.3 x 3 x 9mm



Immagine rappresentativa della gamma

Prezzo per: 1pz in confezione da 5

Identificati cliccando qui - Login

Quantità	Prezzo
5	€ 0,776
50	€ 0,856
125	€ 0,566
250	€ 0,504
500	€ 0,474

A stock - in consegna il giorno lavorativo successivo per ordini pervenuti entro le 19:00.

Verifica disponibilità 5 Aggiungi

Codice RS **538-0812**

Costruttore **BC Components**

Codice costruttore **NTCLE100E3103HB0**

Stato RoHS **RoHS**

Opinioni dei clienti **(0)** [Inserisci una recensione](#)

Opinioni dei clienti (0)

[Dettagli prodotto](#) | [Ulteriori dettagli](#) | [Prodotti simili](#)

Documentazione Tecnica

NTC thermistors, accuracy line

Specifiche

- ⊗ Altezza 9mm
- ⊗ Applicazione Compensazione, controllo, misura
- ⊗ Coefficiente termico -4.57%/°C
- ⊗ Costante di tempo termica 15s
- ⊗ Dimensioni 3.3 x 3 x 9mm
- ⊗ Lunghezza 3.3mm
- ⊗ Precisione ±1.5%
- ⊗ Profondità 3mm
- ⊗ Resistenza @ 25° C 100000Ω
- ⊗ Temperatura operativa minima -40°C
- ⊗ Temperatura operativa massima +125°C
- ⊗ Tipo di coefficiente temperatura NTC
- ⊗ Tolleranza ±5%



NTCLE100E3

Vishay BCcomponents

NTC Thermistors, Radial Leaded, Standard Precision



FEATURES

- Accuracy over a wide temperature range
- High stability over a long life
- Excellent price/performance ratio
- UL recognized, file E148888
- Material categorization: For definitions of compliance please see www.vishay.com/doc?99812



RoHS compliant

APPLICATIONS

- Temperature measurement, sensing and control, temperature compensation in industrial and consumer electronics

DESCRIPTION

These thermistors have a negative temperature coefficient. The device consists of a chip with two solid copper tin plated leads. It is grey lacquered and color coded, but not insulated.

PACKAGING

The thermistors are packed in bulk or tape on reel; see code numbers and relevant packaging quantities.

DESIGN-IN SUPPORT

For complete Curve Computation, visit: www.vishay.com/instruments/pcn-linear/curve-computation-list/

MARKING

The thermistors are marked with colored bands; see dimensions drawing and "Electrical data and ordering information".

MOUNTING

By soldering in any position. Not intended for potted applications.

PARAMETER	VALUE	UNIT
Resistance value at 25 °C	3.3 to 470K	Ω
Tolerance on R ₂₅ -value	± 2; ± 3; ± 5	%
B _{25/50} -value	2880 to 4570	K
Tolerance on B _{25/50} -value	± 0.5 to ± 3	%
Operating temperature range: At zero power dissipation; continuously	- 40 to + 125	°C
At zero power dissipation; for short periods	≤ 150	
Response time (in air)	R 1.2	s
Thermal time constant τ (for information only)	15	s
Dissipation factor δ (for information only)	7 8.5 (for R ₂₅ -value ≤ 980 Ω)	mW/K
Maximum power dissipation at 55 °C	500	mW
Climatic category (ICT/USCT-class)	40/125/50	-
Weight	≈ 0.3	g

ELECTRICAL DATA AND ORDERING INFORMATION									
R ₂₅ [Ω]	B _{25/50} -VALUE [K]	(± %)	UL APPROVED [Y/N]	SAP MATERIAL NUMBER	OLD 13NC CODE	COLOR CODE ¹⁾			
				NTCLE100E3...B0/T1/T2 ²⁾	2381 640 314/...	I	S	III	
3.3	2880	3	N	3397B0	"538	Orange	Orange	Gold	
4.7	2880	3	N	4797B0	"476	Yellow	Violet	US30	
6.8	2880	3	N	6897B0	"688	Blue	Grey	US42	
10	2990	3	N	1097B0	"100	Brown	Black	Black	
15	3041	3	N	1597B0	"156	Brown	Green	Black	
22	3195	3	N	2297B0	"229	Red	Red	Black	
33	3390	3	Y	3397B0	"339	Orange	Orange	Black	
47	3590	3	Y	4797B0	"479	Yellow	Violet	Black	
68	3390	3	Y	6897B0	"689	Blue	Grey	Black	
100	3500	1.5	Y	1017B0	"101	Brown	Black	Brown	
150	3500	1.5	Y	1517B0	"151	Brown	Green	Brown	
220	3500	1.5	Y	2217B0	"221	Red	Red	Brown	
330	3500	1.5	Y	3317B0	"331	Orange	Orange	Brown	

Revised: 04-Aug-12

1

Document Number: 29049

For technical questions, contact: zib@vishay.com

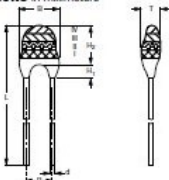
THIS DOCUMENT IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE. THE PRODUCTS DESCRIBED HEREIN AND THIS DOCUMENT ARE SUBJECT TO SPECIFIC DISCLAIMERS, SET FORTH AT: www.vishay.com/doc?99812

ELECTRICAL DATA AND ORDERING INFORMATION								
R ₂₅	B ₂₅ -VALUE	UL APPROVED	SAP MATERIAL NUMBER	OLD 12NC CODE	COLOR CODE (R)			
(Ω)	(K)	(= %)	(V/N)	NTCLE100E3...B0/T1/T2 R1	2361 640 3/4/B... (R)	I	II	III
470	3500	1.5	Y	471'90	*471	Yellow	Violet	Brown
560	3500	1.5	Y	561'90	*561	Brown	Orange	Brown
1000	3528	0.5	Y	100'90	*100	Brown	Black	Rad
1500	3528	0.5	Y	150'90	*150	Brown	Green	Rad
2000	3528	0.5	Y	200'90	*200	Rad	Black	Rad
2200	3977	0.75	Y	220'90	*220	Rad	Rad	Rad
2700	3977	0.75	Y	270'90	*270	Rad	Violet	Rad
3300	3977	0.75	Y	330'90	*330	Orange	Orange	Rad
4700	3977	0.75	Y	472'90	*472	Yellow	Violet	Rad
5000	3977	0.75	Y	500'90	*500	Green	Black	Rad
5600	3977	0.75	Y	560'90	*560	Black	Grey	Rad
10 000	3977	0.75	Y	100'90	*100	Brown	Black	Orange
12 000	3740	2	Y	120'90	*120	Brown	Rad	Orange
15 000	3740	2	Y	150'90	*150	Brown	Green	Orange
22 000	3740	2	Y	220'90	*220	Rad	Rad	Orange
33 000	4090	1.5	Y	330'90	*330	Orange	Orange	Orange
47 000	4090	1.5	Y	470'90	*470	Yellow	Violet	Orange
50 000	4190	1.5	Y	500'90	*500	Green	Black	Orange
56 000	4190	1.5	Y	560'90	*560	Black	Orange	Orange
100 000	4190	1.5	Y	100'90	*100	Brown	Black	Orange
150 000	4370	2.5	Y	150'90	*150	Brown	Green	Yellow
220 000	4370	2.5	Y	220'90	*220	Rad	Rad	Yellow
330 000	4570	1.5	N	330'90	*330	Orange	Orange	Yellow
470 000	4570	1.5	N	470'90	*470	Yellow	Violet	Yellow

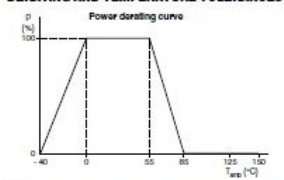
Notes

- (1) Replace "1" in 12NC by 3 for 5 %, 0 for 3 %, 4 for 2 %
 (2) Replace "1" in SAP by 11 for 5 %, 11 for 3 %, 0 for 2 %
 (3) For R₂₅ = 2 % band IV is rad, ± 3 % band IV is orange, ± 5 % band IV is gold

DIMENSIONS in millimeters



DERATING AND TEMPERATURE TOLERANCES



Note
 • Zero power is considered as measuring power max. 1 % of max. power.

PHYSICAL DIMENSIONS FOR RELEVANT TYPE (all dimensions in millimeters)								
R ₂₅ -VALUE	B _{max}	d	H ₁		H ₂ max.	L	P	T _{max}
			MIN.	MAX.				
3.3 Ω to 220 Ω	5.0	0.6 ± 0.06	1.0	4.0	6.0	24 ± 1.5	2.54	4.0
330 Ω to 470 KΩ	3.3 ± 0.5	0.6 ± 0.06	1.0	3.0	6.0	24 ± 1.5	2.54	3.0

For technical questions, contact: info@vishay.com
 THIS DOCUMENT IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE. THE PRODUCTS DESCRIBED HEREIN AND THIS DOCUMENT ARE SUBJECT TO SPECIFIC DISCLAIMERS, SET FORTH AT www.vishay.com/doc929300

R_T VALUE AND TOLERANCE

These thermistors have a narrow tolerance on the B-value, the result of which provides a very small tolerance on the nominal resistance value over a wide temperature range. For this reason the usual graphs of R = f(T) are replaced by Resistance Values at Intermediate Temperatures Tables, together with a formula to calculate the characteristics with a high precision.

FORMULAE TO DETERMINE NOMINAL RESISTANCE VALUES

The resistance values at intermediate temperatures, or the operating temperature values, can be calculated using the following interpolation laws (extended Steinhart and Hart):

$$R(T_1) = R_{ref} \cdot e^{(A + B/T + C/T^2 + D/T^3)} \quad (1)$$

$$T(D) = (A_1 + B_1 \ln \frac{R}{R_{ref}} + C_1 \ln^2 \frac{R}{R_{ref}} + D_1 \ln^3 \frac{R}{R_{ref}})^{-1} \quad (2)$$

where:

- A, B, C, D, A₁, B₁, C₁ and D₁ are constant values depending on the material concerned; see table below.
 R_{ref} is the resistance value at a reference temperature (in this event 25 °C, R_{ref} = R₂₅).
 T is the temperature in K.
 Formulae numbered and are interchangeable with an error of max. 0.005 °C in the range 25 °C to 125 °C and max. 0.015 °C in the range -40 °C to +25 °C.

DETERMINATION OF THE RESISTANCE/TEMPERATURE DEVIATION FROM NOMINAL VALUE

The total resistance deviation is obtained by combining the "R₂₅-tolerance" and the "resistance deviation due to B-tolerance".

When:
 X = R₂₅-tolerance
 Y = resistance deviation due to B-tolerance
 Z = complete resistance deviation,
 then: $Z = \left[\left(1 + \frac{X}{100} \right) \cdot \left(1 + \frac{Y}{100} \right) - 1 \right] \times 100 \% \text{ or } Z \approx X + Y$
 When:
 TCR = temperature coefficient
 ΔT = temperature deviation,
 then: $\Delta T = \frac{Z}{TCR}$
 The temperature tolerances are plotted in the graphs on the previous page.

Example: at 0 °C, assume X = 5 %, Y = 0.89 % and TCR = 0.08 %/K (see table), then:
 $Z = \left[\left(1 + \frac{5}{100} \right) \cdot \left(1 + \frac{0.89}{100} \right) - 1 \right] \times 100 \% = (1.05 \times 1.0089 - 1) \times 100 \% = 5.9345 \% (\approx 5.93 \%)$
 $\Delta T = \frac{Z}{TCR} = \frac{5.93}{0.08} = 1.167^\circ\text{C} (\approx 1.17^\circ\text{C})$
 A NTC with a R₂₅-value of 10 kΩ has a value of 32.56 kΩ between -1.17 °C and +1.17 °C.

PARAMETER FOR DETERMINING NOMINAL RESISTANCE VALUES											
NUMBER	B ₂₅ (K)	NAME	TOL. B (%)	A	B (K)	C (K ²)	D (K ³)	A ₁	B ₁ (K ⁻¹)	C ₁ (K ⁻²)	D ₁ (K ⁻³)
1	2880	Mat G with BR = 3500K	3	-9.094	2251.74	220008	-2.744820E+07	3.354019E-02	3.495502E-04	2.095659E-06	4.205819E-07
2	2900	Mat F with BR = 3000K	3	-10.2206	3367.60	132235	-2.502510E+07	3.354019E-02	3.415596E-04	4.895459E-06	4.364239E-07
3	3041	Mat G with BR = 3545K	3	-11.1334	3658.73	-102895	5.106520E+05	3.354019E-02	3.342000E-04	3.683843E-06	7.050455E-07
4	3135	Mat R with BR = 3150K	3	-12.4402	4732.74	-402957	3.199830E+07	3.354019E-02	3.243886E-04	2.858012E-06	-2.701500E-07
5	3200	Mat S with BR = 3200K	3	-12.8814	4391.87	-225897	1.500643E+07	3.354019E-02	2.963410E-04	2.135133E-06	5.672000E-06
6	3528	Mat L with BR = 3528K	0.5	-12.0500	3567.967	7817.13	-5.914730E+06	3.354019E-02	2.900670E-04	1.822135E-06	7.192200E-06
7	3528	Mat L with BR = 3528K	0.5	-21.0704	11903.96	2504500	2.470338E+08	3.354019E-02	2.933908E-04	3.494314E-06	-7.712900E-07
8	3650	Mat H with BR = 3500K	1.5	-13.0723	4190.574	47158.4	-1.106056E+07	3.354019E-02	2.884193E-04	4.118002E-06	1.795700E-07
9	3740	Mat E with BR = 3740K	2	-13.8073	4657.725	-98075	-7.522357E+06	3.354019E-02	2.744032E-04	3.890944E-06	1.375402E-07
10	3977	Mat A with BR = 3877K	0.75	-14.6337	4701.842	-115334	-3.730556E+06	3.354019E-02	2.599663E-04	2.820131E-06	6.383001E-08
11	4000	Mat C with BR = 4000K	1.5	-15.5322	5229.873	-190451	-5.414001E+06	3.354019E-02	2.519107E-04	3.510909E-06	1.105179E-07
12	4190	Mat D with BR = 4190K	1.5	-16.0349	5459.339	-191141	-3.293222E+06	3.354019E-02	2.490380E-04	3.405377E-06	1.034240E-07
13	4370	Mat E with BR = 4370K	2.5	-16.8717	5759.15	-194267	-6.809144E+06	3.354019E-02	2.367220E-04	3.586140E-06	1.255340E-07
14	4570	Mat F with BR = 4570K	1.5	-17.8439	6322.728	-203757	-7.180520E+06	3.354019E-02	2.256400E-04	3.278104E-06	1.097620E-07

Notes
 (1) Temperature < 25 °C
 (2) Temperature ≥ 25 °C

For technical questions, contact: info@vishay.com
 THIS DOCUMENT IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE. THE PRODUCTS DESCRIBED HEREIN AND THIS DOCUMENT ARE SUBJECT TO SPECIFIC DISCLAIMERS, SET FORTH AT www.vishay.com/doc929300

For complete Curve Computation, visit: www.vishay.com/resistors-non-linear/curve-computation-list/

RESISTANCE VALUES AT INTERMEDIATE TEMPERATURES WITH R ₂₅ AT (12, 15, 22) KΩ					
T _{OPER} (°C)	PART NUMBER NTCLE100E3123***	PART NUMBER NTCLE100E3153***	PART NUMBER NTCLE100E3223***	TCR (%/K)	AR/R DUE TO B _{PL} (%)
	R _T (KΩ)	R _T (KΩ)	R _T (KΩ)		
-40	309.4	386.7	507.2	-6.07	7.00
-35	229.5	296.9	420.8	-5.88	6.32
-30	171.8	214.8	315.0	-5.70	5.88
-25	129.8	162.3	238.0	-5.52	5.06
-20	98.93	123.7	181.4	-5.35	4.46
-15	76.02	95.02	139.4	-5.19	3.89
-10	58.88	73.00	107.9	-5.03	3.34
-5	45.95	57.44	84.25	-4.88	2.81
0	36.13	45.16	66.24	-4.74	2.30
5	28.01	35.76	52.45	-4.60	1.80
10	22.80	28.51	41.81	-4.47	1.33
15	18.30	22.87	33.55	-4.34	0.87
20	14.77	18.47	27.06	-4.22	0.43
25	12.00	15.00	22.00	-4.10	0.00
30	9.804	12.25	17.67	-3.99	0.41
35	8.054	10.07	14.77	-3.88	0.81
40	0.652	8.315	12.20	-3.77	1.20
45	5.522	6.903	10.12	-3.67	1.58
50	4.607	5.759	8.447	-3.58	1.94
55	3.862	4.828	7.081	-3.48	2.29
60	3.252	4.066	5.953	-3.39	2.64
65	2.751	3.439	5.044	-3.30	2.97
70	2.337	2.921	4.284	-3.22	3.29
75	1.993	2.492	3.654	-3.14	3.60
80	1.707	2.134	3.129	-3.06	3.91
85	1.467	1.834	2.690	-2.99	4.20
90	1.266	1.582	2.321	-2.92	4.49
95	1.090	1.370	2.010	-2.85	4.77
100	0.9524	1.190	1.746	-2.78	5.04
105	0.8302	1.038	1.522	-2.71	5.31
110	0.7200	0.9075	1.331	-2.65	5.56
115	0.6309	0.7961	1.168	-2.59	5.82
120	0.5604	0.7005	1.027	-2.53	6.06
125	0.4945	0.6181	0.9065	-2.47	6.30
130	0.4375	0.5469	0.8022	-2.42	6.53
135	0.3882	0.4853	0.7117	-2.37	6.76
140	0.3454	0.4317	0.6332	-2.31	6.98
145	0.3080	0.3850	0.5647	-2.26	7.20
150	0.2754	0.3442	0.5049	-2.22	7.41

For complete Curve Computation, visit: www.vishay.com/resistors-non-linear/curve-computation-list/

T _{OPER} (°C)	PART NUMBER NTCLE100E3							
	154***	224***	TCR (%/K)	AR/R DUE TO B _{PL} (%)	334***	474***	TCR (%/K)	AR/R DUE TO B _{PL} (%)
	R _T (KΩ)	R _T (KΩ)			R _T (KΩ)	R _T (KΩ)		
-40	6153	9024	-6.63	10.22	16 044	22 850	-7.14	6.41
-35	4394	6444	-6.64	9.24	11 262	16 008	-6.94	5.80
-30	3168	4648	-6.45	8.20	8013	11 413	-6.74	5.20
-25	2305	3361	-6.27	7.38	5747	8185	-6.55	4.64
-20	1693	2483	-6.09	6.52	4161	5926	-6.37	4.09
-15	1254	1839	-5.92	5.68	3040	4329	-6.19	3.57
-10	935.4	1373	-5.75	4.88	2240	3190	-6.02	3.06
-5	705.0	1034	-5.60	4.10	1665	2371	-5.85	2.57
0	535.0	784.7	-5.44	3.35	1248	1777	-5.69	2.11
5	409.1	600.0	-5.29	2.64	942.3	1342	-5.54	1.65
10	315.1	462.1	-5.15	1.94	717.1	1021	-5.39	1.22
15	244.4	358.4	-5.01	1.27	549.8	783.0	-5.24	0.80
20	190.8	279.9	-4.88	0.63	424.5	604.5	-5.10	0.39
25	150.0	220.0	-4.75	0.00	330.0	470.0	-4.97	0.00
30	118.5	174.0	-4.63	0.00	258.2	367.8	-4.84	0.38
35	94.42	136.5	-4.51	1.19	203.4	289.5	-4.72	0.75
40	75.58	110.9	-4.39	1.76	161.1	229.5	-4.59	1.10
45	60.85	89.24	-4.28	2.30	128.4	182.9	-4.48	1.45
50	49.25	72.24	-4.17	2.83	103.0	140.7	-4.37	1.78
55	40.08	58.78	-4.07	3.35	83.00	118.2	-4.26	2.10
60	32.78	46.08	-3.97	3.85	67.26	95.80	-4.15	2.41
65	26.94	36.51	-3.87	4.33	54.79	78.04	-4.05	2.72
70	22.25	32.03	-3.78	4.80	44.85	63.88	-3.95	3.01
75	18.46	27.07	-3.69	5.26	36.90	52.55	-3.86	3.30
80	15.38	22.56	-3.60	5.70	30.49	43.43	-3.77	3.58
85	12.87	18.88	-3.52	6.14	25.31	36.05	-3.68	3.85
90	10.82	15.67	-3.44	6.56	21.10	30.06	-3.59	4.11
95	9.129	13.39	-3.36	6.96	17.07	25.16	-3.51	4.37
100	7.732	11.34	-3.28	7.36	14.85	21.15	-3.43	4.62
105	6.574	9.642	-3.21	7.75	12.53	17.85	-3.35	4.86
110	5.610	8.228	-3.14	8.13	10.62	15.12	-3.28	5.10
115	4.804	7.046	-3.07	8.49	9.029	12.86	-3.21	5.33
120	4.128	6.054	-3.00	8.85	7.704	10.97	-3.14	5.55
125	3.559	5.219	-2.94	9.20	6.597	9.396	-3.07	5.77
130	3.079	4.514	-2.87	9.54	5.668	8.072	-3.00	5.99
135	2.670	3.910	-2.81	9.87	4.885	6.958	-2.94	6.20
140	2.323	3.408	-2.75	10.20	4.224	6.016	-2.88	6.40
145	2.028	2.974	-2.69	10.52	3.663	5.217	-2.82	6.60
150	1.774	2.603	-2.64	10.83	3.186	4.538	-2.76	6.79

Transistor bipolare NPN MJE3055T 10Ampere 5V

Transistor bipolare NPN STMicroelectronics MJE3055T Power, TO-220, 3 pin




Immagine rappresentativa della gamma

Prezzo ridotto

Prezzo per: Unità

Identificati cliccando qui - Login

Ora € 0,73 € 0,89

Quantità	Prezzo
1	€ 0,73
10	€ 0,81
50	€ 0,55
100	€ 0,51
250	€ 0,47

Il prezzo ribassato qui esposto è riferito alla prima colonna

A stock - in consegna il giorno lavorativo successivo per ordini pervenuti entro le 19:00.

Verifica disponibilità Aggiungi

Codice RS **313-6916**

Costruttore **STMicroelectronics**

Codice costruttore **MJE3055T**

Stato RoHS **RoHS**

Opinioni dei clienti **(0) Inserisci una recensione**

Dettagli prodotto **Ulteriori dettagli** Prodotti simili Opinioni dei clienti (0)

Documentazione Tecnica

MJE2955TMJE3055T Power Transistors Data Sheet

Specifiche

☑ Altezza	9.15mm
☑ Categoria	Potenza bipolare
☑ Configurazione	Single
☑ Corrente c.c. massima collettore	10 A
☑ Dimensioni	9.15 x 10.4 x 4.6mm
☑ Dissipazione di potenza massima	75 W
☑ Frequenza operativa massima	2 MHz
☑ Guadagno minimo corrente c.c.	5
☑ Larghezza	4.6mm
☑ Lunghezza	10.4mm
☑ Massima temperatura operativa	+150 °C
☑ Minima temperatura operativa	-55 °C
☑ Numero di elementi per chip	1
☑ Numero pin	3
☑ Tensione massima base del collettore	70 V
☑ Tensione massima base emitter	5 V
☑ Tensione massima collettore emitter	60 V
☑ Tensione massima di saturazione collettore emitter	8 V
☑ Tipo di montaggio	Su foro
☑ Tipo di package	TO-220
☑ Tipo transistor	NPN

SGS-THOMSON
MICROELECTRONICS

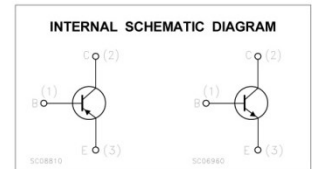
MJE2955T
MJE3055T

COMPLEMENTARY SILICON POWER TRANSISTORS

- SGS-THOMSON PREFERRED SALESTYPES
- COMPLEMENTARY PNP - NPN DEVICES

DESCRIPTION

The MJE3055T is a silicon epitaxial-base NPN transistor in Jedec TO-220 package. It is intended for power switching circuits and general-purpose amplifiers. The complementary PNP type is MJE2955T.



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V _{CEO}	Collector-Emitter Voltage (I _B = 0)	60	V
V _{CB0}	Collector-Base Voltage (I _E = 0)	70	V
V _{EB0}	Emitter-Base Voltage (I _C = 0)	5	V
I _C	Collector Current	10	A
I _B	Base Current	6	A
P _{tot}	Total Power Dissipation at T _{case} ≤ 25 °C	75	W
T _{stg}	Storage Temperature	-55 to 150	°C
T _J	Max. Operating Junction Temperature	150	°C

For PNP types voltage and current values are negative.

June 1997

1/4

THERMAL DATA

$R_{th(jc)}$	Thermal Resistance Junction-case	Max	1.66	°C/W
--------------	----------------------------------	-----	------	------

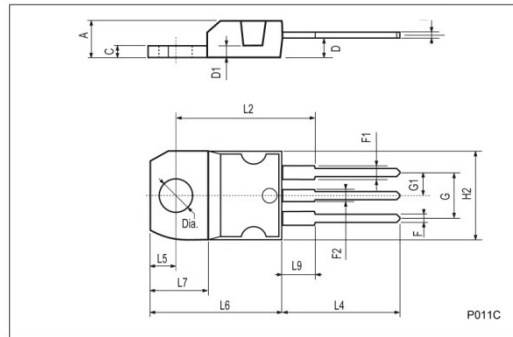
ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{case} = 25\text{ °C}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I_{CEO}	Collector Cut-off Current ($I_B = 0$)	$V_{CE} = 30\text{ V}$			700	μA
I_{CEX}	Collector Cut-off Current ($V_{BE} = 1.5\text{ V}$)	$V_{CE} = 70\text{ V}$ $T_{CASE} = 150\text{ °C}$			1 5	mA mA
I_{CBO}	Collector Cut-off Current ($I_C = 0$)	$V_{CBO} = 70\text{ V}$ $T_{CASE} = 150\text{ °C}$			1 10	mA mA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current ($I_C = 0$)	$V_{EBO} = 5\text{ V}$			5	mA
$V_{CE(sus)}^*$	Collector-Emitter Sustaining Voltage	$I_C = 200\text{ mA}$	60			V
$V_{CE(sat)}^*$	Collector-Emitter Sustaining Voltage	$I_C = 4\text{ A}$ $I_B = 0.4\text{ A}$ $I_C = 10\text{ A}$ $I_B = 3.3\text{ A}$			1.1 8	V V
$V_{BE(on)}^*$	Base-Emitter on Voltage	$I_C = 4\text{ A}$ $V_{CE} = 4\text{ V}$			1.8	V
h_{FE}	DC Current Gain	$I_C = 4\text{ A}$ $I_C = 10\text{ A}$ $V_{CE} = 4\text{ V}$ $V_{CE} = 4\text{ V}$	20 5		70	
f_T	Transistor Frequency	$I_C = 500\text{ mA}$ $f = 500\text{ KHz}$ $V_{CE} = 10\text{ V}$	2			MHz

* Pulsed: Pulse duration = 300 μs , duty cycle $\leq 2\%$.
For PNP type voltage and current values are negative.

TO-220 MECHANICAL DATA

DIM.	mm			Inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	4.40		4.60	0.173		0.181
C	1.23		1.32	0.048		0.051
D	2.40		2.72	0.094		0.107
D1		1.27			0.050	
E	0.49		0.70	0.019		0.027
F	0.61		0.88	0.024		0.034
F1	1.14		1.70	0.044		0.067
F2	1.14		1.70	0.044		0.067
G	4.95		5.15	0.194		0.203
G1	2.4		2.7	0.094		0.106
H2	10.0		10.40	0.393		0.409
L2		16.4			0.645	
L4	13.0		14.0	0.511		0.551
L5	2.65		2.95	0.104		0.116
L6	15.25		15.75	0.600		0.620
L7	6.2		6.6	0.244		0.260
L9	3.5		3.93	0.137		0.154
DIA.	3.75		3.85	0.147		0.151



Pubblicazioni Brevettuali rilevanti:

US 5164856 _ Transmittance-adjustable window	200
US 8508681B2 _ Variable transmission window	208
WO 013/112426 _ Mechanical translation of a variable radiation transmission device	222
US 2010/0053751A1 _ Wire grid polarizers in window shading applications and varyng thickness wave retarders	249
JP 2010-65514A	259
JP 2012-118237A _ Wire grid polarization plate for infrared ray	262
JP 2012-155163A _ Wire grid polarizing plate	267
US 7046442B2 _ Wire grid polarizer	272
US 2008/0316599A1 _ Reflection-repressed wire-grid polarizer	278
US 2002/0167727A1 _ Patterned wire grid polarizer and method of use	286



US005164856A

United States Patent [19]
Zhang et al.

[11] Patent Number: 5,164,856
[45] Date of Patent: Nov. 17, 1992

U.S. Patent

Nov. 17, 1992

Sheet 1 of 5

5,164,856

[54] TRANSMITTANCE-ADJUSTABLE WINDOW

[76] Inventors: Yongfeng Zhang, Zi-Ping Luo, both of 4066 E. Mission Blvd., Pomona, Calif. 91766

[21] Appl. No.: 656,695

[22] Filed: Feb. 19, 1991

[51] Int. Cl.⁵ G02B 5/30; G02B 27/28; G02F 1/01

[52] U.S. Cl. 359/489; 359/501; 359/593; 359/596

[58] Field of Search 359/489, 501, 591, 592, 359/593, 594, 596

[56] References Cited

U.S. PATENT DOCUMENTS

3,504,962	4/1970	Shanley	359/593
3,528,722	9/1970	Makas	359/500
3,663,089	5/1972	Makas	350/147
4,123,141	10/1978	Schuler	350/159
4,285,577	8/1981	Schuler	350/403
4,364,375	12/1982	Younghouse	126/444
4,509,825	4/1985	Otto et al.	350/259
4,540,241	9/1985	Rivier	350/261
4,773,733	9/1988	Murphy, Jr. et al.	350/260
5,033,829	7/1991	Faroughy	350/296

Primary Examiner—Frank Gonzalez
Attorney, Agent, or Firm—Albert O. Cota

[57] ABSTRACT

A transmittance-adjustable window (20) that includes first and second polarizer sheets (34B)(46B) and an actuator (44) for relative movement between them. The first sheet (34B) has a translation direction Y and is formed from an alternating series of abutting, identically-shaped linear polarizer segments A and B distributed along translation direction Y. Each segment A has a first polarizing direction and each segment B has a second polarizing direction orthogonal to the first. The second sheet (46B) is substantially identical to the first sheet (34B) and positioned in an adjacent, substantially parallel plane. The actuator (44) moves one of the sheets with respect to the other between an OPEN alignment position and an OPAQUE alignment position. In the OPEN position, each segment of the first sheet superimposes a corresponding identical segment of the second sheet which allows light to pass. In the OPAQUE position, each segment of the first sheet superimposes a corresponding orthogonally polarized segment of the second sheet which prevents light from passing.

14 Claims, 5 Drawing Sheets

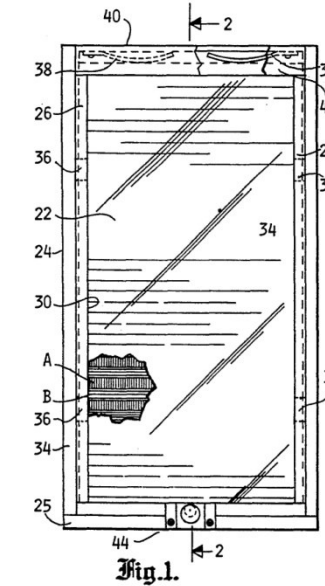
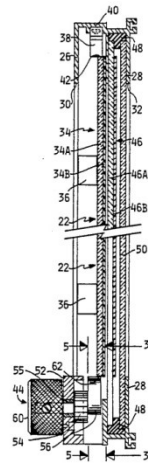
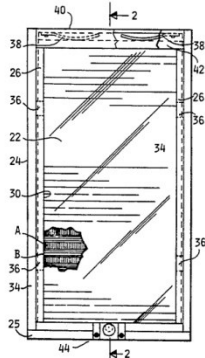
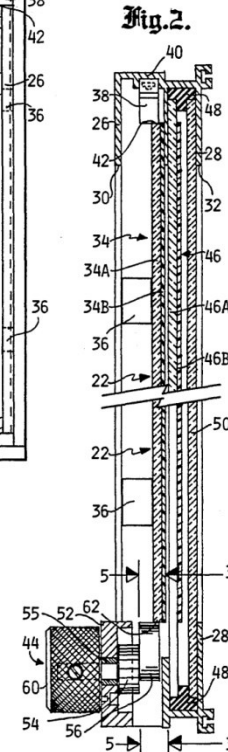
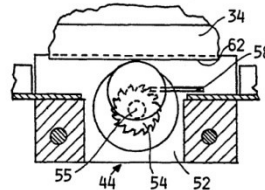


Fig. 3.



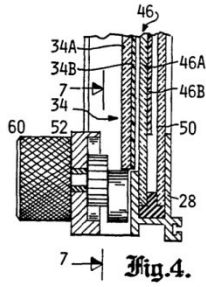


Fig. 4.

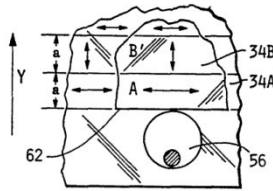


Fig. 5.

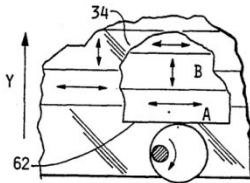


Fig. 6.

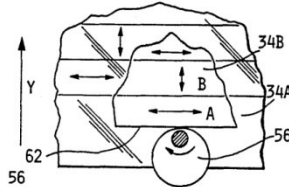


Fig. 7.

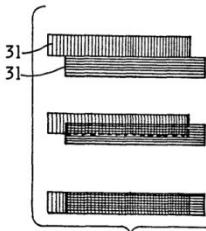


Fig. 8.

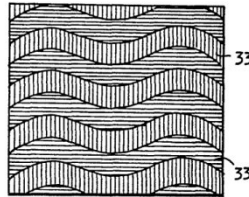


Fig. 9.

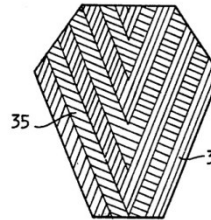


Fig. 10.

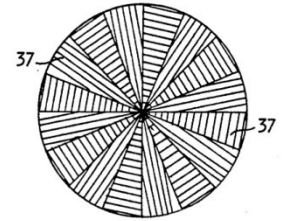


Fig. 11.

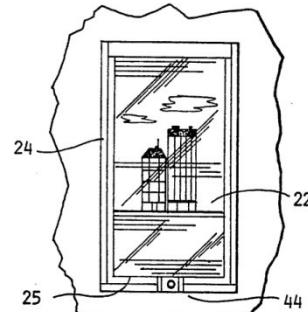


Fig. 12.

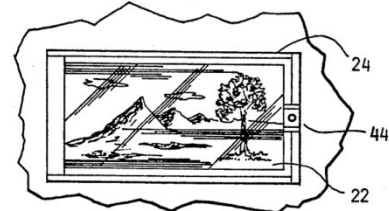


Fig. 13.

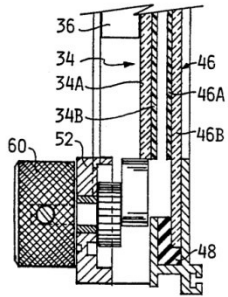


Fig. 14.

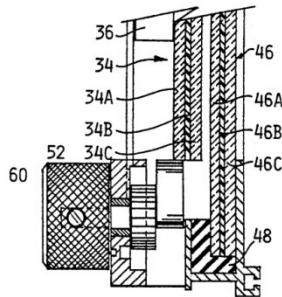


Fig. 15.

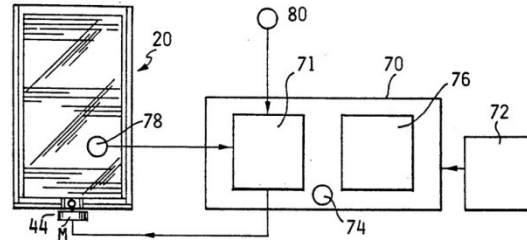


Fig. 18.

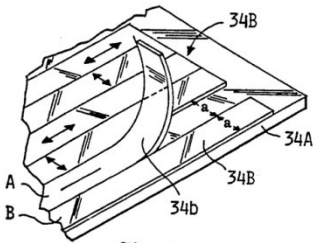


Fig. 16.

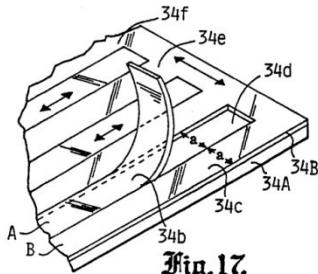


Fig. 17.

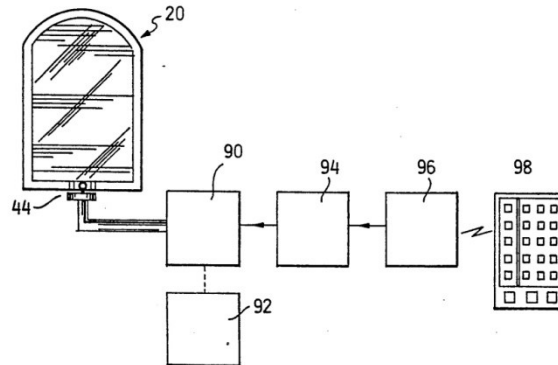


Fig. 19.

TRANSMITTANCE-ADJUSTABLE WINDOW

TECHNICAL FIELD

The present invention relates to windows whose light transmittance can be adjusted by the user and more specifically to windows in which the light transmittance is controlled by use of segmented polarizing sheets.

BACKGROUND ART

Where transparent wall or ceiling windows are employed, such as in buildings and vehicles, it is often desirable to adjust from time-to-time the amount of incident light transmitted through the window, either for privacy or to regulate interior brightness. Opaque or translucent shutters, shades screens, drapes and blinds are popular conventional ways of adjusting transmittance. However, such shutters have a number of problems and disadvantages. For example, shutter structures located external to the window pane collect dust and need periodic cleaning, have exposed gears, pulleys, and cords that occasionally jam and need repairs, and occupy considerable additional space compared to the window pane itself. Also, three dimensional opaque structures, even when only partially closed, may unduly interfere with the user's view through the window.

A search of the prior art did not disclose any patents that read directly on the claims of the instant invention however, the following U.S. patents were considered related:

U.S. PAT. NO.	INVENTOR	ISSUED
4,773,733	Murphy et al	27 Sept 1988
4,340,241	Rivier	10 Sept 1985
4,509,825	Otto et al	9 Apr 1985
4,285,577	Schuler	25 Aug 1981
4,123,141	Schuler	31 Oct 1978
3,163,089	Makas	16 May 1972
3,528,722	Makas	15 Sept 1970
3,504,962	Shanley	7 Apr 1970

U.S. Pat. No. 4,773,733 (Murphy et al.) discloses a venetian blind having rotatable prismatic reflective slats so that direct rays of sunlight are excluded and indirect rays are admitted. However, this does not avoid the many general inconveniences of venetian blind structures. Another venetian blind structure, U.S. Pat. No. 4,509,825 (Otto et al.), in which the slats carry Fresnel lenses light reflective elements also has similar disadvantages.

A relatively compact light transmitting panel is disclosed in U.S. Pat. No. 4,340,241 (Rivier). This panel is a fixed assembly of transparent plates having inclined facets shaped and arranged so that incident solar radiation is refracted back toward the source or transmitted through the panel according to the angle of incidence. However, such a panel responds not to arbitrary adjustments made by the user, but only in a predetermined way to the angle of incident light.

A decorative type of compact window blind is shown in U.S. Pat. No. 3,504,962 (Shanley) in which a frame encloses two identical stationary light transmitting panels between which is a third, movable light transmitting panel. Each panel is arranged into a grid of alternating opaque and transparent rectangles. By moving the third panel between the first two, the user can achieve particular aesthetic effects, such as shading and coloring of the transmitted light or total opaqueness of the window.

However, because of the checkerboard pattern of opaque and transparent rectangles, such a window cannot be made uniformly transparent.

It has been proposed in U.S. Pat. No. 3,528,722 (Makas) and 3,663,089 (Makas) to provide window structures that have two overlapping linear polarizer panes, one of which the user can rotate an arbitrary angle with respect to the other so that the light energy transmitted I obeys Malus' law

$$I = I_{max} \cos^2 \theta$$

Eq 1

where I_{max} is the maximum amount of light transmitted and I is the amount transmitted when the direction of one of the linear polarizers is at an angle θ with respect to the direction of polarization of the other. That is, when the directions of polarization of the two linear polarizers are aligned ($\theta=0^\circ$) the light transmitted $I=I_{max}$ is that which would be transmitted through either one of them alone. When the directions of polarization of the two linear polarizers are orthogonal to each other ($\theta=90^\circ$) no light ($I=0$) is transmitted.

Assuming the incident light is unpolarized, the maximum transmitted light I_{max} will be 50 percent of the incident light since half of the incident unpolarized light can be considered as not transmitted because polarized orthogonal to the direction of linear polarization of the first-encountered polarizer. There are many uses of windows where this theoretical maximum of 50 percent transmission of the incident light can be tolerated to gain the advantages of a polarizer-based transmittance-adjusting mechanism, in which for unpolarized incident light the transmittance is adjustable between 0 and 50 percent.

For convenience, hereafter when we refer to two overlapping linear polarizers that are aligned so that the light energy transmitted $I=I_{max}$, we will say that the light transmitter they form is OPEN, even though its transmittance for unpolarized light is 50 percent. Note, that when two such overlapping polarizers are orthogonal to each other, the transmittance is 0, which means the light transmitter they form is OPAQUE.

Unfortunately, rotatable window structures as proposed in the Makas patents are useful in limited applications where windows of generally circular shape can be employed, such as in airplanes or ceiling windows. However, most windows are rectangular, in which case considerable extra space around the window would be required to accommodate rotation of at least one of the polarizer panes. In addition, in larger windows, such as in the sunroof of an automobile or in building windows, the power requirements for a rotatable window mechanism would be undesirably expensive.

Window structures that use polarizer panes without rotating them are shown in Schuler's U.S. Pat. Nos. 4,123,141 and 4,285,577. In these patents the window is divided into left and right halves and there is a movable half-window pane that carries at least a wave plate. The wave plate has a thickness selected to optically rotate the direction of polarization of incident light by 90° . When the movable half-window pane is in a first half of the window, due to crossed polarization in each half of the window, no light is transmitted and the window is OPAQUE. When the user moves the half-window pane to the second half of the window, due to polarization alignment in each half of the window, light is transmitted and the window is OPEN. In effect, moving the

wave plate form one half of the window to the other causes virtual rotation of the polarizers.

However, such a structure has the disadvantage of depending on the wave plate which constitutes an additional element beyond the polarizers. It is also a disadvantage that the waveplate must travel a considerable distance (half the window width), since this requires a relatively large actuating mechanism. In addition, the thickness of the wave plate must be an odd one-half-wave multiple of the wavelength of the incident light. Therefore, it must be fabricated with considerable precision and will respond differently to light of different wavelengths.

In view of the problems associated with the prior art, there is a need for a window structure that enables a user to easily adjust the transmittance of a window from OPAQUE to OPEN, yet, does not need a wave plate to rotate the direction of polarization of transmitted light. Further, there is a need for such a window structure that only requires a short travel distance for its components.

DISCLOSURE OF THE INVENTION

In accordance with the invention, a transmittance-adjustable window has first and second optical sheets and an actuator for relative movement between them. The first sheet has a translation direction Y and is formed from an alternating series of abutting, identically-shaped linear polarizer segments A and B distributed along translation direction Y . Each segment A has a first polarizing direction and each segment B has a second polarizing direction orthogonal to the first.

The second sheet is substantially identical to the first sheet and positioned in an adjacent, substantially parallel plane. The actuator, such as a manually movable cam moves one of the sheets with respect to the other between an OPEN alignment position and an OPAQUE alignment position. In the OPEN position, each segment of the first sheet superimposes a corresponding identical segment of the second sheet. In the OPAQUE position, each segment of the first sheet superimposes a corresponding orthogonally polarized segment of the second sheet.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

FIG. 1 is a front elevational view of a transmittance-adjustable window unit embodying the invention.

FIG. 2 is a right cross-sectional view of the window unit of FIG. 1 taken along line 2-2 showing a window pane actuating mechanism in an OPEN position.

FIG. 3 is an enlarged internal view of a portion of the window unit of FIG. 2 along line 3-3 showing a window pane actuating mechanism in an OPEN position.

FIG. 4 is a bottom portion view of the window unit of FIG. 2 when the window pane actuating mechanism is in an OPAQUE position.

FIG. 5 is an enlarged partial internal view of the window unit of FIG. 2 along the line 5-5 showing a window pane actuating mechanism in an OPEN position.

FIG. 6 is a view of the window unit of FIG. 4 with the window pane actuating mechanism in an intermediate position.

FIG. 7 is a view of the window unit of FIG. 5 with the window pane actuating mechanism in an OPAQUE position.

FIG. 8 shows from top to bottom, two segments of polarized material whose relative directions of polarization

are orthogonal to each other in OPEN, SLATTED and OPAQUE positions.

FIG. 9 is a plan view of a periodic polarizing structure consisting of wave-like segments.

FIG. 10 is a plan view of a periodic polarizing structure consisting of pie-shaped segments.

FIG. 11 is a plan view of a periodic polarizing structure consisting of vee-shaped segments.

FIG. 12 is a front elevational view of a transmittance-adjustable window unit embodying the invention made of panes of material whose polarization alternates periodically in the vertical direction as seen when the window unit is OPEN.

FIG. 13 is a front elevational view of a transmittance-adjustable window unit embodying the invention made of panes of material whose polarization alternates periodically in the horizontal direction as seen when the window unit is OPEN.

FIG. 14 is a bottom portion view of a modified transmittance-adjustable window unit embodying the invention, when the window pane actuating mechanism is in an OPEN position.

FIG. 15 is a bottom portion view of another modified transmittance-adjustable window unit embodying the invention, when the window pane actuating mechanism is in an OPEN position.

FIG. 16 shows a first method of making a light filter whose polarization alternates periodically between two orthogonal directions.

FIG. 17 shows a second method of making a light filter whose polarization alternates periodically between two orthogonal directions.

FIG. 18 is a partial block diagram of a transmittance-adjustable window that is operated by means of an automatic controller.

FIG. 19 is a partial block diagram of a transmittance-adjustable window that is operated by means of an infrared receiver and infrared transmitter, when the transmitter can be a conventional television infrared remote control unit.

BEST MODE FOR CARRYING OUT THE INVENTION

The best mode for carrying out the invention is presented in terms of a preferred embodiment that is designed to allow the transmittance-adjustable window to control the amount of incident light passing through the window.

The preferred embodiment of the transmittance-adjustable window 20, as shown in FIGS. 1 through 13 is comprised of the following major elements: a multi-layer pane assembly 22, consisting of a first periodic polarizer pane 34 that further consists of a transparent substrate 34A and a first linear polarizer sheet 34B; a second periodic polarizer pane 46 also consisting of a second transparent substrate 46A and a second linear polarizer sheet 46B; a multi-layer pane enclosure means 23 and a pane moving means 25.

In the design of the transmittance-adjustable window 20, the first pane 34 of the multi-layer pane 22 can be made movable and the second pane 46 stationary or the second pane 46 can be made to move while the first pane 34 remains stationary. However, for purpose of discussion the first pane 34 will be considered to be the movable pane and the second pane the stationary pane.

Additionally, the multi-layer pane can be enclosed in various designs of a multi-layer pane enclosure 23 and operated by various pane moving means 25.

The invention is based on the phenomena that if two superimposed polarizer sheets are polarized in the same direction, say vertically, light will pass through the two sheets. However, if one of the superimposed sheets is polarized orthogonally to the other, that is horizontally, light will not pass. In view of this phenomena, the invention in its basic design configuration consists of a first linear polarizer sheet 34 and a second linear polarizer sheet 46 that is disposed for relative translation parallel to the first sheet. Both sheets are substantially identical with each sheet having a plurality of longitudinally abutting and alternating polarizing segments A and B, as shown in FIG. 1, where the polarized direction of segment A is orthogonal to the polarized direction of segment B.

When segments A and B on the first sheet are superimposed with corresponding identically polarized segments A or B on the second sheet on OPEN alignment is produced that allows light to pass through the two sheets. Conversely, when segments A and B on the first sheet are superimposed with corresponding orthogonally polarized segments B and A on the second sheet an OPAQUE alignment is produced that prevents light from passing through the two sheets.

In the preferred embodiment as shown in FIGS. 1 and 2 the transmittance-adjustable window 20 consists of a multi-layer pane assembly 22 that further consists of a first periodic polarizing pane 34 and a second periodic polarizing pane 46. The first pane consists of a transparent substrate 34A which may be made of either glass or plastic, and a first polarizer sheet 34B that is substantially the same size as the substrate and that is attached to the inward side, that is the side opposite the light entering side of the pane 22. The sheet 34B has a plurality of longitudinally abutting and alternating linear polarizing segments A and B, where the polarized direction of segment A is orthogonal to the polarized direction of segment B. Likewise, the second periodic polarizing pane 46 is substantially identical to the first pane 34 and includes a second transparent substrate 46A and a second linear polarizer 46B.

The two panes 34B, 46B are enclosed in a multi-layer pane assembly enclosing means 23 that includes a pane moving means 25 for allowing either the first or second pane to move parallel and relative to the other in a direction where:

- when segments A and B on the first pane 34 are superimposed with the corresponding identically polarized segments A and B on the second pane 46 an OPAQUE alignment is produced that allows light to pass through the assembly 22,

- when segments A and B on the first pane 34 are superimposed with the corresponding orthogonally polarized segments A and B on the second pane 46 an OPAQUE alignment is produced that prevents light from passing through the assembly 22, and

- when segments A and B are positioned so that they overlap, that is, they are in between the OPEN and OPAQUE positions, a SLATTED alignment is produced that allows some light to pass through the assembly 22.

As shown in FIG. 1, the transmittance-adjustable window 20 has the multi-layer pane 22 enclosed in a multi-layer pane enclosure means 23 which, in this case, is a window frame 24 of channel-like cross section. To allow for sliding insertion and removal of multi-layer pane 22, at least one of the sides of window frame 24,

such as a bottom side 25, is attached to the other sides by removable fasteners, such as screws (not shown). To retain multi-layer pane 22, the front and back of frame 24 have peripheral lip portions 26, 28 which provide rectangular view openings 30, 32 that are slightly smaller than the height and width of multi-layer pane 22.

One of the layers of multi-layer pane 22, such as a front periodic polarizer pane 34, is adapted to slide vertically in window frame 24 during adjustments of transmittance. Here the terms vertical and horizontal are only used for convenience in reference to the drawings for any two directions that are orthogonal to each other.

To reduce friction between front pane 34 and frame lip portion 26, spacers 36 of a suitably smooth, durable material, such as low friction plastic, nylon or polytetrafluoroethylene (e.g., TEFLON polytetrafluoroethylene), can be attached as feet to front pane 34 by adhesive.

Front pane 34 is biased downward by a pair of spring arms 38 mounted in a top side 40 of window frame, which bear on the top edge 42 of pane 34. Front pane 34 is pushed upward against the spring bias by a manually adjustable actuating mechanism 44.

As shown in greater detail in FIG. 2, multi-layer pane 22 is of an adjustable sandwich construction made of at least two layers, a front periodic polarizer pane 34 and a back periodic polarizer pane 46. The front periodic polarizer pane 34 is a specially periodic linear light polarizer and can be formed from a transparent substrate 34A made of glass or plastic. To this substrate, which is typically 0.325 to 0.125 inches (0.83 to 0.32 cm) thick, is attached a relatively thin linear polarizer sheet 34B which is typically 0.015 to 0.030 inches (0.038 to 0.077 cm) thick.

The back periodic polarizer pane 46 is also a specially periodic linear light polarizer and can be similarly formed of a transparent substrate 46A made of glass or plastic, to which a thin polarizer sheet 46B is attached. With bottom side 25 attached, stationary pane 46 is kept snugly in place by suitable resilient spacers 48. Preferably window frame 24 is constructed to maintain a slight clearance or space 5 between panes 34 and 46 to reduce friction and wear.

Optionally, multi-layer pane 22 may also include a stationary rear pane 50 of transparent glass or plastic, typically 0.325 to 0.125 inches (0.83 to 0.32 cm) thick, also held in place by resilient spacers 48. If present, rear pane 50 merely protects the rear side of stationary pane 46 and provides additional insulation from temperature gradients, moisture, etc.

As seen in FIGS. 2, 3 and 4, the pane moving means 25 may consist of a manually adjustable actuating mechanism 44 that is formed of an actuator housing 52 in which a toothed gear 54 is rotatably mounted on a shaft 55 and carries an eccentric cylindrical cam surface 56. A resilient pawl 58 engages the teeth of gear 54 to form a ratchet, and a knob 60 is provided by which the user can turn gear 54 in only one direction (e.g., clockwise, as seen from the front in FIG. 1). By turning knob 60, the user can cyclically move cam surface 56 up and down a total distance a against a bottom edge 62 of downward-biased front pane 34, which in turn translates pane 34 up as in FIG. 2 and down as in FIG. 4 a total distance a in each direction.

More generally, the actuator can be any convenient mechanism enabling the user to translate pane 34 up and

down along a total distance a in each direction and hold the pane at any point along the way, such as a setscrew, a slider or plunger with a lock, etc.

Front pane 34 has so far merely been described as a linear polarizer. As can be seen in FIGS. 5, 6 and 7, the orientation of pane 34's linear polarization (the preferred orientation for transmission of the light's electric field intensity E) as indicated by double-headed arrows alternates periodically in horizontal segments of width a in the vertical direction. For example, in FIG. 5 at the bottom of pane 34 there is a horizontal segment of width a in which the polarization is uniformly horizontal (A-type segment). Just above this is a horizontal segment of width a in which the polarization is uniformly vertical (B-type segment). And above this is a segment of width a in which the polarization is horizontal again (A-type segment), and so on, forming an alternating pattern (A, B, A, B, A, . . .) of linear polarization of spatial period 2a.

While for simplification, the segments are illustratively shown as alternating between horizontal and vertical polarization, it is only necessary that every other segment have a first direction of linear polarization and the segments between them all have a second direction of linear polarization orthogonal to the first. For example, in FIG. 5, at the bottom of pane 34, the bottom segment could have a linear polarization of angle ϕ to the horizontal and the segment above it a linear polarization of $90 - \phi$, etc.

More generally, front periodic polarizer pane or sheet 34 can be an alternating series of linear polarizer segments A and B which lie in a common plane and abut along their longitudinal edges. The segments A have a direction of polarization which is orthogonal to the direction of polarization of segments B. For simplicity, each of the segments A and B can have a common shape and be displaced from its neighbors by a simple translation along a common direction Y in the plane common to all the segments. For example, in addition to having rectangular segments 31 as shown in FIG. 8, the periodic polarizing structure may consist of wave-like segments 33 as shown in FIG. 9, vee-shaped segments 35 as shown in FIG. 10, or pie-shaped segments 37 as shown in FIG. 11. The windows using the pie-shaped segments would require that one of the sheets provide a radial translation with respect to the other.

As shown in FIGS. 5, 6 and 7, stationary linear polarizer pane 46 also has alternating segments of linear polarization of width a that follow the same periodically alternating pattern as found in movable front pane 34. In FIG. 5 pane 46 is at its uppermost position and the polarization patterns of the two sheets align exactly. In such a case, there will be maximum transmission of the incident light, and the window can be considered OPEN to light.

Therefore, in FIG. 5, the window would appear to the user to be made up of a series of segments of width a, each of which is OPEN. This OPEN condition differs from a 100 percent transparent window in two respects. As previously explained, because of polarization of the incident unpolarized light, the OPEN transmittance cannot exceed a theoretical maximum of 50 percent.

On each sheet where the polarization abruptly changes orientation is located a boundary line. On a full pane, these boundary lines form a series of horizontal lines space a distance a apart. A noticeable boundary line where the polarization changes is considered generally undesirable. Therefore, its appearance is minimized

by use of thin polarizer material and precision in the shape and alignment of the series of horizontal segments of width forming each of periodic linear polarizer panes 34 and 46. Methods of forming panes 34 and 46 will be discussed further below.

In FIG. 6 cam 56 is at a position which is midway between its uppermost and lowest positions and front pane 34 has moved down a distance a/2 from its position in FIG. 4. The polarization patterns of the two sheets are no longer exactly aligned. Instead they are in alignment for the bottom half width of each segment of stationary linear polarizer pane 46 and orthogonal to each other for the top half width of each segment of pane 46. Therefore, in FIG. 6 the window would appear to the user to be made up of a series of segments of width a/2 alternating between OPEN and OPAQUE; we call this the SLATTED condition.

In FIG. 7 cam 56 is at its lowest position and front pane 34 has moved down a distance a from its position in FIG. 4. The polarization patterns of the two sheets are completely orthogonal to each other. Therefore, in FIG. 7, the window would appear to the user to be completely OPAQUE.

In this way by merely turning actuator knob 60, the user can cycle the window through its major states of OPEN, SLATTED, and OPAQUE. Moreover, there is actually a continuum of intermediate states between OPEN and OPAQUE. The segments are separated at their centers by a vertical distance being of minimal width in the OPEN state and gradually becoming wider and wider as one progresses from OPEN to SLATTED to OPAQUE.

More generally, if front and back panes or sheets 34 and 46 are each a periodic linear polarizer sheet of alternating linear polarizer segments A and B, they can be overlaid in an OPEN alignment position in which each segment (A, B) of sheet 34 is superimposed by a corresponding identically polarized segment (A, B) of sheet 46. Because of the specially periodic structure of each pane 34, 46, a relative translation of one with respect to the other over a distance on the order of a, the segment width, can provide an OPAQUE alignment. In the OPAQUE alignment each segment (A, B) of sheet 34 is superimposed by a corresponding orthogonally polarized segment (A, B) of sheet 46. Moreover, as panes 34, 46 are translated relative to each other between the OPEN and OPAQUE alignments, the intermediate positions will have the SLATTED alignments previously described.

As described above, for simplicity in each pane or sheet 34, 46 the segments A and B can have a common shape and be displaced from its neighbors by a simple translation along a common direction Y in a plane common to all the segments. In such case, the relative translation between sheets 34 and 46 that moves them between the OPEN and OPAQUE alignments can also be in the Y direction.

For simplicity, in the illustrated embodiments, the common translation direction Y is shown as only having a component transverse to the segments, but more generally Y could also have a component in a longitudinal direction of the segment. In such a case, translating one of the segments in the Y direction would sweep out a parallelogram not having right angles instead of a simple rectangle. Such an orientation for Y might be appropriate for designs where panes or sheets 34, 46 should be non-right-angle parallelograms, for example to accommodate a similarly shaped window frame.

FIG. 8 shows, from top to bottom, two rectangular segments 31 of polarized material whose relative directions of polarization are orthogonal to each other, in OPEN, SLATTED and OPAQUE positions. The main or middle portions of the segments overlap, but the ends do not. This illustrates that in FIG. 1 if desired, sheets 34 and 46 can have slightly non-overlapping lateral edges as long as the main or middle portions appearing to the user in front and rear rectangular view openings 30, 32 are overlapping.

In FIGS. 1 and 12, the longitudinal direction of the segments is parallel to the bottom side 25 of frame 24. In FIG. 13, the segments' longitudinal direction is parallel to the frame's lateral sides. More generally the segments' longitudinal direction is oblique with respect to the side of the window frame, in this case front pane 34 would have to move in a translation direction Y not parallel to the sides of frame 24.

In FIG. 14 is shown a modification of the multi-layer pane 22 in which a sandwich of just two panes offers improved protection for the delicate polarizing sheets 34B and 46B respectively affixed to transparent substrates 34A and 46A. In this design, polarizing sheets 34B and 46B face each other on the inside of the sandwich, and transparent substrates 34A and 46A respectively provide sturdy protective outer front and back walls for multi-layer sandwich pane 22. Therefore, there is no need for an additional transparent pane, such as rear pane 50 of FIGS. 2 and 4, to guard the delicate polarizing sheets.

In FIG. 15 is shown a third modification of the multi-layer pane 22 in which each periodic polarizer pane 34, 46 respectively is a sandwich consisting of a protective transparent front substrate 34A, 46A and rear 34C, 46C substrates which enclose a delicate polarizer sheet 34B, 46B. This enables individual panes 34, 46 to be easily handled for assembly and repair of the window unit.

For any of these modifications only two segments are required to practice the invention. However, the segment width a is preferably chosen so that the window pane is divided into at least 10 segments of equal width, and often finer divisions of the window into 20, 30 or more segments are even more preferable. As dimension a determines the amount of relative travel of the panels, it should be kept small so the additional space needed in frame 24 to accommodate the travel is small.

In practice, the size and shape of the segments a will depend on the user's personal preference and aesthetic judgement, etc., as well as the size of window frame 24. For example, if window frame 24 of FIG. 1 is about 46 inches (117.9 cm) high and 28 inches (71.8 cm) wide and is to be used as an external window in a residence, a segment width a of between 0.3 and 2 inches (0.8 to 5 cm) or less would be acceptable to many users.

It is a feature of the invention that the pane that is moved will only traverse a distance a, which will generally be a small fraction of the window's overall dimension in the direction of travel. Therefore, only a relatively small additional space is required in window frame 24 in the dimension corresponding to the direction of travel to accommodate this limited travel distance a.

Generally a window according to the invention will appear to have less noticeable distortion when OPEN if the segments of alternating linear polarization are horizontal as shown in FIG. 9, perhaps because human eyes are more likely to "hover" in a scene horizontally than vertically. Nevertheless, the invention can be usefully

practiced with the alternating segments vertically oriented as shown in FIG. 13, in which case the actuator will move pane 34 a distance a horizontally rather than vertically.

The invention also includes methods for making periodic polarizer panes 34 and 46 so they have segments of periodically alternating linear polarization.

As shown in FIGS. 2 and 16, front polarizer pane 34 can be formed from a transparent glass or plastic substrate 34A, typically 0.325 to 0.125 inches (0.083 to 0.32 cm) thick, to which the polarizer sheet 34B is attached. Polarizer sheet 34B can be formed of a series of relatively thin segments 34d of polarizer material having a thickness of between 0.015 to 0.030 inches (0.038 to 0.077 cm) segment width a, each attached to substrate 34A by a sufficient amount of transparent adhesive or some other convenient means.

The ends of segments 34b can be located under front and back lip portions 26, 28 of window frame 24 so the segment ends will not be visible to the user. However, for durability it may be necessary to apply transparent adhesive to non-end portions of segments 34b not concealed by lip portions 26, 28, so the segments will lie snugly in alignment against substrate 34A and not be easily moved or dislodged during assembly or repair of the window unit.

Segments 34b can be made of polarizer material cut in opposing directions form an H-sheet linear polarizer sheet, a commercially available product. H-sheet polarizer is made of aligned long chain polymers laminated in a suitable durable transparent material, such as cellulose acetate butyrate (CAB). Polarizer pane 46 can be formed in a similar manner.

An example of a suitable, commercially available H-sheet is IP385G linear polarizer available in 14"×24"×0.030 inch (36×62×0.077 cm) sheets from International Polarizer, Inc. These sheets, which are neutral gray in color, have a 38 percent transmittance for unpolarized light, which is a good approximation of the theoretical maximum of 50 percent. In the visible spectrum, two sheets crossed cause an average transmittance of incident light of 0.04 percent, which produces a good OPAQUE effect.

FIG. 17 shows another method of forming polarizer sheet 34B and polarizer pane 34, which method can also be used in forming polarizer pane 46. A transparent glass or plastic substrate 34A is provided, typically 0.325 to 0.125 inches (0.83 to 0.32 cm) thick, to which thin polarizer sheet 34B is to be attached. Linear polarizer sheet 34B is formed of a polarizer template 34c into which segments 34b are inserted. Template 34c has cutout slots 34d of width a alternating with uncut segment portions 34e of width a. Template 34c is cut from thin polarizer material, such as an H-sheet linear polarizer of about 0.015 to 0.30 inches (0.038 to 0.077 cm) thickness. A narrow margin 34f left at each lateral edge of the sheet will be hidden by the frame's peripheral lip portions 26, 28. Template 34c is a sounder structure for making and aligning the spaced segment portions 34e than if they were arranged together from individual segments. Template 34c can be easily attached to a unit to a face of substrate 34A, by transparent adhesive or some other convenient means.

Segments 34b of width a and sized to fit snugly in slots 34d are cut with an opposed polarizer orientation from the same or a similar thin H-sheet linear polarizer. Segments 34b are inserted snugly into slots 34d of template 34c and attached just at their ends to the face

of substrate 34A by a small amount of transparent adhesive or some other convenient means. Moreover, by locating the ends of the segments under front and back lip portions 26, 28 of window frame 24, the segment ends and any adhesive will not be visible to the user. This forms a relatively durable structure for pane 34 having the desired periodically alternating polarization characteristic.

By comparison, if the "all segment" method of FIG. 16 is used to make polarizer sheet 34B, it may be necessary to affix more than just the ends of the segments to substrate 34A so the segments will lie snugly in alignment against the substrate and not be damaged during assembly or repair of the window unit.

Other ways of making panes 34 and 46 will be readily apparent to those skilled in the art of making polarizers. For example, there is a type of polarizer called a variable-axis-direction polarizer, which is a side-by-side arrangement or mosaic of elements, each of which is a linear polarizer and has a different orientation. Panes 34 and 46 could be a direct product of such variable-axis-polarizer.

In general, the polarizer sheets 34B, 46B are substantially rectangular and of dimension H in a first direction and of an equal, smaller or greater dimension L in a second direction. Each polarizer segment A and B has a width that lies between H/2 to H/n, where n may be any integer such as 10, 20 or 30. The segments are in a transverse direction substantially parallel to the first direction and a length approximately L in a longitudinal direction substantially parallel to the second direction.

As shown in FIG. 18, a transmittance-adjustable window can be made to operate automatically by an electromechanical circuit 70 that provides a motor, solenoid, or other electromechanical driver M for the actuating mechanism 44. Driver M is turned on and off by a control circuit 71 which is powered by a power supply 72. A switch 74 on the controller circuit is used to turn the control circuit ON and OFF. Control circuit 70 includes a timer/clock circuit 76 so that motor M can be actuated at preselected times, or the control circuit itself turned on, at times or for intervals preselected by the user. The control circuit can also be provided with internal and external light intensity sensors 78, 80, so that actuation of the motor M depends on the incident or interior light intensity, or their difference.

For example, if window 20 is used in a parked vehicle, control circuit 71 can be set to automatically make the window OPAQUE on hot sunny days. Or when the vehicle is being driven, control circuit 70 can be set to automatically maintain the interior light level within a desired range.

Another method to control the operation of the actuating mechanism 44 is by the electromechanical circuit shown in FIG. 19. This circuit employs a reversible motor 90 or incremental stepping motor 92 that is attached directly to the actuating mechanism 44. A power source 94 that is connected directly to the motor 90 or 92 is activated by an infrared receiver 96 that, in turn, is energized by an infrared transmitter 98. The transmitter can be one of the many infrared television remote control units in current use. Any button on the unit can be pressed to produce the required infrared signal.

While the invention has been described in complete detail and pictorially shown in the accompanying drawings it is not to be limited to such details, since many changes and modifications may be made to the invention without departing from the spirit and the scope

thereof. For example, the pane moving means 25 can consist of a combination worm gear and worm, where the worm is driven by a lever that is connected to the edge of the movable periodic polarizing pane 34. Hence, it is described to cover any and all modifications and forms which may come within the language and scope of the claims.

We claim:

1. A transmittance-adjustable window comprising:
 - A. a multi-layer pane assembly comprising:
 - a) a first periodic polarizing pane consisting of:
 - (1) a first transparent substrate,
 - (2) a first linear polarizer sheet being of substantially the same size as said first transparent substrate and attached to the inward side of said substrate, said sheet having a plurality of longitudinally abutting and alternating linear polarizing segments A and B, that lie in a common plane and are configured in a vee-shape where the polarized direction of segments A is orthogonal to the polarized direction of segments B,
 - b) a second periodic polarizing pane substantially identical to said first periodic polarizing pane, having a second transparent substrate and a second linear polarizer sheet,
 - B. means for enclosing said multi-layer pane assembly,
 - C. means for allowing said first or second pane to move parallel and relative to the other in a direction where:
 - a) when segments A and B on said first pane are superimposed with corresponding identically polarized segments A and B on said second pane on OPEN alignment is produced that allows light to pass through said assembly,
 - b) when segments A and B on said first pane are superimposed with corresponding orthogonally polarized segments B and A on said second pane an OPAQUE alignment is produced that prevents light from passing through said assembly, and
 - c) when segments A and B are placed in an overlapping position between the OPEN and OPAQUE positions, a slatted alignment is produced that allows some light to pass through said assembly.
2. A transmittance-adjustable window comprising:
 - A. a multi-layer pane assembly comprising:
 - a) a first periodic polarizing pane consisting of:
 - (1) a first transparent substrate,
 - (2) a first linear polarizer sheet being of substantially the same size as said first transparent substrate and attached to the inward side of said substrate, said sheet having a plurality of longitudinally abutting and alternating linear polarizing segments A and B that are configured in a pie-shape with said first and second linear polarizer sheets being in a circular shape where one of said sheets is disposed to provide a radial translation with respect to the other sheet where the polarized direction of segments A is orthogonal to the polarized direction of segments B,
 - b) a second periodic polarizing pane substantially identical to said first periodic polarizing pane, having a second transparent substrate and a second linear polarizer sheet,

- B. means for enclosing said multi-layer pane assembly,
- C. means for allowing said first or second pane to move parallel and relative to the other in a direction where:
- when segments A and B on said first pane are superimposed with corresponding identically polarized segments A and B on said second pane an OPEN alignment is produced that allows light to pass through said assembly,
 - when segments A and B on said first pane are superimposed with corresponding orthogonally polarized segments B and A on said second pane an OPAQUE alignment is produced that prevents light from passing through said assembly, and
 - when segments A and B are placed in an overlapping position between the OPEN and OPAQUE positions, a SLATTED alignment is produced that allows some light to pass through said assembly.
3. A transmittance-adjustable window comprising:
- A. a multi-layer pane assembly comprising:
- a parallel pair of protective transparent substrates,
 - a first linear polarizer sheet being of substantially the same size as said substrates and where said sheet is sandwiched between said pair of protective transparent substrates, said sheet having a plurality of longitudinally abutting and alternating linear polarizing segments A and B, where the polarized direction of segments A is orthogonal to the polarized direction of segment B,
 - a second periodic polarizing pane substantially identical to said first periodic polarizing pane,
- B. means for enclosing said multi-layer pane assembly,
- C. means for allowing said first or second pane to move parallel and relative to the other in a direction where:
- when segments A and B on said first pane are superimposed with corresponding identically polarized segments A and B on said second pane an OPEN alignment is produced that allows light to pass through said assembly,
 - when segments A and B on said first pane are superimposed with corresponding orthogonally polarized segments B and A on said second pane an OPAQUE alignment is produced that prevents light from passing through said assembly, and
 - when segments A and B are placed in an overlapping position between the OPEN and OPAQUE positions, a SLATTED alignment is produced that allows some light to pass through said assembly.
4. A transmittance-adjustable window comprising:
- A. a multi-layer pane assembly comprising:
- a first periodic polarizing pane consisting of:
 - a first transparent substrate,
 - a first linear polarizer sheet being of substantially the same size as said first transparent substrate and attached to the inward side of said substrate, said sheet having a plurality of longitudinally abutting and alternating linear polarizing segments A and B, where the polar-

- ized direction of segments A is orthogonal to the polarized direction of segments B,
- a second periodic polarizing pane substantially identical to said first periodic polarizing pane, having a second transparent substrate and a second linear polarizer sheet,
- B. means for enclosing said multi-layer pane assembly,
- C. means for allowing said first or second pane to move parallel and relative to the other in a direction where said means comprises an actuator coupled to said second periodic polarizer sheet to translate it between the OPEN and OPAQUE alignment positions, or to a SLATTED position that lies between the CLOSED and OPAQUE positions, said actuator further comprising:
- a rotatable shaft,
 - a spring that bias said second periodic polarizer sheet in the OPAQUE alignment position,
 - a spring that bias said second periodic polarizer sheet in the CLOSED alignment position, and
 - a ratchet for constraining the rotatable shaft to turn in only one direction where
 - when segments A and B on said first pane are superimposed with corresponding identically polarized segments A and B on said second pane an OPEN alignment is produced that allows light to pass through said assembly,
 - when segments A and B on said first pane are superimposed with corresponding orthogonally polarized segments B and A on said second pane an OPAQUE alignment is produced that prevents light from passing through said assembly, and
 - when segments A and B are placed in an overlapping position between the OPEN and OPAQUE positions, a SLATTED alignment is produced that allows some light to pass through said assembly.
5. A transmittance-adjustable window comprising:
- A. a multi-layer pane assembly comprising:
- a first periodic polarizing pane consisting of:
 - a first transparent substrate,
 - a first linear polarizer sheet being of substantially the same size as said first transparent substrate and attached to the inward side of said substrate, said sheet having a plurality of longitudinally abutting and alternating linear polarizing segments A and B, where the polarized direction of segments A is orthogonal to the polarized direction of segments B,
 - a second periodic polarizing pane substantially identical to said first periodic polarizing pane, having a second transparent substrate and a second linear polarizer sheet,
- B. means for enclosing said multi-layer pane assembly,
- C. means for allowing said first or second pane to move parallel and relative to the other in a direction where said means comprises an actuator coupled to said second periodic polarizer sheet to translate it between the OPEN and OPAQUE alignment positions, or to a SLATTED position that lies between the CLOSED and OPAQUE positions, said actuator, further comprising:
- an electromechanical circuit that controls the operation of said actuator,
 - a rotatable shaft,

- a spring that bias said second periodic polarizer sheet in the OPAQUE alignment position,
 - a spring that bias said second periodic polarizer sheet in the CLOSED alignment position, and
 - a ratchet for constraining the rotatable shaft to turn in only one direction where
 - when segments A and B on said first pane are superimposed with corresponding identically polarized segments A and B on said second pane an OPEN alignment is produced that allows light to pass through said assembly,
 - when segments A and B on said first pane are superimposed with corresponding orthogonally polarized segments B and A on said second pane an OPAQUE alignment is produced that prevents light from passing through said assembly, and
 - when segments A and B are placed in an overlapping position between the OPEN and OPAQUE positions, a SLATTED alignment is produced that allows some light to pass through said assembly.
6. A transmittance-adjustable window comprising:
- A. a multi-layer pane assembly comprising:
- a first periodic polarizing pane consisting of:
 - a first transparent substrate,
 - a first linear polarizer sheet being of substantially the same size as said first transparent substrate and attached to the inward side of said substrate, said sheet having a plurality of longitudinally abutting and alternating linear polarizing segments A and B, where the polarized direction of segments A is orthogonal to the polarized direction of segments B,
 - a second periodic polarizing pane substantially identical to said first periodic polarizing pane, having a second transparent substrate and a second linear polarizer sheet,
- B. means for enclosing said multi-layer pane assembly,
- C. means for allowing said first or second pane to move parallel and relative to the other in a direction where said means comprises an actuator coupled to said second periodic polarizer sheet to translate it between the OPEN and OPAQUE alignment positions, or to a SLATTED position that lies between the CLOSED and OPAQUE positions, said actuator further comprising:
- an electromechanical circuit having a light intensity sensor that allows said circuit to be responsive to said sensor to control the operation of said actuator,
 - a rotatable shaft,
 - a spring that bias said second periodic polarizer sheet in the OPAQUE alignment position,
 - a spring that bias said second periodic polarizer sheet in the CLOSED alignment position, and
 - a ratchet for constraining the rotatable shaft to turn in only one direction where
 - when segments A and B on said first pane are superimposed with corresponding identically polarized segments A and B on said second pane an OPEN alignment is produced that allows light to pass through said assembly,
 - when segments A and B on said first pane are superimposed with corresponding orthogonally polarized segments B and A on said second pane an OPAQUE alignment is produced

- that prevents light from passing through said assembly, and
- when segments A and B are placed in an overlapping position between the OPEN and OPAQUE positions, a SLATTED alignment is produced that allows some light to pass through said assembly.
7. A transmittance-adjustable window comprising:
- A. a multi-layer pane assembly comprising:
- a first periodic polarizing pane consisting of:
 - a first transparent substrate,
 - a first linear polarizer sheet being of substantially the same size as said first transparent substrate and attached to the inward side of said substrate, said sheet having a plurality of longitudinally abutting and alternating linear polarizing segments A and B, where the polarized direction of segments A is orthogonal to the polarized direction of segments B,
 - a second periodic polarizing pane substantially identical to said first periodic polarizing pane, having a second transparent substrate and a second linear polarizer sheet,
- B. means for enclosing said multi-layer pane assembly,
- C. means for allowing said first or second pane to move parallel and relative to the other in a direction where said means comprises an actuator coupled to said second periodic polarizer sheet to translate it between the OPEN and OPAQUE alignment positions, or to a SLATTED position that lies between the CLOSED and OPAQUE positions, said actuator further comprising:
- an electromechanical circuit further comprising:
 - a motor attached directly to said actuator,
 - a power source that controls the power applied to the motor,
 - an infrared receiver that when activated, energizes the power source, and
 - an infrared transmitter that when activated produces an infrared signal that activates the infrared receiver, where the transmitter can be an infrared television remote control that produces the required infrared signal when any of its buttons are pressed,
 - a rotatable shaft,
 - a spring that bias said second periodic polarizer sheet in the OPAQUE alignment position,
 - a spring that bias said second periodic polarizer sheet in the CLOSED alignment position, and
 - a ratchet for constraining the rotatable shaft to turn in only one direction where
 - when segments A and B on said first pane are superimposed with corresponding identically polarized segments A and B on said second pane an OPEN alignment is produced that allows light to pass through said assembly,
 - when segments A and B on said first pane are superimposed with corresponding orthogonally polarized segments B and A on said second pane an OPAQUE alignment is produced that prevents light from passing through said assembly, and
 - when segments A and B are placed in an overlapping position between the OPEN and OPAQUE positions, a SLATTED alignment is produced that allows some light to pass through said assembly.

8. A method of producing a transmittance-adjustable window comprising the steps of:

A forming a first periodic polarizing pane comprising the steps of:

- a) providing a first transparent substrate,
- b) providing a plurality of linear polarizing segments A, each having a width a,
- c) affixing said polarizing segments A in a spaced alignment on said first transparent substrate with a spacing of width a between adjacent segments A,
- d) providing a plurality of linear polarizing segments B, each having a width a and a polarized direction that is orthogonal to the polarized direction of segments A,

B. forming a second periodic polarizing pane that is substantially identical to said first periodic polarizing pane, and

C. disposing said second polarizing pane for relative translation parallel to said first polarizing pane between:

- a) an OPEN alignment in which polarizing segments A and B on said first polarizing pane are superimposed with identically corresponding polarizing segments A and B on said second polarizing pane, where the OPEN position allows light to pass through said first and second polarizing panes, and
- b) an OPAQUE alignment in which segments A and B on said first polarizing pane are superimposed with the corresponding orthogonally polarizing segments B and A on said second polarizing pane, where the OPAQUE position prevents light from passing through said first and second polarizing panels.

9. The method as specified in claim 8 wherein the segments A and B lie in a common plane and have a common shape.

10. The method as specified in claim 8 wherein said polarizer sheet is substantially rectangular and of dimension H in a first direction and of an equal or smaller dimension L in a second direction, and where each polarizer segment A and B has a width a that lies between $H/2$ to H/n , where n may be any integer, is substantially parallel to the first direction H and has a length approximately L in a longitudinal direction substantially parallel to the second direction L.

11. The method as specified in claim 8 further providing a transparent cover sheet and sandwiching the linear polarizing segments A and B between the transparent cover sheet and the transparent substrate.

12. The method as specified in claim 8 wherein all the polarizing segments B are integrally formed as a template from a sheet of linear polarized material, where the template forms a slot between each of the polarizing segments B into which a corresponding one of the polarizing segments A is tightly fitted.

13. The method as specified in claim 8 further providing a pane moving means for disposing said second polarizing pane for relative translation parallel to said first polarizing pane.

14. The method as specified in claim 8 wherein said polarizer sheet is substantially rectangular and of dimension H in a first direction and of an equal or greater dimension L in a second direction, and where each polarizer segment A and B has a width a that lies between $H/2$ to H/n , where n may be any integer, is substantially parallel to the first direction H and has a length approximately L in a longitudinal direction substantially parallel to the second direction L.

* * * * *

40

45

50

55

60

65



US008508681B2

US 8,508,681 B2

Page 2

(12) **United States Patent**
Tatzel et al.

(10) **Patent No.:** **US 8,508,681 B2**
(45) **Date of Patent:** **Aug. 13, 2013**

(54) **VARIABLE TRANSMISSION WINDOW**

(75) Inventors: **Ryan Tatzel**, Syosset, NY (US);
William McLeod, Granger, IN (US)

(73) Assignee: **SmarterShade, Inc.**, South Bend, IN (US)

(*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 60 days.

(21) Appl. No.: **13/339,764**

(22) Filed: **Dec. 29, 2011**

(65) **Prior Publication Data**

US 2012/0169950 A1 Jul. 5, 2012

Related U.S. Application Data

(60) Provisional application No. 61/428,307, filed on Dec. 30, 2010.

(51) **Int. Cl.**
G02F 1/1335 (2006.01)

(52) **U.S. Cl.**
USPC **349/18**; 349/119

(58) **Field of Classification Search**
USPC 349/18, 119
See application file for complete search history.

(56) **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

2,260,220 A 10/1941 Grabau
2,280,358 A 4/1942 Tietig
2,281,112 A 4/1942 Ryan
2,302,507 A 11/1942 Ryan
2,617,329 A 11/1952 Dreyer
3,159,844 A 12/1964 Haboush
3,443,855 A 5/1969 Land
3,504,962 A 4/1970 Shanley

3,521,300 A 7/1970 Weiss
3,528,722 A 9/1970 Makas
3,540,793 A 11/1970 Amugo et al.
3,663,089 A 5/1972 Makas
3,880,496 A 4/1975 Davidiyan et al.
4,070,096 A 1/1978 Jagur
4,123,141 A 10/1978 Schuler
4,153,952 A 5/1979 Dussich
4,285,577 A 8/1981 Schuler
4,364,375 A 12/1982 Younghouse

(Continued)

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

EP 0182639 A2 5/1986

OTHER PUBLICATIONS

International Search Report & Written Opinion issued in PCT Application No. PCT/US2011/067754, mailed on Jul. 2, 2012.

(Continued)

Primary Examiner—Richard Kim
(74) *Attorney, Agent, or Firm*—The Marbury Law Group PLLC

ABSTRACT

(57) The various embodiments include variable optical transmission devices with uniform or patterned polarizers or wave retarders configured to provide continuous or nearly continuous variations in light transmission based on linear translation. For example, embodiments include a variable transmission window including a first uniform polarizer with a first polarization axis, a second uniform polarizer with a second polarization axis, a first patterned wave retarder positioned between the first and second polarizers and including a first plurality of domains configured to vary in at least one of optic axis, thickness, or birefringence, and a second patterned wave retarder positioned between the first and second polarizers and including a second plurality of domains configured to vary in at least one of optic axis, thickness, or birefringence. The first or second wave retarder is configured to be linearly translatable relative to the other wave retarder.

19 Claims, 17 Drawing Sheets

(56) **References Cited**

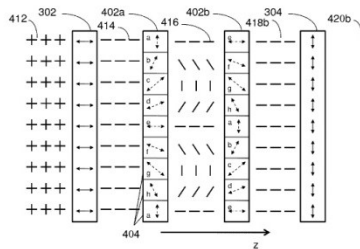
U.S. PATENT DOCUMENTS

4,509,835 A 4/1985 Otto et al.
4,512,638 A 4/1985 Scram et al.
4,579,426 A 4/1986 Onufry
4,719,720 A 1/1988 Ohsen
4,773,733 A 9/1988 Murphy, Jr. et al.
4,902,112 A 2/1990 Lowe
4,962,780 A 10/1990 Englahl et al.
5,033,829 A 7/1991 Faroughy
5,164,856 A 11/1992 Zhang et al.
5,189,552 A 2/1993 Metwalli
5,841,581 A 11/1998 Tutt
5,940,216 A 8/1999 Gibbs
5,999,316 A 12/1999 Allen
6,185,039 B1 2/2001 Allen et al.
6,368,760 B1 4/2002 Nishiguchi
6,414,790 B1 7/2002 Benoit
6,452,724 B1 9/2002 Hansen
6,710,921 B2 3/2004 Hansen et al.
6,878,425 B1 4/2005 Gomes

7,113,335 B2 9/2006 Sales
7,375,887 B2 5/2008 Hansen et al.
7,548,370 B2 6/2009 Albert et al.
7,630,132 B2 12/2009 Sangu et al.
2001/0040730 A1 11/2001 Lee et al.
2003/0142400 A1 7/2003 Hansen et al.
2004/0120041 A1 6/2004 Silverstein et al.
2006/0061862 A1 3/2006 Mi et al.
2006/0193046 A1 8/2006 Yellin
2006/0215263 A1 9/2006 Mi et al.
2006/0238867 A1 10/2006 Tajeda et al.
2006/0262398 A1 11/2006 Sangu et al.
2009/0190217 A1 7/2009 Chen et al.
2010/0053751 A1 3/2010 McLeod et al.

OTHER PUBLICATIONS

Chen et al., "Large Flexible Nanowire Grid Visible Polarizer Made by Nanosprint Lithograph," Applied Physics Letters, vol. 90, No. 6, Feb. 8, 2007, pp. 063111-1 to 063111-3.
Ahn et al., "Fabrication of a 50nm half-pitch Wire Grid Polarizer Using Nanosprint Lithography," 2005 Nanotechnology, vol. 16, No. 7, Jul. 22, 2005, pp. 1874-1877.



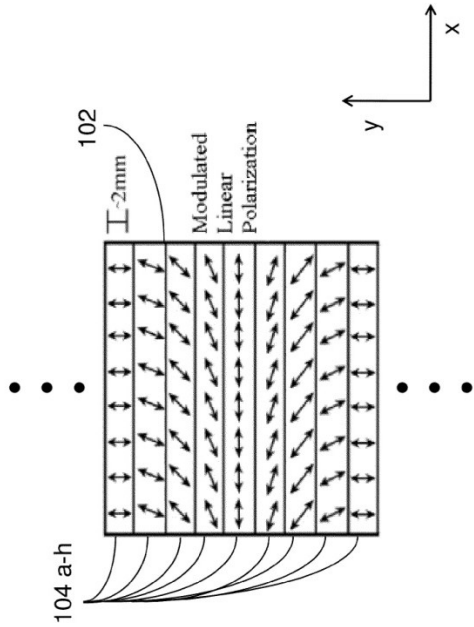


FIG. 1A

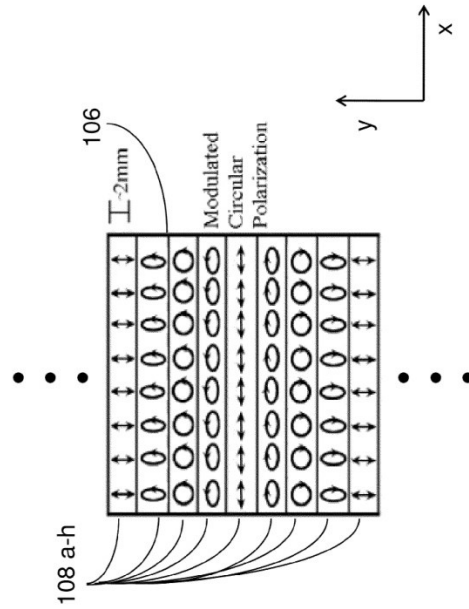


FIG. 1B

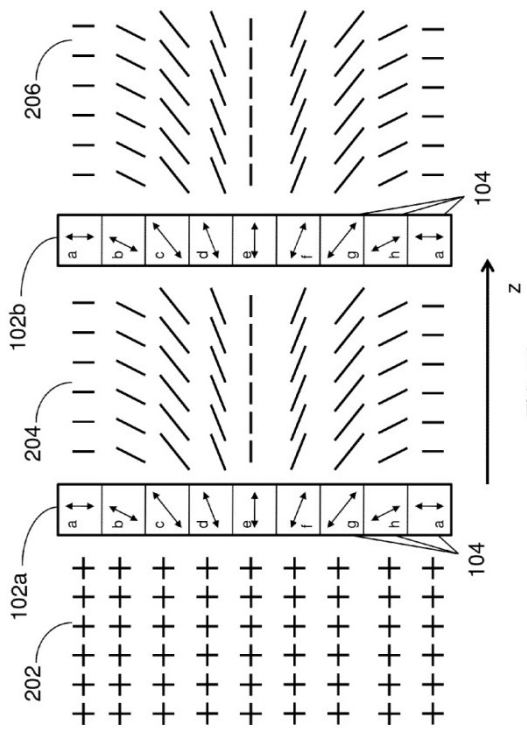


FIG. 2A

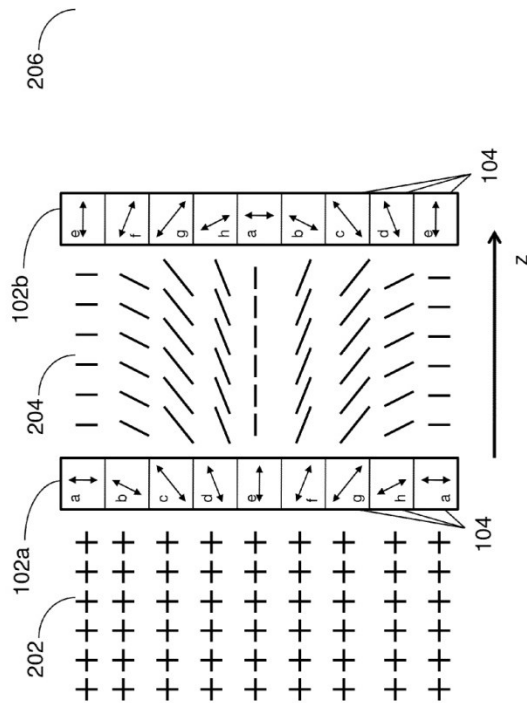
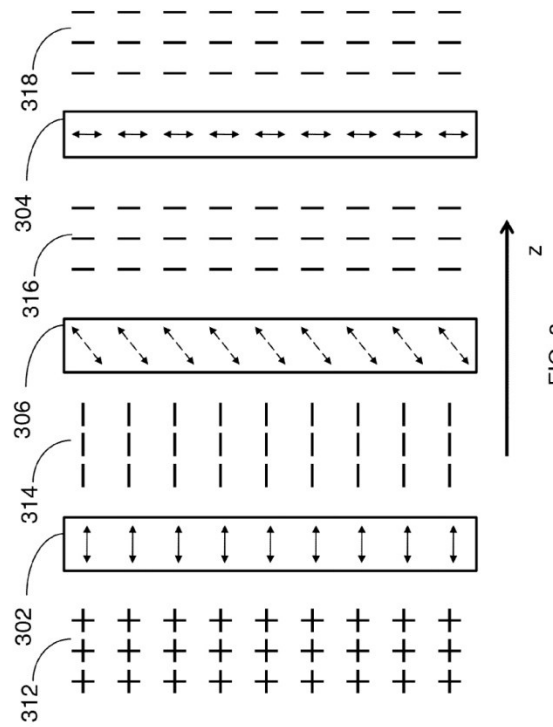
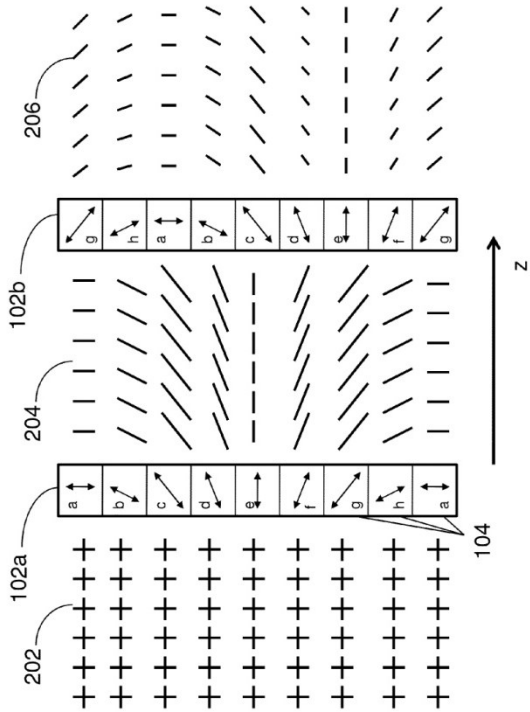


FIG. 2B



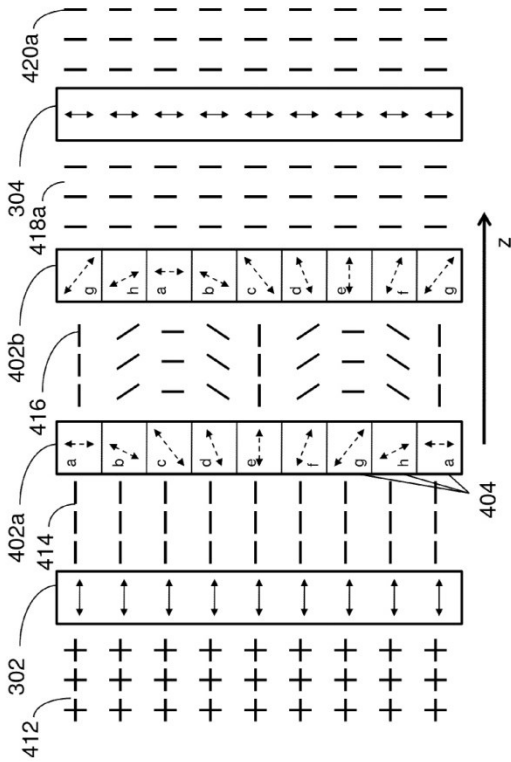


FIG. 4A

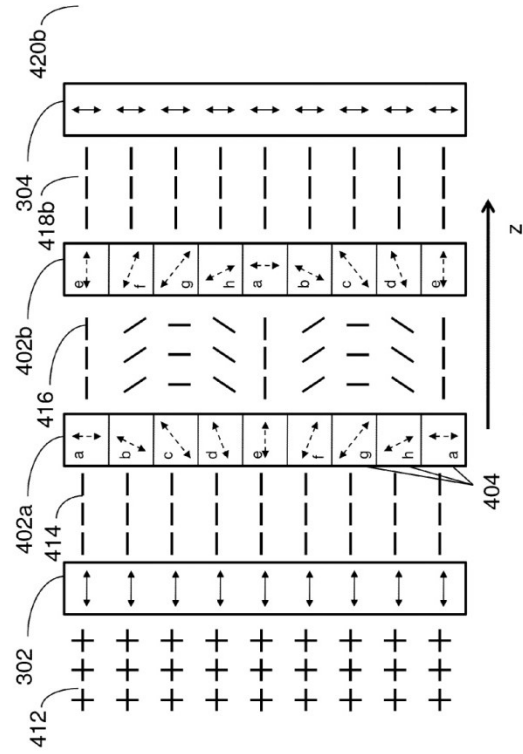


FIG. 4B

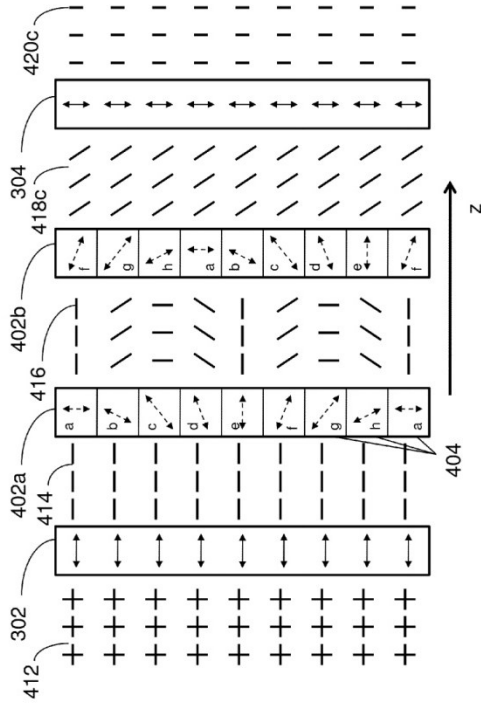


FIG. 4C

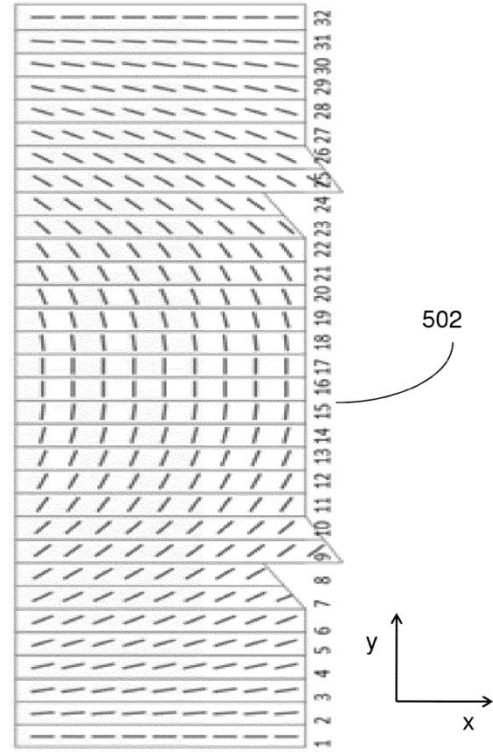


FIG. 5

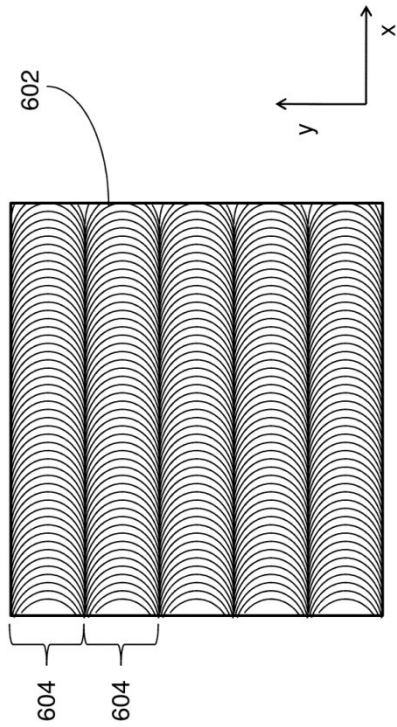


FIG. 6

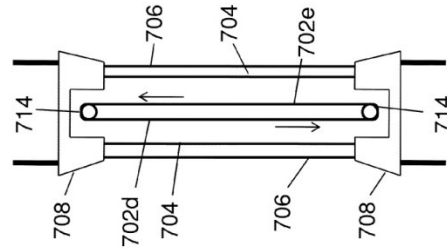


FIG. 7C

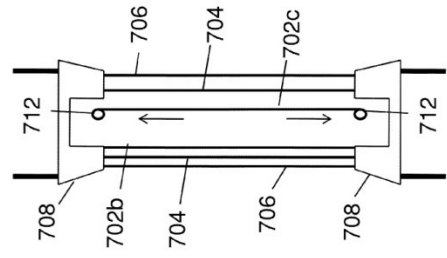


FIG. 7B

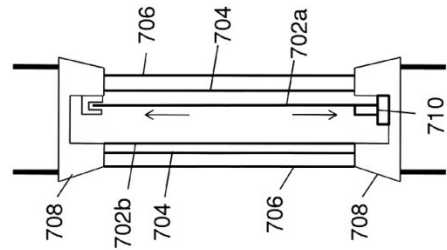


FIG. 7A

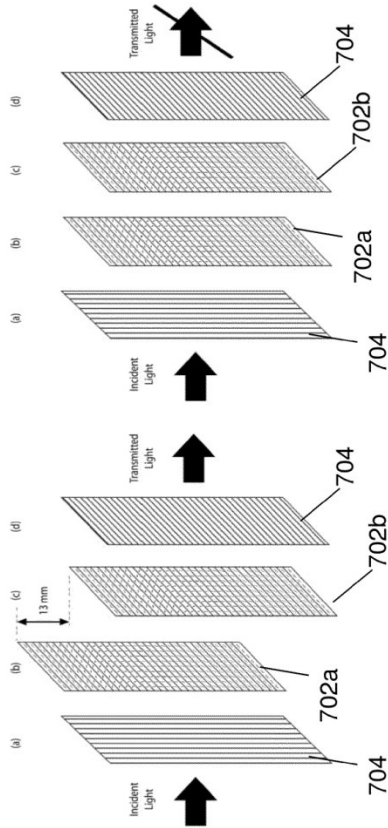


FIG. 7E

FIG. 7D

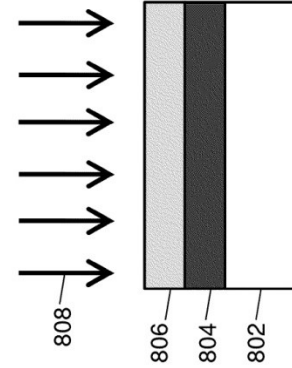


FIG. 8B

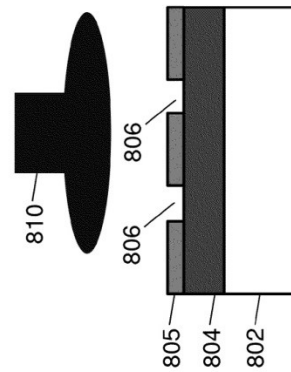


FIG. 8A

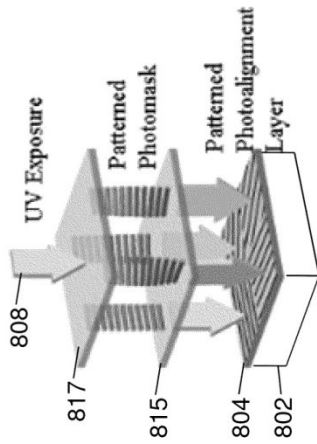


FIG. 8C

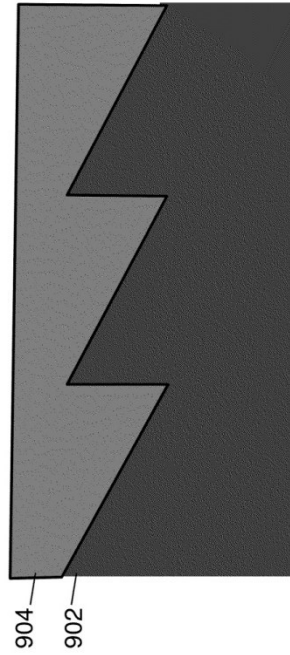


FIG. 9

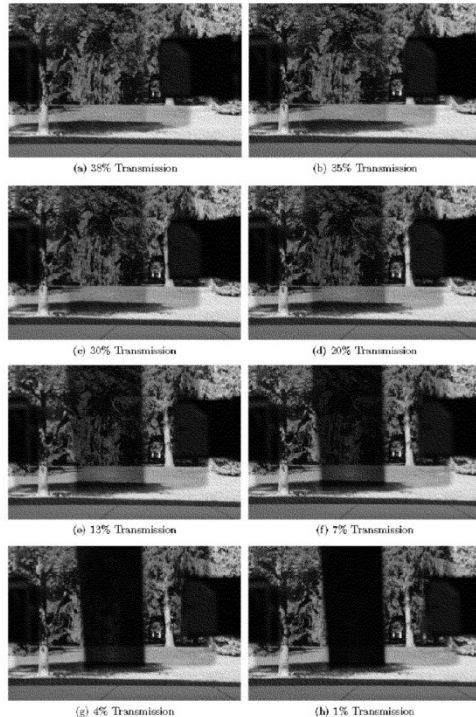


FIG. 10

1 VARIABLE TRANSMISSION WINDOW

CROSS-REFERENCE TO RELATED APPLICATIONS

This application claims the benefit of priority to U.S. Provisional Patent Application Ser. No. 61/428,307 filed Dec. 30, 2010 which is hereby incorporated herein by reference in its entirety.

BACKGROUND

A polarizer is a device that transforms unpolarized or mixed polarization electromagnetic waves into polarized waves. Polarizers have found a wide array of practical applications such as in photographic filters, microscopes, optoelectronics, lasers, and liquid crystal displays. Wave plates or retarders are optical devices that can change the polarization of electromagnetic waves. Wave plates are often used to control the polarization of waves and therefore are involved in many of the same applications as polarizers. Many prior art devices rotate polarizers or wave plates relative to one another to vary the angle between polarization or optic axes. For example, polarization filters for photography may involve rotating a polarizer to vary the intensity of light transmission through the filter.

SUMMARY OF THE INVENTION

Various embodiments include a variable optical transmission device including a first uniform polarizer with a first polarization axis, a second uniform polarizer with a second polarization axis, a first patterned wave retarder positioned between the first and second polarizers and including a first plurality of domains configured to vary in at least one of optic axis, thickness, or birefringence, and a second patterned wave retarder positioned between the first and second polarizers and including a second plurality of domains configured to vary in at least one of optic axis, thickness, or birefringence, wherein the first or second wave retarder is configured to be linearly translatable relative to the other wave retarder.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

The accompanying drawings, which are incorporated herein and constitute part of this specification, illustrate example embodiments of the invention, and together with the general description given above and the detailed description

given below, serve to explain the features of the invention. FIG. 1A is a diagram of an embodiment of the invention in a patterned linear polarizer that may be used in various embodiments. FIG. 1B is a diagram of the polarization axes in a patterned circular polarizer that may be used in various embodiments. FIG. 2A is a diagram of an embodiment device for a variable transmission window comprising two patterned linear polarizer aligned to allow light through.

FIG. 2B is a diagram of an embodiment device for a variable transmission window comprising two patterned linear polarizer aligned to not allow light through.

FIG. 2C is a diagram of an embodiment device for a variable transmission window comprising two patterned linear polarizer aligned to allow only some light through.

FIG. 3 is a diagram of two uniform polarizers with orthogonal polarization axes and a wave plate between the two polarizers to reorient light.

2

FIG. 4A is a diagram of an embodiment device for a variable transmission window comprising two uniform polarizers and two patterned wave plates with the wave plates aligned so that light passes through.

FIG. 4B is a diagram of an embodiment device for a variable transmission window comprising two uniform polarizers and two patterned wave plates with the wave plates aligned so that light does not pass through.

FIG. 4C is a diagram of an embodiment device for a variable transmission window comprising two uniform polarizers and two patterned wave plates with the wave plates aligned so that only some light passes through.

FIG. 5 is a diagram of a patterned wave plate suitable for use in various embodiments.

FIG. 6 is a diagram of a patterned wave plate suitable for use in various embodiments. FIGS. 7A-7C are schematics of variable transmission windows with various mechanisms for linearly translating a patterned wave plate relative to another patterned wave plate.

FIGS. 7D and 7E are diagrams illustrating a linear translation in a patterned wave retarder to shift the amount of transmitted light.

FIG. 8A illustrates an alignment layer being rubbed. FIG. 8B illustrates a liquid crystal polymer layer assuming the optic axis variations of the alignment layer under blanket exposure to ultraviolet radiation. FIG. 8C illustrates exposure of an alignment layer under a patterned photomask.

FIG. 9 is a schematic of a saw tooth substrate used for producing variable thickness wave plate suitable for use in various embodiments.

FIG. 10 is a series of photographs showing varying degrees of light transmission in an exemplary embodiment.

DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

The various embodiments will be described in detail with reference to the accompanying drawings. Wherever possible, the same reference numbers will be used throughout the drawings to refer to the same or like parts. References made to particular examples and implementations are for illustrative purposes, and are not intended to limit the scope of the invention or the claims.

The word "plurality" is used herein to mean two or more. For example, a plurality may refer to three or more or various ranges, such as 2-200, 4-200, or 70-180.

The various embodiments include variable light transmission devices configured to provide continuous or nearly continuous variations in light transmission. Alternatively, the devices may switch between discreet states, such as an "on" transmissive state and a lower transmission "off" or "dark" state where the light transmission is below 5%, such as 1% or less. These devices may be used in many different applications, such as windows or shades in buildings, vehicles, or any other place where regulating light, glare, or heat would be useful. Various embodiments take advantage of polarization and wave retarder theory. For example, embodiments may include two or more uniform or patterned light polarizers or wave retarders configured to be linearly translated with respect to each other. Further embodiments may include uniform or patterned polarizers or wave retarders manufactured by any of the various methods disclosed herein. As used herein, the term "light" includes visible radiation (e.g., visible portion of the solar spectrum) as well as infra-red and/or ultraviolet radiation (e.g., IR and UV portions of the solar spectrum).

3

Polarization Theory

An electromagnetic wave includes electric and magnetic field components which oscillate perpendicular to each other and to the direction of wave propagation. A beam of light may be described by its direction of propagation, frequency, and vector amplitude (e.g., electric field vector). The vector amplitude is related to the intensity of the beam and is perpendicular to the wave's direction of travel. Given a direction of wave propagation (e.g., z-axis), there are two independent mutually orthogonal transverse components, the ordinary ray and extraordinary ray (e.g., E_x and E_y), of the electric field vector amplitude.

The plane containing the electric field vector and the direction of propagation is called the plane of polarization. Polarization is a property of waves that describes the orientation of their oscillations.

In unpolarized light, the electric field vectors are randomly oriented about the direction of propagation. Conversely, if the electric field vectors are oriented in the same direction for all waves, the light is regarded as plane polarized. A polarizer is an optical arrangement which produces a beam of polarized light from a beam of unpolarized light. Given a direction of propagation (e.g., z-axis), a polarizer decomposes the electric field vector of a beam of unpolarized light into two independent mutually orthogonal transverse components, the ordinary ray and extraordinary ray, (e.g., E_x and E_y) and preferentially selects one and rejects the other. Depending on the type of polarizer this selection is accomplished by absorption, reflection, refraction, or scattering.

Malus's law gives the intensity (I) produced when a polarizer is placed in front of an incident beam.

$$I = I_0 \cos^2 \theta_0$$

where I_0 is the initial intensity and θ_0 is the angle between the light's initial polarization direction and the axis of the polarizer.

A beam of unpolarized light can be thought of as containing a uniform mixture of linear polarizations at all possible angles. Since the integral over a full cycle of $\cos^2 \theta$ is $1/2$, the intensity of light transmitted through a single polarizer is 50% of the initial intensity. In practice, some light is typically lost in the polarizer and the actual transmission of unpolarized light may be somewhat lower than this.

When two linear polarizers are placed one after another, the mutual angle between their polarizing axes gives the value of θ in Malus' law. The second polarizer is generally referred to as an analyzer. Therefore, when the polarization axes of the polarizer and analyzer are parallel the amount of light transmittance is maximized, and if the two axes are orthogonal the polarizers are crossed and in theory no light is transmitted. Furthermore, rotation of one polarizer with respect to the other will result in partial light blockage over the range of transmittances between that minimum and maximum in accordance with Malus's law.

Wave Retarder Theory

Another useful tool for manipulating the polarization of light is a wave retarder, also known as a wave plate. A wave plate or retarder is a birefringent material that alters the polarization state of a wave travelling through it (i.e., reorienting the polarization axis of the wave).

Birefringence, or double refraction, is the splitting of a beam of unpolarized light into two rays. Most optical materials are isotropic, i.e. having the same optical properties (and therefore one index of refraction) regardless of the direction of propagation through the material. In anisotropic materials either the separation between neighboring atomic structural units is different in different directions or the bonds tying

such units together have different characteristics in different directions. As a result the velocity of a wave is a function of a displacement direction. Polarized light propagating through such materials will experience a different index of refraction for different directions of propagation and polarization orientations. This phenomenon is known as birefringence. Within the material there exists an optic axis with a unique optical property such that light propagating along it encounters only one index of refraction regardless of its polarization direction. Birefringent materials are either uniaxial or biaxial, depending upon whether they have one optic axis or two. Although uniaxial materials are discussed in the example embodiments below for the sake of simplicity, various embodiments may include birefringent materials with two or more optic axes.

For each propagation direction with linearly polarized electromagnetic waves, there are two principal displacement directions for which the velocity is different. These polarization directions are at right angles. When the plane of polarization of a light beam does not coincide with one of the two principal displacement directions, the light vector will be split into two components corresponding to the two directions. The ordinary ray is always polarized with its electric field vector perpendicular to the optic axis and encountering the ordinary refractive index (n_o) travels with the same speed in all directions obeying Snell's law of refraction. The extraordinary wave is always polarized with its electric field vector parallel to the alignment axis, encounters the extraordinary refractive index (n_e), does not propagate perpendicularly to its wavefront, and in general does not obey Snell's law. The separation between the two rays depends upon the direction in which the light travels through the crystal relative to that of the optic axis of the crystal. Quantitatively, the birefringence value of a material is defined as $(n_e - n_o)$.

If $n_e > n_o$, the velocity of propagation of the extraordinary wave is greater than that of the ordinary wave and birefringent material is said to be positive. The birefringent material is said to be negative if the reverse is true. Often the axis which propagates with the highest index value is called the slow axis.

Simply stated, a birefringent material resolves light into two components by causing one type of vibration to travel one path and the other type to travel another path at different velocities. Consequently the components emerge from the birefringent material differing in phase and the polarization state of the incident light is changed.

The resulting phase difference or retardance (F) for extraordinary and ordinary rays is given by the equation

$$F = 2\pi d(n_e - n_o)/\lambda$$

where d indicates the material thickness, λ the wavelength, and n_e and n_o are the refraction indices of extraordinary and ordinary rays, respectively.

As discussed previously light does not transmit when the polarization axis of the polarizer and the polarization axis of the analyzer are orthogonal. However, inserting a wave plate between a polarizer and an analyzer changes the state of the polarized light and may cause the light to pass through. When the optic axis of a wave plate is placed between crossed polarizers at an angle of θ to the input polarizer's axis, the intensity of the injected light is expressed as

$$I = I_0 \sin^2 2\theta \sin^2(F/2)$$

The amount of amount of light transmitted is determined by both (1) the angle between the optic axis of the incoming polarizer and the optic axis of the wave plate and (2) the

4

retardance. Moreover, the retardance is determined by the thickness of the birefringent material and the birefringence of the wave plate ($n_e - n_o$).

If the retardance corresponds to π radians (or 180°), then it is called a half-wave plate. A retardation of $\pi/2$ will cause the polarization to rotate to twice the angle of the half wave plate's fast axis with the input polarization plane. The amount of light transmitted is determined by the angle between the optic axis of the incoming polarizer and half wave plate. Placing the half wave plate's optic axis at 45° to the incoming polarizer achieves a maximum transmission. Aligning the optic axis of the half wave plate with either the input or output polarizers optic axes gives the minimum transmission. Furthermore, rotation of the optic axis of the half wave plate results in partial light blockage over the range of transmittances between that minimum and maximum in accordance with Malus's law.

Various embodiments may also include quarter-wave plates. Quarter-wave plates have a retardation of $\pi/2$ radians (or 90°) or quarter-wavelength phase shift and can change linearly polarized light into circularly polarized and back again.

It is also possible to vary the light transmission by adjusting the retardance. By aligning the fast axis of the variable retarder at a predetermined angle, such as at 45° or another suitable angle relative to the input polarizer, and modulating the retardance between half wave and full wave, transmission varies between maximum and minimum. This variation in retardance can be achieved by varying the thickness of the birefringent material or the birefringence of the film ($n_e - n_o$). Variable Transmission Windows

The various embodiments include variable transmission windows adjustable through linearly translating a patterned polarizer or a patterned wave plate. The patterned polarizer or wave plate may move relative to another patterned polarizer or wave plate. In some embodiments, polarizers and wave plates may be joined together in panels to move together relative to other polarizers or wave plates. For example, some embodiments may include a first panel with a first uniform linear polarizer and a first wave plate physically coupled together that may linearly translate relative to a second panel with a second uniform linear polarizer physically coupled with a second wave plate. Alternatively, one or both wave plates may be unconnected to panels or polarizers.

Embodiments may include various types of polarizers. Some embodiments may incorporate uniform polarizers with a single uniform polarization axis. These polarizers may include iodine dyed polarizers, wire grid polarizers, coatable polarizers, reflective polarizers, or various absorptive polarizers. Alternate embodiments may include patterned polarizers with multiple polarization axes. For these embodiments with patterned polarizers, the wave retarders are not required.

FIG. 1A illustrates a patterned polarizer that may be used in various embodiments. The patterned polarizer 102 may be divided into several domains 104 with different polarization axes. The axes of the domains 104 in FIG. 1A are indicated by arrows. The polarization axis may be uniform within each domain but vary between adjacent domains. These polarization axes may be selected to gradually shift across adjacent domains 104 as shown in FIG. 1A. These domains 104 may continue and repeat as much as needed as indicated by the dots above and below the patterned polarizer 102. The patterned polarizer 102 may vary in size. Each domain 104 may be strip shaped and may be 1-10 mm, such as around 2 mm wide in some embodiments, but this width may vary.

FIG. 1A illustrates a patterned linear polarizer. Alternatively, a patterned circular polarizer 106 may include circular

6

polarization domains 108 as shown in FIG. 1B. Similar to the patterned linear polarizer 102, the patterned circular polarizer 106 may vary in size and include polarization axes that gradually shift across adjacent domains 108. The following examples are shown with linear polarizers for the sake of simplicity, but further embodiments may include patterned circular polarizers 106.

In various embodiments, the polarization axis of two linear polarizers may be patterned in such a way that linear displacement of one polarizer with respect to the other produces a continuous variation of light transmission similar to what occurs when two uniform linear polarizers are rotated with respect to each other. The translation of one patterned polarizer with respect to the other changes the mutual angle between their polarizing axes which gives the value of θ in Malus' law and therefore determines the light transmittance. The light transmittance may vary based on how the domains of patterned polarizers are aligned, which in turn may vary based on how much the polarizers are linearly translated relative to one another.

FIG. 2A illustrates an embodiment arrangement of two patterned linear polarizers 102a and 102b (the second polarizer 102b may also be called an analyzer as discussed above). The two patterned linear polarizers 102a and 102b include domains 104a-b with different polarization axes. Light may propagate in the z axis and pass through the polarizers from left to right along the z axis shown beneath. Light 202 may originally be unpolarized and contain components in the x and y axes. The plus signs of the original light 202 in FIG. 2A symbolize the x and y components for illustration only, but the light is actually moving in the z axis so these components would not be seen this way from this point of view. The light between the polarizers 204 and the light after both polarizers 206 are also represented in FIG. 2A by symbols for their x and y polarization orientations but may also move in the z axis.

The first patterned polarizer 102a may include polarization axes similar to the polarizer 102 in FIG. 1A. These axes are represented in the x and y axes as in FIG. 1A, but the polarizer 102A is rotated 90 degrees into the plane perpendicular to the z axis to allow light to travel through along the z axis. The second polarizer 102b may be similarly arranged. The domains 104a-b may repeat any number of times but only a single series is shown for simplicity. The series shown may change as a polarizer is shifted up or down as in FIGS. 2B and 2C.

As light 202 passes through the first polarizer 102a, the light may be polarized as components of the light 202 are blocked depending on the polarization axis of whichever domain the light passes through. The result may be variably polarized light 204. For example, the top domain shown in polarizer 102a (i.e., domain 104a) has a polarization orientation in the y axis and therefore blocks components in the x axis. Accordingly, the variably polarized light 204 following domain 104a of the polarizer is stripped of x components. The other domains 104b-h may block x and y components of incoming light 202 as well depending on each polarization axis. Thus, the variably polarized light 204 may vary according to the domains of the polarizer 102a. The overall intensity of the variably polarized light 204 may be around half or less than the original light as discussed above with regard to Malus's law and polarization.

The variably polarized light 204 may pass through the second polarizer 102b. In FIG. 2A, the second polarizer 102b is aligned such that each domain has the same polarization axis as the corresponding domains in the first polarizer 102a (e.g., domain 104a of the first polarizer 102a is aligned with domain 104a of the second polarizer 102b, domain 104a-b of

the first polarizer 102a is aligned with domain 104b of the second polarizer 102b, etc.). Each level of the variably polarized light 204 may pass through a domain with the same polarization axis as passed through in the first polarizer 102a. Passing through a second polarizer with a parallel polarization axis may not block any additional light according to Malus's law. The final light 206 may therefore be the same (or almost the same) as the variably polarized light 204. This corresponds to the clear state of a variable optical transmission device.

FIG. 2B illustrates a similar embodiment as FIG. 2A except that the second polarizer 102b is linearly translated relative to the first polarizer 102a such that domains with orthogonal polarization axes are aligned. For example, the second polarizer may have been shifted up or down a distance of several domains widths (e.g., domain 104a of the first polarizer 102a is aligned with domain 104c of the second polarizer 102b, domain 104b of the first polarizer 102a is aligned with domain 104d of the second polarizer 102b, etc.). Each level of the variably polarized light 204 may strike a domain whose polarization axis is orthogonal to the polarization axis of the domain already passed through in the first polarizer 102a. The result may be that no light 206 (or nearly none) passes through the second polarizer. This corresponds to the dark state of a variable optical transmission device.

FIG. 2C illustrates another similar embodiment, except that the second polarizer 102b is linearly translated such that the corresponding domains of the first and second polarizers are neither parallel nor orthogonal. The result is that some light 206 passes through the second polarizer 102b. Therefore by linearly translating a polarizer (i.e. moving one of the polarizers up or down) the embodiment allows varying the intensity of light transmitted through the polarizers. Further, the light transmitted through may be continuously varied based on the amount of translation. The polarizers may be translated to various other intermediate positions relative to one another to continuously vary the intensity of light transmitted. This corresponds to the intermediate states of a variable optical transmission device.

Alternate embodiments may involve wave retarders. FIG. 3 illustrates a wave retarder 306 between a first polarizer 302 and a second polarizer 304. Unlike the previous figures, the first and second polarizers may be uniform with a single polarization axis (indicated with a solid line with arrows on both ends) throughout the polarizer rather than patterned with domains of different polarization axes. If the polarization axis of the first polarizer is orthogonal to the polarization axis of the second polarizer, normally no light would pass through according to Malus's law. However, FIG. 3 illustrates that a wave retarder 306 may lead to a different result.

Unpolarized light 312, shown with symbols similar to light 202, may propagate through a first uniform polarizer 302. The result may be polarized light 314 in the y-axis. Polarized light 314 may pass through a wave retarder 306. The wave retarder 306 may be made of birefringent material and therefore retard light depending on the orientation of the optic axis or axes (as indicated with a dashed line with arrows on both ends). The result is that the polarized light 314 may be reoriented into light 316 with polarization in a different direction. For example, if the wave retarder 306 is a half wave plate (i.e., retardance of π) and the polarized light 314 has a polarization axis at an angle of 45 degrees (i.e., 0) relative to the optic axis (i.e., the dashed lines), then the reoriented light 316 will have a new polarization axis at 90 degrees (i.e., 2π) relative to the original polarization axis of light 314. Reoriented light 316 may pass through the second polarizer 304. If the polarization

of the reoriented light 316 is parallel with the polarization axis of the second uniform polarizer 304, light 318 may pass through.

In order to continuously vary the amount of light transmitted, various embodiments may rely on two patterned wave retarders placed in between two uniform linear polarizers to control the variation of light transmission. A patterned wave retarder may have several domains that reorient light by varying amounts. The translation of one patterned retarder with respect to the other may change the polarization state of the light and control how much light will pass through the second polarizer.

Various different types of wave retarders may be used in embodiments. Wave retarders may be patterned to include several domains with different characteristics. When a wave retarder is placed between two crossed uniform linear polarizers (such as shown in FIG. 3) the amount of light transmitted is determined by both (1) the angle between the polarization axis of the first polarizer and the optic axis of the wave retarder and (2) the retardance. Moreover, the retardance is determined by the thickness of the birefringent material and the birefringence of the material (the difference between the refraction indices of extraordinary and ordinary rays, $n_e - n_o$). As a result, a patterned retarder can be constructed by modulating any one or more of these three parameters.

In several embodiments, the wave retarder may be patterned by varying the orientation of the optic axis in different domains of the wave retarder. For retarders that will result in a specified number of discrete transmission levels, the two patterned retarders may comprise a specified number of retarding areas or domains. These retarding areas may be of equal width on each retarder. The orientation of the optic axis of the wave retarder may differ from the orientation of the optic axis of an adjacent area by a standard angular difference (e.g., 0, 1 to 30 degrees, such as 2-10 degrees). Alternatively, the wave retarders may be configured to provide a smooth, continuous change in light transmission when linearly translating one retarder or panel with a retarder relative to a second retarder or panel. One panel may move while the other is stationary or both panels may move during the translation.

FIG. 4A illustrates an example embodiment with two patterned wave retarders 402a and 402b between two uniform crossed polarizers 302 and 304. Uncrossed polarizers may be used in alternate embodiments, but the dark and light states will be reversed. The two patterned wave retarders 402a and 402b shown in this embodiment include domains 404 a-h which vary in optic axis orientation (as shown by the variation in orientation of the dotted lines in domains 404a-h). However alternate embodiments may vary retardance by varying thickness or birefringence of domains.

Unpolarized light 412 may pass through a first uniform polarizer 302 and become polarized light 414 in the y direction. The polarized light 414 may pass through a first patterned wave retarder 402a and emerge as variably reoriented light 416. The variably reoriented light 416 may pass through a second patterned wave retarder 402b and become uniformly reoriented light 418a. The uniformly reoriented light 418a may have a common polarization parallel to the polarization axis of the second uniform polarizer 304 such that the reoriented light 418a may pass through the second uniform polarizer 304. The light 420a passing through the second polarizer 304 may be around the same intensity or less as the polarized light 414. This corresponds to the clear state of a variable optical transmission device.

FIG. 4B illustrates an example embodiment where the second patterned wave retarder 402b is linearly translated (i.e. shifted up or down) relative to the first patterned wave

retarder 402a. Similar to FIG. 4A, unpolarized light 412 may pass through the first uniform polarizer 302 and become polarized light 414. The polarized light 414 may pass through the first patterned wave retarder 402a and emerge as variably reoriented light 416. The variably reoriented light 416 may pass through a second patterned wave retarder 402b and become reoriented light 418b. However, unlike the reoriented light 418a in FIG. 4A, the reoriented light 418b after the linearly translated patterned wave retarder 402b may be polarized orthogonal to the polarization axis of the second polarizer 304 and therefore, there may be no light 420b transmitted through the embodiment. This corresponds to the dark state of a variable optical transmission device.

FIG. 4C illustrates another example embodiment when the second patterned wave retarder 402b is linearly translated (i.e. shifted up or down) relative to the first patterned wave retarder 402a. The second patterned wave retarder 402b may be translated half as much as the second patterned wave retarder in FIG. 4B. The result of less translation is that some of the light shines through the second polarizer. Unpolarized light 412 may pass through the first uniform polarizer 302 and become polarized light 414. The polarized light 414 may pass through the first patterned wave retarder 402a and emerge as variably reoriented light 416. The variably reoriented light 416 may pass through a second patterned wave retarder 402b and become reoriented light 418c. The polarization of reoriented light 418c may be neither parallel nor orthogonal to the polarization axis of the second uniform polarizer 304, and therefore some but not all of the light passes through 420c. This corresponds to the intermediate states of a variable optical transmission device.

Similar to the translation of patterned polarizers, the light transmitted through may be continuously varied based on the amount of relative translation between wave retarders. The patterned wave retarders may be translated relative to each other to various intermediate positions to continuously vary the intensity of light transmitted. Relative linear translation of the patterned wave retarders changes the alignment of the domains 404a-h, which changes the polarization of light 418 and changes how much light passes through the second polarizer 304.

The patterned wave plates of further embodiments may include more domains than those shown in FIGS. 4A-4C. For example, FIG. 5 illustrates an example patterned wave plate 502 with 32 domains numbered 1-32. The patterned half wave plate 502 of FIG. 5 consists of 32 equal width domains over which the orientation of the optic axis of the retarder changes by a step size of 5.625° between adjacent domains (e.g., 180° total, as shown by the lines). Alternate embodiments may include wave plates with various other numbers of domains and angle step sizes.

The patterned wave retarders of FIGS. 4A-4C and FIG. 5 illustrate that a gradually changing optic axis orientation may provide an arc or U shaped pattern across domains. This pattern may be repeated as the domains repeat. FIG. 6 illustrates an example patterned wave plate 602 with several sets 604 of the U shape pattern across many domains. Each set 604 includes the 32 domains shown in FIG. 5.

Linear translation of the patterned polarizers or wave retarders discussed above may be accomplished in various ways. Because the relative position determines the transmittance, one or both patterned polarizers or wave plates may be moved. In alternate embodiments, the patterned polarizers or wave retarders may be affixed to a sliding mechanism, such as along rails to guide the patterned polarizers or wave retarders relative to one another. Various other mechanical devices may be used to translate the patterned polarizers or wave retarders.

In some embodiments, translation of the patterned polarizers or wave retarders may be electronically controlled, such as either being controlled automatically by a computer or various logic circuits or manually by instructions from a user (e.g., a user flipping a dimming switch). FIG. 7A illustrates an embodiment variable light transmission window with such a mechanical device. Plates 706 of glass or another transparent material may be fixed within a frame 708 in a wall or other surface. Between the window plates 706, two polarizers 704 may also be fixed in the frame. Two wave plates 702a and 702b may be placed between the polarizers 704. In FIG. 7A, one wave plate 702a is fixed to the frame 708 while a second wave plate 702a is coupled with a mechanism 710 at one end. The other end of the second wave plate 702a may be movably supported by frame 708. Mechanism 710 may include various devices for linearly shifting the wave plate 702a relative to the other wave plate 702b. For example, mechanism 710 may include any of various motorized, electro-mechanical, magnetic, or piezoelectric devices or any other device that can convert an electric signal to a linear translation.

In alternate embodiments, the patterned polarizers or wave retarders may be rolled around a rotating support at an edge to move the patterned polarizers or wave retarders up or down. These polarizers or wave retarder may be rolled up or down to linearly translate. FIG. 7B illustrates an embodiment variable light transmission window with such a rotating support. Plates 706 of glass or another transparent material may be fixed within a frame 708 in a wall or other surface. Between the window plates 706, two polarizers 704 may also be fixed in the frame. Two wave plates 702c and 702d may be placed between the polarizers 704. One wave plate 702c is fixed to the frame 708 while a second wave plate 702c is coupled at each end with rotating supports 712. These rotating supports 712 may spool a flexible wave plate 702c up or down relative to the other wave plate. The rotating supports 712 may be turned manually, (e.g., a user turning a knob) or automatically as described with regard to FIG. 7A.

FIG. 7C shows an alternate embodiment in which both wave plates 702d and 702e are simultaneously moved by rotating devices 714. The wave plates 702d and 702e may be part of one continuous wave plate film or web which is mounted around the rotating spools or reels 714. These rotating devices 714 may also be rotated manually or automatically as described above.

FIGS. 7D and 7E illustrate a linear translation of a first patterned wave retarder 702a with respect to a second patterned wave retarder 702b. The wave retarders 702a and 702b may be in between two crossed uniform polarizers 704. FIG. 7D illustrates a translated retarder 702a allowing light to be transmitted. As shown, the wave retarder 702a may be linearly translated (e.g., vertically as shown in FIG. 7D) by a desired amount which depends on the size of the domains with respect to the other wave retarder 702b. For example, the translation distance may be 5 to 50 mm, such as 13 mm shown in the figure, but this distance may vary depending on the width and number of the domains. FIG. 7E shows the retarder 702a linearly translated back (e.g., down vertically) and preventing light from being transmitted through the device. While vertical linear translation is shown, it should be noted that the linear translation may be in a horizontal direction or any other direction between vertical and horizontal with respect to the ground based on the positioning of the components of the device.

The embodiments shown in the figures include gaps between polarizers and wave retarders, but this could be avoided in some embodiments. For example, wave retarders may be laminated or affixed to polarizers. Some embodi-

11

ments may include panels which may contain a polarizer and/or a wave plate. These panels may be translated relative to one another. In further embodiments, polarizers or panels may remain stationary while one or more wave retarders between the polarizers or panels are linearly translated.

Various embodiments may include patterned wave retarders or polarizers produced by any of several different methods. In one method of production, stretched polymer retardance film may be cut in various size strips at different orientations to create multiple strips of rotating axis retardance filter which can be laminated to substrates (or polarizers) to create a patterned retardance film.

In another method of production, the change in orientation of the optic axis of the retarder may be achieved through mechanical rubbing of alignment layers. As shown in FIG. 8A, a conventional alignment layer **804** may be deposited on a substrate **802**. A mask **805** may be placed on the alignment layer and then rubbed with a buffing wheel **810** to induce a particular alignment in the portions of the layer **804** exposed through openings **806** in the mask **805**. The sample may then be rubbed in a different direction using a different mask. This method may also be performed without the use of a mask. After the mask **805** is removed, a liquid crystal polymer **806** may be deposited on the surface of the layer **804** and blanket exposed to radiation (e.g., ultraviolet radiation) **808** to create a patterned retarder in layer **806** following the rubbing patterns in layer **804** as shown in FIG. 8B. The liquid crystal polymer **806** adopts the orientation rubbed into the alignment layer **806** and becomes a patterned wave (i.e., retarder) plate.

In another method of production, the change in orientation of the optic axis of the retarder may be achieved through photopatterned surface alignment of liquid crystal polymers. Alignment layers provide a well-defined orientation of liquid crystal (LC) molecules in contact with the aligning surface. A photoligning layer is oriented solely by light exposure, i.e. without any mechanical contact and consequently enables an arbitrary orientation to be transferred to the LC molecules. Exposing a substrate coated with specialized photo-reactive polymers (azo-dyes, Rolie Research Linear Photopolymers) to linearly polarized UV light (LPUV) induces preferential alignment direction in the direction of polarization and subsequent alignment of LC molecules coming in contact with the photoactive alignment layer. A spatial variation in alignment direction can be induced by area-selectively exposing the alignment layer to differently conditioned LPUV light i.e. with varying intensities, incidence angles, or polarization directions. In a second step, the anisotropic LPP layer is coated with a formulation of the liquid crystal polymer (LCP) containing also a photoinitiator. After aligning the LCP by the subject LPP layer, the film is crosslinked with uprized UV light, providing a permanently oriented patterned retarder.

There are different ways to generate alignment patterns in LPP layers. Among them are the use of photomasks, alignment masters, laser scanning and synchronized rotation and/or movement of the UV-polarizer and substrate during UV-exposure. One option for creating the required complex alignment pattern in a single exposure step is the use of an alignment master. The function of an alignment master is to provide LPUV light with a spatial variation of the polarization plane, which directly generates an alignment pattern when it hits the LPP layer.

An example of an alignment layer being prepared with UV light through a photomask is shown in FIG. 8C. The alignment layer **804** may be deposited on a substrate **802**. UV radiation **808** may pass through a polarizer **817** to become

polarized UV radiation. The resulting polarized UV radiation may then pass through a patterned photomask **815** to selectively expose portions of the alignment layer **804**. This creates patterns in the exposed alignment layer **804**. This process may be repeated by moving the photomask **815** with respect to the alignment layer **804** and/or exposing the alignment layer **804** through plural photomasks **815** to pattern the whole alignment layer **804**. A liquid crystal polymer layer is then deposited on the patterned alignment layer **804** and blanket exposed to polymerize the liquid crystal polymer layer. The liquid crystal polymer layer adopts the orientation patterned into the alignment layer **806** and becomes a patterned wave (i.e., retarder) plate (similar to process shown in FIG. 8B).

In another method of production, the change in orientation of the optic axis of the retarder is achieved through liquid crystal polymer patterning on a grating structure. Patterned retarders may also be created using grating-like sawtooth surfaces patterned on substrates. These grating structures are created by depositing photoresist on a flat substrate and exposing through an amplitude photomask. Rather than normal shadow photomasks, amplitude photomasks are gradients of transmission yielding smooth features as opposed to discrete regions. Exposing photoresist through an amplitude mask and developing creates a sawtooth pattern on the substrate. Coating a liquid crystal polymer on this substrate creates alternating liquid crystal polymer alignment and thus alternating retardance values according to the position on the sawtooth.

In another method of production, the change in orientation of the optic axis of the retarder is achieved through printable self-assembling organics/lyotropic liquid crystals. Organic molecules exhibiting self-assembly behavior exhibit birefringent properties necessary in retarders. These self-assembling fluids can be coated or printed onto substrates to form a retardance filter cheaper than a stretched polymer retardance film. Alignment of the long axis of the oblong (anisotropic) molecules is determined by the pressure induced through a slot-die printing process. Different orientations of the optic axis of the retarder can be achieved by varying the direction of shear force.

In various embodiments, the wave retarder may be patterned by changing the thickness of the birefringent material. For a film that will result in a specified number of discrete transmission levels the two patterned retarders will comprise a specified number of discrete transmission levels the two patterned retarders will comprise a specified number of retarding areas of equal width. The thickness of the wave retarder differs from the thickness of an adjacent area by a standard discrete amount. It is also possible to produce a film that will result in a smooth, continuous change in light transmission when linearly translating one panel with respect to a second panel. The variable retarders patterned by changing the thickness of the birefringent material may be produced by the following methods or by similar methods.

In one method of production, the variation in retardance is achieved through thickness patterning of liquid crystal polymer retardance layers. A liquid crystal polymer is wet coated on a substrate with uniform alignment layer coated on the substrate. A UV photomask exposure is used to photopolymerize specific regions into a planar alignment. The substrate is then treated with tetrahydrofuran (or other developer chemical) to dissolve liquid crystal polymer that has not been crosslinked and polymerized. This results in regions with no retardance and regions of retardance dependent on liquid crystal polymer birefringence and layer thickness.

In another method of production, the wave retarder is patterned by changing the thickness of the birefringent material through replicate mold liquid crystal polymer printing.

12

13

PDMS (polydimethylsiloxane) polymer mold stamps can be created using a master photolithographically produced polymer mold and subsequently used to stamp patterns in polymeric liquid crystals. The liquid crystal polymer is cured with the stamp imprinted into the material leaving a residual patterned liquid crystal retarder. Alignment is generated through the interaction of liquid crystal polymer with treated imprinting PDMS surface such that additional alignment layers are not necessary.

In another method of production, the wave retarder is patterned by changing the thickness of the birefringent material through coating the material on a substrate with varying surface height. To vary the surface height, a micro-embossing method is suggested. This method consists of a micro patterned stamp and moldable non-birefringent transparent substrate such as polyethylene (PET) polyvinyl alcohol (PVA) or polyimide. This patterned substrate is then peeled from the mold and coated with a printable polymer liquid crystal or other birefringent material.

An example mold for the previous methods is shown in FIG. 9. A stamp or substrate **902** may vary in height in various shapes. The substrate **902** in FIG. 9 illustrates an example sawtooth shape. Liquid crystal polymer **904** may be layered on top of the mold **902** to assume varying thickness and retardance.

In several embodiments the wave retarder is patterned by changing the birefringence. For a film that will result in a specified number of discrete transmission levels the two patterned retarders will comprise a specified number of retarding areas of equal width. The birefringence of the wave retarder differs from the birefringence of an adjacent area by a standard discrete amount. It is also possible to produce a film that will result in a smooth, continuous change in light transmission when linearly translating one panel with respect to a second panel. The variable retarders patterned by changing the birefringence may be produced by the following methods or by similar methods.

In one method of production the wave retarder is patterned by changing the birefringence through thermal patterning of liquid crystal polymers. Patterned retarders can be created using liquid crystal polymers and a substrate coated with standard uniform alignment layer. A liquid crystal acrylate is wet coated onto the substrate and orients in the planar configuration along the alignment layer. A photomask is created and the liquid crystal polymer is exposed to UV light to crosslink and fix the planar alignment in selected regions. The photomask is removed and the sample is heated above the liquid crystal polymer clearing point (creating an isotropic or random alignment condition). The sample is then blanket exposed to fix the random alignment in regions not previously polymerized in the linear condition. Both exposures are performed in a nitrogen environment to minimize polymerization in absence of UV exposure and cross polymerization outside of photomask boundaries.

In another method of production, the wave retarder is patterned by changing the birefringence through photopatterning of liquid crystal polymer and photoactive isomers. Rather than removing liquid crystal alignment by increasing temperature to the isotropic as in the above method, mixtures of liquid crystal polymer and photoactive isomers can be used to modify the isotropic temperature through exposure. The configuration is similar in that a liquid crystal polymer is coated on a substrate with a linear alignment layer already deposited. The liquid crystal polymer mixture is then exposed through a photomask, but instead of polymerizing the liquid crystal polymer in these regions, it changes the isotropic temperature through an isomerization of one component of

14

the liquid crystal polymer mixture. The system is designed such that, on UV exposure, the isotropic transition temperature decreases below room temperature. As a result, regions exposed in the first exposure step have an isotropic alignment while regions not exposed remain in the linear configuration. A second blanket exposure is then performed to solidify the film.

In another method of production, the wave retarder is patterned by changing the birefringence through mixing photo-reactive alignment layers (e.g., Rolie LPP) directly into the liquid crystal polymer mixtures (as opposed to coating on the surface and patterning before applying the liquid crystal polymer). In this technique, the alignment of the liquid crystal polymer is controlled throughout the volume of the liquid crystal polymer mixture and not just at the surface. This mixture is applied to a substrate with uniform planar alignment layer. The sample is UV photomasked exposed in one region with one UV polarization and another region with a different polarization. The different polarization exposures create a helical or twisted liquid crystal polymer structure with different chirality (left-handed, right-handed), which in turn causes different amounts of retardance.

In another method of production, the wave retarder is patterned by changing the birefringence through photolignated cholesteric liquid crystals. Cholesteric liquid crystals (CLC's) have a helical or twisted structure similar to that of DNA. Certain CLC's can be engineered such that the amount of chirality (or helical twisting power) can be modulated through UV light exposure dose, e.g., long exposure to UV can modulate the twist and thus the retardance of a CLC. Patterned retardance layers may be formed through exposure of different domains of CLC to different dosage amounts of UV light through multiple photomasks.

In another method of production, the wave retarder is patterned by changing the birefringence through laser printing polymer stretched retarders. Birefringence is introduced into polymer films through stretching of the polymer inducing shape anisotropy and thus birefringence/retardance. Heating or chemical treatment of these polymer films can break stressed polymeric bonds, creating a random alignment of monomers in a localized area. This can be utilized to create patterned retardance films through a laser printing process provided that the laser is well controlled to deliver an appropriate dosage. A laser is scanned across the sample and removes the retardance in printed stripes through local heating.

In another method of production, the wave retarder is patterned by changing the birefringence through coating strips of different liquid crystal materials with varying birefringence. In this method a slot die coater would deposit different liquid crystal materials in different areas across the substrate.

It is also possible that a combination of any of the above specified methods or similar methods may be used to create the patterned retarders.

FIG. 10 is a series of digital images demonstrating an exemplary embodiment of light passing through the variable transmission device of the embodiments of the invention. Images (a)-(h) show the variation of light transmission as wave retarders are linearly translated with respect to one another. Each image contains a central portion where variable transmission device is located. Image (a) shows a 38% transmission device of light through the center portion with objects clearly visible in the background. The central portion in each image gets progressively darker (i.e., 35%, 30%, 20%, 13%, 7%, 4% transmission in the center of images (b) through (g), respectively), until image (h) shows a 1% light transmission through the center portion.

The preceding description of the disclosed aspects is provided to enable any person skilled in the art to make or use the present invention. Various modifications to these aspects will be readily apparent to those skilled in the art, and the generic principles defined herein may be applied to other aspects without departing from the scope of the invention. Thus, the present invention is not intended to be limited to the aspects shown herein but is to be accorded the widest scope consistent with the principles and novel features disclosed herein.

What is claimed is:

1. A variable transmission device, comprising:
a first uniform polarizer with a first polarization axis;
a second uniform polarizer with a second polarization axis;
a first patterned wave retarder positioned between the first and second polarizers and comprising a first plurality of domains configured to vary in at least one of optic axis, thickness, or birefringence; and
a second patterned wave retarder positioned between the first and second polarizers and comprising a second plurality of domains configured to vary in at least one of optic axis, thickness, or birefringence,
wherein the first or second wave retarder is configured to be linearly translatable relative to the other one of the first or second wave retarder.
2. The variable transmission device of claim 1, wherein the first and second plurality of domains are configured to vary in optic axis.
3. The variable transmission device of claim 2, wherein the first and second wave retarders comprise patterned liquid crystal polymer.
4. The variable transmission device of claim 2, wherein the first and second wave retarders comprise stretched polymer films.
5. The variable transmission device of claim 2, wherein the first and second wave retarders comprise printed self-assembling liquid crystals.
6. The variable transmission device of claim 1, wherein the first and second plurality of domains comprise half-wave plates or quarter-wave plates.
7. The variable transmission device of claim 1, wherein the first and second wave retarders comprise patterned liquid crystal polymer or molded liquid crystal polymer configured to vary in thickness.
8. The variable transmission device of claim 1, wherein the first and second plurality of domains are configured to vary in retardance.
9. The variable transmission device of claim 1, wherein the first and second wave retarders comprise thermally treated liquid crystal polymer, helical liquid crystal polymer, twisted liquid crystal polymer, or cholesteric liquid crystals.
10. The variable transmission device of claim 1, wherein the first polarization axis and second polarization axis are parallel.
11. The variable transmission device of claim 1, wherein the first polarization axis and second polarization axis are not parallel.

12. The variable transmission device of claim 1, wherein the first and second polarizers are one of iodine doped polarizers, wire grid polarizers, costable polarizers, or reflective polarizers.

13. The variable transmission device of claim 1, wherein the first patterned wave retarder is connected to the first uniform polarizer in a first panel and the second patterned wave retarder is configured to linearly translate with respect to the first patterned wave retarder.

14. The variable transmission device of claim 1, wherein the first patterned wave retarder is connected to the first uniform polarizer in a first panel, the second patterned wave retarder is connected to the second uniform polarizer in a second panel, and the first panel is configured to linearly translate with respect to the second panel.

15. The variable transmission device of claim 1, wherein the first patterned wave retarder is connected to a rotating support.

16. The variable transmission device of claim 1, wherein the device is located between first and second window plates set into a wall.

17. A method of operating the device of claim 1, the method comprising:

- moving the first patterned wave retarder with respect to the second patterned wave retarder such that less light is transmitted through the variable optical transmission device; and
- moving the first patterned wave retarder with respect to the second patterned wave retarder such that more light is transmitted through the variable optical transmission device.

18. A variable transmission device, comprising:

- a first polarizer; and
 - a second polarizer;
 - a first patterned wave retarder positioned between the first and second polarizers and comprising a first plurality of domains configured to vary in orientation of optic axis; and
 - a second patterned wave retarder positioned between the first and second polarizers and comprising a second plurality of domains configured to vary in orientation of optic axis,
- wherein the first or second wave retarder is configured to be linearly translatable relative to the other one of the first or second wave retarder.

19. The variable transmission device of claim 18, wherein: the first polarizer is a uniform linear with a first polarization axis;

- the second polarizer is a uniform linear with a second polarization axis;
- the first polarization axis and the second polarization axis are not parallel; and
- the device is located between first and second window plates set into a wall.

* * * * *



TITLE

Mechanical Translation of a Variable Radiation Transmission Device

CROSS-REFERENCE TO RELATED APPLICATIONS

[0001] This application claim the benefit of priority to U.S. Provisional Patent Application Serial No. 61/639,473 titled "Methods of Mechanical Translation for Variable Radiation Transmission Device" filed April 27, 2012, U.S. Provisional Patent Application Serial No. 61/639,433 titled "Variable Radiation Transmission Device with Radiation Blocking Domains" filed April 27, 2012, and U.S. Provisional Patent Application Serial No. 61/589,545 titled "Variable Heat Transmission Window" filed January 23, 2012, each of which is hereby incorporated herein by reference in its entirety.

BACKGROUND

[0002] A polarizer is a device that transforms unpolarized or mixed polarization electromagnetic waves into polarized waves. Polarizers have found a wide array of practical applications such as in photographic filters, microscopes, optoelectronics, lasers, and liquid crystal displays. Wave plates or retarders are optical devices that can change the polarization of electromagnetic waves. Wave plates are often used to control the polarization of waves and therefore are involved in many of the same applications as polarizers. Many prior art devices rotate polarizers or wave plates relative to one another to vary the angle between polarization or optic axes. For example, polarization filters for photography may involve rotating a polarizer to vary the intensity of light transmission through the filter.

SUMMARY

[0003] Various embodiments include a variable transmission device including a first uniform polarizer with a first polarization axis, a second uniform polarizer with a second polarization axis, a first patterned wave retarder positioned between the first and second polarizers, a second patterned wave retarder positioned between the first and second polarizers, and a mechanical device configured to linearly translate the first wave retarder relative to the second wave retarder.

(51) International Patent Classification:

G02F 1/00 (2006.01)

(74) Agents: RADOMSKY, Leon et al; The Marbury Law Group, PLLC, 11800 Sunrise Valley Drive, 15th Floor, Reston, VA 20191 (US).

(21) International Application Number:

PCT/US2013/022453

(22) International Filing Date:

22 January 2013 (22.01.2013)

(25) Filing Language:

English

(26) Publication Language:

English

(30) Priority Data:

61/589,545 23 January 2012 (23.01.2012) US

61/639,433 27 April 2012 (27.04.2012) US

61/639,473 27 April 2012 (27.04.2012) US

(71) Applicant: SMARTERSHADE, INC. [US/US]; 992 W. Dakin, #2, Chicago, IL 60613 (US).

(72) Inventors: TATZEL, Ryan; c/o Smartersshade, Inc., 992 W. Dakin, #2, Chicago, IL 60613 (US). MCLEOD, William; c/o Smartersshade, Inc., 992 W. Dakin, #2, Chicago, IL 60613 (US). GLASER, William; c/o Smartersshade, Inc., 992 W. Dakin, #2, Chicago, IL 60613 (US).

(81) Designated States (unless otherwise indicated, for every kind of national protection available): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Designated States (unless otherwise indicated, for every kind of regional protection available): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), Eurasian (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), European (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Continued on nextpage]

(54) Title: MECHANICAL TRANSLATION OF A VARIABLE RADIATION TRANSMISSION DEVICE

(57) Abstract: Various embodiments include a variable transmission device including a first smart window panel, a second smart window panel, and a mechanical device configured to linearly translate at least a portion of the first panel relative to the second panel. Further embodiments include a method of varying radiation transmission including the steps of providing a variable transmission device, comprising a first smart window panel, a second smart window panel, and a mechanical device and actuating the mechanical device to linearly translate at least a portion of the first panel relative to the second panel.

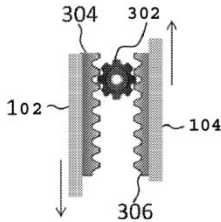


FIG. 3A

[0004] Further embodiments include a variable radiation transmission device including a first sheet comprising a plurality of alternating domains varying in transmission of radiation, a second sheet comprising a plurality of alternating domains varying in transmission of radiation, wherein the first or second sheet is configured to be linearly translatable relative to the other one of the first or second sheet, and wherein the first and second sheet both comprise at least one first domain that is opaque or partially opaque and at least one second domain that is less opaque than the first domain.

[0005] Further embodiments include a variable heat transmission device including a first sheet comprising a plurality of domains varying in transmission of infrared radiation, a second sheet comprising a plurality of domains varying in transmission of infrared radiation, wherein the first or second patterned sheet is configured to be linearly translatable relative to the other one of the first or second sheet, and wherein the first and second sheets are transmissive for visible light.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

[0006] The accompanying drawings, which are incorporated herein and constitute part of this specification, illustrate exemplary embodiments of the invention, and together with the general description given above and the detailed description given below, serve to explain the features of the invention.

[0007] FIGS. 1A, 1B, and 1C are diagrams showing the varying transmission of radiation through two smart glass panels as one of the panels is translated relative to the other. FIG. 1D is a diagram of a patterned wave retarder divided into several domains of varying optic axis.

[0008] FIG. 2 is an illustration of a smart glass window.

[0009] FIGS. 3A, 3B, and 3C are diagrams of devices configured to move both smart glass panels simultaneously to reduce the throw distance.

[0010] FIGS. 4A-4F are cross sectional diagrams of embodiment smart glass panels.

[0011] FIGS. 5A and 5B are diagrams of embodiment devices with a cam. FIG. 5C is a diagram of a ratcheting device coupled with a cam.

[0012] FIG. 6 is a diagram of an embodiment device with a tilt rod.

[0013] FIGS. 7A and 7B are diagrams of embodiment devices with a wedge.

[0014] FIGS. 8A and 8B are diagrams of embodiment devices with an over center linkage.

[0015] FIGS. 9A and 9B are diagrams of embodiment devices with mechanically switched magnets.

[0016] FIGS. 10A and 10B are diagrams of embodiment devices with rollers.

[0017] FIG. 11 is a diagram of an embodiment device with an SMA wire.

[0018] FIGS. 12A and 12B are diagrams of smart glass panels with opaque stripes.

[0019] FIGS. 13A and 13B are diagrams of smart glass panels with opaque stripes aligned at a cant angle.

[0020] FIG. 14 is a diagram of smart glass panel with heat reflective and heat transmissive portions.

[0021] FIGS. 15A and 15B are diagrams showing the varying transmission of infrared radiation through two smart glass panels as one of the panels is translated relative to the other.

DETAILED DESCRIPTION

[0022] The various embodiments will be described in detail with reference to the accompanying drawings. Wherever possible, the same reference numbers will be used throughout the drawings to refer to the same or like parts. References made to particular examples and implementations are for illustrative purposes, and are not intended to limit the scope of the invention or the claims.

[0023] The word "plurality" is used herein to mean two or more. For example, a plurality may refer to three or more or various ranges, such as 2-200, 4-200, or 70-180.

[0024] The word "radiation" as used herein may refer to any form of electromagnetic radiation. Various embodiments may be configured to variably control the transmission of particular spectrums of radiation, such as visible light, infrared, ultraviolet, etc.

[0025] Various embodiments include "smart" windows or variable radiation transmission devices that may be mechanically actuated to control radiation transmission. For example, embodiments may include 2 panels of smart glass held parallel to one another. When one panel is translated a given distance with respect to the other, a filtering effect is produced until a theoretical minimum of 0% radiation transmission is realized.

[0026] FIGS. 1A-1C illustrates varying transmission of radiation based on how much the smart glass panels are translated. In FIG. 1A, a first panel 102 and a second panel 104 are aligned such that radiation 106 traverses both panels 102 and 104. In various embodiments, the radiation may fully or only partially traverse the first panel 102. For example, if the first panel 102 includes a polarizer, as more fully explained below, certain components of the radiation (i.e., components not aligned with the polarizer) may be blocked (e.g., reflected or absorbed).

[0027] In FIG. 1B, the second panel 104 is translated (e.g., shifted down) relative to the first panel 102 (i.e., the first panel 102 and second panel 104 each remain in separate parallel planes and the second panel 104 moves along an axis in its respective plane). The radiation 106 may traverse the first panel 102 but may only partially traverse the second panel 104. Partial transmission is shown as a differently shaded portion 108 in FIG. 1B. In FIG. 1C, the second panel 104 is further translated down into a position such that the radiation 106 may traverse the first panel 102 but not the second panel 104.

[0028] In various embodiments, transmission of radiation may vary continuously as the second panel 104 is translated relative to the first panel 102 between the transmitting position (e.g., as shown in FIG. 1A) and the blocking position (as shown in FIG. 1C) and vice versa. In further embodiments, the second panel 104 may be translated beyond the transmitting or blocking positions. For example, radiation transmission may continuously cycle between transmitting and blocking as the second panel 104 is further translated.

[0029] In various embodiments, each of the smart glass panels may comprise one or more layers and each layer may comprise a plurality of domains. Each layer or domain may act as a radiation filter, such as a polarizer or wave retarder. These layers and domains may vary across a panel, such as in patterns of continuously or near continuously varying polarization axis or optical axis of polarizer or wave retarder domains, respectively.

[0030] In order to continuously vary the amount of radiation transmitted, various embodiments may rely on two patterned wave retarders placed in between two uniform linear polarizers to control the variation of radiation transmission. A uniform linear polarizer may have the same linear polarization axis throughout (i.e., a single domain). A patterned wave retarder may have several domains that reorient radiation by varying amounts. The translation of one patterned retarder with respect to the other may change the polarization state of the radiation and control how much radiation will pass through the second polarizer.

[0031] Various different types of wave retarders may be used in embodiments. Wave retarders may be patterned to include several domains with different characteristics. When a wave retarder is placed between two crossed uniform linear polarizers the amount of radiation transmitted is determined by both (1) the angle between the polarization axis of the first polarizer and the optic axis of the wave retarder and (2) the retardance. Moreover, the retardance is determined by the thickness of the birefringent material and the birefringence of the material (the difference between the refraction indices of extraordinary and ordinary rays, $n_e - n_o$). As a result, a patterned retarder can be constructed by modulating any one or more of these three parameters.

[0032] In several embodiments, the wave retarder may be patterned by varying the orientation of the optic axis in different domains of the wave retarder. For retarders that will result in a specified number of discrete transmission levels, the two patterned retarders may comprise a specified number of retarding areas or domains. These retarding areas may be of equal width on each retarder. The orientation of the optic axis of the wave retarder may differ from the orientation of the optic axis of an adjacent area by a standard angular difference (e.g., 0.1 to 30 degrees, such as 2-10 degrees). Alternately, the wave retarders may be configured to provide a smooth, continuous change in radiation transmission when linearly translating one retarder or panel with a retarder relative to a second retarder or panel. One panel may move while the other is stationary or both panels may move during the translation. In alternate embodiments, the wave retarders may be patterned to vary thickness or birefringence continuously or across a plurality of domains.

[0033] FIG. 1D illustrates a patterned wave retarder that may be used in various embodiments. The patterned wave retarder 112 may be divided into several domains 114 with different optical axes. The axes of the domains 114 in FIG. 1D are indicated by arrows. The optical axis may be uniform within each domain but vary between adjacent domains.

These optical axes may be selected to gradually shift across adjacent domains 114 as shown in FIG. 1D. These domains 114 may continue and repeat as much as needed as indicated by the dots above and below the patterned wave retarder 112. The patterned wave retarder 112 may vary in size. Each domain 114 may be strip shaped and may be 1-10mm, such as around 2mm wide in some embodiments, but this width may vary.

[0034] The amount of radiation transmitted through a device may vary as the panels are translated relative to one another and the various domains are aligned. FIG. 2 illustrates an embodiment window device 200 with smart glass panels 204. A frame 202 may be used to hold these panels parallel and a gap may be left for the translation distance required for filtering. A handle or knob 206 may also be provided to make the manual translation of one panel with respect to the other easier.

[0035] Section 1: Translation Schemes

[0036] In various embodiments, windows may be activated by mechanically translating in any direction, such as either horizontally or vertically. The orientation of the window with respect to gravity may also be important. In various embodiments, windows may be oriented normal, parallel, or any angle in between with respect to the earth's surface. In further embodiments, it is also possible to orient the window and translate it at an arbitrary angle, as may be seen in a skylight. Each orientation has different characteristics. For instance, a vertically translated window may require a stronger operator to counter the effects of gravity.

[0037] A mechanically switchable window may be operated simply by translating one panel with respect to the other. Alternatively, it may also be operated by moving both panels in opposing directions. This cuts the required throw distance (i.e., the distance a panel must translate) for each panel in half. This has the advantage of requiring a smaller take-up space of un-filtered window as well as requiring less time to transition. Further, in various embodiments this device can make use of counterweighting of the 2 panels to create a window in which zero work is done. This drastically reduces the force and energy required for operation.

[0038] One way to achieve this counterweighted motion is to use a rack and pinion to oppose the 2 panels. FIG. 3A illustrates an example embodiment with a pinion 302 between a first panel 102 and a second panel 104. The pinion 302 may have teeth that mesh with a first rack 304 on the first panel 102. Teeth on the other side of the pinion 302 may mesh with

a second rack 306 on the second panel 104. When the pinion 302 is turned it may move the panels 102, 104 in opposite directions.

[0039] A second embodiment may make use of a pulley system in which the two panels are on opposite ends of the pulley. FIG. 3B illustrates an example embodiment with a pulley 312 connected to a first panel 102 with a first cable 316 and to second panel 104 with a second cable 314. Rotation of the pulley 312 (indicated by the arrow) may raise one panel while lowering the other. In various embodiments, the first and second cables 316, 314 may be connected or a single cable.

[0040] A third embodiment may make use of a double lever, much like a see-saw. FIG. 3C illustrates an embodiment with a fulcrum 322 with a lever 324 that contacts a first panel 102 and second panel 104. As the lever 324 is rotated about the fulcrum 322 (indicated by the arrow), one end of the lever 324 is lifted to raise the first panel 102 and the other end falls to lower the second panel 104.

[0041] There are several ways to construct the panels of patterned retarder and polarizer that comprise the smart glass. These different constructions each have their own mechanical stiffness, thermal stability, abrasion resistance, weight, birefringence, and cost considerations.

[0042] FIG. 4A illustrates one embodiment in which each panel includes a polarizer layer 402 and patterned wave retarder layer 406 on opposite sides of a glass substrate 404. The panels may be arranged such that the wave retarder layers 406 are in between the polarizer layers 402.

[0043] FIG. 4B illustrates an alternate embodiment in which the patterned retarder 406 is in between (e.g., sandwiched) the first glass substrate 404 and a second glass substrate 408. FIG. 4C illustrates another alternate embodiment in which a polarizer layer 412 and wave retarder layer 416 are in between a first glass substrate 414 and a second glass substrate 418. The wave retarder layers 416 may still be in between the polarizer layers 412.

[0044] FIGS. 4D-4F illustrate similar embodiments to those of FIGS. 4A-4C except that they include a polymer substrate (e.g. a clear polymer or another polymer that allows the desired radiation to pass through it). FIG. 4D illustrates panels with a polarizer layer 402 and patterned wave retarder layer 406 on opposite sides of a polymer substrate 424. FIG. 4E illustrates an alternate embodiment in which the patterned retarder 406 is in between the first

polymer substrate 424 and a second polymer substrate 428. FIG. 4F illustrates an alternate embodiment in which a polarizer layer 432 and wave retarder layer 436 are in between a first polymer substrate 434 and a second polymer substrate 438.

[0045] Alternate embodiments may include panels a combination of glass and polymer substrates. Alternate embodiments may include panels with no substrates, such as if the wave retarders was deposited directly on the polarizer.

[0046] Further embodiment panels and devices are disclosed in U.S. Patent Application No. 12/199,914 and U.S. Patent Application No. 13/339,764, both of which are incorporated herein by reference in the entirety.

[0047] Section 2: Manual Translation Devices

[0048] One embodiment may require only that a handle or knob 206 be connected to the mechanism (e.g., rack and pinion, pulley, lever, etc.) used for translating the panel(s) of smart glass. However, other translation device described below may be used.

[0049] Cam-Slider

[0050] In various embodiments, a cam-slider or cam-roller assembly may be used to convert rotation into linear translation so that a dimmer knob style control can be used. The cam may be placed in the center of the window for balance or it may be placed off center and linked to one or more parallel cams in order to move the control system to a less visually obtrusive location. Further, a spring may be provided to aid in the return motion of the translating pane. This is helpful in horizontal and arbitrary orientation motion schemes.

[0051] FIGS. 5A and 5B illustrate an example embodiment device with a rotating cam 506. A smart glass panel 504 may be secured in a frame 502 with a spring 508 between the top of the panel 504 and the top of the frame 502 to return the panel 504 to an initial position (e.g., the position shown in FIG. 5A). The cam 506 may be rotated (indicated by the arrow) such that the cam pushes a bumper 510 or other point of contact on the panel 504 to translate the panel 504 away from the cam 506 (e.g., the position shown in FIG. 5B) to raise the panel and compress the spring.

[0052] In further embodiments, the cam profile can be customized to be advantageous. The human eye perceives light in a logarithmic fashion. Roughly:

8

$$I_p = \text{Log}_{10}(I)/5$$

[0053] where I is the actual intensity and I_p is the perceived intensity. Further, Malus's law gives the intensity θ produced when a polarizer is placed in front of a polarized incident beam.

$$I = I_0 \cos^2 \theta_i$$

[0054] The cam may be profiled to linearize this perception making each degree of the rotation seem to correspond to the desired light intensity. Finally, this profile can also be cut to any arbitrary curve to give a desired relationship between degrees of rotation and light intensity. One of the considerations is backdriving. With a spring force or force due to gravity pushing on the cam, a ratchet system may be employed to allow panel movement in discrete steps having a predetermined length.

[0055] FIG. 5C illustrates an embodiment with a ratcheting device. The cam 506 may be axially coupled with a ratchet gear 512 by an axel 514. A pawl 516 may allow the gear 512 to rotate in one direction (as shown by the arrow in FIG. 5C) but prevent rotation in the opposite direction by catching on the teeth of the gear 512. In alternate embodiments, rotational movement may be transferred from the gear 512 to the cam 506 in various other manners, such as via gears or belts.

[0056] Rack and Pinion

[0057] A direct rack and pinion may be used to convert rotating input into a linear translation. A rotated knob or lever may be used to rotate a pinion. This pinion would then drive a rack that is affixed to one of the translating panels. This system could also have a rack attached to each of the panes so as to move both of them in opposing directions as described above with regard to FIG. 3A.

[0058] Tilt-Rod

[0059] Various embodiments may use a tilt-rod system. In a contemporary blind tilt-rod system, a wand is turned, rotating a horizontal tilt-rod hidden inside the head rail. This rotating bar rotates a plurality of horizontally distributed tape drums. These rotate and reel/unreel a tape or string that pulls on one side of the blind assembly, tilting the blinds into the open or closed positions. Various embodiments may contain a similar system. The head

9

rail may be produced to fit into existing head rail dimensions. Instead of actuating a blind system, the system translates one or both of the smart-glass panels. This could utilize a string or tape as is used in current systems, or be combined with a rack and pinion or any other linkage described above to drive the panels.

[0060] FIG. 6 illustrates an example embodiment in which a panel 606 may be translated by a tilt rod 602. The tilt rod 602 may include one or more cylinders 604 each coupled with a connector 608 which may wrap around the cylinders 604 as the tilt rod 602 is rotated (as indicated by the arrows in FIG. 6). The connectors 608 may be joined with the panel 606 and as the connectors 608 (e.g., tape, string, cable, etc.) are wrapped around the cylinders 604, the panel 606 may be raised. Alternately, the panel 606 may be lower by rotating the tilt rod 602 in the opposite direction.

[0061] Worm Gear

[0062] Another system for converting rotational input into linear translation is through a worm gear or power screw assembly. In this embodiment a rotating input is linked to a worm gear. The gear would then drive a linear slide or carriage (e.g., a smart glass panel) that translates axially along the worm gear. This allows fine positional accuracy and a small geometry. A variation on this is a scissorjack assembly that will allow horizontal screws to create vertical motion. This allows the take up space to be used to contain the assembly.

[0063] Scotch Yoke

[0064] Another rotational to linear system is the scotch yoke. This system converts rotation into an arbitrarily oriented linear translation with a sinusoidal relationship. This allows for both finer control at final positions and for a profile that counters the sinusoidal intensity given by Malus's law.

[0065] Wedge

[0066] A wedge or wedge-roller assembly can be used to convert horizontal translation to vertical or vice versa. This may allow a system to fit neatly into the take-up space instead of being oriented orthogonally. A return spring or gravity can be used to provide the return force.

[0067] FIG. 7A illustrates an embodiment device with a wedge 706 for translating one or more panels 704. The smart glass panel 704 may be secured in a frame 702 with a spring 708 between the top of the panel and the top of the frame to return the panel 704 to an initial position. The wedge 706 may be in contact with a bumper 710 or other point of contact on the panel 704 such as a roller. In various embodiments, the wedge 706 may be in a different plane than the panel 704, and the bumper 710 may intersect both planes to contact both the panel 704 and the wedge 706.

[0068] FIG. 7B illustrates the device after the wedge 706 is slid (e.g., in the direction perpendicular to the direction of panel movement). The panel 704 may be pushed upward by the wedge 706 and the spring 708 may compress as the bumper 710 contacts a greater height on the wedge 706. The wedge 706 may be translated directly via a knob or electromechanically, such as by a linear actuator. This allows a larger translation to produce a smaller, more finely controlled movement of the panel.

[0069] Over-Center Linkage

[0070] An over-center linkage may be incorporated in various embodiments to create a bi-stable window position. This is especially useful in variable radiation transmission windows where there are only 2 desired states. This spring loaded, bi-stable linkage will hold its position until it is displaced by a small but forceful amount. Then it will snap to the next position and hold it. For example, in one embodiment, this will snap between transparent and opaque states. This minimizes the amount of time spent in transitional states. One can also use a self-locking over-center linkage to create a rest position such that continued mechanical force is not required to hold a counter active force. It is also possible to create multi-position over-center linkages.

[0071] FIG. 8A and FIG. 8B illustrate the two stable positions of an embodiment device. A panel 802 may be connected to a rod 804. The rod 804 may be connected to a rotating pin 806 and a spring 810. In FIG. 8A, the pin 806 may be rotated such that the rod 804 draws the panel 802 and is balanced by the force of the spring 810. In FIG. 8B, the pin may be rotated to a stop 808. Rotating the pin 806 may push the rod 804 and translate the panel 802.

[0072] Magnetic Slider

[0073] Existing in-between-the-glass blinds use a system that contains a magnetic slider mechanism. The magnetic slider is used to transmit motion from outside the glass to a sealed blind mechanism inside the glass. An embodiment of the mechanical variable transmission window may be to have the smart glass panes in between the glass of a sealed insulated glass unit (IGU). In this case, the magnetic slider mechanism may be similar to existing between-the-glass blinds. This magnetic coupling could also be a rotational coupling in contrast to the linear slide couplings that are mostly employed today. Further, this magnetic coupling allows for simple interchangeable sliders. Several different styles of sliders may be used, or a manual slider may be exchanged for an automated, electronic one. This can be achieved without opening the sealed IGU. A mechanically switchable permanent magnet can also be employed to allow for convenient device removal and placement.

[0074] Mechanically Switchable Magnet

[0075] Various embodiments may include one or more mechanically switched permanent magnets. These types of switchable magnets can be used to create a window that can vary between 2 or more states of displacement.

[0076] FIG. 9A illustrates an embodiment device with a panel 904 inside a frame 902. The panel 904 may have a first magnet 908 at one end and a second magnet 918 at the opposite end. The frame 902 may include a first mechanically switched magnet 906 on one side and a second mechanically switched magnet 916 on the opposite side. The first mechanically switched magnet 906 and the second mechanically switched magnet 916 may be alternated, such as switching one on while switching the other off. For example, in FIG. 9A, the first mechanically switched magnet 906 may be switched off and the second mechanically switched magnet 916 may be switched on such that the panel 904 is drawn to the bottom of the frame 902. Alternately, as shown in FIG. 9B, the first mechanically switched magnet 906 may be switched on and the second mechanically switched magnet 916 may be switched off such that the panel 904 is drawn to the top of the frame 902.

[0077] Further embodiments may include different numbers of magnets, such as multiple magnets on either end of the panel 904 or frame 902. Alternate embodiments may include only one mechanically switched magnet and rely on another force (e.g. gravity, a spring, etc.) to move the panel 904 away from the magnet.

[0078] Roller

12

[0079] Roller banner advertisements translate a long flexible web of film or similar material by rolling part of the film up onto a take up roller. It may be desirable to have the smart glass panels roll up like a contemporary shade, allowing maximum radiation transmission.

[0080] Alternatively, rigid panes of patterned retarder assembly can be translated the throw distance required by rolling flexible lead ends of a film up or down. Either assembly can be produced to fit existing head rail sizes. They could also make use of existing roller shade assemblies.

[0081] FIG. 10A illustrates an embodiment device with a first panel 1002 attached to a flexible film 1006. The flexible film 1006 may be rolled about rollers 1008 and 1010. The rollers 1008 and 1010 may be rotated in the same direction, as shown in FIG. 10B, such that the film 1006 shifts by wrapping around one roller and unwrapping from the other. The first panel 1002 may shift with the film 1006 and thereby translate relative to a second panel 1004.

[0082] 4 Bar Linkage

[0083] Various embodiments may include devices with a four bar linkage joint for translating one or more panels. A four bar linkage is a kinematic mechanism that allows a linear or rotational input to have a non-linear output. The output function generated behaves according to Freudenstein's equation. This allows sine and cosine function output that could be used to produce a more linearizing visual effect. Like the scotch yoke, this device can be used to create finer control at terminal positions or to counter the effects of Malus's law.

[0084] Hydraulic/Pneumatic

[0085] Various embodiments may include devices for translating panels of multiple windows at once. Window curtain walls, comprising several adjacent windows, are popular in architecture. In various embodiments, it might be useful to control several windows from a single actuation source. One way to achieve this is with a mechanical linkage that distributes a single translating force to several windows. Another way to achieve this is with a pneumatic or hydraulic system that distributes force to several windows, which can be of different displacements or force.

[0086] Latching

13

[0087] Translation can be controlled to snap in place at one or several locations rather than sliding smoothly between all positions. This allows the user to easily set a predetermined filter level, or lock filtering in at a maximum or minimum. Such a latching system can be achieved with a mechanical detent or spring loaded metastable mechanism. This can also be achieved with a magnetic latch. Either system could be deployed at several positions along the displacement allowing multiple levels to be preset.

[0088] Section 3: Automated Translation Devices

[0089] Any of the above methods of actuation can be combined with an electromechanical system to produce an automated filtering window. These electronically controlled windows can be actuated at the flip of a traditional light switch or otherwise controlled (as indicated below in the Input section). There are several electromechanical actuators that can be used in different applications each with their own strength to weight ratio, efficiency, noise level, and actuation speed characteristics.

[0090] Motors

[0091] Electric motors can be used to generate rotational motion. This can be used in combination with any rotational input mechanical drive, including those mentioned above to produce translation. They can also be used in the same way they are used in remote controlled blinds to drive a tilt-rod. Stepper motors, brushed and brushless motor, printed armature, universal motors, and AC motors can be used along with other types. Position can be controlled with fixed mechanical stops or with the use of linear or rotational encoders.

[0092] Servos

[0093] Servomechanisms can be used in a similar fashion to a motor. Servos allow for negative positional and/or speed feedback. This can help ensure accurate position and/or allow the actuator to move quickly to the position that is desired, and then slow down to accurately and quietly approach or hold the exact required position. A servo can be mechanically tied to any linkage that takes rotational input, including those that were mentioned above. For instance a servo can drive a rotating cam.

[0094] Solenoids

[0095] Solenoids create a direct linear pulling or pushing force. A solenoid or system of solenoids may be employed to produce a force that can displace a pane la given distance. In the simplest system, a system of solenoids can create a bi-positional smart window. On and off states are possible. The window can be returned to start position either with the use of a return spring or with an opposing set of solenoids (or with gravity).

[0096] One drawback to traditional solenoids is that they require constant power to supply holding force for each position. Using a modified solenoid design called a latching solenoid would allow for a smart window that would only require power when switching. The advantage is to keep the solenoid from overheating while also reducing the total power used. A latching solenoid may make use of a permanent magnet to hold the displaced position.

[0097] Solenoids typically only hold 2 positions. The extended position is the default, while the retracted position is the result of applying current. By using a return mechanism, such as a spring or gravity, and applying a pulse width modulated signal (PWM), a solenoid could be created that held multiple positions. This PWM solenoid would be able to adjust displacement position and also speed. One example of the utility of this would even apply itself to a bi-stable device. Solenoids pull at high speeds and can create an impact when the pulled panel hits home. Using a varied PWM signal, a solenoid can slowly step its position back until it rests in the home position, or even increase or decrease the travel speed as it approaches its destination.

[0098] Nested solenoids may be used to extend the range of travel that the solenoid system produces. Solenoids can be arranged in series such that the maximum contraction of each is stacked to create an additive maximum. This allows for multiple positions as well.

[0099] As mentioned above, solenoids can snap into position very quickly. In some cases the impact generated from this sudden motion may be undesirable. In these cases a shock absorbing spring, pad or combination may be employed. Further a dashpot and spring device similar to a door closer can be used to slow the contraction. Finally an eddy current dashpot may be used to conserve space.

[0100] Linear Actuators

[0101] Linear motors and power screw style linear actuators may be used to directly create linear actuation. They may be used with any of the above mentioned translational inputs. They may also be directly connected to a translating panel.

[0102] Linear motors are advantageous in that they can be scaled or stacked easily to create various amounts of strength.

[0103] Shape Memory Alloy

[0104] Nickel-Titanium alloy (nitinol) can be used as a shape memory alloy (SMA). This material is typically wound into a wire which can be strained to extend its length. Under heat or a heat from a current, this material can restore its original dimensions at up to 5% strain. The benefit of this technology is that it is quiet, small, lightweight, and cuttable. Various smart glass films can be cut to length. A frame can be designed such that it is also easily scaled. Nitinol wire is capable of being cut or doubled over to produce the desired displacement or force needed. Using these SMA wires in combination with a pulley system, or other mechanical advantage mechanism, can allow an exchange of displacement distance for pulling strength. It is also possible to use a PWM scheme to achieve multipositional control. Further, since the wires are activated at certain temperatures, it is also possible to make the device heat activated.

[0105] FIG. 11 illustrates an embodiment device with an SMA. A panel 1104 may be supported by an SMA wire 1102. The wire 1102 may be secured at the other end 1106, such as to a source of heat or current, and may wrap around one or more pulleys 1110 and 1108. When the SMA wire 1102 is activated (e.g., by being electrically or thermally heated), the wire may constrict and pull the panel 1104 into position.

[0106] Electro-Active Polymers (EAP)

[0107] EAPs are an emerging technology that changes shape in response to an electrical signal. Electroactive polymers contract when a current is applied. One benefit is that these actuators are easily cut or scaled to size. The strain can be controlled with the use of a PWM signal to give precise position control.

[0108] Manual Clutch

[0109] Various embodiments may incorporate a clutch that is able to physically disengage any of the electromechanical or otherwise automated systems in order that it can reengage either another electromechanical, automated or manual linkage. This would allow for a system to be automated but also to be operated in the event of a power failure.

[0110] This clutch may operate without physically disengaging with the automated or electromechanical system. Instead the electromechanical device or linkage may be designed so that it can shift linearly while still connected to the device without actuating. For example, in the case of a pneumatic system, this could be extra length in the pneumatic cables that allows the slave assembly and translating pane to be translated while remaining engaged.

[0111] Modular Electromechanical Device

[0112] Further, each electromechanical or automated device could be designed to be modularly removable. In this design scheme, removing the device would expose the translational or rotational input device allowing manual control.

[0113] Piezoelectric

[0114] Piezoelectric actuators or linear motors can be used to create high precision linear translation.

[0115] Section 4: Electrical Power Schemes

[0116] Automated translation devices may require that electrical power be provided to the window. There are several ways to accomplish this.

[0117] Direct AC wiring

[0118] Power can be supplied to the mechanical smart glass window through directly wiring the electromechanical element to an alternating current (AC) source. This power source can be obtained from wiring to the wall or to an outlet.

[0119] Batteries

[0120] Batteries can be used to power the electromechanical or electronic elements. These batteries may be replaceable or rechargeable.

[0121] Photovoltaic

[0122] The electromechanical or electronic elements can be powered using photovoltaic (PV) cells. These cells can be used on the interior or exterior faces or both. They can be in direct conductive contact with the electronics or transmit their power wirelessly.

[0123] Solar-charged batteries can be used in combination with photovoltaics to store the energy harvested. Also, capacitors and super-capacitors can be used to store a charge. This allows the windows to be operated while the photonic energy source is not present.

[0124] Inductive Coupling

[0125] Electrical power can be passed through the sealed pane of an IGU through the use of a direct induction couple or a resonant magnetic induction couple. The benefit of this technique is that power from an outlet source, wall, battery, or any other power source can be transmitted directly through the glass, allowing the IGU to remain sealed.

[0126] Microwave Power Transmission

[0127] Electrical power can be transmitted wirelessly through a number of means. Generally, any method of wireless energy transfer may be used to supply power to the smart window without the need for direct wiring. This would make installation easier. This would especially be beneficial with sealed IGU smart glass windows.

[0128] Polarizing PV glass

[0129] There are semi-transparent photovoltaic (PV) films that function by absorbing a single given polarization of radiation. This makes them act both like a PV cell and like a polarizer. This technology can be used to replace one or both of the polarizing films needed in the fabrication of polarization based variable transmission windows. This would allow for an electromechanically powered device to produce its own energy source. This energy can also be harvested and stored in any energy storage device such as a battery or capacitor. This energy can also be passed outside of the device and used elsewhere.

[0130] There are also coatable, transparent, PV cell technologies. These PV cells do not polarize radiation but may be used in combination with a mechanically filterable window or with any other kind of smart glass to produce an energy source for the glass while allowing visible light through.

[0131] Pythagoras

[0132] An existing system for extracting solar energy through a window while allowing light to pass through is the Pythagoras photovoltaic window. This system can be combined with smart glass panels to produce a filterable window that generates power. The Pythagoras system introduces small horizontal lines into the window. In some embodiments, these can be combined with certain domains of the variable radiation transmission devices by overlapping them so that only one set of lines shows. The power generated can then be used to power the linear translation of the variable radiation transmission device. Further, smart glass may be made with reflective polarizers. If these types of polarizers are used in combination with the Pythagoras system, they can be used to effectively double the amount of light directed into the solar cells when the variable radiation transmission window is in the dark state (i.e., at or around 0% radiation transmission).

[0133] Peltier/Thermocouple

[0134] Thermocouples and Peltier devices make use of the thermoelectric effect to create power from a temperature gradient. This device can be used at the interface of an indoor-outdoor curtain wall or envelope window to generate power for actuating a mechanical or traditional smart glass window.

[0135] Section 5: Inputs

[0136] With electronically actuated components, it is possible to conceive of several different electronic control schemes and devices.

[0137] Traditional Style Switches

[0138] The traditional light switch, dimmer knob, or dimmer switches may all be used to signal a change in filter level. These devices can be hooked up directly to the variable transmission window or may transmit a wireless signal.

[0139] Further, there are wireless battery free controller switches that can be styled to look like traditional light switches. These controllers use friction, radiation, and motion to gather energy used in transmitting wireless signals. These controllers could be used to make a completely maintenance free power and control scheme when used in combination with solar charged PV power solutions for the window.

[0140] IR and RF Remote Controls

[0141] Infrared (IR) and radio frequency (RF) remote control systems can be used to remotely control window transmission states. An RF or IR receiver would be placed in the electronics of the variable transmission windows. Further, the RF receiver could be a Bluetooth device to allow for Bluetooth connectivity.

[0142] Thermostat

[0143] There are energy efficiency gains to be had through interoperability with thermostats. The device itself could contain a thermostat so that when temperatures approach a given range, solar heat gain can be cut to reduce temperature gains passively. Alternatively the device can communicate with external thermostats in a wired or wireless configuration.

[0144] Smart Home Integration

[0145] Existing smart home device control and communication standards can be employed to control mechanically switchable smart glass with electromechanical controls. These can be the use of smart home devices or control devices, such as the ones provided by Johnson Controls. They can also be provided by various wireless communication standards, such as those provided by Zigbee. A smart home integrated smart glass could automatically dim in a theater room when a projector is turned on or let radiation in when a house needs heating.

[0146] Utility Integration

[0147] Higher energy savings can be realized when the control of the window is automatic. In certain smart thermostats, energy utilities can signal that shifting the temperature by a few degrees will avoid a peak load demand or save energy. A similar kind of utility supplier remote control is possible. The utility would be able to adjust the solar heat gain coefficient of a home to reduce load on an air conditioner or heater. Further, there are 3rd party utility usage monitoring sites. These websites could also directly control the transmission of the glass.

[0148] Position Feedback

[0149] It is possible to integrate existing position feedback schemes with all electromechanical control systems. Position can be measured with dead reckoning and

quadrature shaft and linear encoders. It can also be measured with Hall Effect sensors to read the position of magnets that are placed on the translating or rotating portions of the device. This allows precise filter level control.

[0150] Photo Sensor

[0151] Further, it is possible to measure the direct radiation transmission with the use of a pair of photodiodes or photoresistors. One photosensor measures the ambient radiation on the external side of the window. The other sensor measures the radiation transmitted through the panel. This allows a comparison between the two values so that transmission coefficient can be directly reported in real-time.

[0152] Section 6: Thermal Actuation

[0153] It is possible to passively actuate a mechanical smart glass window without manual input. There are several methods of producing mechanical work from thermal changes. The use of these devices would effectively create a thermochromic window.

[0154] Bimetallic Strip

[0155] A thermomechanical device makes use of the differential in coefficients of thermal expansion between dissimilar metals or other materials. This is commonly known as a bimetallic strip. It can be rolled into a coil to conserve space. When heated, this strip may curl or uncurl. This action can be amplified through any mechanical advantage device (such as gearing) to produce a rotation that can interface with any of the above mentioned rotational input manual translation devices.

[0156] Liquid Column

[0157] Many fluids are known for their dramatic coefficients of thermal expansion. Mercury, ethanol, and ammonia are among the highest. When captured in a hydraulic system, they can be used to create a linear translating force that is dependent on temperature.

[0158] Piston

[0159] Gasses can be used in the same way that liquids can to create a linearly translating force that varies with temperature.

[0160] Solid column

[0161] Solids with a high coefficient of thermal expansion can be used to create small translations that would trigger the change in filter level. A brass column could support the translating panel of the window. When temperature change induced a strain in the material, it would translate the panel and create the filtering effect.

[0162] Section 7: Frame Configuration

[0163] Shutters

[0164] Traditional shutters are solid stable frames that cover either the interior or exterior of a window. They can be added aftermarket and can control radiation with louvers, solid panels, filtered glass, or any other radiation control device. They are advantageous in that they can be opened, exposing the raw window and allowing maximal radiation transmittance. Mechanical smart glass and traditional smart glass (suspended particle devices and electrochromics) can be mounted in a shutter pane configuration. This allows for a window that has a much higher total contrast ratio (when the open shutter state is considered). They are ideally suited to manually controllable smart glass since they are almost always manually opened or closed. External shutters can provide maximal solar energy efficiency, by blocking radiation outside of the insulating IGU.

[0165] Drop in Frames

[0166] A useful embodiment of a finished mechanically filterable smart glass window is to produce a window controlling device that can be dropped in between the glass panes of a traditional insulated glass unit (IGU). The purpose of this embodiment is that it allows smart glass capabilities to be added to existing lines of windows without requiring retooling. These shading devices can also be added to existing windows simply by opening the IGU and dropping in this device. The device could simply consist of a frame that was capable of holding the mechanically filtering glass (e.g., having one or more polarizers or wave retarders) and a mechanism for moving the glass. That translation mechanism can be passed through the glass surface of the IGU with a magnetic device. Alternatively, low profile electromechanical devices can be used to create motion inside of the IGU. Solenoids, small motors, servos, and nitinol are good candidates for creating this motion. Electrical signals and power can be passed through the glass panes of the IGU with a wireless power scheme,

such as an inductive couple. Proximity switches, such as touch sensors can be used to act as a local switch that can pass through the glass.

[0167] New Construction Configurations

[0168] In a new construction window, it is possible to build the frame that holds the mechanically switchable panes into the frame of the window. Further, it is possible to pass wired electrical power through a channel in the frame of the window.

[0169] Aftermarkets Attachment

[0170] It is possible to install mechanical smart glass in existing windows. The use of an added second (or third) pane of glass is common in existing in-between-the-glass blinds. Mechanical smart glass can be added in a similar fashion. The device can be attached in a similar fashion to contemporary aftermarket in-between-the-glass blinds with screws.

[0171] Alternatively, it can be made simpler and less permanent with the use of a magnetic adhesion system. It can also make use of permanent adhesive. It can also make use of "cling vinyl." It can also make use of expanding clamps that hold it into the frame of the window, rather than the pane. It can also make use of suction cups or suction cup tape.

[0172] As discussed above, smart glass panels may include one or more polarizers and wave retarders. In further embodiments, mechanically controlled smart glass panels can be created with the use of opaque, tinted, or otherwise varied domains of ink or other radiation blocking material. For example, as shown in FIGS. 12A and 12B, an embodiment of the invention can be created using two sheets of glass or transparent plastic 1202 and 1204 with alternating clear stripes 1206 and opaque stripes 1208 on each sheet. The striped sheets may be configured such that one of the sheets may be translated relative to the other thereby changing the alignment of the stripes. FIG. 12B shows a first sheet 1202 translated such that the first sheet's opaque stripes 1208 cover the clear stripes 1206 of the second sheet 1204. Varying alignment of the stripes may allow radiation transmission to vary. For example, if the alternating clear and opaque stripes are the same thickness on both sheets, radiation transmission may vary between 0% and 50%.

[0173] The larger these domains or stripes are, the more visual interruption there is. If the stripes were sufficiently small, they would visually blur together and produce a more even

looking viewing surface. For example, stripes or domains may be 0.2-2mm thick. However, when the stripes are made sufficiently small, they become increasingly more difficult to accurately position and protect against racking.

[0174] The following embodiment devices and methods help to overcome this dimensional accuracy issue and are illustrated in FIGS. 13A and 13B. If the clear stripes 1308 and opaque stripes 1306 of the first panel 1302 and second panel 1308 are canted at a small angle 1314, and the translation is along the long direction 1312 of the stripes, then the panel can be translated a further distance 1316, and therefore with higher accuracy, while maintaining a small stripe width. For example, the stripes or domains may extend lengthwise in a direction 1310 which may be canted (i.e., tilted or slanted) with respect to the direction of translation 1312 by an angle 1314 less than 45 degrees, such as 7-10 degrees. The translation direction 1312 may be any direction, such as vertical as shown in FIGS. 13A and 13B or horizontal. Accordingly, the domain lengthwise direction 1310 may differ by a cant angle 1314 (e.g., 7-10 degrees in either direction) from vertical or horizontal. The throw distance 1316 (i.e. translation distance of one sheet or panel relative to another) may be 0.5-2 inches. FIGS. 13A and 13B illustrate an embodiment with canted stripes and a resulting throw distance greater than stripe thickness.

[0175] In various embodiments, the domains or stripes may be the same or different size (e.g., width and length) as other stripes or domains on the same or other sheet. For example, alternating clear and opaque stripes may be the same thickness on both sheets as shown in the figures. Alternately, in another example, the clear stripes may be larger than the opaque stripes on both sheets. In this example, the sheets may be configured such that radiation is never fully blocked even after translating any throw distance. If the difference between opaque and transparent domains' total area are non-zero, then the window can be biased to achieve various transmission ranges. For example, a window where the transparent stripes were 4 times the size of the opaque stripes would produce a window whose transmission range was between 20% and 40%.

[0176] In further embodiments, the domains or stripes may have varying degrees of opacity or translucence. For example, the sheets may have alternating domains that are partially opaque and fully opaque or regions that are partially opaque and slightly more opaque.

[0177] Another benefit of using these printed stripes is that they can be made of a variety of materials. For example a blue ink or white ink would create windows that tint to an opaque blue or white respectively. A reflective or metallic ink can create a smart mirror that changes reflectivity with displacement. Stripes of infrared blocking material will allow for a window that selectively transmits or denies radiative heat without changing visible transmission strongly (e.g., if stripes are transmissive to visible light). Further any combination of these techniques can be used. For example one color stripes on one sheet may be hidden behind stripes of a second color on the other sheet, producing a window that achieves a first color and then a second color upon translation (e.g., a partially opaque blue strip and partially opaque yellow strip producing green when translated behind each other). Also a window that is one color on one side (in the opaque state) and a second on the other (in the opaque state) is possible.

[0178] In further embodiments, the devices described above maybe used in combination with domains of alternatingly oriented polarizers. For example, these polarizer domains may be organized into strips with horizontally or vertically oriented polarization axes (i.e., the strips may all be oriented in a first direction, but each strip may have a separate orientation of its polarization axis, such as strips of alternating polarization axis orientation). Further, these strips may be at an angle to the direction of translation. This canting would make a window that appears to go through shades of gray when the lines were small enough and far enough away.

[0179] Further embodiments include devices and methods for producing a window that can be switched between heat blocking and heat transmissive states. A significant proportion of the solar heat gain allowed by traditional windows is admitted through the infrared spectrum of light. In order to cut down on this, infrared filtering panels such as heat mirror, low-emissivity (Low-e) and others are applied to permanently block this transmission, while leaving visible light largely unaffected. One down side to this is that there are situations in which the energy from solar heat gain is desirable. On cool days, or winter months, the denied solar heat gain would have reduced the energy load on heating equipment. A window that can be switched between heat blocking and heat transmission would allow the user to select this quality when desired.

[0180] A mechanically selectable heat mirror can be constructed in the same manner as a mechanically selectable visible transmission window. A switchable heat mirror can be made

from materials that are relatively transparent in the visible spectrum but reflective in the infrared (IR). These existing materials are arranged in a plurality of regions with gaps of infrared transmitting regions between them.

[0181] FIG. 14 illustrates a panel 1402 with heat mirror stripes 1406 and heat transmissive stripes 1408. When two of these sheets are fabricated and aligned in parallel, the net effect will be a window that transmits a theoretical maximum of 50% on the radiative heat energy from the IR spectrum. When one sheet is displaced the distance of the height of one of the regions, the two sheets will be offset by one region. This will result in a window with a theoretical minimum of 0% radiative heat energy transmission from the IR spectrum.

[0182] FIGS. 15A and 15B illustrate the effect of translation. In FIG. 15A, a first panel 1502 and a second panel 1504, each including heat mirror stripes 1406 and heat transmissive stripes 1408, are aligned such that only 50% of infrared radiation 1510 passes through the device. In FIG. 15B, the second panel 1504 is shifted to align the heat mirror stripes 1406 with the heat transmissive stripes 1408 of the first panel 1502 such that no infrared radiation 1510 passes through the device.

[0183] In further embodiments, the infrared radiation transmitted can vary between any other percentages depending on the degree of stripe overlap and the ratio of the widths of the heat mirror stripes to the heat transmissive stripes.

[0184] In various embodiments, the panels with opaque, tinted, or otherwise varied domains of ink or other radiation or heat blocking material as discussed above with regard to FIGS. 12-15 may be coupled with any one or more of the mechanical devices described herein to form variable radiation transmission devices that may be mechanically actuated to control radiation transmission.

[0185] The advantage of this technology would be to create a window that can selectively allow or deny the passage of infrared radiation. In winter months, or situations in which more solar heat gain is desirable, it is possible to allow this in. In summer months, or situations in which less solar heat gain is desirable, it is possible to block this IR radiation.

[0186] This technology can be applied to previous descriptions of mechanically switchable smart glass and make use of the same mechanisms. This creates a window that switches on or off for visible and infrared sources of radiation together.

[0187] The preceding description of the disclosed embodiments is provided to enable any person skilled in the art to make or use the present invention. Various modifications to these embodiments will be readily apparent to those skilled in the art, and the generic principles defined herein may be applied to other embodiments without departing from the spirit or scope of the invention. Thus, the present invention is not intended to be limited to the embodiments shown herein but is to be accorded the widest scope consistent with the following claims and the principles and novel features disclosed herein.

CLAIMS

What is claimed is:

1. A variable transmission device, comprising:

a first smart window panel;

a second smart window panel; and

a mechanical device configured to linearly translate at least a portion of the first panel relative to the second panel.

2. The device of claim 1, wherein:

the first panel comprises a first patterned wave retarder;

the second panel comprises a second patterned wave retarder; and

the mechanical device is configured to linearly translate the first wave retarder relative to the second wave retarder.

3. The device of claim 2, wherein:

the first panel further comprises a first uniform polarizer with a first polarization axis;

the second panel further comprises a second uniform polarizer with a second polarization axis; and

the mechanical device is configured to linearly translate the first panel relative to the second panel.

4. The device of claim 2, wherein the mechanical device comprises a cam slider coupled with the first wave retarder such that rotating the cam slider causes the first wave retarder to linearly translate relative to the second wave retarder.

5. The device of claim 4, wherein the first wave retarder is coupled with a spring configured to oppose linear translation of the first wave retarder caused by the cam slider.

6. The device of claim 4, wherein the cam slider comprises a ratcheting device.

7. The device of claim 2, wherein the mechanical device comprises a wedge coupled with the first wave retarder such that translating the wedge causes the first wave retarder to linearly translate relative to the second wave retarder.

8. The device of claim 7, wherein the first wave retarder is coupled with a spring configured to oppose linear translation of the first wave retarder caused by the wedge.

9. The device of claim 2, wherein the mechanical device comprises a tilt rod coupled with the first wave retarder such that actuating the tilt rod causes the first wave retarder to linearly translate relative to the second wave retarder.

10. The device of claim 9, wherein the tilt rod is also coupled with the second wave retarder such that actuating the tilt rod causes the second wave retarder to translate linearly.

11. The device of claim 2, wherein the mechanical device comprises at least one of a rack and pinion device, a pulley, an over-center linkage, a lever, a worm gear, a scotch yoke, or a four bar linkage.

12. The device of claim 2, further comprising a roller.

13. The device of claim 2, further comprising a latching mechanism.

14. The device of claim 2, wherein the mechanical device is configured to be actuated by at least one of magnetic, hydraulic, or pneumatic devices.

15. The device of claim 2, wherein the mechanical device is configured to be electrically controlled by at least one of a motor, servomechanism, solenoid, shape memory alloy, or piezoelectric device.

16. The device of claim 2, further comprising a photovoltaic or thermoelectric device.

17. The device of claim 2, wherein the mechanical device is configured to be actuated based on an ambient temperature or electrical feedback.

18. The device of claim 1, wherein:

the first panel comprises a plurality of alternating domains varying in transmission of radiation;

the second panel comprises a plurality of alternating domains varying in transmission of radiation; and

the first and second panel both comprise at least one first domain that is opaque or partially opaque and at least one second domain that is less opaque than the first domain.

19. The device of claim 18, wherein:

the domains are stripes longitudinally oriented in a first direction; and

the first or second panel is configured for linear translation in a second direction at an acute angle relative to the first direction.

20. The device of claim 18, wherein the first and second panel comprise alternating opaque and clear domains.

21. The device of claim 18, wherein all of the domains of the first and second panel are stripes with the same thickness.

22. The device of claim 18, wherein the first panel and the second panel comprise alternating strips of varied angles of polarization.

23. The device of claim 1, wherein:

the first panel comprises a plurality of domains varying in transmission of infrared radiation;

the second panel comprises a plurality of domains varying in transmission of infrared radiation; and

the first and second panels are transmissive for visible light.

24. A variable transmission device, comprising:

a first uniform polarizer with a first polarization axis;

a second uniform polarizer with a second polarization axis;

a first patterned wave retarder positioned between the first and second polarizers;

a second patterned wave retarder positioned between the first and second polarizers;

and

a mechanical device configured to linearly translate the first wave retarder relative to the second wave retarder.

25. A variable radiation transmission device, comprising:

a first panel comprising a plurality of alternating domains varying in transmission of radiation; and

a second panel comprising a plurality of alternating domains varying in transmission of radiation,

wherein the first or second panel is configured to be linearly translatable relative to the other one of the first or second panel, and

wherein the first and second panel both comprise at least one first domain that is opaque or partially opaque and at least one second domain that is less opaque than the first domain.

26. A variable heat transmission device, comprising:

a first panel comprising a plurality of domains varying in transmission of infrared radiation; and

a second panel comprising a plurality of domains varying in transmission of infrared radiation,

wherein the first or second patterned panel is configured to be linearly translatable relative to the other one of the first or second panel, and

wherein the first and second panels are transmissive for visible light.

27. A method of varying radiation transmission, comprising:

providing a variable transmission device, comprising a first smart window panel, a second smart window panel, and a mechanical device; and

actuating the mechanical device to linearly translate at least a portion of the first panel relative to the second panel to vary radiation transmission.

28. The method of claim 27, wherein the variable transmission device is configured to vary transmission of visible light.

29. The method of claim 27, wherein the variable transmission device is configured to vary transmission of infrared radiation.

1/17

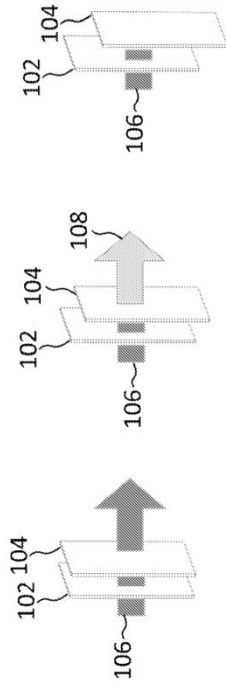


FIG. 1A

FIG. 1B

FIG. 1C

2/17

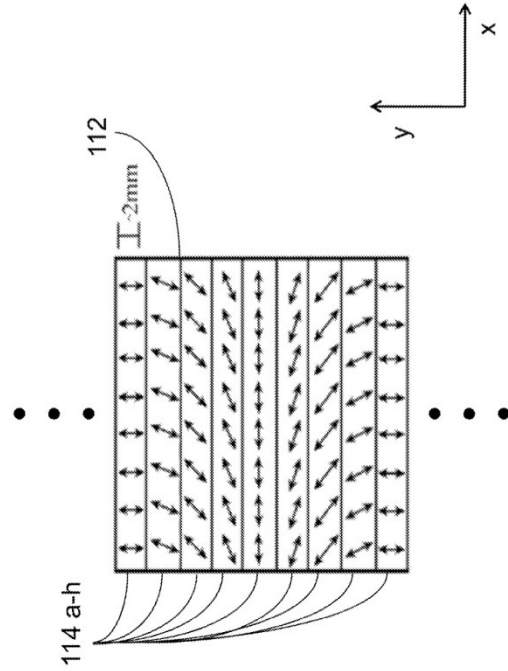


FIG. 1D

3/17

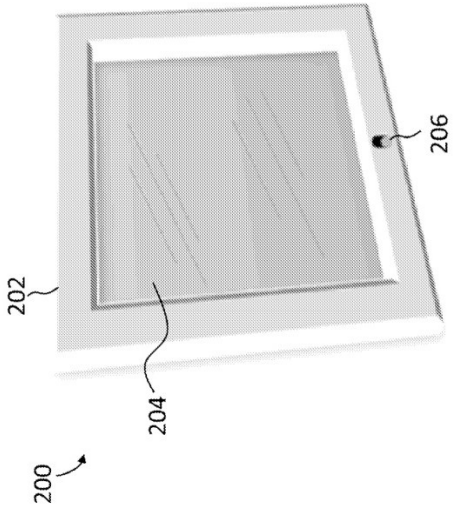


FIG. 2

4/17

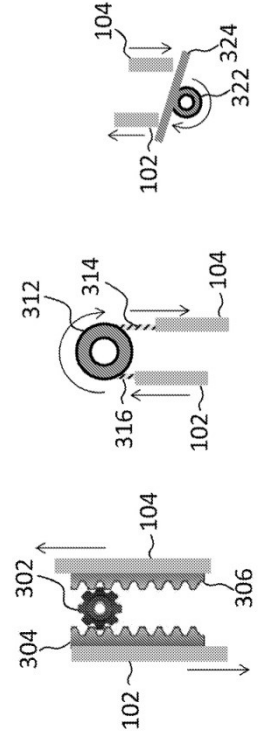


FIG. 3A

FIG. 3B

FIG. 3C

5/17

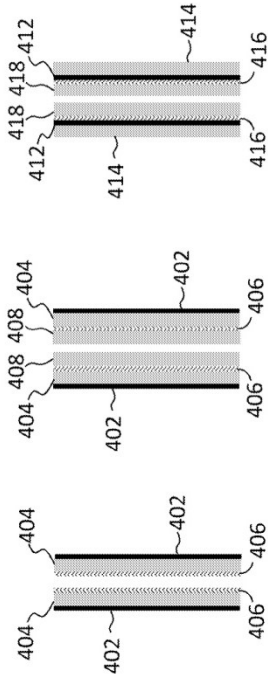


FIG. 4C

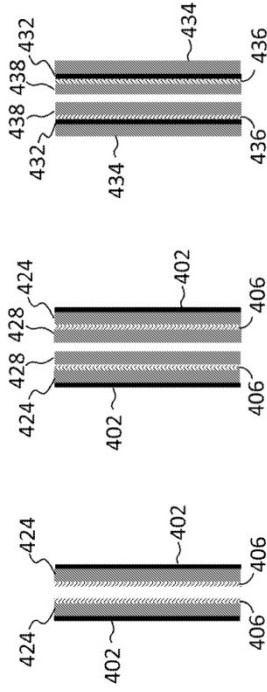


FIG. 4B

FIG. 4E

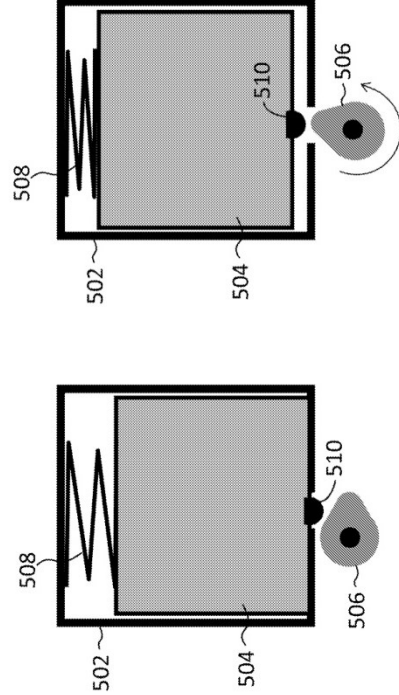


FIG. 4D

FIG. 4F

6/17

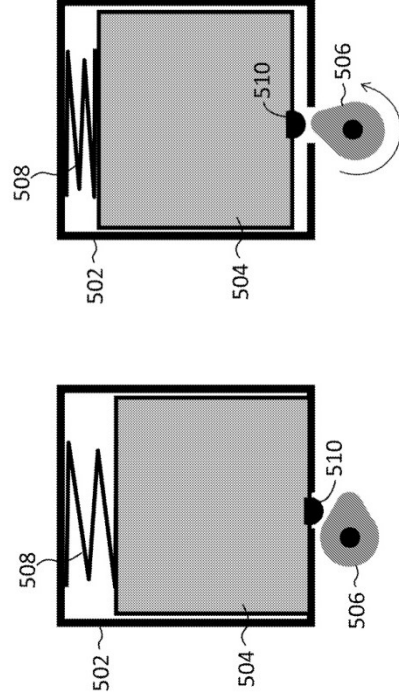


FIG. 5B

FIG. 5A

7/17

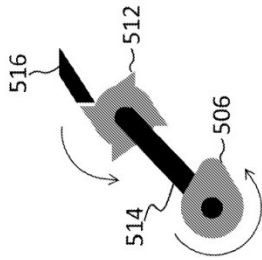


FIG. 5C

8/17

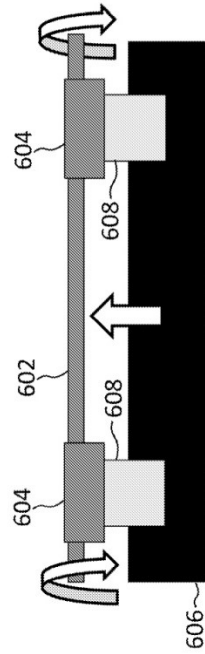


FIG. 6

9/17

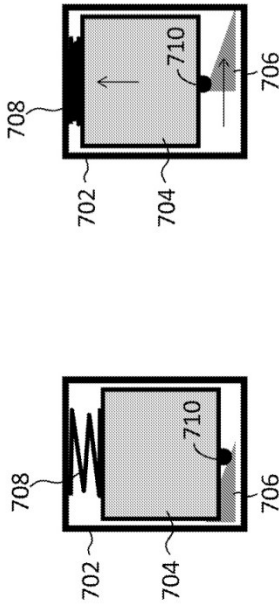


FIG. 7A

FIG. 7B

10/17

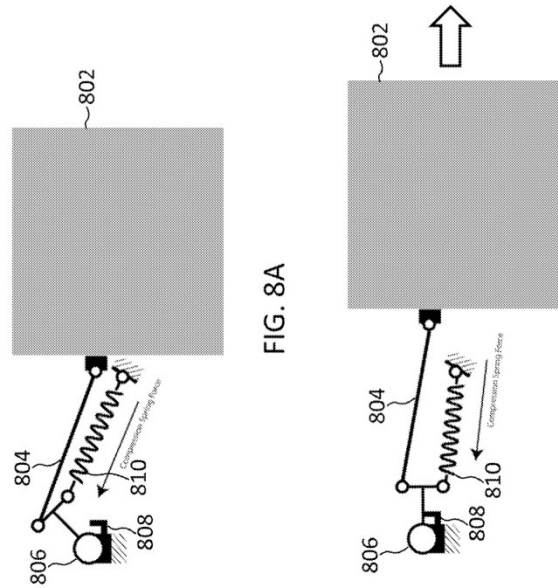


FIG. 8A

FIG. 8B

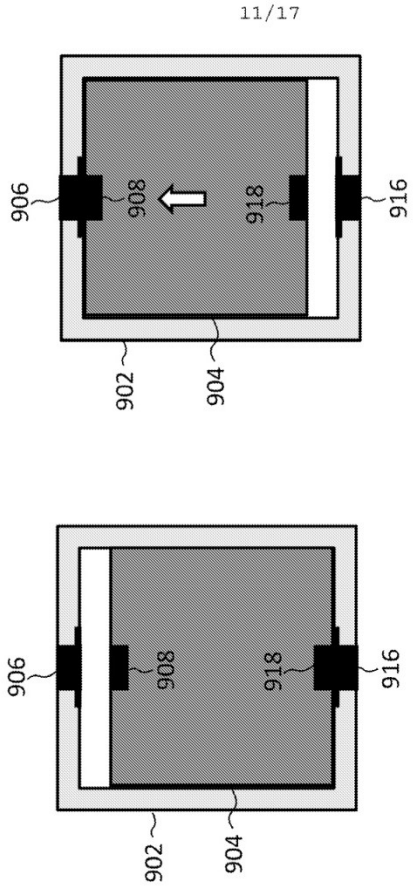


FIG. 9A

FIG. 9B

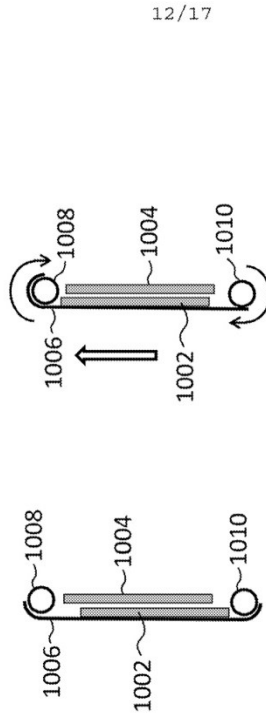


FIG. 10A

FIG. 10B

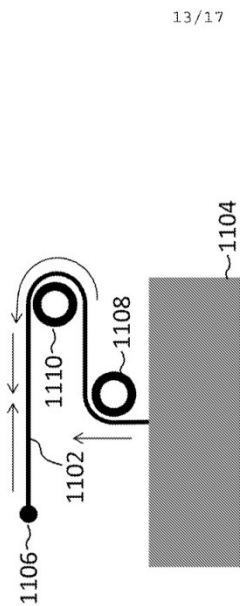


FIG. 11

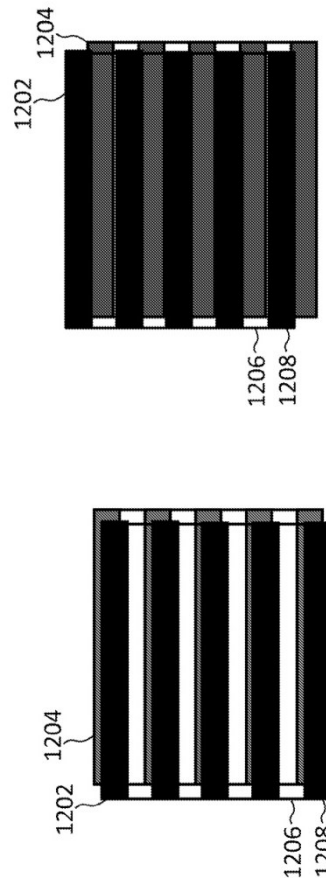


FIG. 12A

FIG. 12B

15/17

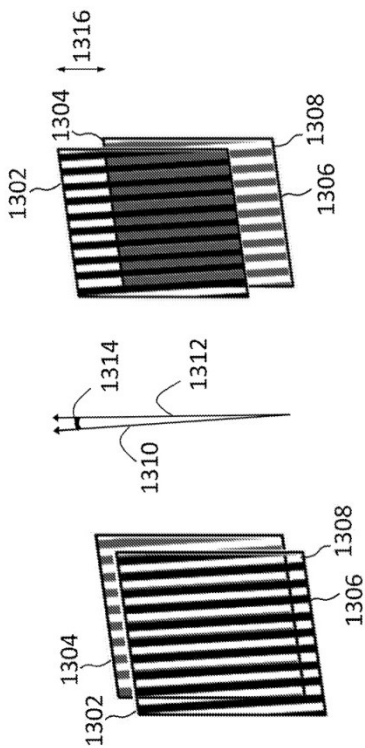


FIG. 13A

FIG. 13B

16/17

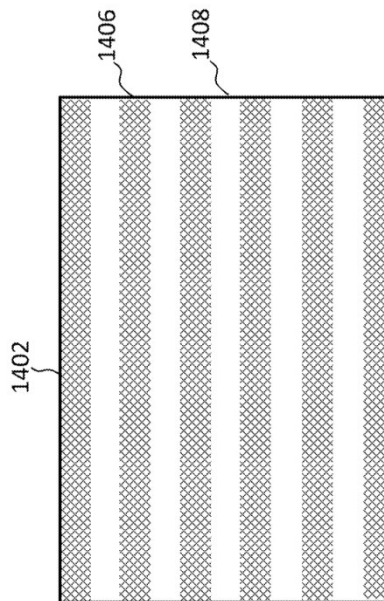


FIG. 14

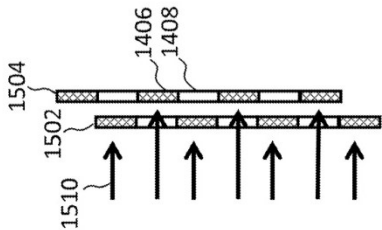


FIG. 15B

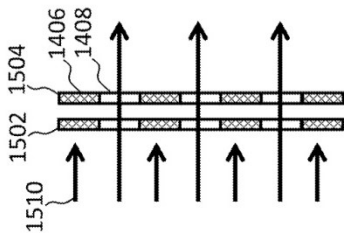


FIG. 15A

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US2013/022453

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER	
G02F 100(2006.01)	
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC	
B. FIELDS SEARCHED	
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G02F 100; G02B 5/30; G02F 1/01; G02F 1/1335; G02B 27/28	
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Korean utility models and applications for utility models Japanese utility models and applications for utility models	
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) eCOMPASS(KIPO internal) & Keywords: variable transmission, mechanical translation, window panels, wave retarder, polarizer similar terms	
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT	
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages Relevant to claim No.
X	US 2010-0053751 A3 (WILLIAM BUELOE et al.) 04 March 2010 See paragraphs [0047]-[0051]; claims 6-11; and figures 9C, 9E, 1-3, 24, 27-29
A	4-23, 25, 26
X	US 4902112 A (GREGORY E. LOWE) 20 February 1990 See column 4, line 4 - column 8, line 39; and figures 1-7. 1, 27-29
A	US 4285577 A (NORMAN W. SCHUELER) 25 August 1981 See column 2, line 60 - column 3, line 45; and figures 2, 3, . 1-29
A	US 5686979 A (MICHAEL F. WEBER et al.) 11 November 1997 See column 10, line 54 - column 11, line 24; and figure 8. 1-29
A	US 2004-0238847 A3 (KENTAROUI TAKEDA et al.) 26 October 2004 See abstract; paragraph [0070]; and figure 3. 1-29
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.	
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance, the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance, the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is considered with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "K" document member of the same patent family	
Date of the actual completion of the international search 19 June 2013 (19.06.2013)	Date of mailing of the international search report 21 June 2013 (21.06.2013)
Name and mailing address of the ISA/KR Korean Intellectual Property Office 189 Cheongna-ro, Seo-gu, Daejeon Metropolitan City, 302-701, Republic of Korea Facsimile No. 82-42-472-7140	Authorized officer LEE, Dong Yun Telephone No. 82-42-481-8734

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 2009)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family membersInternational application No.
PCT/US2013/022453

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2010-0053751 A1	04.03.2010	US 2012-176675 A1 US 8310757 B2	12.07.2012 13.11.2012
US 04902112 A	20.02.1990	EP 0271506 A1 EP 0271506 A4 wo 87-06355 A1	22.06.1988 23.08.1988 22.10.1987
US 04285577 A	25.08.1981	None	
US 05686979 A	11.11.1997	CN 1189224 A0 EP 0835475 A2 JP 03687976 B2 JP 11-508377 A KR 10-1999-0028381 A wo 97-01789 A2	29.07.1998 06.10.1999 24.08.2005 21.07.1999 15.04.1999 16.01.1997
US 2006-0238867 A1	26.10.2006	JP 04237544 B2 JP 2004-344147 A US 7593079 B2 wo 2004-104653 A1	11.03.2009 02.12.2004 22.09.2009 02.12.2004

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 2009)



US 2010053751A1

(19) **United States**

Patent Application Publication Mar. 4, 2010 Sheet 1 of 15

US 2010/0053751 A1

(12) **Patent Application Publication** (10) **Pub. No.:** US 2010/0053751 A1
McLeod et al. (43) **Pub. Date:** Mar. 4, 2010

(54) **WIRE GRID POLARIZERS IN WINDOW SHADING APPLICATIONS AND VARYING THICKNESS WAVE RETARDERS**

(52) **U.S. CL.** 359/486; 359/489

(76) **Inventors:** William McLeod, Central Islip, NY (US); Ryan Tatzel, Syosset, NY (US)

(57) **ABSTRACT**

Correspondence Address:
GAUTHIER & CONNORS, LLP
225 FRANKLIN STREET, SUITE 2300
BOSTON, MA 02110 (US)

A light transmissive panel is provided comprising a first sheet and a second sheet, wherein each sheet is made up of a nonbirefringent substrate and a wire grid polarizer pattern of continuously varying absorption axis orientation formed on the nonbirefringent substrate. The wire grid polarizer patterns on each of the first and second sheet are mechanically translatable relative to each other, wherein the mechanical translation controls transmission of light through the light transmissive panel. Also taught is an example wherein each sheet of the panel is made of a wire grid polarizer that is laminated with a continuous variable thickness wave plate retarder, wherein the continuous variable thickness wave plate retarder rotates input light by an amount determined by the thickness of the wave plate retarder. Also taught is an example wherein each sheet of the panel is made up of a traditional polarizer and continuously varying thickness wave retarder.

(21) **Appl. No.:** 12/199,914
(22) **Filed:** Aug. 28, 2008

Publication Classification

(51) **Int. Cl.**
G02B 5/30 (2006.01)

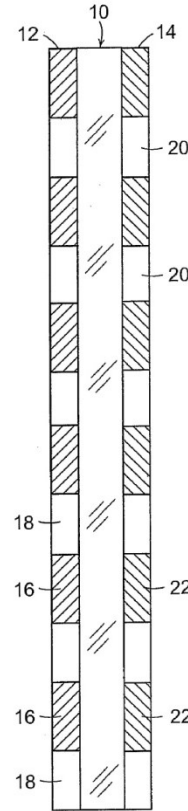
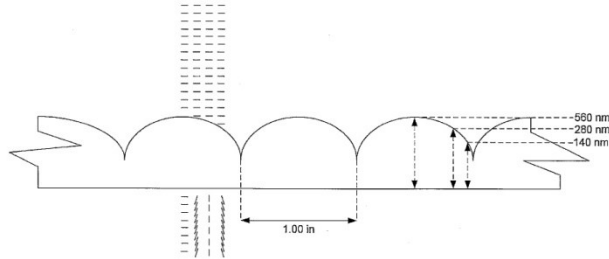


FIG. 1A
(PRIOR ART)

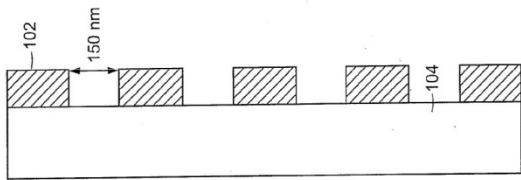


FIG. 1C
(PRIOR ART)

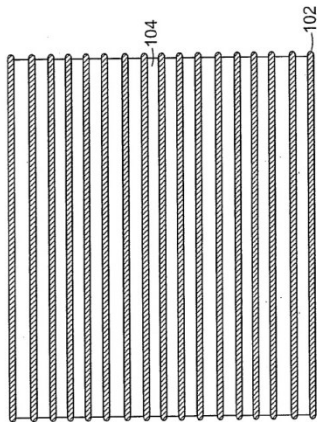
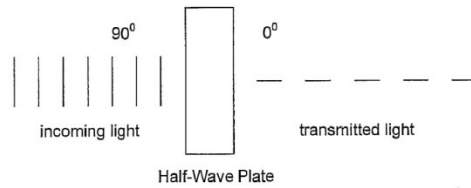
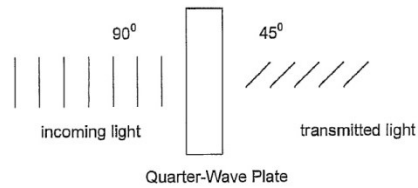


FIG. 1B
(PRIOR ART)



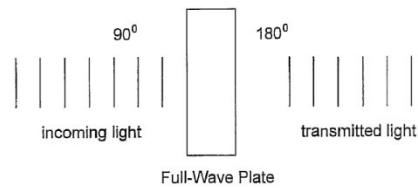
Half-Wave Plate

FIG. 2A



Quarter-Wave Plate

FIG. 2B



Full-Wave Plate

FIG. 2C

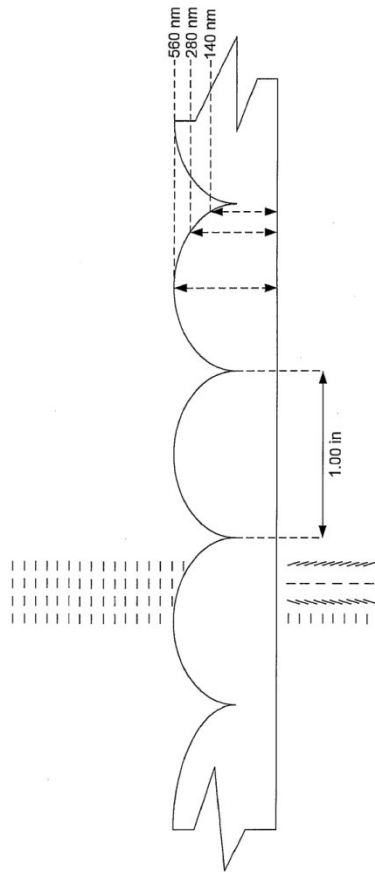


FIG. 3

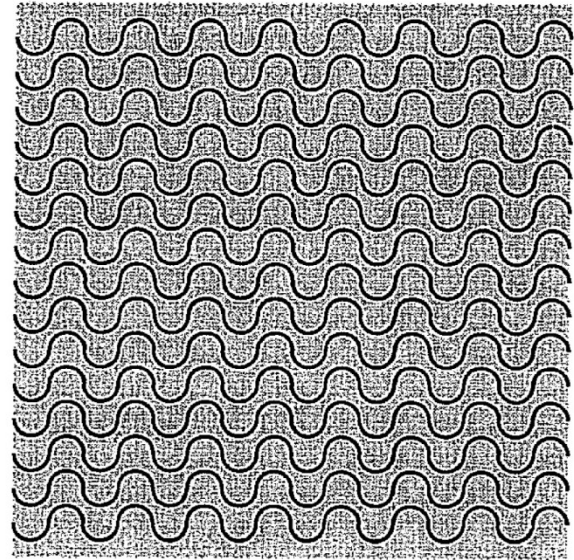


FIG. 4

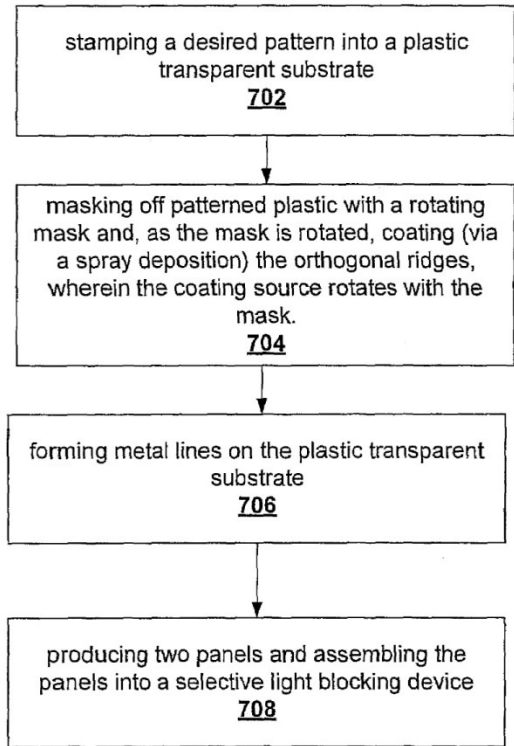
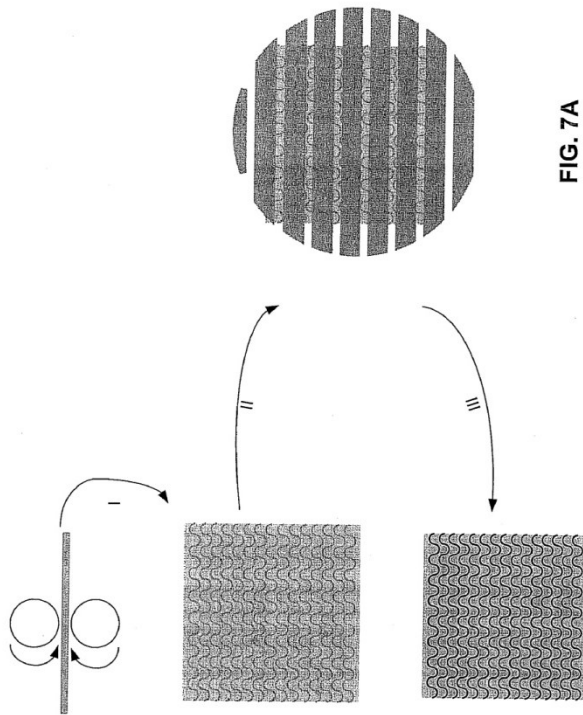


FIG. 7B

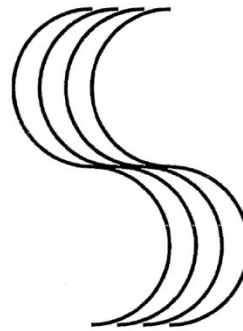
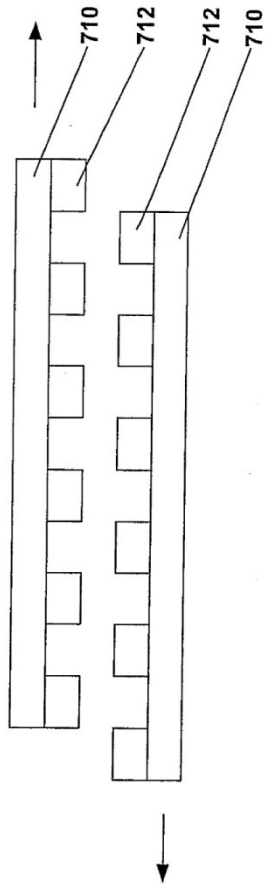


FIG. 8A

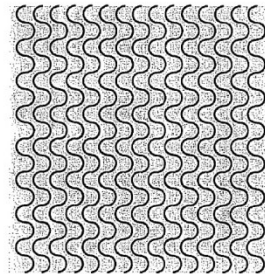


FIG. 8B

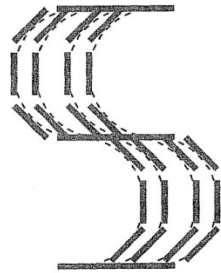


FIG. 8C

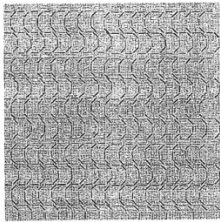


FIG. 8D

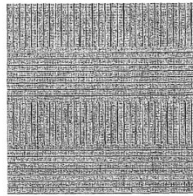


FIG. 8E

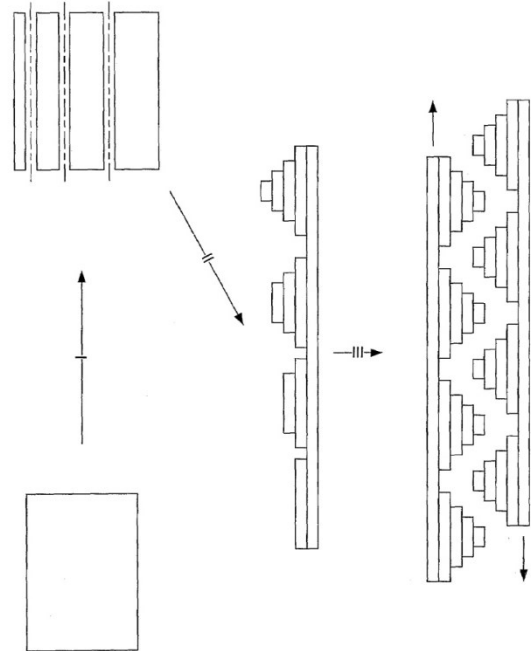


FIG. 9A

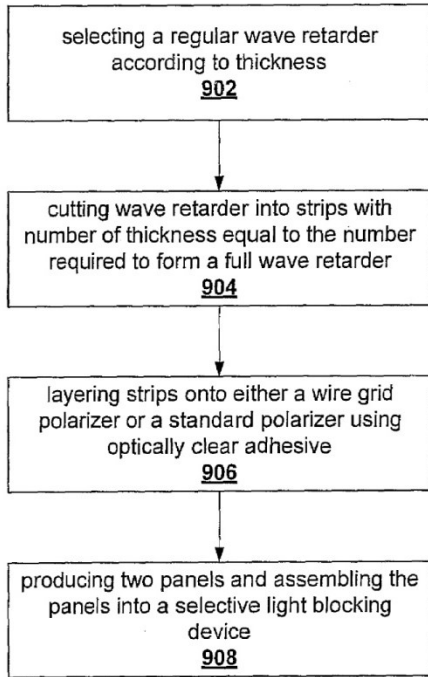


FIG. 9B



FIG. 10A



FIG. 10B

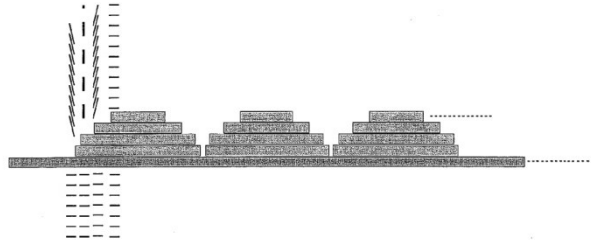


FIG. 10C

WIRE GRID POLARIZERS IN WINDOW SHADING APPLICATIONS AND VARYING THICKNESS WAVE RETARDERS

BACKGROUND OF THE INVENTION

- [0001]** 1. Field of Invention
- [0002]** The present invention relates generally to the field of transmissive panels. More specifically, the present invention is related to the use of wire grid polarizers and wave retarders in transmissive panels.
- [0003]** 2. Discussion of Prior Art
- [0004]** The U.S. Patent to Metwalli (U.S. Pat. No. 5,189, 552) provides for an incidence angle light attenuator for light transmissive panels. Specifically, Metwalli teaches a method and apparatus for controlling light attenuation through a light transmissive panel that uses polarized film sheets positioned on opposite surfaces of the panel.
- [0005]** FIG. 1A illustrates Metwalli's light transmissive panel 10, such as a window or automobile windshield, wherein the transmissive panel 10 is covered by a film 12 on one surface and by a film 14 on an opposite surface. Each of the films 12 and 14 has a plurality of attenuating strips of different absorption axis of polarized films. Film 12 includes polarized strips 16 having an absorption axis aligned in a first predetermined direction. The strips 16 are arranged in generally horizontal, parallel rows spaced apart by sections of film strips 18 of absorption axis differently oriented from strips 16. Film 14 includes polarized strips 20 having an absorption axis aligned in the same predetermined direction as strips 16 and spaced apart by film strips 22 having an absorption axis oriented in the same direction as film strips 18. The strips 20 are aligned to overlap the film strips 16 while strips 22 overlap strips 18. The film sheets are oriented on the opposing surfaces of the panel such that light passing through within a preselected range of incidence angles passes through strips of common polarization. Light impinging on the panel at other incidence angles passes through strips of different polarization and is significantly polarized or may have varying polarization in order to provide attenuation within step changes.
- [0006]** FIG. 1B illustrates a traditional wire grid polarizers having a plurality of lines of conductive material running at nanoscales. For example, the spacing between the conductive wires is in the range of 150 nm. FIG. 1B illustrates a pattern formed by conductive wires 102 as applied to a nonbirefringent substrate 104. FIG. 1C illustrates a cross section of the wire grid polarizer shown in FIG. 1B.
- [0007]** One problem associated with the prior art, such as Metwalli, is that such setups, at a theoretical maximum, can only achieve 50% clarity at its clearest and 100% opacity at its darkest.
- [0008]** Another problem associated with the prior art, such as Metwalli, is that such traditional polarizers are made of organic compounds or iodine, which will degrade in exposure to direct sunlight over shorter time-spans (two years or less in their intended use in direct light).
- [0009]** Yet another problem associated with the prior art, such as Metwalli, is that they fail to achieve a mirror state at full opacity instead of a darkened state.
- [0010]** Further, the prior art, such as Metwalli, fail to provide a robust solution for selecting the level of light to transmit on a grayscale from near 0% to near 100%. In order to achieve a range of 50%-100% range with conventional polarizers, one must either manufacture one continuous polarizer with a plane of polarization in one direction then cut it into strips at differing angles and re-laminate them together in order, or one has to produce a continuous polarizer and stretch it (longitudinally in shear) until the plane of polarization

approaches an s-curved shape. The former results in a large amount of waste material, takes a long time to achieve (and is difficult to automate) and results in visible "stripes" where the cuts were, even if done at perfect tolerance. The latter has proven difficult to achieve and must sacrifice some contrast ratio (ratio of clearest state to darkest state).

[0011] Whatever the precise merits, features, and advantages of the above cited references, none of them achieves or fulfills the purposes of the present invention.

SUMMARY OF THE INVENTION

[0012] The present invention's device uses nanoscale engineered wire grid polarizers (WGP's) to achieve polarization. An advantage of using WGP's is that while the prior art at a theoretical maximum can only achieve 50% clarity at its clearest and 100% opacity at its darkest, a WGP-based aperture can achieve near 100% clarity (i.e., about 85% with a theoretical maximum of 100%) and still achieve 100% opacity at its darkest. Unlike the prior art polarizers that are made of organic compounds or iodine, which degrade with exposure to direct sunlight, WGP's are made of aluminum or other metals and are unaffected by exposure. Also, WGP's can achieve a mirror state at full opacity instead of a darkened state. This allows the user to reflect solar light and heat instead of absorbing it, and promises greater efficiency as a thermal block shade from solar heat gain. Further, the use of WGP's is ideal for the manufacture of devices that can be selected to transmit any level of light on a grayscale from near 0 to near 100%, because they can be manufactured with varying absorption axis orientations.

[0013] The present invention's device may also make use of varied thickness wave retarders to achieve the required polarization pattern. The pattern of polarization must vary across the direction of linear translation. A standard linear polarizer, or WGP can be used to produce the required varied polarization pattern by including an adjacent wave retarder. This wave retarder, having a varied thickness related to the wavelength of light being controlled, will rotate the polarized light to produce a required pattern. A second, adjacent (linearly translatable) wave retarder would then rotate this light to be all in the same orientation, but at a selected angle to the original angle.

[0014] In one embodiment, the present invention provides a light transmissive panel comprising: a first sheet and a second sheet, wherein each of said first and second sheets comprise a standard polarizer that is laminated with a continuous variable thickness wave plate retarder. The continuous variable thickness wave plate retarder rotates input light by an amount determined by the thickness of the wave plate retarder. The first and second sheets are mechanically translatable relative to each other, wherein the mechanical translation controls the transmission of light through said light transmissive panel.

[0015] In another embodiment, the present invention provides a light transmissive panel comprising: a first sheet and a second sheet, wherein each of the first and second sheets comprise a wire grid polarizer that is laminated with a continuous variable thickness wave plate retarder. The continuous variable thickness wave plate retarder rotates input light by an amount determined by the thickness of the wave plate retarder. The first and second sheets are mechanically translatable relative to each other, wherein the mechanical translation controls the transmission of light through said light transmissive panel.

[0016] In yet another embodiment, the present invention provides for a light transmissive panel comprising: a first sheet; and a second sheet, wherein each of the first and second sheets comprise a nonbirefringent substrate and a polarizing

pattern of continuously varying absorption axis formed on said nonbirefringent substrate. The first and second sheets are mechanically translatable relative to each other, wherein the mechanical translation controlling transmission of light through said light transmissive panel.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

- [0017]** FIG. 1A illustrates a prior art light transmissive panel, such as a window or automobile windshield, wherein the transmissive panel is covered by a film on one surface and by another film on an opposite surface.
- [0018]** FIG. 1B illustrates a traditional wire grid polarizers having a plurality of lines of conductive material running at nanoscales.
- [0019]** FIG. 1C illustrates a cross section of the wire grid polarizer shown in FIG. 1B.
- [0020]** FIG. 2A through FIG. 2C illustrate the rotation of polarized light by various angles depending on the varying thickness of the wave retarder used.
- [0021]** FIG. 3 depicts such a wave retarder for use in light transmissive panels according to the teachings of the present invention.
- [0022]** FIG. 4 illustrates an example pattern as applied to a nonbirefringent substrate.
- [0023]** FIG. 5 illustrates patterns that have an "S" shape in the z-direction, or more accurately, the shape of two tangent C's.
- [0024]** FIG. 6 illustrates an example of an output pattern of an "S" shape approximated by a stepped varied angle.
- [0025]** FIG. 7A illustrates the process for manufacturing continuously varying absorption axis orientation wire grid polarizers.
- [0026]** FIG. 7B illustrates a flowchart associated with the process depicted in FIG. 7A.
- [0027]** FIG. 8A illustrates the "S" pattern of the metal wires in a wire grid polarizer which provides a continuously varying absorption axis.
- [0028]** FIG. 8B illustrates the "S" shaped pattern of FIG. 8A as applied to a nonbirefringent substrate.
- [0029]** FIG. 8C illustrates a wire grid polarizer pattern having an absorption axis that varies in steps.
- [0030]** FIG. 8D illustrates the pattern of FIG. 8C as applied to a nonbirefringent substrate.
- [0031]** FIG. 8E illustrates a minimal design that consists of alternating vertical and horizontal orientations.
- [0032]** FIG. 9A illustrates a process associated with producing a stepped varying thickness wave retarder.
- [0033]** FIG. 9B illustrates a flowchart associated with the process depicted in FIG. 9A.
- [0034]** FIG. 10A through FIG. 10C illustrates an ideal design and the proposed design of the stepped varying thickness wave retarder.

DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

[0035] While this invention is illustrated and described in a preferred embodiment, the invention may be produced in many different configurations. There is depicted in the drawings, and will herein be described in detail, a preferred embodiment of the invention, with the understanding that the present disclosure is to be considered as an exemplification of the principles of the invention and the associated functional specifications for its construction and is not intended to limit the invention to the embodiment illustrated. Those skilled in the art will envision many other possible variations within the scope of the present invention.

2

[0036] FIG. 2A through FIG. 2C illustrate the rotation of polarized light by various angles depending on the varying thickness of the wave retarder used. FIG. 2A depicts a half-wave plate that takes vertically polarized light, represented by vertical lines |, and rotates it to horizontally polarized light, represented by horizontal lines -. FIG. 2B depicts a quarter-wave plate that takes vertically polarized light, represented by vertical lines |, and rotates it at an angle to form angularly polarized light, represented by slanted lines /. FIG. 2C depicts a full-wave plate that takes vertically polarized light, represented by vertical lines |, and rotates it back to vertically polarized light, represented by vertical lines |.

[0037] It is seen from FIG. 2A-C that the varying thickness of the plate or wave retarder causes a variance in the rotation of the polarized light. The present invention's wave retarder takes advantage of the properties shown in FIG. 2A-C by providing a variable thickness wave retarder for use in light transmissive panels, wherein the present invention's wave retarder creates a continuously varying pattern of polarization by rotating uniform pattern of polarized light in continuously varying degrees. FIG. 3 depicts such a wave retarder for use in light transmissive panels according to the teachings of the present invention.

[0038] FIG. 4 illustrates such an example pattern as applied to a nonbirefringent substrate.

[0039] According to one embodiment of the invention, a basic assembly would include two sheets of clear nonbirefringent substrate and their polarized coatings (sheet A and B). Sheets A and B would be essentially the same. Sheet A can be mechanically translated relative to sheet B by a throw distance (about an inch). Sheets A and B would have a repeating polarizing pattern in stripes down their lengths and continuous across their widths. Ideally, we hope to produce patterns that have an "S" shape in the polarization direction, or more accurately the "S" shape of two tangent C's. The polarization direction should be able to polarize light that starts horizontal and continuously varies in angle, from 0 as horizontal, to 180 as horizontal. This would mathematically be described as a plotting of a line with tangents at any point representing angles of polarization orientation such that when the two lines were overlapped in phase the corresponding tangent angles would all be parallel, and when the lines were overlapped 180 degrees out of phase the tangent angles would all be orthogonal to their corresponding mates. FIG. 5 illustrates an example of this pattern.

[0040] The width of the sheet would be the same across but the length would contain continuously varying sections. In a first embodiment, this can be achieved through the emerging nano-manufacturing process of nanoimprint lithography (NIL). A combination of NIL on a nonbirefringent polymer substrate and the use of a deposition (metal nanocoating) technique have been used in test to produce large, low cost wire grid polarizers. The article by Ahn et al. titled "Fabrication of a 50 nm half-pitch wire grid polarizer using nanoimprint lithography" (*Nanotechnology*, Volume 16, pp. 1874-1877, 2005) teaches the fabrication steps involved in making a wire grid polarizer made up of a glass substrate and aluminum grating. It should, however, be noted that Ahn et al.'s fabrication technique is targeted towards microdisplay-based projection systems. Ahn et al.'s paper is incorporated in its entirety in this application.

[0041] In another embodiment, electron-beam lithography is used to produce linear (continuous) regions of one polarizing direction. This is a second, less ideal approach used to produce the device. A finite number of regions at differing angles are produced that approximate the "S" curve above. These are produced at a tolerance above the human threshold

of vision (because of the nano-engineered nature of WGP's). The resulting pattern is illustrated in FIG. 6. The article by Chen et al. titled "Large flexible nanowire grid-visible polarizer made by nanoprimer lithography" (*Applied Physics Letters*, Volume 90, 2007) teaches a method involving the deposition of Aluminum to form a flexible wire grid polarizer. It should, however, be noted that Chen et al.'s fabrication technique is targeted towards flat panel displays and microdisplays. Chen et al.'s paper is incorporated in its entirety in this application.

[0042] In yet another embodiment, standard continuous wire grid polarizers are laminated on a continuously varying wave plate (retarder). A wave plate will rotate the orientation of pre-selected (polarized) light an amount determined by its thickness. A wave plate with a thickness that varies in a repeating pattern, laminated over a linear polarizer, can produce a polarization pattern similar to the desired "S" pattern described above. These can potentially be produced using a technique similar to NIL, or with one similar to lenticular printing, or with one similar to deposition.

[0043] Table 1 below depicts the various embodiments associated with the present invention's effective implementation of window shading applications.

TABLE 1

Polarizer	Continuously Variable Component
Wire Grid Polarizer	Continuously Varying Absorption Axis Orientation
Wire Grid Polarizer	Continuously Varying Thickness Wave Retarder
Standard Polarizer	Continuously Varying Thickness Wave Retarder

[0044] In one embodiment, the present invention provides for a light transmissive panel comprising: a first sheet; and a second sheet, wherein each of the first and second sheets comprise a nonbirefringent substrate and a polarizing pattern of continuously varying absorption axis formed on said nonbirefringent substrate. The first and second sheets are mechanically translatable relative to each other, wherein the mechanical translation controlling transmission of light through said light transmissive panel.

[0045] FIG. 7A illustrates the process for manufacturing continuously varying absorption axis orientation wire grid polarizers. The process begins by stamping a desired pattern into a plastic transparent substrate (shown as roman number I in FIG. 7A). Next, patterned plastic is then masked off in strips with a rotating mask (shown as roman number II in FIG. 7A). As the mask is rotated, a spray deposition process coats the orthogonal ridges. Further, the spray coat source rotates with the mask. The previous coating step coats the rigid plastic with metal only on the side of the ridges, which effectively results in metal lines being formed (shown as roman number III in FIG. 7A). Lastly, two panels are produced, wherein the panels are assembled into a selective light blocking device.

[0046] FIG. 7B illustrates a flowchart associated with the process depicted in FIG. 7A. In step 702, a desired pattern is stamped into a plastic transparent substrate. Next, in step 704, patterned plastic is then masked off in strips with a rotating mask and, as the mask is rotated, a spray deposition process coats the orthogonal ridges, wherein, the spray coat source rotates with the mask. The previous coating step coats the rigid plastic with metal only on the side of the ridges, which effectively results, in step 706, in metal lines being formed. Lastly, in step 708, two panels are produced, wherein the panels are assembled into a selective light blocking device.

[0047] FIG. 7C illustrates the resultant structure formed based on the process shown and described in FIG. 7A-B. In

FIG. 7C, reference numeral 710 represents the transparent substrate (e.g., transparent nonbirefringent substrate) and reference numeral 712 represents the metal lines on the substrate 710. Further, FIG. 7C depicts two panels that are mechanically translatable relative to each other.

[0048] In another embodiment, the present invention provides a light transmissive panel comprising: a first sheet and a second sheet, wherein each of the first and second sheets comprise a wire grid polarizer that is laminated with a continuous variable thickness wave plate retarder. The continuous variable thickness wave plate retarder rotates input light by an amount determined by the thickness of the wave plate retarder. The first and second sheets are mechanically translatable relative to each other, wherein the mechanical translation controls the transmission of light through said light transmissive panel.

[0049] In yet another embodiment, the present invention provides a light transmissive panel comprising: a first sheet and a second sheet, wherein each of said first and second sheets comprise a standard polarizer that is laminated with a continuous variable thickness wave plate retarder. The continuous variable thickness wave plate retarder rotates input light by an amount determined by the thickness of the wave plate retarder. The first and second sheets are mechanically translatable relative to each other, wherein the mechanical translation controls the transmission of light through said light transmissive panel.

[0050] It should be noted that instead of making continuously variable components, an alternative involves making stepped varying thickness and absorption axis devices that approach continuously varying devices. Table 2 below depicts the various embodiments associated with such an alternative approach.

TABLE 2

Polarizer	Continuously Variable Component
Wire Grid Polarizer	Stepped Varying Absorption Axis Orientation
Wire Grid Polarizer	Stepped Varying Thickness Wave Retarder
Standard Polarizer	Stepped Varying Thickness Wave Retarder

[0051] FIG. 8A illustrates the "S" pattern of the metal wires in a wire grid polarizer which provides a continuously varying absorption axis. FIG. 8B illustrates the "S" shaped pattern of FIG. 8A as applied to a nonbirefringent substrate. However, due to limitations in manufacturing, such an "S" shaped pattern has to be approached with straight lines. Such a pattern is shown in FIG. 8C, wherein the wire grid polarizer has an absorption axis that varies in steps. The setup shown in FIG. 8C approaches a continuously varying absorption axis. FIG. 8D illustrates the same pattern as applied to a nonbirefringent substrate. It should be noted that a minimal design would consist of alternating vertical and horizontal orientations as shown in FIG. 8E.

[0052] FIG. 9A illustrates a process associated with producing a stepped varying thickness wave retarder. As a first step, a regular wave retarder (e.g., a quarter wave retarder) is selected, wherein the selected wave retarder is to be used to make, for example, a four step retarder. Next, the selected wave retarder is cut into strips with number of thickness equal to the number required to form a full wave retarder (as shown as roman number I in FIG. 9A). For example, the selected wave retarder is cut into 4 different thicknesses. As a next step, the strips are layered onto either a wire grid polarizer or a standard polarizer or a standard polarizer using an optically clear adhesive (as shown as roman number II in FIG. 9A).

Lastly, two panels are produced, wherein the panels are assembled into a selective light blocking device and, wherein, the panels are mechanically translatable relative to each other (as shown as roman number III in FIG. 9A).

[0053] FIG. 9B illustrates a flowchart associated with the process depicted in FIG. 9A. In step 902, a regular wave retarder (e.g., a quarter wave retarder) is selected, wherein the selected wave retarder is to be used to make, for example, a four step retarder. In step 904, the selected wave retarder is cut into strips with number of thickness equal to the number required to form a full wave retarder. For example, the selected wave retarder is cut into 4 different thicknesses. In step 906, the strips are layered onto either a wire grid polarizer or a standard polarizer or a standard polarizer using an optically clear adhesive. In step 910, two panels are produced, wherein the panels are assembled into a selective light blocking device and, wherein, the panels are mechanically translatable relative to each other.

[0054] FIG. 10A illustrates the ideal design intended to rotate light in a continuous pattern. As previously mentioned, due to limitations in manufacturing, this design may be approached in a stepped manner. FIG. 10B illustrates such a stepped design. FIG. 10C illustrates the proposed varying thickness retarder that approaches a continuous pattern of rotated light. It should be noted that each of the four layers shown can be quarter wave retarders, which are placed on a standard polarizer or wire grid polarizer using an optically clear adhesive.

CONCLUSION

[0055] A system and method has been shown in the above embodiments for the effective implementation of window shading applications using wire grid polarizers and varied thickness wave retarders. While various preferred embodiments have been shown and described, it will be understood that there is no intent to limit the invention by such disclosure, but rather, it is intended to cover all modifications falling within the spirit and scope of the invention, as defined in the appended claims. For example, the present invention should not be limited by specific technique used to form the wire grid polarizer.

1. A light transmissive panel comprising: a first sheet; and a second sheet, each of said first and second sheets comprising a nonbirefringent substrate and a polarizing pattern of continuously varying absorption axis formed on said nonbirefringent substrate; said first and second sheets being mechanically translatable relative to each other, said mechanical translation controlling transmission of light through said light transmissive panel.
2. The light transmissive panel of claim 1, wherein said polarizer patterns on said first and second sheet are formed via a traditional polarizer and a wave retarder of continuously varying thickness.
3. The light transmissive panel of claim 1, wherein said polarizer patterns on said first and second sheet are formed via

a traditional polarizer and a wave retarder of discretely (stepped) varying thickness in order to approach a continuously varying pattern.

4. The light transmissive panel of claim 1, wherein said translation controls transmission of light on a gray scale from near 0% to near 100%.

5. The light transmissive panel of claim 1, wherein said panel is a window, skylight, or aftermarket augmentation to either:

6. A light transmissive panel comprising: a first sheet; and a second sheet,

each of said first and second sheets comprising a wire grid polarizer that is laminated with a continuous variable thickness wave plate retarder;

said continuous variable thickness wave plate retarder rotating input light by an amount determined by the thickness and said first and second sheets being mechanically translatable relative to each other, said mechanical translation controlling transmission of light through said light transmissive panel.

7. The light transmissive panel of claim 6, wherein said wire grid polarizer patterns on said first and second sheet are formed via nanoprimer lithography (NIL) and by deposition.

8. The light transmissive panel of claim 6, wherein said wire grid polarizer patterns on said first and second sheet are formed via electron-beam lithography.

9. The light transmissive panel of claim 6, wherein thickness of said wave plate retarder varies in an "m" pattern.

10. The light transmissive panel of claim 6, wherein said translation controls transmission of light on a gray scale from near 0% to near 100%.

11. The light transmissive panel of claim 6, wherein said panel is a window, skylight, or aftermarket augmentation to either:

12. A light transmissive panel comprising: a first sheet; and a second sheet,

each of said first and second sheets comprising a nonbirefringent substrate and a wire grid polarizer pattern of continuously varying absorption axis orientation formed on said nonbirefringent substrate;

said wire grid polarizer patterns on each of said first and second sheets facing each other and said first and second sheets being mechanically translatable relative to each other, said mechanical translation controlling transmission of light through said light transmissive panel.

13. The light transmissive panel of claim 10, wherein said wire grid polarizer patterns on said first and second sheet are formed via nanoprimer lithography (NIL) and by deposition.

14. The light transmissive panel of claim 10, wherein said wire grid polarizer patterns on said first and second sheet are formed via electron-beam lithography.

15. The light transmissive panel of claim 10, wherein said translation controls transmission of light on a gray scale from near 0% to near 100%.

16. The light transmissive panel of claim 10, wherein said panel is a window, skylight, or aftermarket augmentation to either.

* * * * *

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-65514

(P2010-65514A)

(43) 公開日 平成22年3月25日(2010.3.25)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
E O 6 B 9/24 (2006.01)	E O 6 B 9/24	2 E O 4 3
E O 6 B 9/284 (2006.01)	E O 6 B 9/284	A

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 5 頁)

(21) 出願番号	特願2008-235799 (P2008-235799)	(71) 出願人	706002511 横岸 弘行
(22) 出願日	平成20年9月15日(2008.9.15)		群馬県伊勢崎市草薙寺町5 番地
		(72) 発明者	横岸 弘行 群馬県伊勢崎市草薙寺町5 番地
		Fターム(参考)	2E043 A01 A04 A05 BA01 DA05

(54) 【発明の名称】 偏光ブラインド

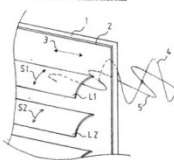
(57) 【要約】

【課題】従来のブラインドは、不透光材質を用いている。しかし、完全遮光状態において光線の反射や漏れが発生し、適正な暗さを確保できていないため、遮光性能を向上させる。

【解決手段】ルーバーに偏光特性を持つ透過材質の用い、窓側偏光ガラスとブラインド間、あるいは、隣接するルーバー間の偏光軸が直交する特性となるような配置する。そして、完全遮光必要時に、通過光線は直交する偏光軸を有する2つの偏光材を通過する構造にする。このことにより、通過光線が各々部材で遮断され、完全遮光状態になる。

【選択図】 図1

偏光ブラインドの実施方法説明図



【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数本のルーバーが長手方向に平行配置されており、前記ルーバーが外部操作により同期して傾角を調整できるブラインドにおいて、ルーバー本体に偏光部材を用いたことを特徴とするブラインド。

【請求項2】

一定方向の偏光軸を有する第1のルーバーと、第1のルーバーの偏光軸と直交する偏光軸を有する第2のルーバーを有し、前記第1のルーバーと第2のルーバーが交互に配置され、ルーバー最大遮光傾斜角において各ルーバーが短手方向に、全二重構造になるように各ルーバーを配置したことを特徴とする請求項1に記載のブラインド。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、偏光特性を利用したブラインドに関するものである。

【背景技術】

【0002】

一般のブラインドのルーバーは多くがプラスチックあるいは竹片等の不透光材質により形成され、ルーバーが直立していない時、ルーバー間の隙間は開放状態となり、光線は直接入射し、ルーバー面が直立するように調整された時、光線はルーバーにより全面を遮断する。

【特許文献1】特開2004-332506号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

解決しようとする問題点は、ルーバーにより、全面遮断してもルーバーの材料が明るい素材を使用しているため、ルーバー相互の反射光により、室内を適正暗さにできず、パソコン画面やプロジェクターなどの映像機器を使用する場合、ブラインドからの外乱光や反射光が映像機器に映る欠点があった。

この改善策として、暗幕など使用する方法があるが、映像機器を使用しない場合、適量の採光を得るには調整が難しく、明暗が偏る欠点がある。また、ルーバーに暗い素材を使用するブラインドでは、明るい室内の要求に対応できない欠点を持つ。

【課題を解決するための手段】

【0004】

本発明は、ブラインドに偏光特性を持つルーバーを配置する。

【発明の効果】

【0005】

本発明のブラインドは、完全遮光状態において、窓に設けられた偏光フィルムと偏光特性のあるルーバーにより光の進入が完全に遮断される。また、偏光軸が異なる2種類のルーバーを交互に配置することにより前記方式と同様に、光の進入が完全に遮断できて、従来のブラインドに比べ、室内を暗くすることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0006】

従来品よりも、ブラインド開口時は外部の可視化性能を向上し、完全閉口時は遮光性能を向上することを目的とし、ルーバーに偏光特性を持たせることにより実現した。

【実施例1】

【0007】

図1は、本発明装置の1実施例のブラインドは、偏光フィルム2を貼り付けられた窓ガラス1に設置するものであり、透過特性および偏光特性を有するルーバーL1に、外部光線縦波4、外部光線横波5が入射する状態を示している。ただし、ブラインド枠やルーバー支持部材等は省略してある。また、ルーバーは、多数ある中の2枚を記載した。

10

20

30

40

50

【0008】

外部からの自然光は、一般的に縦波4と横波5で表現される。外部光線縦波4は、偏光軸3の特性を有する偏光フィルム2で透過を阻止されて室内への侵入は出来ない。外部光線横波5は、偏光軸3の特性を有する偏光フィルム2を透過するが、偏光軸S1の特性を有するルーバーL1で透過を阻止される。

【0009】

図1の例では、ルーバーL1、L2が開口と完全遮光の中間の位置にあり、ルーバーL1、L2の隙間からの外部光線横波5は、室内へ導入することができる。

【0010】

図2は、ルーバーL1、L2が完全遮光できる位置を示している。ルーバーL1とルーバーL2には隙間がなく、外部光線縦波（図示しない）は、縦波のみを通過させる偏光軸S1、S2を持つルーバーL1、L2で完全に遮断され、外部光線は、室内に侵入できない。

【実施例2】

【0011】

図3の例は、偏光特性を持たない窓に使用するブラインドのルーバーで概ね開口状態を示している。ルーバーL3、L5の偏光軸S3、S5は、ルーバー長手方向と平行とする。前記ルーバーと隣接するルーバーL4、L6の偏光軸S4、S6は、ルーバー長手方向に対して90°の向きとなるように配置されている。

開口に近い状態でのブラインド通過光線（図示しない）は、一部ルーバーにより遮られる部分も有するが、縦波もしくは横波のどちらか一方を透過させる特性を持つルーバーのため、ブラインド外部の景色を可視化できる。

【0012】

図4は、図3のブラインド完全遮光時のルーバー断面図を示している。この配置は、隣接するルーバーとの間隔が、ルーバー縦幅の1/2ずれて重なる全二重構造となっている。ブラインド照射される外部光4は、ブラインドの全ての照射位置で、ルーバーLnとルーバーLn-1により遮断する構造になっている。外部光4は、ルーバーLnにより縦波もしくは横波の一方の波が吸収され、透過した残りの波は、ルーバーLn-1により侵入を阻止される。このように外部光4は、90°異なる偏光軸を持つ2つのルーバーにより、完全遮光状態となる。

【0013】

偏光軸は、水平と垂直方向の例を示したが-45°と+45°など直交する組合せを用いることにより同様な効果が得られる。また、偏光軸を直交としたが完全遮光が暗すぎる場合には、角度を変えても良い。

【産業上の利用可能性】

【0014】

図1から図4の実施例では、横型ブラインドを例に説明したが、図5に示すように縦型ブラインドにも適用できる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】 偏光ブラインドの実施方法を示した説明図である。（実施例1）

【図2】 完全遮光状態を示した説明図である。（実施例1）

【図3】 偏光ブラインドの実施方法を示した説明図である。（実施例2）

【図4】 完全遮光状態を示したルーバー断面図である。（実施例2）

【図5】 縦型ブラインド説明図である。（応用例）

【符号の説明】

【0016】

- 1 窓ガラス
- 2 偏光フィルム
- 3 偏光軸

- 4 外部光線縦波
- 5 外部光線横波
- L1、L2、... Ln ルーバー
- S1、S2、... Sn ルーバー偏光軸

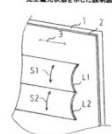
【図1】

偏光ブラインドの実施方法を示した説明図



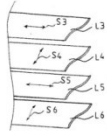
【図2】

完全遮光状態を示した説明図



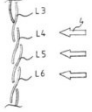
【図 3】

縦型ブラインドの駆動方法説明図



【図 4】

完全遮光状態の構造図



【図 5】

縦型ブラインド駆動方法説明図



(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-118237

(P2012-118237A)

(43) 公開日 平成24年6月21日(2012.6.21)

(51) Int. Cl. F I テーマコード (参考)
 G02B 5/30 (2006.01) G02B 5/30 2H149

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2010-267018 (P2010-267018)	(71) 出願人	309002329 旭化成イーマテリアルズ株式会社 東京都千代田区神田神保町一丁目105番地
(22) 出願日	平成22年11月30日 (2010.11.30)	(74) 代理人	100121083 弁理士 青木 宏義
		(74) 代理人	100138391 弁理士 天田 昌行
		(72) 発明者	河津 泰幸 静岡県富士市殿島2番地の1 旭化成イーマテリアルズ株式会社内
		(72) 発明者	木下 大輔 静岡県富士市殿島2番地の1 旭化成イーマテリアルズ株式会社内

最終頁に続く

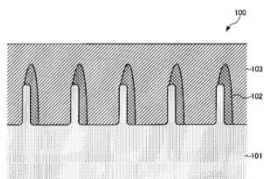
(54) 【発明の名称】 赤外線用ワイヤグリッド偏光板

(57) 【要約】

【課題】可視光領域で高い透過率を有すると共に、赤外線領域で高い偏光特性を示すワイヤグリッド偏光板を提供すること。

【解決手段】基材101上に周期的に配列された金属ワイヤ102と、金属ワイヤ102を被覆する透明被覆層103とを有する赤外線用ワイヤグリッド偏光板100であって、金属ワイヤ102の周期が160nm以上300nm以下であり、400nm以上650nm以下における全光透過率が50%以上、且つ赤外線領域における透過光の偏光度が80%以上とする。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項1】

基材上に周期的に配列された金属ワイヤと、前記金属ワイヤを被覆する透明被覆層と、を有するワイヤグリッド偏光板であって、

前記金属ワイヤの周期が160nm以上300nm以下であり、400nm以上650nm以下における全光透過率が50%以上、且つ赤外線領域における透過光の偏光度が80%以上であることを特徴とする赤外線用ワイヤグリッド偏光板。

【請求項2】

400nm以上650nm以下における透過光の偏光度が80%未満であり、赤外線領域における透過率が50%未満であることを特徴とする請求項1に記載の赤外線用ワイヤグリッド偏光板。

【請求項3】

400nm以上650nm以下における全光反射率が20%未満であり、赤外線領域における全光反射率が20%以上であることを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の赤外線用ワイヤグリッド偏光板。

【請求項4】

前記基材上に膜厚が0.005μm以上3μm以下の樹脂被膜を有し、前記樹脂被膜上に前記金属ワイヤが形成されていることを特徴とする請求項1から請求項3のいずれかに記載の赤外線用ワイヤグリッド偏光板。

【請求項5】

前記金属ワイヤのデューティ比が0.05以上～0.3以下であることを特徴とする請求項1から請求項4のいずれかに記載の赤外線用ワイヤグリッド偏光板。

【請求項6】

前記透明被覆層が屈折率1.4以上2.6以下であることを特徴とする請求項1から請求項5のいずれかに記載の赤外線用ワイヤグリッド偏光板。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、赤外線用ワイヤグリッド偏光板に関する。

【背景技術】

【0002】

近年のフォトソングラフィー技術の発達により、光の波長レベルのピッチを有する微細構造パターンを形成することができるようになってきた。このように非常に小さいピッチのパターンを有する部材や製品は、半導体分野だけでなく、光学分野において利用範囲が広く有用である。

【0003】

例えば、金属などで構成された導電体線が特定のピッチで格子状に配列してなる凹凸構造を持つワイヤグリッドは、そのピッチが入射光（例えば、可視光の波長400nmから700nm）に比べてかなり小さいピッチ（例えば、2分の1以下）であれば、導電体線に対して平行に振動する電場ベクトル成分の光をほとんど反射し、導電体線に対して直交する電場ベクトル成分の光をほとんど透過させるため、単一偏光を作り出す偏光板として使用できる。ワイヤグリッド偏光板は、透過しない光を反射し再利用することができるので、光の有効利用の観点からも望ましいものである。

【0004】

このようなワイヤグリッド偏光板としては、例えば、特許文献1に開示されているものがある。このワイヤグリッド偏光板は、入射光の波長より小さいグリッド周期で間隔が置かれた金属ワイヤを備えている成形体である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2002-328234号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ワイヤグリッド偏光板は、上記のような原理から、可視光から近赤外光、赤外光に至る広い範囲で、優れた偏光特性を有する。そのため、近年、近赤外光や赤外光の利用が盛んなセキュリティ分野などにおいて、ワイヤグリッド偏光板は有用な偏光子として期待されている。

【0007】

一方で、近年様々な製品設計のニーズから、特定の波長領域において選択的に偏光特性を発揮するワイヤグリッド偏光板が求められている。例えば、可視光領域において光を透過させ、近赤外領域以上の領域で偏光特性を発揮できる赤外線用ワイヤグリッド偏光板等が望まれている。しかし、従来のワイヤグリッド偏光板では、可視光領域において高い偏光特性を有するため可視光領域における透過率が低くなってしまい、上述したような赤外領域における選択的な利用には不十分であった。

【0008】

本発明は、かかる点に鑑みてなされたものであり、可視光領域で高い透過率を有すると共に、赤外領域で高い偏光特性を示す赤外線用ワイヤグリッド偏光板を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明の赤外線用ワイヤグリッド偏光板は、基材上に周期的に配列された金属ワイヤと、金属ワイヤを被覆する透明被覆層と、を有するワイヤグリッド偏光板であって、金属ワイヤの周期が160nm以上300nm以下であり、400nm以上650nm以下における全光透過率が50%以上、且つ赤外領域における透過光の偏光度が80%以上であることを特徴とする。

【0010】

本発明の赤外線用ワイヤグリッド偏光板において、400nm以上650nm以下における透過光の偏光度が80%未満であり、赤外領域における透過率が50%未満であることが好ましい。

【0011】

本発明の赤外線用ワイヤグリッド偏光板において、400nm以上650nm以下における反射光の全光反射率が20%未満であり、赤外領域における反射光の全光反射率が20%以上であることが好ましい。

【0012】

本発明の赤外線用ワイヤグリッド偏光板において、基材上に膜厚が0.005 μ m以上3 μ m以下の樹脂被膜を有し、樹脂被膜上に金属ワイヤが形成されていることが好ましい。

【0013】

本発明の赤外線用ワイヤグリッド偏光板において、金属ワイヤのデューティ比が0.05以上～0.3以下であることが好ましい。

【0014】

本発明の赤外線用ワイヤグリッド偏光板において、透明被覆層が屈折率1.4以上2.6以下であることが好ましい。

【発明の効果】

【0015】

本発明によれば、可視光領域で高い透過率を有すると共に、赤外領域で高い偏光特性を示す赤外線用ワイヤグリッド偏光板を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】本実施の形態に係るワイヤグリッド偏光板の一構成例を説明する図である。

【図2】本実施例に係るワイヤグリッド偏光板の透過率の測定結果を示す図である。

【図3】比較例1に係るワイヤグリッド偏光板の透過率の測定結果を示す図である。

【図4】比較例2に係るワイヤグリッド偏光板の透過率の測定結果を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0017】

本発明者は、赤外領域で選択的に偏光特性を発揮する赤外線用ワイヤグリッド偏光板について鋭意検討した結果、金属ワイヤの周期を所定の範囲とすると共に金属ワイヤを透明被覆層で覆う構成とすることにより、可視光領域で透過率を向上させ且つ赤外領域で高い偏光特性を得られることを見出した。以下に、本発明の赤外線用ワイヤグリッド偏光板について説明する。

【0018】

図1に示すワイヤグリッド偏光板100は、基材101と、当該基材101上に設けられた金属ワイヤ102と、当該金属ワイヤ102を覆うように設けられた透明被覆層103とを有している。

【0019】

金属ワイヤ102は、基材101上に周期的に配列されており、所定の方向における金属ワイヤ102の周期が160nm以上300nm以下で設けられている。このように、周期が160nm以上300nm以下で金属ワイヤ102を配置し、且つ当該金属ワイヤ102を透明被覆層103で覆う構成とすることにより、可視光領域において高い透過率を有し、且つ赤外領域において高い偏光特性を有するワイヤグリッド偏光板100を得ることが可能となる。

【0020】

これは、周期が160nm以上300nm以下で配置された金属ワイヤ102を透明被覆層103で覆う構成とすることにより、赤外領域と可視光領域の境界領域における、S偏光成分の透過率の変化率を大きくできるという効果があり、可視光領域と赤外領域で偏光分離特性に顕著な違いを作ることができるためである。

【0021】

なお、本明細書において、可視光領域とは、650nm以下を指し、赤外領域とは、800nm以上2000nm以下を指している。

【0022】

図1に示す構成とすることにより、可視光領域（特に、400nm以上650nm以下）における全光透過率の平均値が50%以上であって、赤外領域における透過率の偏光度が80%以上であるワイヤグリッド偏光板を得ることができる。

【0023】

また、上記構成とすることにより、可視光領域（特に、400nm以上650nm以下）における透過光の偏光度が80%未満であり、赤外領域における透過率が50%未満であるワイヤグリッド偏光板を得ることができる。

【0024】

また、上記構成とすることにより、可視光領域における反射光の全光反射率の平均値が20%未満となり、界面反射による光沢やざらつきが少なく、可視光の透過視認性に優れたワイヤグリッド偏光板を得ることができる。また、赤外領域における全光反射率が20%以上とすることができる。

【0025】

<基材>

基材101は、目的とする波長領域において実質的に透明であればよい。例えば、ガラスなどの無機材料や樹脂材料を基材101に用いることができる。他にも、樹脂材料を基材101に用いることができる。基材101として樹脂基材を用いることにより、ロールプロセスが可能になる、ワイヤグリッド偏光板100にフレキシブル性を持たすことができる、等のメリットがある。基材101に用いることができる樹脂としては、例えば、ポ

また、本実施の形態のワイヤグリッド偏光板100は、可視映像情報と、異なる複数の赤外線の情報とを分離又は重畳する機器である監視カメラ（例えば、インフレーション患者監視カメラ）や、工程管理や寿命検査等に用いられる赤外線カメラに適用することができる。本実施の形態で示したワイヤグリッド偏光板100をこれらの電子機器に適用することにより、可視光の光量を多く稼げるため、高解像度の可視映像情報、長距離の可視信号情報を得ることができると共に、可視信号情報の低消費電力化を図ることができる。

【0038】

また、実施の形態のワイヤグリッド偏光板100は、上記電子機器の他に、透明な赤外線偏光板として利用することができる。例えば、本実施の形態のワイヤグリッド偏光板を用いることにより、タッチパネルのように偏光板の下に位置する情報を目視で確認しながら、偏光板の下方又は上方から飛来する赤外線ビームを操作することができる。また、赤外線用ワイヤグリッド偏光板をLCDに適用することにより、LCDを透けて可視画像を表示すると共に、赤外線センサー等により読み取った情報を表示するLCDを提供することができる。また、赤外線用ワイヤグリッド偏光板を用いて、複数のリモコンからの信号の切り替えを行う赤外線信号のオン/オフ制御スイッチに適用することができる。

【0039】

なお、本発明は、上記実施の形態に限定されず、種々変更して実施することができる。また、上記実施の形態における材質、数量などについては一例であり、適宜変更することができる。その他、本発明の技術的思想を逸脱しない範囲内で適宜変更して実施することができる。

【実施例】

【0040】

以下、実施例により本発明を詳しく説明するが、本発明は、これらの実施例に限定されるものではない。

【0041】

まず、本実施例で用いたワイヤグリッド偏光板の作製方法について以下に説明する。

【0042】

（実施例）

（紫外線硬化樹脂を用いた格子状凹凸形状転写フィルムの作製）

格子状凹凸形状転写フィルムの作製には、Ni製金型（以下、「金型A」とする。）を用いた。金型Aはピッチ幅230nmの格子状凹凸形状を有し、格子の延在方向に垂直な断面における凹凸形状が略正弦波であった。基材は、厚み80μmのトリアセチルセルロース樹脂（以下、「TAC」とする。）フィルム（TD80UL-H：富士写真フィルム社製）とし、該TACフィルムの波長550nmにおける面内位相差値は3.2nmで、遅相軸はMD方向と略一致していた。該TACフィルムにアクリル系紫外線硬化樹脂（屈折率1.52）を約3μm塗布し、塗布面を下に、TACフィルムのTD方向と金型Aの格子状凹凸形状の延在方向が略平行になるようにしながら、金型AとTACフィルム間に空気が入らないように乗せた。TACフィルム側から中心波長365nmの紫外線ランプを用いて紫外線を1000mJ/cm²照射し、金型Aの格子状凹凸形状を転写した。TACフィルムを金型から剥離し、縦300mm、横200mmの格子状凹凸形状を転写したフィルムを作製した。（以下これを、「転写フィルムA」とする。）

【0043】

なお、屈折率の測定には、レーザー屈折計（モデル2010 メトリコン社製）を使用して、測定するサンプルを一昼夜25℃の恒温室で養生した後、屈折率を測定した。同装置による波長532nm、632.8nm及び824nmの屈折率の測定結果からコーシーの分散公式を利用して屈折率の波長分散図を求め、波長589nmの屈折率を求めた。

【0044】

（真空蒸着法を用いた金属の蒸着）

次に、転写フィルムAの格子状凹凸形状転写表面上、真空蒸着によりアルミニウム（Al）を成膜した。Alの蒸着条件は、常温下、真空度2.0×10⁻³Pa、蒸着速度4

0nm/sとした。Alの厚みを測定するため表面が平滑なガラス基板を転写フィルムと同時に装置に挿入し、平滑ガラス基板上のAl厚みをAl平均厚みとした。格子の長手方向と垂直に交わる平面内において基材面の法線と蒸着源のなす角度を蒸着角θと定義し、今回全ての転写フィルムで蒸着角θを20°、Al平均厚み120nmとして蒸着させた。なお、ここでいう平均厚みとは、平滑ガラス基板上にガラス面に垂直方向から物質を蒸着させたと仮定した時の蒸着物の厚みのことを指し、蒸着量の目安として使用している。

【0045】

（不要Alの除去）

次に不要Alの除去を目的として、Alを蒸着した転写フィルムAを0.1重量%水酸化ナトリウム水溶液に室温下で60秒間浸漬させた。その後すぐに水洗いし、フィルムを乾燥させた。なお、金属ワイヤの延在方向は基板のTD方向と略平行であり、基板の遅相軸方向とは略直交であった。また、金属ワイヤのデューティ比は0.2であった。

【0046】

透明被覆体として積水化学工業株式会社粘着剤（品名 WT#5402A、屈折率1.472）を用い、金属ワイヤを覆うように形成した。具体的には、TACフィルム（TD80UL-H：富士フィルム社製）の片面に粘着剤を貼りつけ、該TACフィルムのMD方向をワイヤグリッド基材のMD方向と略平行になるように、ローラーで均一に圧力をかけながら樹脂をワイヤグリッド偏光板の金属ワイヤ層上に貼合することで、ワイヤグリッド偏光板を作製した。その後、ワイヤグリッド偏光板の透過率、偏光度の測定を行った。その結果を図2に示す。

【0047】

図2より、実施例のワイヤグリッド偏光板は、可視光領域（特に、400nm以上650nm以下）において全光透過率の平均値が63.5%と高い透過率を有し、赤外領域（特に、800nm以上）において偏光度98.5を有することが確認できた。これは、周期が230nmである金属ワイヤを透明被覆層で覆うことにより、S偏光成分の可視域での透過率が上昇したためであると考えられる。また、可視域での偏光度は6.8であった。

【0048】

（比較例1）

金属ワイヤまで上記実施例と同様に形成し、樹脂の形成は行わなかった。つまり、比較例1のワイヤグリッド偏光板は、実施例のワイヤグリッド偏光板と比較して、透明被覆層を有していない点で異なっている。その後、ワイヤグリッド偏光板の透過率、偏光度の測定を行った。その結果を図3に示す。

【0049】

図3より、可視光領域の全光線透過率の平均値が33.9%であることが確認できた。

【0050】

（比較例2）

格子状凹凸形状転写フィルムの作製において、ピッチ幅が145nmのNi製金型（以下、「金型A」とする）を用いた。その後の工程は、実施例と同様に行った。つまり、比較例2のワイヤグリッド偏光板は、実施例のワイヤグリッド偏光板と比較して、金属ワイヤの周期が145nmである点で異なっている。その後、ワイヤグリッド偏光板の透過率、偏光度の測定を行った。その結果を図4に示す。

【0051】

図4より、可視光領域において高い偏光特性が得られる一方で、全光透過率が50%以下と低い透過率となることが確認できた。

【産業上の利用可能性】

【0052】

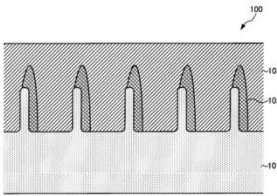
本発明ワイヤグリッド偏光板は、赤外線領域で適用する光学機器等において、好適に用いられる。

【符号の説明】

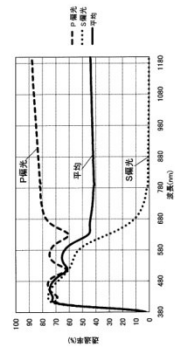
【0053】

- 100 ワイヤグリッド偏光板
- 101 基材
- 102 金属ワイヤ
- 103 透明被覆層

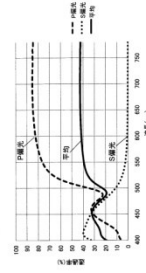
【図1】



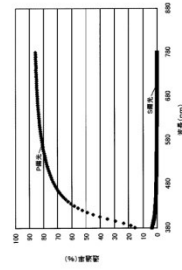
【図2】



【図3】



【図4】



(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-155163
(2012-155163A)

(43) 公開日 平成24年8月16日 (2012.8.16)

(51) Int. Cl.

G02B 5/30 (2006.01)

F1

G02B 5/30

テーマコード (参考)

2H149

審査請求 未請求 請求項の数 8 OL (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2011-14790 (P2011-14790)	(71) 出願人	309002329 旭化成イーマテリアルズ株式会社
(22) 出願日	平成23年1月27日 (2011.1.27)		東京都千代田区神田神保町一丁目105番地
		(74) 代理人	100121083 弁理士 青木 安義
		(74) 代理人	100138391 弁理士 天田 昌行
		(72) 発明者	木下 大輔
			静岡県富士市飯島2番地の1 旭化成イーマテリアルズ株式会社内
		Fターム (参考)	2H149 AA23 ABO4 ABO6 BA04 BA23 BB28 FA41W FD47

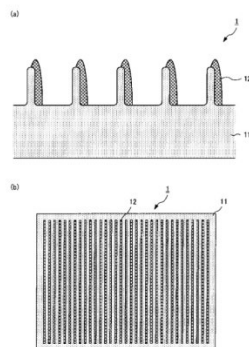
(54) 【発明の名称】 ワイヤグリッド偏光板

(57) 【要約】

【課題】 可視領域の光に対する高い透過性と、近赤外領域以上の長波長の光に対する低い透過性とを備えたワイヤグリッド偏光板を提供すること。

【解決手段】 表面に周期的な凹凸構造を有する基材11と、基材11の凹凸構造表面に配置された金属層12とを有し、凹凸構造の周期が100nm以上400nm以下であり、前記凹凸構造の凸部の頂点と凹部の底との高低差が70nm以上400nm以下であり、可視領域の光の全光透過率が60%以上であり、かつ赤外領域の光の全光透過率と全光反射率の和が90%以下であることを特徴とする。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項1】

表面に周期的な凹凸構造を有する基材と、前記基材の凹凸構造表面に配置された金属層と、を有し、前記凹凸構造の周期が100nm以上400nm以下であり、前記凹凸構造の凸部の頂点と凹部の底との高低差が70nm以上400nm以下であり、可視領域の光の全光透過率が60%以上であり、かつ赤外領域の光の全光透過率と全光反射率との和が90%以下であることを特徴とするワイヤグリッド偏光板。

【請求項2】

前記可視領域の光は、450nm以上650nm以下の波長の光であることを特徴とする請求項1に記載のワイヤグリッド偏光板。

【請求項3】

前記赤外領域の光は、800nm以上1200nm以下の波長の光であることを特徴とする請求項1または請求項2に記載のワイヤグリッド偏光板。

【請求項4】

前記金属層のデューティ比が0.2以下であり、アスペクト比が10以上であることを特徴とする請求項1から請求項3のいずれかに記載のワイヤグリッド偏光板。

【請求項5】

前記金属層の平均膜厚が10nm以下であることを特徴とする請求項1から請求項4のいずれかに記載のワイヤグリッド偏光板。

【請求項6】

前記金属層は、アルミニウムを含んで構成されたことを特徴とする請求項1から請求項5のいずれかに記載のワイヤグリッド偏光板。

【請求項7】

前記金属層は、前記凹凸構造表面において、凸部の一方側面より他方側面に厚く配置されたことを特徴とする請求項1から請求項6のいずれかに記載のワイヤグリッド偏光板。

【請求項8】

前記金属層は、斜め蒸着法によって形成されたことを特徴とする請求項1から請求項7のいずれかに記載のワイヤグリッド偏光板。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ワイヤグリッド偏光板に関する。

【背景技術】

【0002】

近年のフォトリソグラフィ技術の発達により、光の波長レベルのピッチを有する微細構造パターンを形成することができるようになってきた。このように非常に小さいピッチのパターンを有する部材や製品は、半導体分野だけでなく、光学分野において利用範囲が広く有用である。

【0003】

例えば、金属などで構成された導電体線が特定のピッチで格子状に配列してなる凸凹構造を有するワイヤグリッドは、そのピッチが入射光（例えば、可視光の波長400nmから700nm）に比べてかなり小さいピッチ（例えば、2分の1以下）であれば、導電体線に対して平行に振動する電場ベクトル成分の光をほとんど反射し、導電体線に対して直交する電場ベクトル成分の光をほとんど透過させるため、単一偏光を作り出す偏光板として使用できる。ワイヤグリッド偏光板は、透過しない光を反射し再利用することができるので、光の有効利用の観点からも望ましいものである。

【0004】

このようなワイヤグリッド偏光板としては、例えば、特許文献1に開示されているもの

がある。このワイヤグリッド偏光板は、入射光の波長より小さいグリッド周期で間隔が置かれた金属ワイヤを備えている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2002-328234号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ワイヤグリッド偏光板は、上記のような原理から、可視域から近赤外光、赤外光に至る広い範囲で優れた偏光特性を有する。そのため、近年、近赤外光や赤外光の利用が盛んなセキュリティ分野などにおいて、ワイヤグリッド偏光板は有用な偏光子として期待されている。

【0007】

一方で、近年における様々な製品設計のニーズから、偏光特性以外の他の機能を備えたワイヤグリッド偏光板が求められている。例えば、可視領域および赤外領域における偏光特性に加え、可視領域の光に対する高い透過性と、近赤外領域以上の長波長の光に対する低い透過性とを備えたワイヤグリッド偏光板が望まれている。

【0008】

本発明はかかる点に鑑みてなされたものであり、可視領域の光に対する高い透過性と、近赤外領域以上の長波長の光に対する低い透過性とを備えたワイヤグリッド偏光板を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明のワイヤグリッド偏光板は、表面に周期的な凹凸構造を有する基材と、前記基材の凹凸構造表面に配置された金属層と、を有し、前記凹凸構造の周期が100nm以上400nm以下であり、前記凹凸構造の凸部の頂点と凹部の底との高低差が70nm以上400nm以下であり、可視領域の光の全光透過率が60%以上であり、かつ赤外領域の光の全光透過率と全光反射率との和が90%以下であることを特徴とする。

【0010】

本発明のワイヤグリッド偏光板において、前記可視領域の光は、450nm以上650nm以下の波長の光であっても良い。

【0011】

本発明のワイヤグリッド偏光板において、前記赤外領域の光は、800nm以上1200nm以下の波長の光であっても良い。

【0012】

本発明のワイヤグリッド偏光板において、前記金属層のデューティ比が0.2以下であり、アスペクト比が10以上であっても良い。

【0013】

本発明のワイヤグリッド偏光板において、前記金属層の平均膜厚が10nm以下であっても良い。

【0014】

本発明のワイヤグリッド偏光板において、前記金属層は、アルミニウムを含んで構成されても良い。

【0015】

本発明のワイヤグリッド偏光板において、前記金属層は、前記凹凸構造表面において、凸部の一方側面より他方側面に厚く配置されても良い。

【0016】

本発明のワイヤグリッド偏光板において、前記金属層は、斜め蒸着法によって形成されても良い。

【発明の効果】

【0017】

本発明によれば、可視領域の光に対する高い透過性と、近赤外領域以上の長波長の光に対する低い透過性とを備えたワイヤグリッド偏光板を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】実施の形態に係るワイヤグリッド偏光板の構成例を説明する図である。

【図2】実施例に係るワイヤグリッド偏光板の透過率の測定結果を示す図である。

【図3】実施例に係るワイヤグリッド偏光板の反射率の測定結果を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0019】

本発明者は、ワイヤグリッド偏光板の金属層の厚みを一定以下に抑えることで、可視領域の光に対する高い透過性と、近赤外領域以上の長波長の光に対する低い透過性とを実現できることを見出した。以下に、本発明の赤外線用ワイヤグリッド偏光板について説明する。

【0020】

図1は、本実施の形態に係るワイヤグリッド偏光板の構成例を示す模式図である。図1に示されるワイヤグリッド偏光板1は、表面に凹凸構造を有する基材11と、当該基材11の凹凸構造表面に設けられた金属層12と、を有する。

【0021】

ワイヤグリッド偏光板1において、基材11の一方の主面には微細な凹凸構造が形成されている。当該凹凸構造は、複数の凸部および凹部を含んで構成されており、複数の凸部および凹部は、互いに略平行となるように一方向に延在している。ここで、凸部とは平均高さより高い部位を指し、凹部とは平均高さより低い部位を指す。なお、凹凸構造表面に形成される金属層12が所定の形状となるように、凹凸構造は周期的かつ所定の高低差を有するものであることが望ましい。

【0022】

金属層12は、基材11の凹凸構造に対応して周期的に配置されている。凹凸構造の周期は特に限定されないが、例えば100nm以上400nm以下とすることができる。また、凹凸構造においては、凸部の頂点と凹部の底との高低差が70nm以上400nm以下であることが望ましい。また、金属層12は、可視領域の光の透過率（全光透過率）が所定以上となり、赤外領域の光の吸収が所定以上となるような態様で配置されている。より具体的には、金属層12は、可視領域の光の全光透過率が60%以上となり、赤外領域の光の全光透過率と全光反射率との和が90%以下となるように、そのデューティ比が0.2以下、アスペクト比が10以上であることが望ましい。ここで、金属層12のデューティ比とは、断面視における金属層12の幅 w と、それ以外の部分（空気や樹脂など）の幅 W との比 w/W をいい、例えば、凹凸構造の平均高さ（半幅となる高さ）において算出される値である。つまり、デューティ比が十分に小さいことは、平面視において金属層12が十分に細いことを示す。また、金属層12のアスペクト比とは、金属層12の幅 w と、金属層12の高さ h との比 h/w をいうものとする。つまり、アスペクト比が十分に大きいということは、平面視において金属層12が十分に細いことを示す。なお、金属層12がアルミニウムを主成分として構成される場合、その厚み（平均厚み）は10nm以下であると、より望ましい。このような態様の金属層12を用いることにより、可視領域の光に対する高い透過性と、近赤外領域以上の長波長の光に対する低い透過性とを備えたワイヤグリッド偏光板1が実現する。なお、赤外領域の光に対する低い透過性は、吸収と反射との相乗効果によって実現される。このため、上述した金属層12は、赤外領域の光の吸収が大きいだけでなく、反射も十分に大きいものであることが望ましい。

【0023】

ワイヤグリッド偏光板1において、上述したように金属層12の周期（ピッチ）、デュ

ーティー比、アスペクト比、厚みなどを制御するのは、金属層 12 の形状が、可視領域における透過特性と赤外領域における透過抑制特性（吸収特性、反射特性等）に大きな影響を与えるためである。通常、金属層 12 の長手方向に対して垂直に振動する電場ベクトル成分の光（P 偏光）は、金属層 12 中の自由電子の振動が起こりにくいため透過する。また、金属層 12 の長手方向に対して平行に振動する電場ベクトル成分の光（S 偏光）は、金属層 12 中の自由電子の振動方向が金属層 12 の長手方向となり、振動が起こりやすいため反射する。ここで、金属層 12 を薄く形成する場合、本来反射する S 偏光成分において十分な自由電子の振動が得られず、S 偏光成分の一部が透過成分になる。このため、金属層 12 を薄く形成することにより、可視光の透過率が十分に高めることができる。特に、ピッチに対して波長が小さい場合には透過率が高くなる。つまり、短波長側では透過率が高くなる。このためアスペクト比等を調整することにより、赤外領域での反射能を保ったまま可視領域では透過能を高めることができる。また、金属層 12 を薄くすることで、金属材料の特性が変化し、光（特に赤外領域の光）を吸収することができるようになる。

【0024】

なお、本明細書において、前記可視領域とは、波長が 400 nm 以上 750 nm 以下の領域を指す。ただし、少なくとも 450 nm 以上 650 nm 以下の領域において上記効果が得られていれば、実用上は問題なく使用することができる。また、赤外領域とは、波長が 800 nm 以上 2000 nm 以下の領域を指す。ただし、少なくとも 800 nm 以上 1200 nm 以下の領域において上記効果が得られていれば、実用上は問題なく使用することができる。

【0025】

なお、金属層 12 は、基材 11 の凹凸構造表面において、凸部の一方側面より他方側面に厚く配置されていることが望ましい。また、凸部の頂点を含む領域（頂部）を覆うように配置されていることが望ましい。このような配置とすることにより、偏光特性を保ちつつ、可視領域の光に対する高い透過性と、近赤外領域以上の長波長の光に対する低い透過性とを得ることができるためである。なお、偏光特性を保つためには凹部に金属層 12 が配置されないようにして、金属層 12 を細線状（ワイヤー状）にすることが望ましいが、偏光特性を重視しない場合には凹部に金属層 12 を配置しても構わない。

【0026】

以下、ワイヤグリッド偏光板 1 を構成する各部分について詳述する。

【0027】

<基材>

基材 11 は、目的とする波長領域において実質的に透明であればよい。例えば、ガラスなどの無機材料や樹脂材料を基材 11 に用いることができる。他にも、樹脂材料を基材 11 に用いることができる。基材 11 として樹脂基材を用いることにより、ロールプロセスが可能になる。ワイヤグリッド偏光板 1 にフレキシビリティを持たすことができる、等のメリットがある。基材 11 に用いることができる。例えば、ポリメタクリル酸メチル樹脂、ポリカーボネート樹脂、ポリスチレン樹脂、シクロオレフィン樹脂（COP）、架橋ポリエチレン樹脂、ポリ塩化ビニル樹脂、ポリアリレート樹脂、ポリフェニレンエーテル樹脂、変性ポリフェニレンエーテル樹脂、ポリエーテルイミド樹脂、ポリエーテルサルフォン樹脂、ポリサルフォン樹脂、ポリエーテルケトン樹脂などの非晶性熱可塑性樹脂や、ポリエチレンテレフタレート（PET）樹脂、ポリエチレンナフタレート樹脂、ポリエチレン樹脂、ポリプロピレン樹脂、ポリブチレンテレフタレート樹脂、芳香族ポリエーテル樹脂、ポリアセタール樹脂、ポリアミド樹脂などの結晶性熱可塑性樹脂や、アクリル系、エポキシ系、ウレタン系などの紫外線（UV）硬化性樹脂や熱硬化性樹脂などが挙げられる。

【0028】

また、基材 11 は、表面に所定の周期を有する凹凸構造を有している。所定方向に凸部および凹部が延在する凹凸構造を用いて、凸部に金属層を選択的に設けることにより金属層 12 を形成することができる。凹凸構造の周期は特に限定されないが、金属層 12 に要

求される周期に対応させることが望ましい。例えば、凹凸構造の周期は、100 nm 以上 160 nm 以下とすることができる。基材 11 表面に形成する凹凸構造の形状としては、例えば、台形、矩形、方形、プリズム状や、半円状などの正弦波状などが挙げられる。ここで、正弦波状とは凹部と凸部の繰り返しからなる曲線部をもつことを意味する。なお、曲線部は湾曲した曲線であればよく、例えば、凸部にくびれがある形状も正弦波状に含める。透過率の観点から基材断面形状は矩形または正弦波状であることが好ましい。

【0029】

また、紫外線硬化性樹脂や熱硬化性樹脂等の樹脂被膜と、ガラスなどの無機基材、または熱可塑性樹脂やトリアセート樹脂等の樹脂基材とを組み合わせて基材 11 を構成してもよい。この場合、無機基材または樹脂基材上に形成された樹脂被膜の表面に所定の周期を有する凹凸構造を形成することもできる。鏡面性に優れた平滑性の高い表面が得られるという観点から、樹脂被膜の膜厚は、0.005 μm 以上 3 μm 以下とすることが好ましい。

【0030】

<金属層>

金属層 12 は、基材 11 上に所定の周期で一定の方向に略平行に延在するように形成することができる。例えば、図 1 に示されるように格子状に配置された凸部の少なくとも一方の側面に覆って設けることができる。金属層 12 として用いる金属としては、アルミニウム、銀、銅、白金、金またはこれらの各金属を主成分とする合金などが挙げられる。特に、アルミニウムまたは銀を用いて金属層 12 を形成することにより、可視域での吸収損失を小さくすることができるため好ましい。

【0031】

金属層 12 の周期は、例えば、100 nm 以上 400 nm 以下とすることができる。好ましくは、200 nm 以上 300 nm 以下である。また、所定の方向に対する断面視（図 1（a）において、金属層 12 のデューティー比は 0.01 以上 0.2 以下であることが好ましい。また、金属層 12 のアスペクト比は 10 以上 100 以下であることが好ましい。このようにすることで、全光透過率を 60% 以上とすることができる。ここで、金属層 12 のデューティー比とは、断面視における金属層 12 の幅 w と、それ以外の部分（空気や樹脂など）の幅 W との比 w/W をいい、例えば、凹凸構造の平均高さ（半振幅となる高さ）において算出される値である。つまり、デューティー比が十分に小さいということは、平面視において金属層 12 が十分に細いことを示す。また、金属層 12 のアスペクト比とは、金属層 12 の幅 w と、金属層 12 の高さ h との比 w/h をいうものとする。つまり、アスペクト比が十分に大きいということは、平面視において金属層 12 が十分に細いことを示す。

【0032】

金属層 12 の形成方法に特に制限は無い。例えば、電子線リソグラフィ法または干渉露光法によるマスクパターンニングとドライエッチングとを用いて形成する方法や、斜め蒸着法によって形成する方法などが挙げられる。金属層 12 は非常に薄く形成する必要があるため、生産性、光学対称性の観点からは、斜め蒸着法を用いることが好ましい。また、光学特性の観点から、不要な金属はエッチングにより除去しても良い。エッチング方法は、基材や誘電体層に悪影響を及ぼさず、金属部分が選択的に除去できる方法であれば特に限定は無いが、生産性の観点からアルカリ性の水溶液に浸漬させる方法が好ましい。ただし、金属層 12 は非常に薄く形成されるため上述のエッチング除去は必須ではない。

【0033】

<誘電体層>

基材 11 を構成する材料と金属層 12 との密着性向上の為に、両者の間に両者と密着性の高い誘電体材料を含む層（誘電体層）を設けてもよい。基材 11 と金属層 12 との密着性を高めることで、基材 11 からの金属層 12 の剝離を防ぎ、偏光度の低下を抑えることが出来る。誘電体材料としては、例えば、珪素（Si）の酸化物、窒化物、ハロゲン化合物、炭化物の単体またはその複合物（誘電体単体は他の元素、単体または化合物が混じった

(7)

JP 2012-155163 A 2012.8.16

誘電体)や、アルミニウム(A1)、クロム(Cr)、イットリウム(Y)、ジルコニア(Zr)、タンタル(Ta)、チタン(Ti)、バリウム(Ba)、インジウム(In)、錫(Sn)、亜鉛(Zn)、マグネシウム(Mg)、カルシウム(Ca)、セリウム(Ce)、銅(Cu)などの金属の硫化物、窒化物、ハロゲン化物、炭化物の単体またはそれらの複合物を用いることができる。誘電体材料は、目的とする波長領域において実質的に透明であることが好ましい。誘電体材料の積層方法に特に限定は無く、例えば、真空蒸着法、スパッタリング法、イオンプレーティング法などの物理的蒸着法を好適に用いることができる。

【0034】

<使用形態>

本実施の形態に係るワイヤグリッド偏光板1は、可視領域の光に対する高い透過性と、近赤外領域以上の長波長の光に対する低い透過性(高い吸収性)とを有するため、可視領域の光を透過し、赤外領域の光を遮断する用途に好適に用いられる。

【0035】

例えば、自動車や鉄道などの車両が備える窓ガラスなどにワイヤグリッド偏光板1を貼り付けて、太陽光に含まれる赤外光の車両内への侵入を低減し、車両内の温度上昇を抑制することが可能である。ワイヤグリッド偏光板1は、可視領域において高い透過性を有するため、車両の運転に支障をきたすことなく上述の車両内の温度上昇抑制の効果を有することができる。また、ワイヤグリッド偏光板1は可視領域および赤外領域において十分な偏光特性を備えているため、一方の偏光(例えばS偏光)を分離して、反射または吸収させることができる。これにより、本来は窓を透過する赤外線を遮断することができるため、赤外線による車両室内の温度上昇を抑制することが可能である。

【0036】

また、上記ワイヤグリッド偏光板1は、透過低偏光サンングラスなどの用途に用いても良い。

【0037】

なお、本発明は、上記実施の形態に限定されず、種々変更して実施することができる。また、上記実施の形態における材質、数量などについては一例であり、適宜変更することができる。その他、本発明の技術的思想を逸脱しない範囲内で適宜変更して実施することができる。

【0038】

以下、実施例により本発明を詳しく説明するが、本発明は、これらの実施例に限定されるものではない。

【0039】

(実施例)

まず、本実施例で用いたワイヤグリッド偏光板の作製方法について以下に説明する。

【0040】

<紫外線硬化樹脂を用いた格子状凹凸形状を有する転写フィルムの作製>

基材として用いる格子状凹凸形状を有する転写フィルムの作製には、N1製金型(以下、「金型」とする)を用いた。金型はピッチ幅145nmの格子状凹凸形状を有し、格子の延在する方向に垂直な断面における凹凸形状が略正弦波状であった。基材は、厚み80μmのトリアセチルセルロース樹脂(以下、「TAC」とする)フィルム(TD80UL-H;富士写真フィルム社製)とし、該TACフィルムの波長550nmにおける面内位相差値は3.2nmで、遅相軸はMD方向と略一致していた。該TACフィルムにアクリル系紫外線硬化樹脂(屈折率1.52)を約3μm塗布し、塗布面を下にして金型とTACフィルムとを重畳させた。この際、TACフィルムとTACフィルムのTD方向と金型の格子状凹凸形状の延在方向が略平行になるように配置した。また、金型とTACフィルム間に空気が入らないように配置した。その後、TACフィルム側から中心波長365nmの紫外線ランプを用いて紫外線を1000mJ/cm²の条件で照射し、金型の格子状凹凸形状を転写した。TACフィルムを金型から剥離し、縦300mm、横200mmの格子状凹凸形状を

転写したフィルムを作製した。以下、これを、「転写フィルム」とする。

【0041】

<真空蒸着法を用いた金属の蒸着>

次に、転写フィルムの格子状凹凸形状転写表面に、真空蒸着によりアルミニウム(A1)膜を成膜した。A1の蒸着は、常温下、真空度2.0×10⁻³Pa、蒸着速度2.5nm/sの条件で約3秒間行った。形成されるA1膜の厚みを測定するため、表面が平滑なガラス基板を転写フィルムと同時に装置に挿入し、平滑ガラス基板上のA1膜の厚みをA1膜の平均厚みとした。蒸着は、蒸着角θが20°とし、A1平均厚みが5nmとなるように行った。なお、ここでは、蒸着角θを、格子の長手方向と垂直に交わる平面内において基材面の法線と蒸着源のなす角度と定義する。また、ここでいう平均厚みとは、平滑ガラス基板上にガラス面に垂直方向から物質を蒸着させたと仮定した時の蒸着物の厚みのことを指す。

【0042】

<光学特性の測定>

上述のように作製されたワイヤグリッド偏光板について、透過率および反射率の測定を行った。なお、透過率および反射率の測定は、A1ワイヤの延在方向に平行な方向の偏光、A1ワイヤの延在方向に垂直な方向の偏光を用いて行った。図2は透過率の測定結果を示すグラフであり、図3は反射率の測定結果を示すグラフである。図2には、平行透過率および垂直(直交)透過率に加え、これらの平均値(全光透過率)を併せて示す。図3には、平行反射率および垂直(直交)反射率に加え、これらの平均値(全光反射率)を示す。

【0043】

図2から、本実施例のワイヤグリッド偏光板は、可視領域(特に、400nm以上650nm以下の領域)の全光透過率が60%以上であることが分かる。また、赤外領域(特に、800nm以上1200nm以下の領域)の全光透過率も60%以上であることが分かる。また、図3から、本実施例のワイヤグリッド偏光板は、赤外領域(特に、800nm以上1200nm以下の領域)の全光反射率が、10%~16%程度であることが分かる。このことから、本実施例のワイヤグリッド偏光板は、赤外領域(特に、800nm以上1200nm以下の領域)の全光透過率と全光反射率との和が90%以下であることが分かる。

【0044】

上述のように、赤外領域(特に、800nm以上1200nm以下の領域)における全光透過率と全光反射率との和が90%以下となるのは、A1膜による光吸収が生じているためと考えられる。このように、A1膜が赤外領域の光を吸収することで、赤外領域の光の透過を抑制することができる。

【0045】

<温度上昇抑制効果の算出>

上述のように作製されたワイヤグリッド偏光板を用い、室内温度上昇について検証した。特に熱作用の高い太陽光スペクトルの近赤外領域である800nm以上の波長において、PVAにヨウ素を吸着した従来の吸収型偏光板ではほぼ全光透過してしまう。また耐熱性も良くない。

【0046】

一方、本実施例のワイヤグリッド偏光板は全光線透過率が全領域で約70%であり、従来の吸収型ワイヤグリッド偏光板よりも赤外光で約20%以上透過率が低い。このため温度上昇率は抑制され約0.8倍になる。従来のワイヤグリッド偏光板は偏光度が高いため、反射率と透過率がそれぞれ50%を上回る事はないが、本実施例のワイヤグリッド偏光板は透過率が向上している分、視認性にも優れた。

【産業上の利用可能性】

【0047】

本発明のワイヤグリッド偏光板は、窓ガラスやサンングラスなどの用途において、好適に

用いることができる。

【符号の説明】

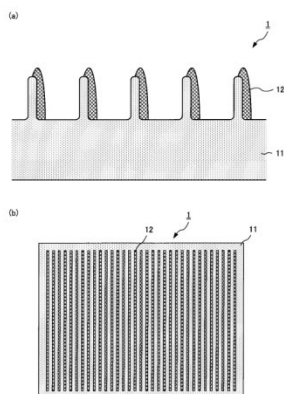
【0048】

1 ワイヤグリッド偏光板

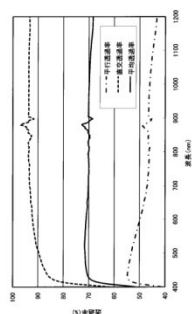
11 基材

12 金属層

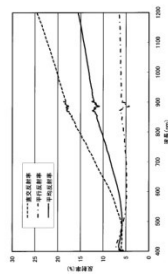
【図1】



【図2】



【図3】





(12) **United States Patent**
Suganuma

(10) **Patent No.:** US 7,046,442 B2
(45) **Date of Patent:** May 16, 2006

(54) **WIRE GRID POLARIZER**

(75) Inventor: **Takayoshi Suganuma**, Kawaguchi (JP)
(73) Assignee: **Enplas Corporation**, Saitama (JP)
(*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 0 days.

3,969,545 A * 7/1976 Slocum 427/163.1
4,289,381 A * 9/1981 Garvin et al. 427/163.1
4,514,479 A * 4/1985 Ferrante 430/2
5,177,635 A * 1/1993 Keilmann 359/352
5,748,368 A * 5/1998 Tamada et al. 359/486
6,122,103 A * 9/2000 Perkins et al. 359/486
6,243,199 B1 * 6/2001 Hansen et al. 359/486
6,532,111 B1 * 3/2003 Kuntz et al. 359/486
6,714,350 B1 * 3/2004 Silverstein et al. 359/486
2001/0053023 A1 * 12/2001 Kameno et al. 359/486

* cited by examiner

Primary Examiner—Ricky D. Shafer
(74) *Attorney, Agent, or Firm*—Koda & Androlia

(21) Appl. No.: 11/002,808

(22) Filed: Dec. 2, 2004

(65) **Prior Publication Data**
US 2005/0128587 A1 Jun. 16, 2005

(57) **ABSTRACT**

An object is to provide a wire grid polarizer with an excellent optical property, which enables to maintain the polarization extinction ratio high and level in the broadband wavelength region with a simple structure. A wire grid polarizer of the present invention comprises, a wire grid structural body in which a plurality of metal wires are formed and arranged at a certain period in a direction orthogonal to a longitudinal direction of the metal wires on a light-transmitting substrate, for transmitting only a specific linearly polarized light out of linearly polarized lights being orthogonal to each other, which make incident to the wire grid structural body, wherein a cross-sectional shape of the metal wire, which is orthogonal to the longitudinal direction, has a taper shape.

(30) **Foreign Application Priority Data**
Dec. 5, 2003 (JP) 2003-408035

(51) **Int. Cl.**
G02B 5/30 (2006.01)

(52) **U.S. Cl.** 359/486; 359/495

(58) **Field of Classification Search** 359/352, 359/486, 495

See application file for complete search history.

(56) **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

3,046,839 A * 7/1962 Bird et al. 427/163.1
3,291,871 A * 12/1966 Francis 264/1.31

5 Claims, 7 Drawing Sheets

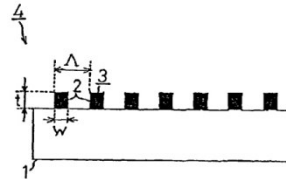
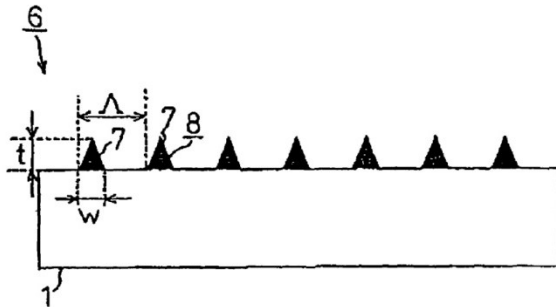


FIG.1
PRIOR ART

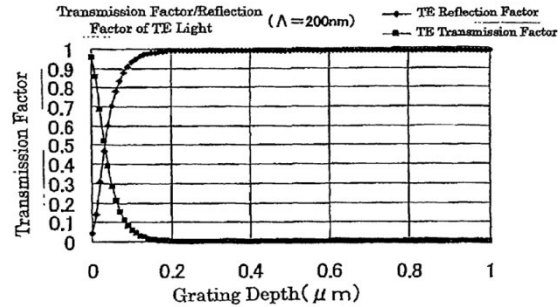


FIG.2
PRIOR ART

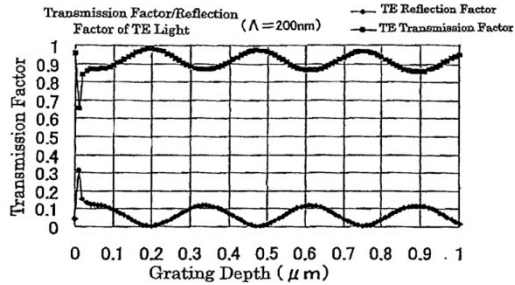


FIG. 3
PRIOR ART

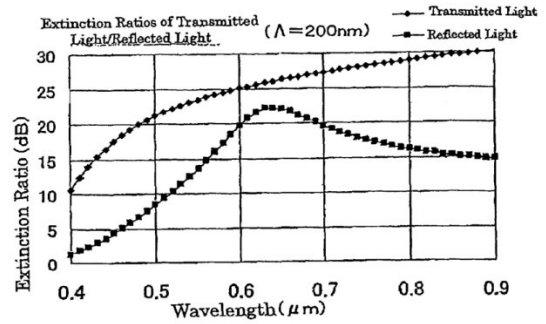


FIG. 5
PRIOR ART

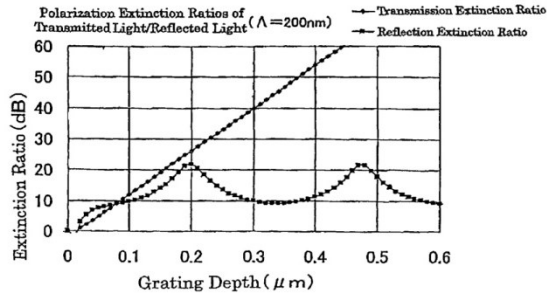


FIG. 4
PRIOR ART

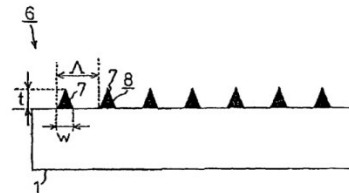


FIG. 6

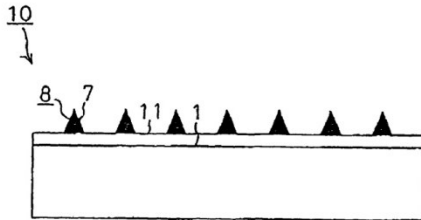


FIG. 7

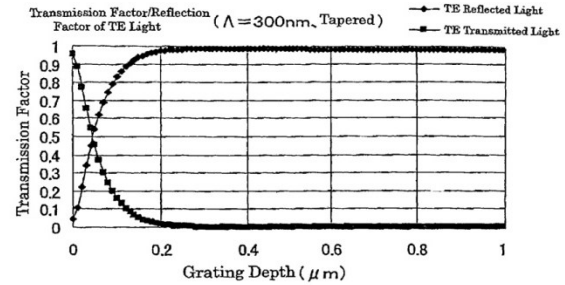


FIG. 9

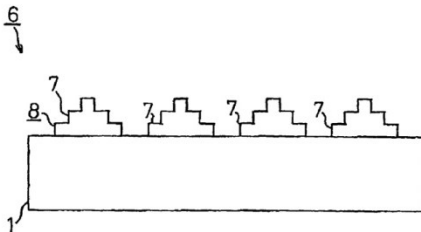


FIG. 8

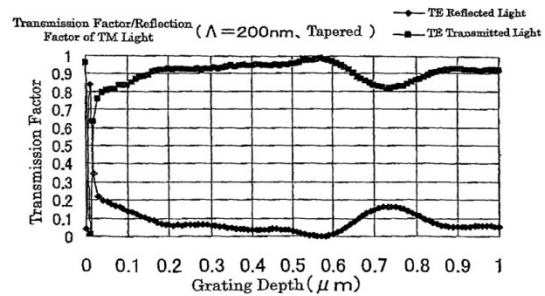


FIG. 10

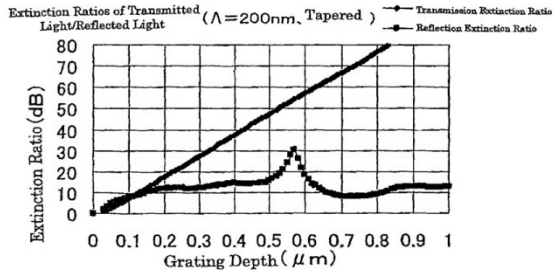


FIG.11

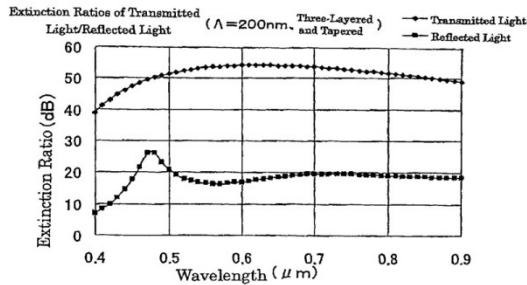


FIG.12

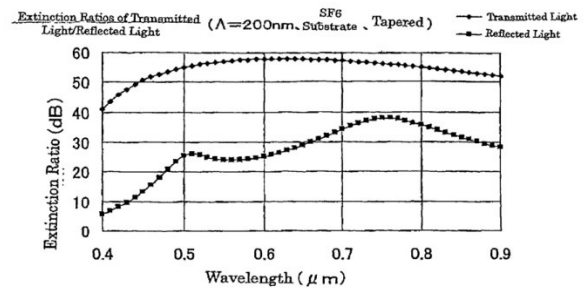


FIG.13

1

WIRE GRID POLARIZER

BACKGROUND OF THE INVENTION

1. Field of the Invention

The present invention relates to a wire grid polarizer and, more specifically, to a wire grid polarizer which is preferably used as a polarizing beam splitter for separating linearly polarized lights being orthogonal to each other by transmitting or reflecting the light, in a light pickup optical system, an optical fiber communication optical system, a projection-type liquid crystal projector, a light-receiving sensor optical system and the like.

2. Description of the Related Art

Conventionally, there have been various types of structures known as polarizer which transmits only linearly polarized light with a specific polarization component out of two linearly polarized lights being orthogonal to each other and absorbs or reflects the other polarization component.

Above all, recently, a type of polarizer shown in FIG. 1 as a wire grid polarizer 4 has drawn an attention as the one which exhibits such an excellent property that it can be used not only as a transmission type but also as a reflection type. The wire grid polarizer 4 in FIG. 1 comprises a wire grid structural body 3 in which a plurality of metal wires 2 are arranged at a certain period A provided on a light-transmitting substrate 1.

In other words, a conventional polarizer such as a polarizer, which is formed by doping fine metal particles on a substrate and drawing it, transmits only the linearly polarized light of a specific polarization component and absorbs a linearly polarized light of the other polarization component, while the wire grid polarizer 4 has the property of reflecting the linearly polarized light of the polarization component other than the linearly polarized light to be transmitted.

Therefore, not only the linearly polarized light of the polarization component transmitted through the wire grid polarizer 4 but also the linearly polarized light of the reflected polarization component can be picked up to be utilized. Thus, it has been expected to be utilized as a polarizer with a fewer loss in a wide range of optical field such as a pickup optical system, an optical fiber communication optical system, a liquid crystal projector and the like.

In the polarizer, there are two parameters such as a polarization extinction ratio and an insertion loss for indicating the performance.

The polarization extinction ratio is a parameter showing how little a leak of the polarization component is, which is present in the transmitted light and the reflected light, respectively.

When the metal wire 2 is formed and arranged at a certain period in a prescribed direction (in the lateral direction in FIG. 1) as shown in FIG. 1, most of TM polarized light with an electric field oscillation plane being orthogonal to the longitudinal direction of the metal wire 2 transmits through the wire grid polarizer 1 while the majority of TE polarized light with the electric field oscillation plane being in parallel to the longitudinal direction of the metal wire 2 is reflected. The polarization extinction ratios of the transmission and reflection, which indicate the performance of the polarizer 4 at this time, can be expressed by the following expressions:

$$\frac{\text{Transmission extinction ratio} - 10 \cdot \text{Log}(\text{Transmission factor of TM polarized light} / \text{Transmission factor of TE polarized light})}{10} \quad (1)$$

2

$$\frac{\text{Reflection extinction ratio} - 10 \cdot \text{Log}(\text{Reflection factor of TE polarized light} / \text{Reflection factor of TM polarized light})}{10} \quad (2)$$

In general, it is considered that a polarizer with a higher polarization extinction ratio exhibits a higher performance.

Parameters which determine the characteristic of the wire grid polarizer 4 are: the type of the metal used for the metal wire 2, the period A of forming the metal wire; a duty ratio D (in other words, a filling factor), which is a ratio of a single wire width w to the unit period A; and the thickness t of the metal wire.

As the types of the metal to be used for the metal wire 2, it is preferable to use a metal with high reflectance, e.g., gold, silver, aluminum and the like.

In order to achieve still higher performance of the wire grid polarizer 4, it is necessary to prevent a high-order diffraction light from being generated in the wire grid structural body 3. For this, it is necessary that the value of the period A satisfies "A λ / 2" with respect to the wavelength λ of the incident light. Especially, in order to achieve the high extinction ratio in the broadband wavelength region, it is preferable that the period A be further smaller. For example, it is preferable to satisfy "A λ / 10".

In order to have only a zero-order diffraction light, that is, the straight light, it is necessary to satisfy the following expression provided that the angle of incident light which makes incidence to the wire grid polarizer 4 is θ_1 , the angle of refraction is θ_2 , the refractive index of the light-transmitting substrate 1 is n_2 .

$$\lambda(n_2 \sin \theta_2 - n_1 \sin \theta_1) \geq A \quad (3)$$

Further, considering the case of normal incidence and the minimum wavelength of the light to be used is about 450 nm and the refractive index of the light-transmitting substrate is about 1.5 to 2.2, it is predicted that the value of A is required to be in the region of about 200 to 300 nm. Needless to say, the value of A may be smaller than this.

In general, it is known that the optical property of the diffraction grating with a grating period of less than the wavelength of the light can be estimated precisely to some extent by a calculation according to RCWA method (Rigorous Coupled-Wave Analysis). As for a method utilizing the RCWA method, an example may be a software called G-Solver and the like, which is distributed by Grating Solver Development Company, U.S.A.

The above-described wire grid polarizer is nothing but an optical element in which the period of the metal wires 2 arranged in grid form is less than the wavelength to be used. Thus, it is possible to determine the optical property using the RCWA method.

The results of the diffraction efficiency of the transmission and reflection of TE and TM polarized lights calculated by using the RCWA method are shown in FIG. 2 and FIG. 3 as a transmission factor and a reflection factor.

FIG. 2 and FIG. 3 show the results of the calculation provided that the period A of the first-order metal wire grid is 200 nm, the duty ratio is 0.4, the material of the metal wire 2 is gold, and the depth of the grid, that is, the thickness t of the metal wire 2 is used as a parameter.

As can be seen from the transmission factor and the reflection factor shown in FIG. 2 and FIG. 3, the incident light of the TE polarization is mostly reflected at a certain grating depth or more. However, as for the TM polarized light, the transmission factor changes periodically when the grating depth changes.

Next, FIG. 4 is a graph showing the polarization extinction ratios of the transmission and the reflection calculated

3

based on the transmission factor and the reflection factor shown in FIG. 2, FIG. 3 and the expressions (1), (2).

As can be seen from FIG. 4, in order to increase the polarization extinction ratio of the transmitted light, the depth of the grating may be simply deepened.

In the meantime, in order to increase the polarization extinction ratio of the reflected light to the maximum, it is necessary to select the grating depth at which the transmission factor of the TM polarized light becomes the maximum, that is, a specific grating depth so that the reflection factor becomes the maximum.

FIG. 5 shows the wave dependency of the transmission factor and the reflection factor in the band of 0.4 to 0.9 μm and when the initial grating depth at which the transmission factor of the TM polarized light becomes the maximum is set to be 200 nm.

As can be seen from FIG. 5, the extinction ratios of the transmitted light and the reflected light are remarkably decreased especially in the low wavelength region.

There are some reasons which cause the deterioration of the extinction ratio in such low wavelength. One of the known reasons is a phenomenon called anomaly and another is an interference effect of the thin film.

In order to decrease such deterioration, one of the methods is to reduce the grating period, that is, the period A of the wire grid to be about the wavelength $\lambda/10$. However, it is quite difficult at this point to achieve the processing of such precision even in the optical region of 450 to 650 nm in terms of the resolution of the lithography.

For example, as in U.S. Pat. No. 6,122,103, proposed is a wire grid polarizer in which the polarization extinction ratio in the broadband is increased and leveled by decreasing the effective refractive index of a glass substrate through forming a groove on the glass substrate of the wire grid polarizer.

As a polarizer which achieves high polarization extinction ratio of especially the reflected light in the broadband by eliminating the anomaly in the low wavelength, proposed is a polarizer as disclosed, for example, in Japanese Patent Unexamined Publication No. 2002-328234, in which the polarizer comprises a multilayered-film metal wire made of a dielectric material and a multilayered film of a metal.

However, the wire grid polarizer disclosed in the U.S. Pat. No. 6,122,103 has such a problem that it takes time to process the minute groove formed on the glass substrate.

Also, as for the polarizer disclosed in Japanese Patent Unexamined Publication No. 2002-328234, it has such a problem that it takes time to form and process the multilayered film since it is necessary to form the dielectric material and the multilayered film of the metal using vacuum evaporation and the like and then process the multilayered film to a wire by a pattern of some hundreds nm.

Further, there is a problem in the polarizer disclosed in Japanese Patent Unexamined Publication No. 2002-328234 that it is difficult to perform etching since the types of gas suitable for dry etching used for the metal layer and an oxide layer are different from each other at the time of performing micro-processing onto the grating of the alternate layers of the metal and the oxide.

Thus, as for a wire grid polarizer which enables to maintain the polarization extinction ratio high and level in the broadband wavelength region with a simple structure, an effective proposal has not yet been presented.

The present invention has been designed to overcome the foregoing problems. It is an object of the present invention to provide a wire grid polarizer with an excellent optical

4

property, which enables to maintain the polarization extinction ratio high and level in the broadband wavelength region with a simple structure.

SUMMARY OF THE INVENTION

In order to achieve the foregoing object, a wire grid polarizer according to a first aspect of the present invention comprises, a wire grid structural body in which a plurality of metal wires are formed and arranged at a certain period in a direction orthogonal to a longitudinal direction of the metal wires on a light-transmitting substrate, for transmitting only a specific linearly polarized light out of linearly polarized lights being orthogonal to each other, which make incident to the wire grid structural body, wherein a cross-sectional shape of the metal wire, which is orthogonal to the longitudinal direction, has a taper shape.

With the first aspect of the present invention, it enables to reduce the Fabry-Perot interference effect caused by the difference between the refractive index of the light-transmitting substrate and that of an air layer by giving a spatial modulation to the refractive index of the metal wire through forming the cross-sectional shape of the metal wire to be in a taper shape.

As a result, it is possible to prevent the deterioration of the polarization extinction ratio of the reflected light in the low wavelength through reducing the change in the TM transmission factor due to the wavelength without requiring a complicated groove processing applied to the light-transmitting substrate or providing another thin film layer.

In a second aspect of the wire grid polarizer according to the first aspect of the present invention, a period of forming the metal wires is 200 nm or less.

With the second aspect of the present invention, further, it is possible to surely prevent a high-order diffraction light from being generated in the wire grid structural body.

In a third aspect of the wire grid polarizer according to the first or second aspect of the present invention, a material of the metal wire is gold, silver, aluminum or copper.

With the third aspect of the present invention, further, it enables to achieve more excellent optical property by selecting a material with a high reflection factor.

In a fourth aspect of the wire grid polarizer according to any one of the first to third aspects of the present invention, a low-refractive-index layer having a lower refractive index than that of the light-transmitting substrate is formed between the light-transmitting substrate and the wire grid structural body.

With the fourth aspect of the present invention, further, it is possible to maintain the polarization extinction ratio still higher in the broadband wavelength region.

With the wire grid polarizer according to the first aspect of the present invention, it enables to achieve the wire grid polarizer with an excellent optical property, which can maintain the polarization extinction ratio high and level in the broadband wavelength region by a simple structure at a low cost and with high efficiency.

Further, with the wire grid polarizer according to the second aspect of the present invention, in addition to the effect of the wire grid polarizer of the first aspect, it enables to achieve the wire grid polarizer with a more excellent optical performance.

Moreover, with the wire grid polarizer according to the third aspect of the present invention, in addition to the wire grid polarizer of the second or the third aspect, it enables to achieve the wire grid polarizer with a more excellent optical performance.

With the wire grid polarizer according to the fourth aspect of the present invention, in addition to the wire grid polarizer according to any one of the first to the third aspects, it enables to achieve the excellent wire grid polarizer with still higher polarization extinction ratio provided that there is a large permissible range of the wave dependency of the polarization extinction ratio.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

FIG. 1 is a lateral cross section for illustrating a model of an embodiment of a conventional wire grid polarizer;

FIG. 2 is a graph showing a transmission factor/reflection factor of TE polarized light of the wire grid polarizer of FIG. 1;

FIG. 3 is a graph showing a transmission factor/reflection factor of TM polarized light of the wire grid polarizer of FIG. 1;

FIG. 4 is a graph showing the polarization extinction ratio of the wire grid polarizer of FIG. 1, which is obtained using the transmission factor/reflection factor shown in FIG. 2, FIG. 3 and an expression (1) and an expression (2);

FIG. 5 is a graph showing the wave dependency of the polarization extinction ratio of the wire grid polarizer of FIG. 1;

FIG. 6 is a lateral cross section for illustrating a model of an embodiment of a wire grid polarizer according to the present invention;

FIG. 7 is a lateral cross section for illustrating a model of another embodiment of a wire grid polarizer according to the present invention, which differs from the one shown in FIG. 6;

FIG. 8 is an illustration showing the lateral cross section of a wire grid polarizer which is approximated for calculating the polarization extinction ratio in the embodiment of the wire grid polarizer according to the present invention;

FIG. 9 is a graph showing the transmission factor/reflection factor of the TE polarized light of the wire grid polarizer of FIG. 8 in the embodiment of the wire grid polarizer according to the present invention;

FIG. 10 is graph showing the transmission factor/reflection factor of the TM polarized light of the wire grid polarizer of FIG. 8 in the embodiment of the wire grid polarizer according to the present invention;

FIG. 11 is a graph showing the polarization extinction ratio which is obtained according to the polarization transmission factor shown in FIG. 9 and FIG. 10 in the embodiment of the wire grid polarizer according to the present invention;

FIG. 12 is a graph showing the wave dependency of the polarization extinction ratio of the wire grid polarizer of FIG. 8 in the embodiment of the wire grid polarizer according to the present invention; and

FIG. 13 is a graph showing the wave dependency of the polarization extinction ratio of the wire grid polarizer of FIG. 7 in the embodiment of the wire grid polarizer according to the present invention.

DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

In the followings, embodiments of a wire grid polarizer according to the present invention will be described by referring to FIG. 6 to FIG. 13. The components having the same basic structure as those of the conventional polarizer or similar to those will be described by applying the same reference numerals.

As shown in FIG. 6, a wire grid polarizer 6 according to the embodiment comprises, on a light-transmitting substrate 1, a wire grid structural body 8 in which a plurality of long metal wires 7 are formed and arranged at a certain period in a direction orthogonal to the longitudinal direction. The wire grid structural body 8 transmits only one of the linearly polarized lights, such as the TM polarized light, out of the incident linearly polarized lights which are orthogonal to each other, and reflects the other polarized light such as the TE polarized light.

Further, in the embodiment, it is so formed that the cross section of the metal wire 7 orthogonal to the longitudinal direction is in a taper or triangular shape which becomes narrower towards the tip.

By forming the cross section of the metal wire 7 in a taper shape as described above, it enables to give a spatial modulation to the refractive index of the metal wire 7. Thereby, it enables to reduce Fabry-Perot interference effect caused by the difference between the refractive index of the light-transmitting substrate 1 and that of an air layer.

As a result, it becomes possible to prevent the deterioration of the polarization extinction ratio of the reflected light in the low wavelength region through reducing the change in the TM transmission factor due to the wavelength without requiring a complicated groove processing on a light-transmitting substrate and providing another thin film layer as disclosed in U.S. Pat. No. 6,122,103 and in Japanese Patent Unexamined Publication No. 2002-328234.

Thereby, in the broadband wavelength region, it enables to maintain the polarization extinction ratio high and level.

As the light-transmitting substrate 1, a light-transmitting material such as glass, ceramics, resin or the like can be selected as appropriate.

Also, in the embodiment, the period of forming the metal wire 7 is set 200 nm or less.

Thereby, it is possible to satisfy the condition of the expression (3) for having only the zero-order diffraction light in the case where the minimum wavelength of the light to be used is about 450 nm, the refractive index of the light-transmitting substrate 1 is about 1.5 to 2.2. Therefore, it becomes possible to surely prevent the high-order diffraction light from being generated in the wire grid structural body 8.

Further, in the embodiment, the material of the metal wire 7 is gold, silver, aluminum or copper.

Thus, it is possible to select the metal with high reflection factor as the material for the metal wire 7 so that a more excellent optical property can be achieved.

Furthermore, as shown in the wire grid polarizer 10 of FIG. 7, a low-refractive-index layer 11 with a lower refractive index than that of the light-transmitting substrate 1 may be formed between the light-transmitting substrate 1 and the wire grid structural body 8.

Thereby, it enables to achieve still higher polarization extinction ratio in the broadband wavelength region. However, it is achieved on condition that there is a large permissible range of the wave dependency of the polarization extinction ratio.

Examples of the low-refractive-index layer 11 may be a dielectric material such as SiO_2 , MgF_2 or the like. For forming the low refractive index layer 11, various methods may be used, e.g., vacuum evaporation, plasma CVD, ion plating, sputtering. Further, as the light-transmitting substrate 1 with a higher refractive index than that of the low-refractive-index layer 11, for example, SF-6, BAF-51, N-LAF3, products of SCHOTT may be used, which are

glass substrates with high refractive index in which the refractive index is controlled by impurities in the glass.

Next, EXAMPLES of the present invention will be described.

EXAMPLE 1

First, in EXAMPLE 1, the transmission factor/the reflection factor of the two polarized lights of TE and TM, which are orthogonal to each other, were calculated on the wire grid polarizer 6 in a structure shown in FIG. 6. For the calculation, the above-described RCWA method was used with 24 terms of the Fourier series.

In this calculation, for approximation of the metal wire 7, presumably provided was the three-layered metal wire 7 whose cross section was in a three-step shape as shown in FIG. 8.

The duty ratio of the first layer of the metal wire was presumably set as 0.4, that of the second layer as 0.266, that of the third layer as 0.133 and the film thicknesses of each layer were presumed the same, and the total film thickness of the metal wire, that is, the depth of the grating was varied from 0 to 1 μm . The transmission factor/the reflection factor of the TE polarized light and the TM polarized light under this condition were calculated. At this time, the type of the metal used as the metal wire 7 was presumed gold. The refractive index of the metal wire 7 expressed by $n-n^*+ki$ (i: imaginary unit) was set as $n^*=0.33$, $k=4.710$ at 0.65 μm (wavelength of lights), and the refractive index of the light-transmitting substrate 1 was set as 1.5145.

As a result, obtained were the transmission factor/the reflection factor of the TE polarized light as shown in FIG. 9 and the transmission factor/the reflection factor of the TM polarized light as shown in FIG. 10.

As can be seen from FIG. 10, in the wire grid polarizer 6 of this EXAMPLE, the grating depth, i.e. the periodical ripple of the transmission factor with respect to the film thickness of the metal wire 7 was decreased than that of the conventional wire grid polarizer 4 as shown in FIG. 3.

FIG. 11 shows the polarization extinction ratio which was calculated based on the polarization transmission factors shown in FIG. 9 and FIG. 10. As shown in FIG. 11, the wire grid polarizer 6 of this EXAMPLE exhibited the property in which the polarization extinction ratio maintained the level state for the change in the grating depth.

FIG. 12 shows the wave dependency of the polarization extinction ratio in the band of the wavelength 0.4 to 0.9 μm in the case where the total film thickness of the metal wire shown in FIG. 8 was set 540 nm.

As can be seen from FIG. 12, it exhibited a property with a relatively level and high extinction ratio in a wide wavelength of about 480 nm to 900 nm.

EXAMPLE 2

Next, in EXAMPLE 2, the transmission factor/the reflection factor of the TE polarized light and the TM polarized

light were calculated on the wire grid polarizer 10 shown in FIG. 7 in the same manner as EXAMPLE 1. In the wire grid polarizer 10, a low-refractive-index layer 11 was formed on the light-transmitting substrate 1 having a high refractive index, and a wire grid structural body 8 with a taper-shape cross section was formed thereon.

More specifically, calculation was carried out on assumption that 20 nm of SiO_2 layer as the low-refractive-index layer 11 was formed on the light-transmitting substrate 1 made of SF-6 (wavelength: $\lambda=0.65$ μm , refractive index: 1.797), a product of SCHOTT, and the wire grid structural body 8 in the same taper shape as that of EXAMPLE 1 was formed thereon.

As a result, the wave dependency of the polarization extinction ratio as shown in FIG. 13 was obtained.

As can be seen from FIG. 13, the absolute value of the polarization extinction ratio was improved as a whole in the wire grid polarizer of this EXAMPLE.

Therefore, with the wire grid polarizer according to the embodiment, it is possible to maintain the polarization extinction ratio high and level state in a broadband wavelength region by a simple structure. Moreover, the manufacturing efficiency of the wire grid polarizer can be improved and the cost reduction can be achieved.

The present invention is not intended to be limited to the above-described embodiments but various modifications are possible as necessary.

What is claimed is:

1. A wire grid polarizer comprising, a wire grid structural body in which a plurality of metal wires are formed and arranged at a certain period in a direction orthogonal to a longitudinal direction of said metal wires on a light-transmitting substrate, for transmitting only a specific linearly polarized light out of linearly polarized lights being orthogonal to each other, which make incident to said wire grid structural body, wherein a cross-sectional shape of said metal wire, which is orthogonal to the longitudinal direction, has a triangular shape;
2. The wire grid polarizer according to claim 1, wherein a period of forming said metal wires is 200 nm or less;
3. The wire grid polarizer according to claim 1 or 2, wherein a material of said metal wire is one selected from the group consisting of gold, silver, aluminum and copper;
4. The wire grid polarizer according to claim 1 or 2, wherein a low-refractive-index layer having a lower refractive index than that of said light-transmitting substrate is formed between said light-transmitting substrate and said wire grid structural body;
5. The wire grid polarizer according to claim 3, wherein a low-refractive-index layer having a lower refractive index than that of said light-transmitting substrate is formed between said light-transmitting substrate and said wire grid structural body.

* * * * *



US 20080316599A1

(19) **United States**
(12) **Patent Application Publication** (10) Pub. No.: **US 2008/0316599 A1**
Wang et al. (43) Pub. Date: **Dec. 25, 2008**

(54) **REFLECTION-REPRESSED WIRE-GRID POLARIZER**

Publication Classification

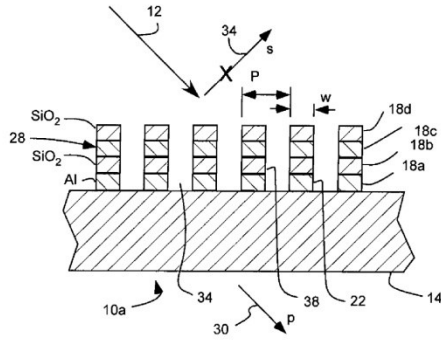
(76) Inventors: **Bin Wang**, Orem, UT (US); **Eric Gardner**, Eagle Mountain, UT (US); **Raymond T. Perkins**, Orem, UT (US)

(51) Int. Cl. **G02B 5/39** (2006.01)
(52) U.S. Cl. **359/486; 359/483**
(57) **ABSTRACT**

Correspondence Address:
THORPE NORTH & WESTERN, LLP.
PO, Box 1219
SANDY, UT 84091-1219 (US)

A reflection repressed wire-grid polarizer device for polarizing incident visible or infrared light and selectively repressing a reflected polarization includes at least three layers disposed on a substrate. A polarizing wire-grid layer has an array of parallel metal wires with a period less than half the wavelength of the incident light. A reflection-repressing layer or grid includes an inorganic and non-dielectric material which is optically absorptive of visible or infrared light. A dielectric layer or grid includes an inorganic and dielectric material.

(21) Appl. No.: **11/767,336**
(22) Filed: **Jun. 22, 2007**



Patent Application Publication Dec. 25, 2008 Sheet 1 of 8 US 2008/0316599 A1

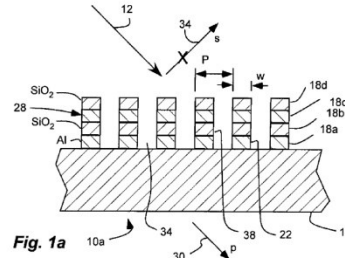


Fig. 1a

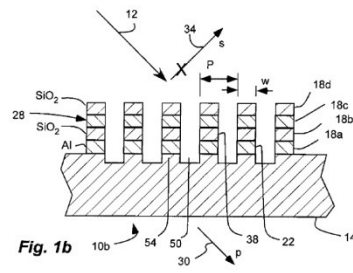
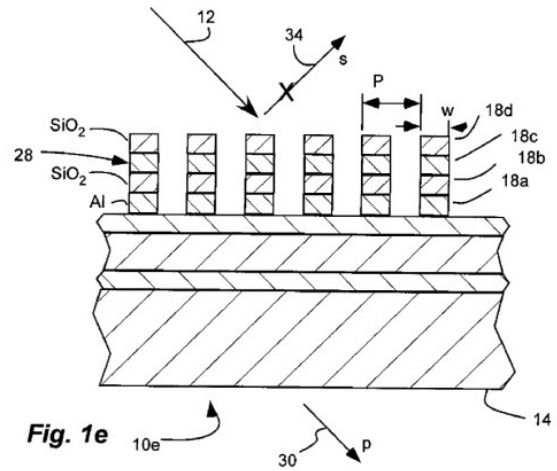
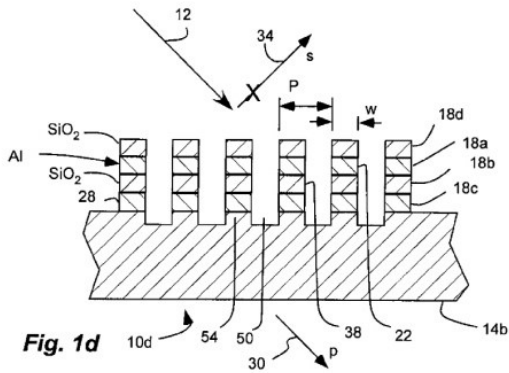
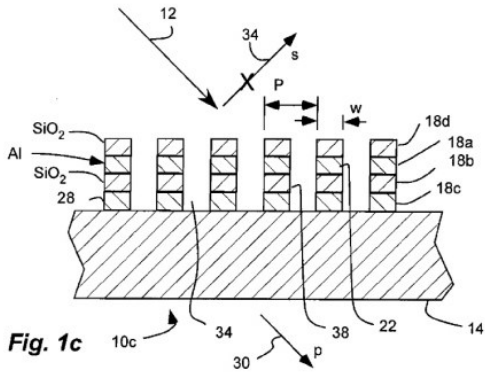


Fig. 1b



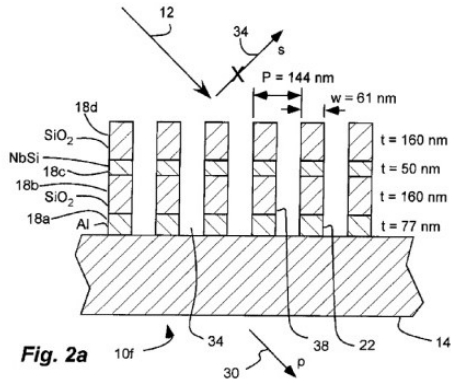


Fig. 2a

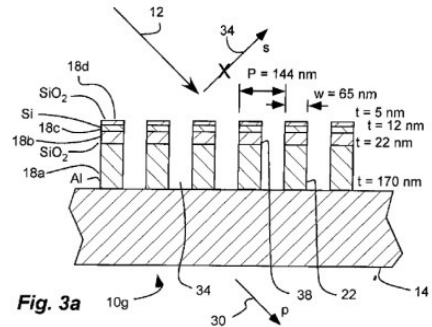


Fig. 3a

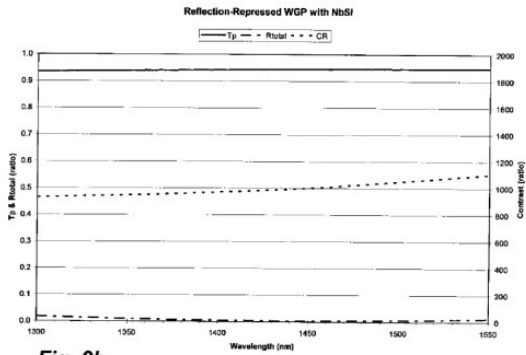


Fig. 2b

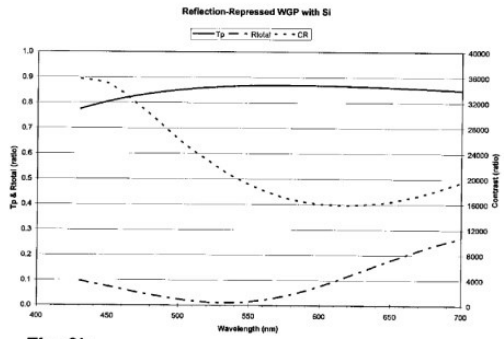


Fig. 3b

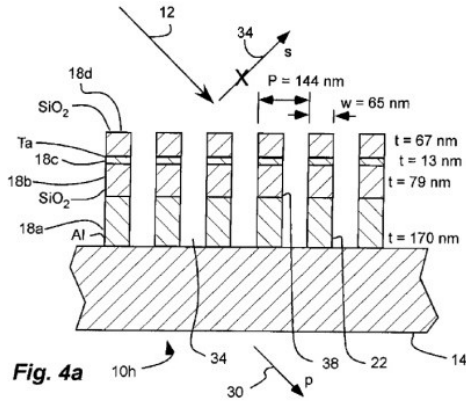


Fig. 4a

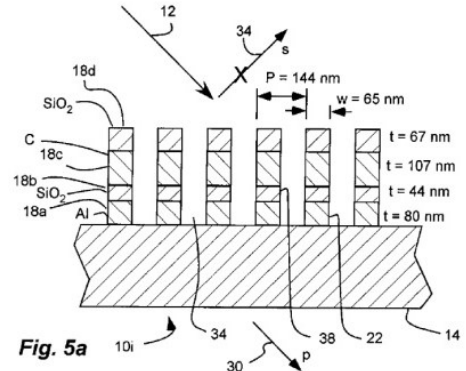


Fig. 5a

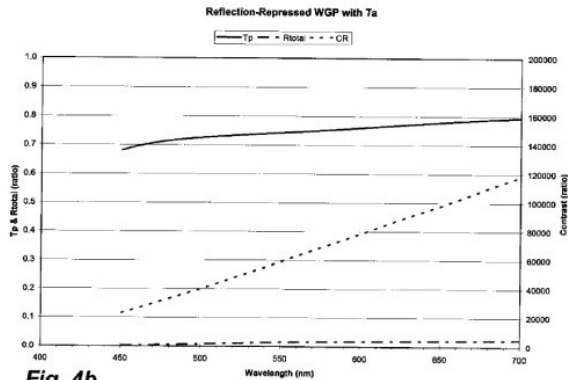


Fig. 4b

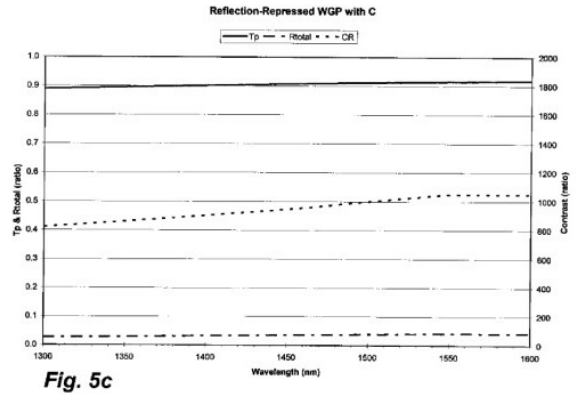


Fig. 5c

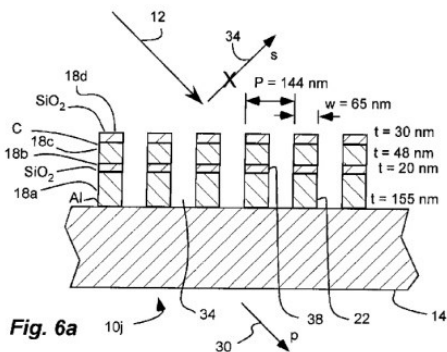


Fig. 6a

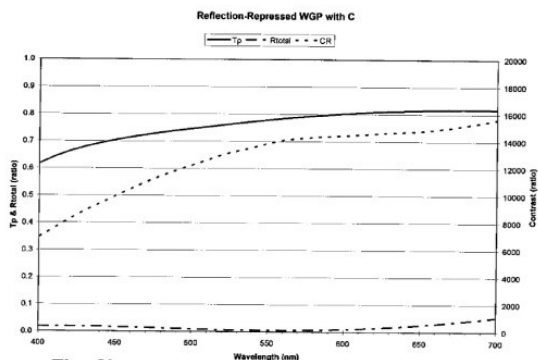


Fig. 6b

REFLECTION-REPPRESSED WIRE-GRID POLARIZER

RELATED APPLICATIONS

[0001] This is related to U.S. patent application Ser. No. _____, filed Jun. 22, 2007, as TNW Docket No. 00546-23945.CIP entitled "Selectively Absorptive Multilayer Wire-Grid Polarizer" and U.S. patent application Ser. No. 11,005, 927, filed Dec. 6, 2004, which are herein incorporated by reference.

BACKGROUND

[0002] 1. Field of the Invention
 [0003] The present invention relates generally to an inorganic wire-grid polarizer which has been configured to substantially repress the reflected polarization while substantially transmitting the orthogonal polarization with particular focus on the use of such a polarizer for use in the visible and infra-red portion of the electromagnetic spectrum.

[0004] 2. Related Art
 [0005] Various types of polarizers or polarizing beam splitters (PBS) have been developed for polarizing light, or separating orthogonal polarization orientations of light. A MacNeille PBS is based upon achieving Brewster's angle behavior at the thin film interface along the diagonal of the high refractive index cube in which it is constructed. Such MacNeille PBSs generate no astigmatism, but have a narrow acceptance angle, and have significant cost and weight. Such devices can be fabricated to function from the infra-red through the visible to the ultra-violet by appropriate choices of glasses and thin-films.

[0006] Many other types of polarizers are also commonly available for the visible and infra-red portions of the spectrum, including long-chain polymer polarizers, wire-grid polarizers, Glan Thompson crystal polarizers, etc. Some of these polarizers separate light into two orthogonal polarizations by reflection, others separate light by absorption. Examples of the former include crystal polarizers such as the Glan Thompson type and Wollaston Prism type, wire-grid polarizers, the MacNeille prism type, and certain polymer reflective polarizers such as the DBEF[®] polarizer manufactured by 3M. Of the later, absorptive type, examples include long-chain polymer "iodine-type" polarizers, K-sheet and H-sheet-type polarizers originally developed by Polaroid, and numerous other types that find uses in flat-panel liquid crystal displays, etc.

[0007] Generally, the absorptive-type polarizer has been based on organic molecules such as polymers. A notable exception is the Polarcor type originally developed by Corning and similar products such as those offered by Codixx of Germany. Polarizers of this type have found numerous uses in the infra-red spectrum, where they excel in contrast ratio and transmission efficiency, but only over a fairly narrow wavelength band, which band can be shifted to the desired wavelength by appropriate changes in the manufacturing process. However, this type of polarizer has not successfully been extended into the green and blue portions of the visible spectrum, leaving the visible spectrum poorly served by this technology.

[0008] This leaves open a need for an inorganic polarizer which does not have a substantial or strong reflection of one polarization for certain applications in the visible spectrum. An example of these applications exists in the projection

display market, in which small, transmissive liquid-crystal display panels are used to create projected images on a screen. Because of the optical design of such systems, it is difficult for them to use reflective polarizers in the image-bearing part of the optical path. There are at least two known reasons for this difficulty. The first is that light reflected back into the display panels is known to cause the transistors in the drive circuitry on the panel to be inoperable due to the photoelectric effect disturbing the transistors operation. The second problem is that the reflected light can cause ghost images and cause a loss of contrast in the image on the screen.

[0009] Historically, manufacturers of such projection displays have used polymer-based absorptive polarizers in such projection displays. Over time, as these displays have become brighter, such polarizers have become a weak point in the system, leading to concerns about early failure of the polarizers. To counter this problem, exotic, heat conductive substrate materials such as sapphire have been used, forced-air cooling systems have been employed, and more exotic designs have even used several polarizers in series such that failure of the first polarizer would be masked by the succeeding polarizers in order to obtain an acceptable system life-time. Continued progress in the display market towards brighter and less-expensive displays means that the time will soon come that such solutions will no longer be practical. Therefore, it is expected that these projection-display systems will need a new solution.

SUMMARY OF THE INVENTION

[0010] It has been recognized that it would be advantageous to develop an inorganic polarizer that has a substantially repressed reflection while still providing substantial transmission of the orthogonal polarization; that has a contrast in transmission greater than about 500:1 in each of the three primary colors of blue, green, and red; that has a reasonable acceptance angle and functions at normal incidence; and that can be made in a plate format. In addition, it would be advantageous if such a polarizer could be manufactured at a reasonable cost to enable its application in the very competitive display market.

[0011] The present invention provides a reflection repressed, wire-grid polarizer device for polarizing incident visible or infrared light and selectively repressing a reflected polarization. A polarizing wire-grid layer is disposed over a substrate and has an array of parallel metal wires with a period less than half the wavelength of the incident light. A reflection-repressing layer is disposed over the substrate and includes an inorganic and non-dielectric material which is optically absorptive of visible or infrared light. A dielectric layer is disposed between the polarizing wire-grid layer and the absorptive layer and includes an inorganic and dielectric material.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

[0012] Additional features and advantages of the invention will be apparent from the detailed description which follows, taken in conjunction with the accompanying drawings, which together illustrate, by way of example, features of the invention; and, wherein:

[0013] FIG. 1a is a cross-sectional schematic side view of a reflection repressed, wire-grid polarizer device in accordance with an embodiment of the present invention;

[0014] FIG. 1b is a cross-sectional schematic side view of another reflection repressed, wire-grid polarizer device in accordance with an embodiment of the present invention;

[0015] FIG. 1c is a cross-sectional schematic side view of another reflection repressed, wire-grid polarizer device in accordance with an embodiment of the present invention;

tric layer(s) can be discontinuous to form a form-birefringent layer or dielectric grid 36 with an array of parallel ribs 38 separated by gaps. The ribs 38 of the dielectric layer can have the same period as the wires of the wire-grid and can be aligned with the wires of the wire-grid. In addition, one or more of the dielectric layer(s) can be disposed adjacent to the polarizing layer.

[0039] The reflection-repressing layer 18c includes an inorganic and non-dielectric material that is optically absorptive of visible or infrared light. In one aspect, the optically absorptive material can be carbon or silicon, or a metal different than the metal of the wires of the wire-grid. Thus, the light incident on the device is divided into two polarizations, one of which is largely absorbed (for example the s-polarization orientation) with some energy reflected, and the other of which is largely transmitted (for example the p-polarization orientation), with some small amount of energy absorbed. In addition, the reflection-repressing layer can be discontinuous to form a reflection-repressing grid with an array of parallel ribs 28.

[0040] Thus, an incident visible or infrared light beam 12 incident on the polarizer 10a-d separates the light into two orthogonal polarization orientations, with light having s-polarization orientation (polarization orientation oriented parallel to the length of the ribs) being mostly absorbed with some energy reflected, and light having p-polarization orientation (polarization orientation oriented perpendicular to the length of the ribs) being largely transmitted or passed with a small amount of energy absorbed. (It is of course understood that the separation or these two polarizations, may not be perfect and that there may be losses or amounts of undesired polarization orientation either reflected and/or transmitted.) In addition, it will be noted that the array or grid of ribs with a pitch less than about half the wavelength of light does not act like a diffraction grating (which has a pitch larger than about half the wavelength of light). Thus, the grid polarizer avoids diffraction. Furthermore, it is believed that such periods also avoid resonant effects or anomalies.

[0041] Referring to FIG. 1a, the inorganic, reflection-repressing, wire-grid polarizer 10a is configured with the reflection-repressing layer 18c disposed over the polarizing wire-grid layer 18a. The first dielectric layer 18b separating the polarizing and reflection-repressing layers. The second dielectric layer 18d is disposed over the reflection-repressing layer 18c.

[0042] All the layers 18a-d are discontinuous. The device can be fabricated by depositing the various layers and etching the layers to form the wires and ribs. The dielectric ribs 38 of the dielectric grid, the non-dielectric ribs 28 of the reflection-repressing grid, and the wires 22 of the wire-grid are aligned and have the same period.

[0043] Referring to FIG. 1b, the inorganic, reflection-repressing, wire-grid polarizer 10b is similar to that described above, but includes a plurality of ribs 54 formed in the substrate 14 and supporting the wires and ribs of the layers thereon. The ribs can be formed by over-etching troughs 50 into the substrate. The ribs can form another dielectric layer between the substrate and the wires.

[0044] Referring to FIG. 1c, the inorganic, reflection-repressing, wire-grid polarizer 10c is similar to that described above in FIG. 1a, but with the stack of layers inverted so that the polarizing wire-grid layer 18a is disposed over the reflection-repressing layer 18c.

[0045] Referring to FIG. 1d, the inorganic, reflection-repressing, wire-grid polarizer 10d is similar to that described above in FIG. 1b, but with the stack of layers inverted so that the polarizing wire-grid layer 18a is disposed over the reflection-repressing layer 18c.

[0046] Referring to FIG. 1e, the inorganic, reflection-repressing, wire-grid polarizer 10e is similar to that described above in FIG. 1a, but further includes one or more continuous layers disposed between the substrate and the wires of the wire-grid to form an anti-reflection coating or to accomplish other optical purposes.

[0047] In addition, the thickness of each layer can be tailored to optimize the optical performance (transmission efficiency and contrast ratio) for the desired spectral range.

[0048] Therefore, while the thicknesses shown in the figures are the same, it will be appreciated that they can be different. While the stack is shown with four film layers 18a-d, it will be appreciated that the number of film layers in the stack can vary.

[0049] As shown in FIGS. 1a-d, all of the film layers are discontinuous and form the arrays of parallel ribs or wires. The ribs or wires can be separated by intervening grooves 34 or troughs. In this case, the grooves 34 extend through the film layers 18a-d to the substrate 14, or even into the substrate. As discussed below, such a configuration can facilitate manufacture.

[0050] The grooves 34 can be unfilled, or filled with air (n=1). Alternatively, the grooves 34 can be filled with a material that is optically transmissive with respect to the incident light.

[0051] It is believed that the birefringent characteristic of the film layers, and the different refractive indices of adjacent film layers, causes the grid polarizers to substantially separate polarization orientations of incident light, substantially absorbing and reflecting light of s-polarization orientation, and substantially transmitting or passing light of p-polarization orientation with a small amount of absorption. In addition, it is believed that the number of film layers, thickness of the film layers, and refractive indices of the film layers can be adjusted to vary the performance characteristics of the grid polarizer so long as at least one of the layers is strongly absorptive to the incident UV light.

[0052] A method of fabricating the polarizers 10a-d includes obtaining or providing a substrate 14. As described above, the substrate 14 can be BK7 glass or fused silica glass. In all aspects, the substrate would be chosen to be transparent to the desired wavelength of electromagnetic radiation. The substrate may be cleaned and otherwise prepared. The layers are formed continuously over the substrate. The layers can be formed by deposition, chemical vapor deposition, spin coating, etc., as is known in the art. The continuous layers are patterned to create discontinuous layers with an array of parallel ribs or wires and defining at least one firm birefringent layer. In addition, all the continuous layers can be patterned to create all discontinuous layers. The layers can be patterned by etching, etc., as is known in the art.

EXAMPLE 1

[0053] Referring to FIG. 2a, a first non-limiting example of a reflection-repressing, wire-grid polarizer 10f is shown configured for use in the infrared spectrum.

[0054] The polarizer 10f has four layers disposed over a substrate 14 including a polarizing layer 18a, a reflection-repressing layer 18c, a dielectric layer 18b separating the

[0016] FIG. 1d is a cross-sectional schematic side view of another reflection-repressing, wire-grid polarizer device in accordance with an embodiment of the present invention;

[0017] FIG. 1e is a cross-sectional schematic side view of another reflection-repressing, wire-grid polarizer device in accordance with an embodiment of the present invention;

[0018] FIG. 2a is a cross-sectional schematic side view of a first exemplary reflection-repressing, wire-grid polarizer device in accordance with an embodiment of the present invention;

[0019] FIG. 2b is a graph of calculated performance of the polarizer device of FIG. 2a showing the ratio of transmission of p-polarization orientation, total reflection and contrast with respect to wavelength;

[0020] FIG. 3a is a cross-sectional schematic side view of a second exemplary reflection-repressing, wire-grid polarizer device in accordance with an embodiment of the present invention;

[0021] FIG. 3b is a graph of calculated performance of the polarizer device of FIG. 3a showing the ratio of transmission of p-polarization orientation, total reflection and contrast with respect to wavelength;

[0022] FIG. 4a is a cross-sectional schematic side view of a third exemplary reflection-repressing, wire-grid polarizer device in accordance with an embodiment of the present invention;

[0023] FIG. 4b is a graph of calculated performance of the polarizer device of FIG. 4a showing the ratio of transmission of p-polarization orientation, total reflection and contrast with respect to wavelength;

[0024] FIG. 5a is a cross-sectional schematic side view of a fourth exemplary reflection-repressing, wire-grid polarizer device in accordance with an embodiment of the present invention;

[0025] FIG. 5b is a graph of calculated performance of the polarizer device of FIG. 5a showing the ratio of transmission of p-polarization orientation, total reflection and contrast with respect to wavelength;

[0026] FIG. 6a is a cross-sectional schematic side view of a fifth exemplary reflection-repressing, wire-grid polarizer device in accordance with an embodiment of the present invention;

[0027] FIG. 6b is a graph of calculated performance of the polarizer device of FIG. 6a showing the ratio of transmission of p-polarization orientation, total reflection and contrast with respect to wavelength;

[0028] Various features in the figures have been exaggerated for clarity. It should also be noted that the features in the Figures are not to scale.

[0029] Reference will now be made to the exemplary embodiments illustrated, and specific language will be used herein to describe the same. It will nevertheless be understood that no limitation of the scope of the invention is thereby intended.

DETAILED DESCRIPTION OF EXAMPLE EMBODIMENT(S)

[0030] Definitions.

[0031] The term dielectric is used herein to mean non-metallic optical materials, typically consisting of metal oxides, or metal nitrides, metal fluorides, or other similar materials.

[0032] The term carbon is used herein to mean carbon in any of its many forms, such as graphite, glassy carbon, amorphous carbon, etc.

[0033] The term non-dielectric is used herein to mean metallic optical materials, including carbon and silicon.

[0034] Description

[0035] It has been recognized that wire-grid polarizers can provide enhanced performance or contrast to projection display systems, such as rear projection display systems. In addition, it has been recognized that the conductive wires of a wire-grid polarizer can absorb light and can heat-up. Furthermore, it has been recognized that multi-layer stretched film polarizers are not durable and reliable in many applications due to their absorption of light, though such a performance characteristic is desirable.

[0036] As illustrated in FIGS. 1a-1e, inorganic, reflection-repressing, wire-grid polarizers, indicated generally at 10a-e, are shown in an exemplary implementation in accordance with the present invention for polarizing incident visible or infrared light 12, transmitting one polarization 30 (such as p-polarization orientation) and selectively repressing (indicated by X) a reflected polarization 34 (such as s-polarization orientation). The stack of film layers of the wire-grid polarizers can include at least three layers, including a polarizing layer 18a, a reflection-repressing layer 18c, and a dielectric layer 18b separating the polarizing and reflection-repressing layers.

[0037] The polarizing layer 18a is a polarizing wire-grid and includes an array of parallel metal wires 22 with a period P less than half the wavelength of the incident light 12. The wires are formed of a conductive material. In one aspect, the wires can be formed of aluminum Al, as shown in FIGS. 1a-c. In another aspect, the wires can be formed of silver. For visible light applications, or when visible light is incident on the polarizer, the period P of the array of wires 22 of the wire-grid is less than 350 nm. In another aspect, the period can be less than 200 nm for visible light applications. In another aspect, the period can be less than 120 nm for visible light applications. It has been found that reducing the period results in increased performance. For infrared applications, or when infrared light is incident on the polarizer, the period P of the array of wires 22 of the wire-grid is less than 500 nm. In addition, the wires are longer than the wavelength of incident light. The wires can also have a width w in the range of 10 to 90% of the pitch or period. The wires can also have a thickness or a height less than the wavelength of the light, or less than 400 nm (0.4 μm) for visible light applications. In one aspect, the thickness can be less than 0.2 μm for visible light applications.

[0038] The dielectric layer(s) 18b(s) can be dielectric grid(s) and can include an inorganic and dielectric material. The dielectric material can be optically transmissive in at least the visible or infrared spectral region for visible or infrared applications, respectively. In one aspect, the dielectric material of the dielectric layer can be silicon dioxide (SiO₂). The dielectric

polarizing and reflection-repressing layers, and a second dielectric layer 18d separated from the first dielectric layer 18a by the reflection-repressing layer. The substrate is glass, such as BK7 glass. The first layer or polarizing layer 18a is disposed on the substrate. The polarizing layer 18a is an array of parallel metal wires 22 formed of aluminum (Al) with a period P of 144 nm. The polarizing layer 18a has a thickness of 77 nm. The reflection-repressing layer 18c is formed of niobium silicide (NbSi; n=3.8, k=2.90 at 1550 nm) and has a thickness of 50 nm. The first and second dielectric layers 18b and 18d are formed of silicon dioxide (SiO₂) and each have a thickness of 160 nm. All of the layers are discontinuous to form form-birefringent layers. The period P is 144 nm with a duty cycle (DC) or ratio of rib width to period of 0.425, or the width is approximately 61 nm. The niobium silicide material has been chosen because of its optical index and its optically absorptive properties for the incident light. The polarizer will transmit the p-polarization orientation of the light without reflecting either polarization orientation.

[0055] Referring to FIG. 2b, the calculated performance of the polarizer 10f is shown in the infrared spectrum. It can be seen that the polarizer has high transmission (approximately 95%) for p-polarization orientation of the light, with substantially no reflection. In addition, the polarizer has a contrast ratio of approximately 1000.

EXAMPLE 2

[0056] Referring to FIG. 3a, a second non-limiting example of a reflection-repressing, wire-grid polarizer 10g is shown configured for use in the visible spectrum.

[0057] The polarizer 10g has four layers disposed over a substrate 14 including a polarizing layer 18a, a reflection-repressing layer 18c, a dielectric layer 18b separating the polarizing and reflection-repressing layers, and a second dielectric layer 18d separated from the first dielectric layer 18b by the reflection-repressing layer. The substrate is glass, such as BK7 glass. The first layer or polarizing layer 18a is disposed on the substrate. The polarizing layer 18a is an array of parallel metal wires 22 formed of aluminum (Al) with a period P of 144 nm. The polarizing layer 18a has a thickness of 170 nm. The reflection-repressing layer 18c is formed of silicon (Si; n=4.85, k=0.8632 at 550 nm) and has a thickness of 12 nm. The first and second dielectric layers 18b and 18d are formed of silicon dioxide (SiO₂) and have a thickness of 22 nm and 5 nm respectively. All of the layers are discontinuous to form form-birefringent layers. The period P is 144 nm with a duty cycle (DC) or ratio of rib width to period of 0.45, or the width is approximately 67 nm. The silicon material has been chosen because of its optical index and its optically absorptive properties for the incident light. The polarizer will transmit the p-polarization orientation of the light without reflecting either polarization orientation.

[0058] Referring to FIG. 3b, the calculated performance of the polarizer 10g is shown in the visible spectrum. It can be seen that the polarizer has high transmission (approximately 80%) for p-polarization orientation of the light, with little reflection. In addition, the polarizer has a contrast ratio greater than 16,000 across the visible spectrum.

EXAMPLE 3

[0059] Referring to FIG. 4a, a third non-limiting example of a reflection-repressing, wire-grid polarizer 10h is shown configured for use in the visible spectrum.

[0060] The polarizer 10b has four layers disposed over a substrate 14 including a polarizing layer 18a, a reflection-repressing layer 18c, a dielectric layer 18b separating the polarizing and reflection-repressing layers, and a second dielectric layer 18d separated from the first dielectric layer 18b by the reflection-repressing layer. The substrate is glass, such as BK7 glass. The first layer or polarizing layer 18a is disposed on the substrate. The polarizing layer 18a is an array of parallel metal wires 22 formed of aluminum (Al) with a period P of 144 nm. The polarizing layer 18a has a thickness of 170 nm. The reflection-repressing layer 18c is formed of tantalum (Ta; n=2.95, k=5.52 at 550 nm) and has a thickness of 13 nm. The first and second dielectric layers 18b and 18d are formed of silicon dioxide (SiO₂) and have a thickness of 79 nm and 67 nm respectively. All of the layers are discontinuous to form form-birefringent layers. The period P is 144 nm with a duty cycle (DC) or ratio of rib width to period of 0.45, or the width is approximately 67 nm. The tantalum material has been chosen because of its optical index and its optically absorptive properties for the incident light. The polarizer will transmit the p-polarization orientation of the light without reflecting either polarization orientation.

[0061] Referring to FIG. 4b, the calculated performance of the polarizer 10b is shown in the visible spectrum. It can be seen that the polarizer has high transmission (approximately 70%) for p-polarization orientation of the light, with substantially no reflection. In addition, the polarizer has a contrast ratio greater than 20,000 across the visible spectrum.

EXAMPLE 4

[0062] Referring to FIG. 5a, a fourth non-limiting example of a reflection-repressing, wire-grid polarizer 10i is shown configured for use in the infrared spectrum.

[0063] The polarizer 10i has four layers disposed over a substrate 14 including a polarizing layer 18a, a reflection-repressing layer 18c, a dielectric layer 18b separating the polarizing and reflection-repressing layers, and a second dielectric layer 18d separated from the first dielectric layer 18b by the reflection-repressing layer. The substrate is glass, such as BK7 glass. The first layer or polarizing layer 18a is disposed on the substrate. The polarizing layer 18a is an array of parallel metal wires 22 formed of aluminum (Al) with a period P of 144 nm. The polarizing layer 18a has a thickness of 80 nm. The reflection-repressing layer 18c is formed of carbon (C; n=3.34, k=1.6299 at 1550 nm) and has a thickness of 107 nm. The first and second dielectric layers 18b and 18d are formed of silicon dioxide (SiO₂) and have a thickness of 44 nm and 67 nm respectively. All of the layers are discontinuous to form form-birefringent layers. The period P is 144 nm with a duty cycle (DC) or ratio of rib width to period of 0.45, or the width is approximately 67 nm. The carbon material has been chosen because of its optical index and its optically absorptive properties for the incident light. The polarizer will transmit the p-polarization orientation of the light without reflecting either polarization orientation.

[0064] Referring to FIG. 5b, the calculated performance of the polarizer 10i is shown in the infrared spectrum. It can be seen that the polarizer has high transmission (approximately 80%) for p-polarization orientation of the light, with little reflection. In addition, the polarizer has a contrast ratio greater than 800 across the infrared spectrum.

EXAMPLE 5

[0065] Referring to FIG. 6a, a fifth non-limiting example of a reflection-repressing, wire-grid polarizer 10j is shown configured for use in the visible spectrum.

[0066] The polarizer 10j has four layers disposed over a substrate 14 including a polarizing layer 18a, a reflection-repressing layer 18c, a dielectric layer 18b separating the polarizing and reflection-repressing layers, and a second dielectric layer 18d separated from the first dielectric layer 18b by the reflection-repressing layer. The substrate is glass, such as BK7 glass. The first layer or polarizing layer 18a is disposed on the substrate. The polarizing layer 18a is an array of parallel metal wires 22 formed of aluminum (Al) with a period P of 144 nm. The polarizing layer 18a has a thickness of 1550 nm. The reflection-repressing layer 18c is formed of carbon (C; n=2.35, k=0.8344 at 550 nm) and has a thickness of 48 nm. The first and second dielectric layers 18b and 18d are formed of silicon dioxide (SiO₂) and have a thickness of 20 nm and 30 nm respectively. All of the layers are discontinuous to form form-birefringent layers. The period P is 144 nm with a duty cycle (DC) or ratio of rib width to period of 0.45, or the width is approximately 67 nm. The carbon material has been chosen because of its optical index and its optically absorptive properties for the incident light. The polarizer will transmit the p-polarization orientation of the light without reflecting either polarization orientation.

[0067] Referring to FIG. 6b, the calculated performance of the polarizer 10j is shown in the visible spectrum. It can be seen that the polarizer has high transmission (greater approximately 60% across the visible spectrum and as high as 80%) for p-polarization orientation of the light, with substantially no reflection. In addition, the polarizer has a contrast ratio greater than 8,000 across the visible spectrum.

[0068] Various aspects of wire-grid polarizers, optical trains and/or projection/display systems are shown in U.S. Pat. Nos. 5,986,730; 6,081,376; 6,122,103; 6,208,463; 6,243,199; 6,288,840; 6,348,993; 6,108,131; 6,452,724; 6,710,921; 6,234,634; 6,447,120; and 6,666,556, which are herein incorporated by reference.

[0069] While the foregoing examples are illustrative of the principles of the present invention in one or more particular applications, it will be apparent to those of ordinary skill in the art that numerous modifications in form, usage and details of implementation can be made without the exercise of inventive faculty, and without departing from the principles and concepts of the invention. Accordingly, it is not intended that the invention be limited, except as by the claims set forth below.

1. A reflection-repressing wire-grid polarizer device for polarizing incident visible or infrared light and selectively repressing a reflected polarization, the device comprising:

- a substrate;
 - a polarizing wire-grid layer disposed over the substrate having an array of parallel metal wires with a period less than half the wavelength of the incident light;
 - a reflection-repressing layer disposed over the substrate including an inorganic and non-dielectric material which is optically absorptive of visible or infrared light; and
 - a dielectric layer disposed between the polarizing wire-grid layer and the absorptive layer and including an inorganic and dielectric material.
2. A device in accordance with claim 1, wherein the dielectric layer is a first dielectric layer, and further comprising: a second dielectric layer disposed over the substrate and separated from the first dielectric layer by the reflection-repressing layer or polarizing wire-grid layer, and including an inorganic and dielectric material.

3. A device in accordance with claim 1, wherein the reflection-repressing layer is discontinuous to form an array of parallel ribs defining a reflection-repressing grid; and wherein the dielectric layer is discontinuous to form an array of parallel ribs defining a dielectric grid.

4. A device in accordance with claim 1, wherein the device selectively absorbs light within the visible spectrum; wherein the period of the array of wires of the wire-grid layer is less than 350 nm; and wherein the material of the reflection-repressing layer includes a material that is optically absorptive of light in the visible spectrum.

5. A device in accordance with claim 1, wherein the device selectively absorbs light within the infrared spectrum; wherein the period of the array of wires of the wire-grid layer is less than 500 nm; and wherein the material of the reflection-repressing layer includes a material that is optically absorptive of light in the infrared spectrum.

6. A device in accordance with claim 1, wherein the material of the reflection-repressing layer is different than a material of the metal wires of the wire-grid.

7. A device in accordance with claim 1, wherein the material of the reflection-repressing layer is selected from the group consisting of: carbon, silicon, niobium silicide, tantalum, and combinations thereof.

8. A reflection-repressing wire-grid polarizer device for polarizing incident visible or infrared light and selectively repressing a reflected polarization, the device comprising:

- a substrate;
- a polarizing wire-grid disposed over the substrate having an array of parallel metal wires with a period less than half the wavelength of the incident light;
- an inorganic and dielectric grid disposed over the polarizing wire-grid having an array of parallel ribs aligned with the wires of the polarizing wire-grid; and
- a non-dielectric, reflection-repressing grid disposed over the inorganic and dielectric grid having an array of parallel ribs aligned with the ribs of the inorganic and dielectric grid and including an inorganic and non-dielectric material which is optically absorptive of visible or infrared light.

9. A device in accordance with claim 8, further comprising: a second inorganic and dielectric layer disposed over the reflection-repressing layer.

10. A device in accordance with claim 8, wherein the material of the non-dielectric, reflection-repressing grid is different than a material of the metal wires of the wire-grid.

11. A device in accordance with claim 8, wherein the device selectively absorbs light within the visible spectrum; wherein the period of the array of wires of the wire-grid is less than 350 nm; and wherein the material of the reflection-repressing layer includes a material that is optically absorptive of light in the visible spectrum.

12. A device in accordance with claim 8, wherein the device selectively absorbs light within the infrared spectrum; wherein the period of the array of wires of the wire-grid layer is less than 500 nm; and wherein the material of the reflection-repressing grid includes a material that is optically absorptive of light in the infrared spectrum.

13. A device in accordance with claim 9, wherein the material of the reflection-repressing grid is selected from the group consisting of: carbon, silicon, niobium silicide, tantalum, and combinations thereof.

14. A reflection repressed wire-grid polarizer device for polarizing incident visible or infrared light and selectively repressing a reflected polarization, the device comprising:

- a) a substrate;
- b) a plurality of different, alternating layers carried by the substrate, the layers being discontinuous to form an array of parallel ribs with a period less than half the wavelength of the incident light;
- c) one of the layers including a conductive material and defining a polarizing wire-grid;
- d) one of the layers including an inorganic and dielectric material and defining a dielectric grid; and
- e) one of the layers including an inorganic and non-dielectric material that is optically absorptive of visible or infrared light, and defining a reflection-repressing grid.

15. A device in accordance with claim 14, further comprising:

- one of the layers defining a second dielectric grid including an inorganic and dielectric material.

16. A device in accordance with claim 14, wherein the device selectively absorbs light within the visible spectrum; wherein the period of the array of wires of the wire-grid is less than 350 nm; and wherein the material of the reflection-repressing layer includes a material that is optically absorptive of light in the visible spectrum.

17. A device in accordance with claim 14, wherein the device selectively absorbs light within the infrared spectrum; wherein the period of the array of wires of the wire-grid layer is less than 500 nm; and wherein the material of the reflection-repressing grid includes a material that is optically absorptive of light in the infrared spectrum.

18. A device in accordance with claim 14, wherein the material of the reflection-repressing grid is selected from the group consisting of: carbon, silicon, niobium silicide, tantalum, and combinations thereof.

19. A device in accordance with claim 14, wherein device has a contrast in transmission greater than about 500:1 across the visible spectrum.

* * * * *



US 2002/0167727A1

(19) United States

(12) Patent Application Publication (10) Pub. No.: US 2002/0167727 A1
Hansen et al. (43) Pub. Date: Nov. 14, 2002

(54) PATTERNED WIRE GRID POLARIZER AND METHOD OF USE

(52) U.S. CL. 359/486; 359/485

(76) Inventors: Douglas P. Hansen, Spanish Fork, UT (US); Raymond Perkins, Orem, UT (US); Jim Thorne, Provo, UT (US); Eric Gardner, Provo, UT (US)

(57) ABSTRACT

A visible light polarizer device includes elements having a different angular orientation with respect to other elements. The elements are sized to interact with visible light to 1) transmit visible light of one polarization orientation, and 2) reflect visible light of another polarization orientation. The device can include 1) primary elements which are substantially parallel with one another, and 2) secondary elements having at least a portion disposed at a different angle orientation with respect to the primary elements. The elements can be configured to transmit visible light of the same first polarization orientation, and reflect visible light of the same second polarization orientation, although they have different angular orientations. Alternatively, the elements can transmit visible light of different polarization orientations.

Correspondence Address:

Garron M. Hobson
THORPE, NORTH & WESTERN, L.L.P.
P.O. Box 1219
Sandy, UT 84091-1219 (US)

(21) Appl. No.: 09/819,565

(22) Filed: Mar. 27, 2001

Publication Classification

(51) Int. Cl. G02B 5/30; G02B 27/28

Patent Application Publication Nov. 14, 2002 Sheet 1 of 9

US 2002/0167727 A1

FIG. 1

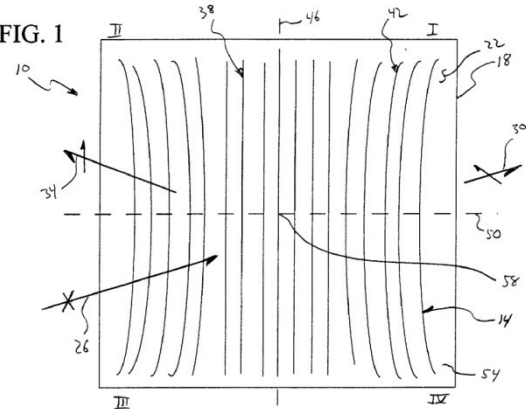


FIG. 2

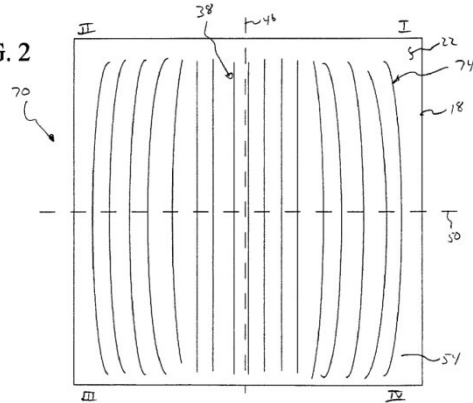


FIG. 3A

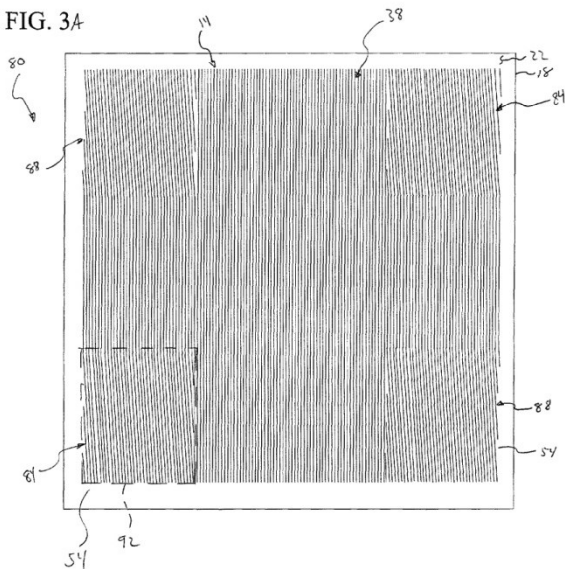
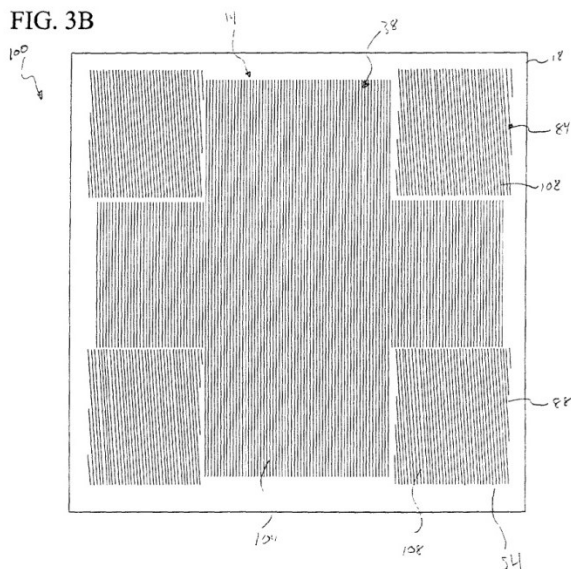
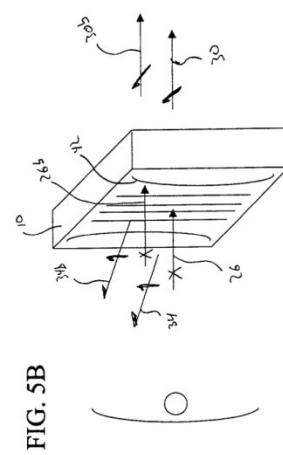
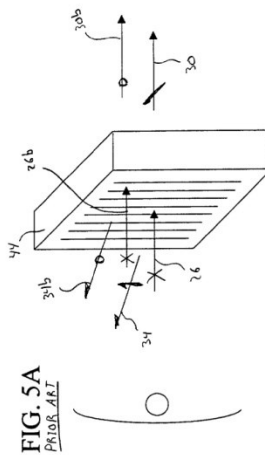
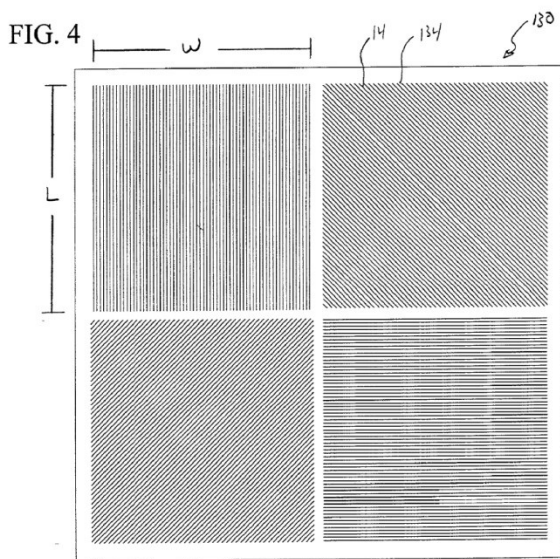


FIG. 3B





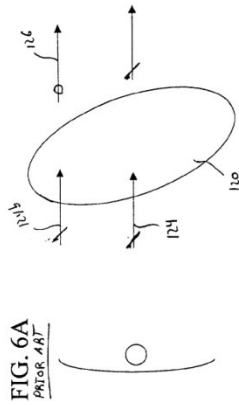


FIG. 6A
PRIOR ART

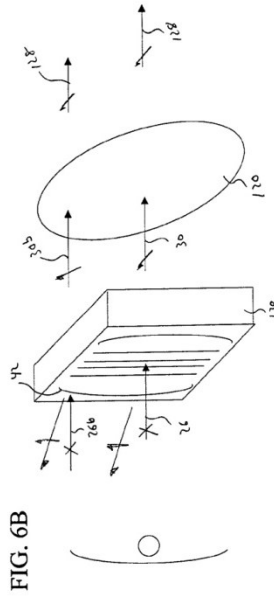


FIG. 6B

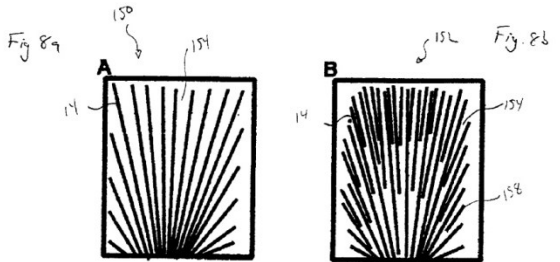
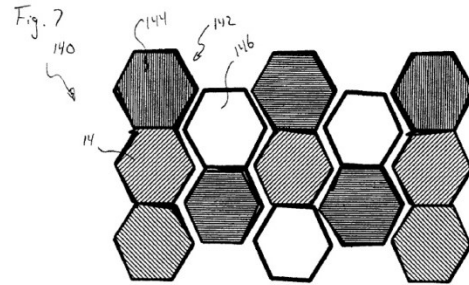


Fig. 9a

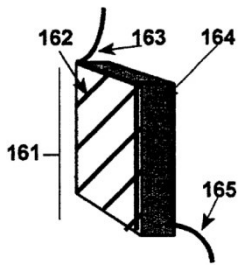


Fig 9b

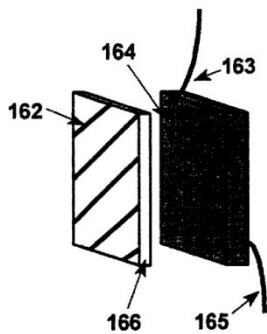


Fig. 9c

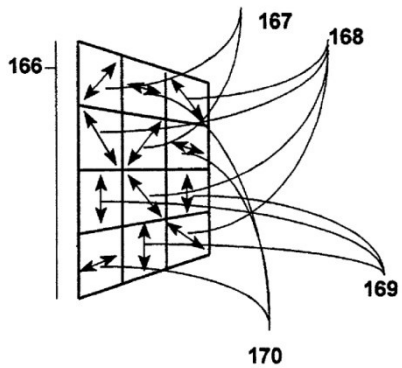


FIG. 10

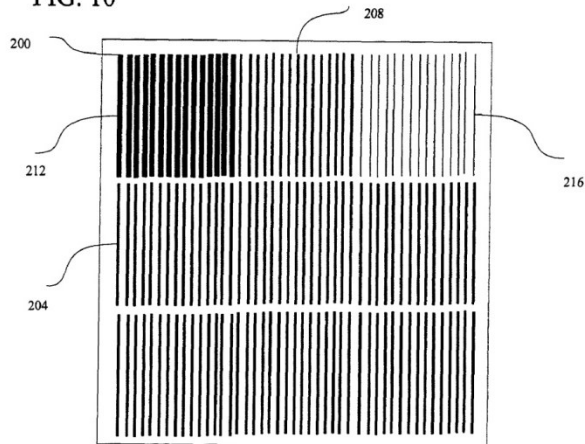
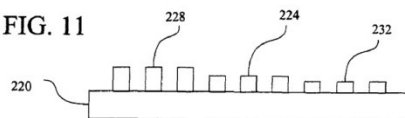


FIG. 11



PATTERNED WIRE GRID POLARIZER AND METHOD OF USE

BACKGROUND OF THE INVENTION

[0001] 1. The Field of the Invention

[0002] The present invention relates generally to wire grid polarizers operable in the visible spectrum. More particularly, the present invention relates to a patterned wire grid polarizer and method of use.

[0003] 2. The Background Art

[0004] Conventional polarizers typically allow light of a single orientation of linear polarization to pass through them and this orientation is the same regardless of the location of the point of incidence of the light on the polarizer (e.g., at the center of the polarizer surface or near an edge). However, in some applications, it is desirable to have a polarizer which passes light with different polarization orientations at different points on the surface of the optic. Such applications can include three-dimensional displays, data storage, imaging, industrial inspection of manufactured items, polarimeters, etc.

[0005] For example, electromagnetic radiation reflected from a dielectric material is partially polarized. A given reflection will appear dim if viewed through a polarizer that blocks the reflected polarization. However, it will appear intense if the polarizer is rotated 90° to pass the reflected polarization. Use has been made of this effect in infrared imaging. A CCD detector with many pixels can be used to turn the infrared light into an electrical signal that could form an image on a monitor. For example, a polarizer with one orientation can be placed over a selected set of pixels, and another polarizer orientation can be placed over another set.

Multiple sets with different selected angles produce multiple infrared images of the same subject. Variation in the polarization of infrared light reflected from the object will result in variations in the intensity reaching each of the variably polarized pixels viewing a given spot on the subject. Using these multiple images, angles of parts of the subject relative to the source of infrared illumination can be determined. In addition, if contrast between adjacent objects is low in one polarized image, it is likely to be high in one of the others. What is more, reflections from metal surfaces are different in character from reflections from dielectrics, enabling metal surfaces to be distinguished from non-metals. These characteristics are of great value in interpreting the true shape and nature of the object being viewed by the CCD camera. An especially dramatic example is the spots of glare coming from the waves on a lake or ocean. For each polarization orientation, the spots indicate all of the positions where the water has a specific inclination with respect to the sun and the point of view.

[0006] With respect to industrial inspection of manufactured items, light reflected from items as they pass on a conveyor belt can be detected and used to verify the presence of the items. Certain characteristics of the item can also be measured. Normal light severely hinders this process, so the illumination is polarized and the detector responds only to this polarization.

[0007] With respect to stress analysis, the stress that is present in an object can change the polarization of reflected

light. Observation of the spatial distribution of polarization provides important information about stress and potential failure of the part.

[0008] In data transmission applications; electro-optical switching is a limiting technology. It has been suggested that optical switching could be an effective solution to this problem. An important technology in this area is based on liquid crystals which necessitates the use of polarizers.

[0009] In addition, when certain optical elements are exposed to plane polarized light, they cause changes in polarization. Short of complete depolarization, they can rotate the plane of polarization, induce some ellipticity in the beam, or both. In any case, the resulting beam cannot be effectively extinguished by another linear polarizer which may be required in the optical train (e.g. to generate image contrast in a liquid crystal projection display). One solution is to put a "clean up" polarizer behind the element to reject light of the wrong polarization. Unfortunately, this dims portions of the transmitted light beam. The reduction of intensity, and especially the inhomogeneity of intensity across the beam is objectionable in many applications, and especially in imaging systems.

[0010] As an example, consider designing such a polarizer to be placed immediately ahead of a spherical lens that is not dichroic or birefringent. Such a lens rotates polarized light by the following mechanism. The ray along the axis of the lens is undeviated in its path, and completely maintains its polarization. Other rays will have their path changed by the action of the lens, causing a rotation of some degree in the polarization orientation of this ray. As a result, the light exiting the lens will have some rays which have maintained their polarization orientation, and other rays with rotated polarization orientations. It would be desirable to correct these polarization aberrations.

[0011] These are but a few examples of many which illustrate the broad usefulness of polarizers, especially in the infrared and the visible spectrum, if they can be suited for particular requirements. For example, it is desirable to make micro-polarizers, or polarizers with areas less than about 10 μm^2 . Such polarizers would provide good spatial resolution, but they must be very thin to avoid parallax or adjacent pixel crosstalk from incident skew rays. Unfortunately, it is difficult and time consuming to make a polarizer of a practical size unless the polarizer has only a few large areas.

[0012] There are several types of polarizers:

[0013] Birefringent crystal prism polarizers are typically as long as they are wide (approximately cubic). They are made of polished, carefully oriented crystal prisms. As a result, they are expensive, and will polarize light only if it has very low divergence or convergence.

[0014] The MacNeille cube polarizer is not made of birefringent materials, but it is similar to crystal polarizers in many respects. For both of these, thickness, low acceptance angle and cost prohibit their effective use.

[0015] Thinner polarizers can be made of oriented, treated polymer sheets. Although they transmit most of the light of one polarization, they typically absorb virtually all of the light of the orthogonal polarization. This can lead to severe heating in intense light, and the polymers typically degrade at temperatures less than 200 C. Because the absorbing

particles are dispersed in the polymer, a certain thickness (approximately 0.05 μm) is required for adequate absorption of the unwanted polarization. In addition, the polymer material is not very stable in environments where temperature and humidity change frequently.

[0016] According to U.S. Pat. No. 5,122,907, a more heat-resistant polarizer can be made by orienting prolate metal spheroids embedded in glass provided the spheroids have dimensions that are small compared to the light to be polarized. Unfortunately, such polarizers are not easily produced.

[0017] Another type of polymer based polarizer contains no absorbers, but separates the two polarizations with tilted regions of contrasting refractive indexes. An example is described in U.S. Pat. No. 5,422,765, where the light enters from the open side of the V-shaped film, is reflected from one side to the other, and then out. For this retro-reflecting polarizer to work, both sides of the "V" must be present. They are of moderate thickness, do not resist high temperatures, and have limited angular aperture. Again, such polarizers are not easily produced.

[0018] A heat-resistant polarizer can be made of inorganic materials of differing refractive index, according to U.S. Pat. No. 5,305,143. Such polarizers can be thin (about 0.1-10.0 μm) because they are inhomogeneous films deposited at an angle on a substrate which may be thin. Unfortunately, there is considerable randomness to the placement of the transparent oxide columns that are deposited to provide the anisotropic structure for the polarizer. The randomness limits its performance, so transmission is only about 40%, and the polarization is only about only 70%. This optical performance is inadequate for most applications.

[0019] Another evaporated thin film polarizer also is inefficient because of randomness. This type of polarizer is described in U.S. Pat. No. 5,245,471, and is made by oblique evaporation of two materials, at least one of which is birefringent.

[0020] Many of the above polarizers either absorb the orthogonal polarization, or reflect it in directions where it is difficult to use.

[0021] The pixels of an infrared CCD detector have been covered with wire grids that were made by standard micro-lithography. Each area is then a grating that efficiently reflects infrared light whose electric vector is parallel to the wires, and transmits the perpendicular polarization. The polarizer in this instance was made by standard semiconductor techniques, that is, using a mask with opaque and transparent areas whose pattern is transferred with light to photoresist that can be developed into the desired mosaic-pattern of lines and spaces. The minimum feature size when this method is used is too large to make a sub-wavelength grating for visible light, but it functions well for longer wavelengths such as infrared light.

[0022] By comparing the properties of the various known polarizers discussed above, it appears that the wire grid polarizer holds the most promise if it can be made to operate in the visible portion of the spectrum, if it is sufficiently thin, and if its optical properties can be optimized to fit the application. These criteria have not been met for micropolarizer arrays in the current state of the art, in spite of

numerous attempts. An example is U.S. Pat. No. 4,514,479, but it does not work in the visible portion of the spectrum.

SUMMARY OF THE INVENTION

[0023] It has been recognized that it would be advantageous to develop a polarizer device capable of polarizing visible light. In addition, it has been recognized that it would be advantageous to develop such a polarizer device capable of treating or affecting a light beam such that the resulting transmitted and/or reflected beams have a controlled or patterned polarization orientation therethrough, with the control or pattern depending on the application. In addition, it has been recognized that it would be advantageous to develop such a polarizer device which treats or affects different portions of the light beam differently, such that the resulting transmitted and/or reflected beams have portions with different polarization orientations, which can be used to compensate for other optical elements, or for other applications.

[0024] The invention provides a visible light polarizer device with some elements advantageously having a different angular orientation with respect to other elements. The device includes a plurality of elongated elements sized to interact with visible light to 1) substantially transmit visible light of one polarization orientation, and 2) substantially reflect visible light of another polarization orientation. The device can include 1) primary elements which are substantially parallel with one another, and 2) secondary elements having at least a portion disposed at a different angle of orientation with respect to the primary elements.

[0025] Both the primary and secondary elements advantageously can be configured to substantially transmit the same first polarization orientation of visible light, although they have different angular orientations. Similarly, both the primary and secondary elements can substantially reflect the same second polarization orientation of visible light, although they have different angular orientations. Alternatively, the primary and secondary elements can substantially transmit different polarization orientations of visible light.

[0026] The plurality of elements can include four quadrants. The quadrants can be defined by a longitudinal axis parallel with and dividing at least some of the elements, and a lateral axis perpendicular to and intersecting the longitudinal axis. The quadrants have distal corners opposite an intersection of the axes. At least some of the elements located in the distal corners of the quadrants advantageously can have at least a portion disposed at a different angular orientation with respect to the other elements. The portion can extend inwardly towards the longitudinal axis, or outwardly away from the longitudinal axis.

[0027] In accordance with another aspect of the present invention, at least a portion of at least some of the elements can be arcuate. The arcuate elements can have a curvature within a layer defined by the elements. Some of the elements can be concave, or curved outwardly away from the longitudinal axis, or they can be convex, or curved inwardly towards the longitudinal axis.

[0028] In accordance with another aspect of the present invention, the plurality of elements can include a plurality of adjacent groups of elements, with the elements within a group each having a similar angular orientation. The elec-

ments of at least one group advantageously have a different angular orientation with respect to elements of at least one other group.

[0029] The groups can be configured to transmit visible light of different polarization orientations. Alternatively, the groups can be configured to transmit visible light of substantially the same polarization orientation.

[0030] In accordance with another aspect of the present embodiment, the groups can have a polygon shape with more than three or four sides.

[0031] In accordance with another aspect of the present invention, the plurality of groups can include at least one open zone without any elements.

[0032] In accordance with another aspect of the present invention, the elements can be disposed on a first surface of a transparent substrate.

[0033] In accordance with another aspect of the present invention, the elements can form acute angles with respect to one another and have widening gaps therebetween. Secondary elements can be disposed in the widening gaps between the primary elements.

[0034] In accordance with another aspect of the present invention, a visible light polarizer device advantageously has some elements or zones with a different configuration with respect to other elements or zones. For example, some elements can be wider and have narrow gaps therebetween which can result in a lower transmission and higher contrast. Alternatively, some elements can be narrower and have wider gaps therebetween which can result in a higher transmission and a lower contrast. Thus, some zones, or groups or elements, can have wider or narrower elements than other zones or groups, so that such zones or groups have different transmission and contrast characteristics. In either case, the wider or narrower elements can have the same period.

[0035] Such a polarizer device can be used to pre-treat a visible beam of light to compensate for an undesired optical effect applied by an optical element. A method for using such a polarizer device includes providing a plane polarized beam of light. The beam of light is passed through the optical element, which is disposed in the beam of light. The optical element can be capable of undesirably modifying the polarization state of at least a portion of the beam of light. At least a portion of the beam of light can be passed through the polarizer device, which can be disposed in the beam of light, prior to exposure to the optical element, to process at least a portion of the beam of light prior to exposure to the optical element, to compensate for the undesirable modification by the optical element.

[0036] The optical element might be capable of undesirably rotating the polarization orientation of at least a portion of the beam of light. The polarizer can have a plurality of groups of elongated elements, with the elements of one group having a different orientation with respect to elements of another group, to transmit and/or reflect a different polarization orientation of at least a portion of the beam of light prior to exposure to the optical element.

[0037] Alternatively, at least a portion of the beam of light can be passed through the polarizer device after exposure to the optical element to compensate for any undesired optical effect.

[0038] The optical element might be capable of undesirably inducing an elliptical polarization into at least a portion of the beam of light. The polarizer can have patterned elements, combined with a waveplate, to induce an opposite elliptical polarization into at least a portion of the beam of light prior to, or after, exposure to the optical element.

[0039] Additional features and advantages of the invention will be set forth in the detailed description which follows, taken in conjunction with the accompanying drawing, which together illustrate by way of example, the features of the invention.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

[0040] FIG. 1 is a front view of a polarizer device in accordance with the present invention;

[0041] FIG. 2 is a front view of another polarizer device in accordance with the present invention;

[0042] FIG. 3a is a front view of another polarizer device in accordance with the present invention;

[0043] FIG. 3b is a front view of another polarizer device in accordance with the present invention;

[0044] FIG. 4 is a front view of another polarizer device in accordance with the present invention;

[0045] FIG. 5a is a schematic view of a prior art polarizer device;

[0046] FIG. 5b is a schematic view of the polarizer device of FIG. 1;

[0047] FIG. 6a is a schematic view of a prior art optical system;

[0048] FIG. 6b is a schematic view of an optical system with the polarizer device of FIG. 2;

[0049] FIG. 7 is a front view of another polarizer device in accordance with the present invention;

[0050] FIG. 8a is a front view of another polarizer device in accordance with the present invention;

[0051] FIG. 8b is a front view of another polarizer device in accordance with the present invention;

[0052] FIG. 9a is a perspective view of a single polarized pixel of a photodetector is shown in accordance with the present invention;

[0053] FIG. 9b is an exploded view of the polarized pixel of the photodetector of FIG. 9a;

[0054] FIG. 9c is a perspective view of an array of pixels of a photodetector in accordance with the present invention;

[0055] FIG. 10 is a front view of another polarizer device in accordance with the present invention; and

[0056] FIG. 11 is an end view of another polarizer device in accordance with the present invention.

DETAILED DESCRIPTION

[0057] For the purposes of promoting an understanding of the principles of the invention, reference will now be made to the exemplary embodiments illustrated in the drawings, and specific language will be used to describe the same. It will nevertheless be understood that no limitation of the

scope of the invention is thereby intended. Any alterations and further modifications of the inventive features illustrated herein, and any additional applications of the principles of the invention as illustrated herein, which would occur to one skilled in the relevant art and having possession of this disclosure, are to be considered within the scope of the invention.

[0058] As illustrated in FIGS. 1-4, various visible light polarizer devices in accordance with the present invention are shown for generally separating two orthogonal polarizations of an incident, visible light beam in a controlled or desired manner. The polarizer devices generally transmit one polarization orientation of the visible light beam, and generally reflect the other polarization orientation. Advantageously, the polarizer devices are configured to treat or affect the incident light beam differently, in order to achieve a transmitted or reflected light beam with desired characteristics or properties. For example, the polarizer devices advantageously can be configured to both 1) produce a light beam with a more uniform polarization orientation across or throughout the light beam, or 2) produce a light beam with distinct, deliberate differences in polarization orientation across the light beam. As discussed above, several fields can benefit from such polarizing devices, including for example, three-dimensional displays, data storage, imaging, part inspection, stress analysis, data transmission, etc.

[0059] Referring to FIG. 1, a polarizer device or wire grid polarizer, indicated generally at 10, in accordance with the present invention is shown. The polarizer device 10 includes a plurality of elongated elements 14, which can be associated with a transparent substrate 18, such as by being disposed on a first surface 22 of the substrate 18. The elements 14 advantageously are sized to interact with visible light to 1) substantially transmit visible light of one polarization orientation, and 2) substantially reflect visible light of another polarization orientation.

[0060] Thus, the polarizer device 10 can be disposed in a visible light beam, represented by arrow 26, which can be unpolarized, represented by the symbol X. It is of course understood that the visible light beam may be polarized. It will be appreciated that the light beam can be collimated, or can have some convergence or divergence. Although the light beam is represented as a single ray, it will be appreciated that the light beam may be comprised of numerous different rays. The light beam preferably has a wavelength within the visible spectrum, or a wavelength of approximately 400 to 700 nm (nanometers), or 0.4 to 0.7 μm (micrometers or microns).

[0061] As stated above, the elements 14 are sized to interact with visible light. Thus, the elements 14 are relatively long and thin. The dimensions are determined by the wavelength used. The following dimensions are believed to be preferable for full spectrum visible light. The elements preferably have a length larger than the wavelength of visible light, or greater than 700 nm (0.7 μm). The length, however, preferably is much longer. In addition, the elements preferably have a center-to-center spacing, pitch or period less than the wavelength of visible light, or less than 400 nm (0.4 μm). More preferably, the elements have a pitch or period less than the wavelength of visible light, or less than 200 nm (0.2 μm). Furthermore, the elements preferably have a width in the range of 10 to 90% of the pitch or period.

[0062] As stated above, the elements 14 interact with the visible light beam 26 to generally: 1) transmit a transmitted beam, represented by arrow 30, and 2) reflect a reflected beam, represented by arrow 34. The elements generally transmit light with a first polarization orientation locally orthogonal or transverse to the elements, represented by the symbol \perp , and reflect light with a second polarization orientation parallel to the elements, represented by the symbol \parallel . It will be appreciated that the polarizer device will separate the polarization orientations of the light beam 26 with a certain degree of efficiency, or some of both polarization orientations may be transmitted and/or reflected.

[0063] As stated above, the polarizer devices can be configured to either 1) more uniformly treat or affect the light beam 26, resulting in a more uniform polarization orientation throughout the transmitted and reflected beams 30 and 34, or 2) treat or affect different portions of the light beam 26 differently, resulting in different polarization orientations at different portions of the transmitted and reflected beams 30 and 34, depending on the desired use, or light requirements. Therefore, at least some of the elements, or a portion thereof, advantageously have a different angular orientation with respect to other elements.

[0064] The elements 14 can include primary and secondary elements 38 and 42. The primary elements 38 can be relatively straight and parallel with one another, while the secondary elements 42, or a portion thereof, can have a different angular orientation with respect to the primary elements 38.

[0065] Referring to FIG. 5a, an optical system is shown with a polarizer device 44 which might undesirably affect the beam of light 26. For example, the polarizer device 44 might include a plurality of parallel elements all arranged with a similar orientation. Due to certain properties of the light beam 26 or certain orientation between the light beam 26 and polarizer device 44, however, certain portions of the light beam 26 incident on certain portions of the polarizer device 44, might be treated or affected differently. For example, much of the light beam 26 may be treated uniformly, with the polarizer device 44 transmitting the transmitted beam 30 with one polarization orientation \perp , and reflecting the reflected beam 34 with another polarization orientation \parallel . Other portions of the light beam 26, however, may be treated differently, with the polarizer device 44 transmitting a portion 30b with a rotated polarization, indicated by the symbol \circ , and reflecting a portion 34b with a perpendicular polarization \circ . Such different or non-uniform treatment might be undesirable if a uniform transmitted or reflected beam with a uniform polarization orientation was desired.

[0066] Referring again to FIG. 1, the polarizer device 10 can be divided into, or conceived as having, four quadrants, designated by I, II, III and IV. The quadrants are defined by a longitudinal axis 46, oriented parallel with, and dividing, at least some of the elements 14, and a lateral axis 50, oriented perpendicular to, and intersecting, the longitudinal axis 46. The quadrants have distal corners 54 opposite an intersection 58 of the axes 46 and 50. The secondary elements 42, or a portion thereof, can be located in the distal corners 54 of the quadrants, so that the secondary elements 42, or portion thereof, in the distal corners 54 have different angular orientation with respect to the other elements.

[0067] Referring to FIG. 5b, an optical system is shown with the polarizer device 10 of the present invention. The polarizer device 10 or elements 14 can be configured to substantially transmit visible light of the same first polarization orientation λ_1 , and substantially reflect visible light of the same second polarization orientation \uparrow . For example, the secondary elements 42 can have a different angular orientation, to correct for certain properties of the light beam 26 or certain orientation between the light beam 26 and polarizer device 10, with the resulting transmitted and/or reflected beams 30 and 34 having a more uniform polarization orientation therethrough. A portion 26b of the light beam 26 can be incident on the secondary elements 42, with the different angular orientation, such that the resulting transmitted beam 30b has the same first polarization orientation λ_1 as the rest of the transmitted beam 30. Similarly, the resulting reflected beam 34b can have the same second polarization orientation \uparrow as the rest of the reflected beam 34.

[0068] The elements 14 can be configured or oriented in numerous ways to achieve the desired results. Referring again to FIGS. 1 and 5b, the secondary elements 42, or a portion thereof, can extend outwardly away from the longitudinal axis 46, or the primary elements 38. Thus, the secondary elements 42 can be concave, or curve outwardly from the longitudinal axis. In addition, the secondary elements 42, or a portion thereof, can be arcuate, with a simple or complex curvature within a layer defined by the elements 14.

[0069] Referring to FIG. 2, another polarizer device 70 is shown which is similar in many respects to the polarizer device described above. The polarizer device 70 includes some elements, or secondary elements 74, which extend inwardly towards the longitudinal axis 46, or primary elements 38. Thus, the secondary elements 74 can be convex, or curving inwardly towards the longitudinal axis.

[0070] Referring to FIG. 3a, another polarizer device 80 is shown which is similar in many respects to the polarizer devices described above. The polarizer device 80 includes secondary elements 84 and 88 which extend inwardly and outwardly respectively. The secondary elements 84 and 88 are straight, rather than curved. In addition, the polarizer device 80 includes different zones 92, represented by dashed lines. The zones 92 can include primary and secondary zones corresponding to the respective primary and secondary elements 38 and 84 and/or 88. Thus, the zones 92 may be secondary zones including secondary elements 84 and/or 88. The zones 92 treat or affect the light beam differently.

[0071] The zones, or primary and secondary elements 38 and 84 and/or 88 can be adjacent or proximal one another to form a continuous polarizer device, as shown in FIG. 3a. In addition, the elements 14, or secondary elements 84 and 88, can be continuous, integral elements with different angular orientations along their lengths. Thus, the secondary elements 84 and/or 88 can extend between zones, with portions of one angular orientation in one zone, and portions of another angular orientation in another zone.

[0072] Referring to FIG. 3b, another polarizer device 100 is shown which is similar in many respects to the polarizer device described above. The polarizer device 100 has zones 104 and 108, and primary and secondary elements 38 and 84

and/or 88, which are separate and distinct from one another. Thus, the primary and secondary elements 38 and 84 and/or 88 are disposed at different angular orientations with respect to one another.

[0073] Referring to FIGS. 3a and 3b, the zones 92 or 108 having the secondary elements 84 or 88 can be located at the distal corners 54 of the polarizer devices 80 or 100. It is believed that such areas of the polarizer devices are most inclined to undesirably affect the light beam, or transmit or reflect light with an undesired polarization orientation. Locating the secondary elements in other locations, however, is within the scope of the invention.

[0074] As stated above, it may be desirable to treat or affect different portions of the light beam 26 differently, or to transmit and/or reflect portions with different polarization orientations. Thus, the polarizer devices described above can have the elements oriented differently to transmit and reflect different polarization orientations, as well as to transmit and reflect the same polarization orientations.

[0075] Referring to FIG. 6a, an optical system is shown with an optical element 120 capable of undesirably modifying at least a portion of the light beam. For example, the optical element 120 can be disposed in a polarized light beam 124. Due to certain properties of the light beam 124 or certain orientation between the light beam 124 and optical element 120, however, certain portions of the light beam 124b incident on certain portions of the optical element 120, might be treated or affected differently. For example, much of the light beam 124 may be treated uniformly, with the optical element 120 maintaining the polarization orientation of the light beam 124. Other portions of the light beam 124b, however, may be treated differently, with the optical element 120 undesirably rotating or inducing an elliptical orientation into at least a portion of the light beam 126, indicated by the symbol ϕ .

[0076] Referring to FIG. 6b, an optical system is shown with the polarizer device 130 of the present invention. The polarizer device 130 or elements 14 can be configured to transmit visible light with different polarization orientations. In addition, some elements, groups of elements or zones can correspond to portions of the optical element 120 which undesirably affect the light beam. For example, the secondary elements 42 can have a different angular orientation, to correct for certain properties of the light beam 26b or certain orientation between the light beam 26 and optical element 120, with the resulting transmitted beams 30 and 34b with different polarization orientations. A portion 26b of the light beam 26 can be incident on the secondary elements 42, with the different angular orientation, such that the resulting transmitted beam 30b has a different polarization orientation from the rest of the transmitted beam 30. The orientation of the secondary elements 42 can be configured to compensate for the optical element 120, such that the resulting beams 128 from the optical element 120 have a more uniform polarization orientation.

[0077] As an example, consider designing such a polarizer to be placed immediately ahead of a spherical lens that is not dichroic or birefringent. Such a lens rotates polarized light by the following mechanism. The ray along the axis of the lens is undeviated in its path, and completely maintains its polarization. Other rays will have their paths changed by the action of the lens, causing a rotation of some degree in the

polarization orientation of this ray. The electric vector of the other rays will be rotated by the lens. One approach to solving this problem is to use the lines of a wire grid polarizer to select the orientation of the light before it enters the lens so it will have the desired orientation after the lens has rotated it and allowed its exit. Alternatively, the lines of a wire grid polarizer can be used after the light passes through the lens.

[0078] In addition, a retarder, as is known in the art, also can be inserted to correct for any elliptical polarization induced by the optical element, by inducing a counter elliptical polarization.

[0079] Referring to FIG. 4, a polarizer device 130 is shown which is similar in many respects to the polarizer devices described above. The polarizer device 130 advantageously includes a plurality of adjacent groups 134 of elements 14. The elements within a group have a similar angular orientation with respect to one another. The elements of one group can have a different angular orientation with respect to elements of another group. Thus, the groups 134 can transmit and reflect different polarization orientations. The groups 134, however, can be oriented to transmit and/or reflect the same polarization orientations, as discussed above.

[0080] The groups 134 have a length L , parallel to the elements 14, and a width w lateral to the elements 14. Preferably, the width w is greater than the wavelength of visible light, or greater than approximately 400 nm (0.4 μ m). In addition, the groups 134 preferably are relatively adjacent one another. Adjacent groups 134 preferably are spaced apart less than a width w of the groups 134, and/or less than the wavelength of visible light, or approximately 400 nm (0.4 μ m). Thus, the polarizer device 130 can process as much of the light beam as possible.

[0081] A plurality of pixels may be disposed behind the polarizer device, with each pixel disposed behind one of the groups, as described below.

[0082] Referring to FIG. 7, a polarizer device 140 is shown which is similar in many respects to the polarizer devices described above. The polarizer device 140 has a plurality of adjacent zones 142. A plurality of adjacent groups 144 of elements 14 are each disposed in one of the zones 142. The elements 14 of one group have a different orientation with respect to elements of another group. Thus, the zones 142 are configured to transmit visible light of different polarization orientations.

[0083] The plurality of zones 142 can further include one or more open zones 146 without any elements. Each zone of elements can be configured to correspond to a pixel, such as with a CCD camera. Thus, the pixels can be configured to receive light of different polarizations through the various zones 142 or groups 144, an unaltered light through the open zones 146.

[0084] In addition, the zones 142 and groups 144 can be sized and shaped as desired. For example, the zones 142 or groups 144 have a polygon shape with more than three or four sides. The zones 142 or groups 144 can be shaped as hexagons, as shown. It is of course understood that other shapes can be used, such as triangles, squares, octagons, etc., so long as the application, such as corresponding to the pixels, maximizing surface area coverage, and/or facilitating manufacture.

[0085] Referring to FIGS. 8a and 8b, other polarizer devices 150 and 152 similar in many respects to the polarizer devices described above. The elements 14 can form acute angles with respect to one another, with widening gaps 154 therebetween. The elements may extend radially in a fan-like manner. Advantageously, the polarizer device 152 has a plurality of elongated secondary elements 158, each one disposed in one of the widening gaps 154 between the primary elements.

[0086] Referring to FIG. 10, another polarizer device, indicated generally at 200, is shown which is similar in many respects to the polarizer devices described above. The polarizer device 200 includes a plurality of elements 204, including primary elements 208, and secondary elements 212 and 216. Another variation in the optical properties of the polarizer can be obtained by variation of the element or wire width. The primary elements 204 can have a first width, as described above. The secondary elements 212 and 216 can have different widths. For example, the secondary elements 212 can be wider, and have narrower gaps therebetween, which can result in better contrast, but less transmission. Alternatively, the secondary elements 216 can be narrower, and have wider gaps therebetween, which can result in better transmission, but less contrast. All of the elements 208, 212 and 216 can have the same period, as shown, or period of the primary and secondary elements can vary. The primary elements 208 can be separate and distinct from the secondary elements 212 and 216. Alternatively, the elements 204 can have a portion with a first width, such as with the primary elements 208, and a portion with a wider or narrower width, such as with secondary elements 212 or 216, respectively. The change in width can be abrupt, or can be smooth from one part of the polarizer to another.

[0087] As described above, the polarizer 200 can have groups or zones defined by the width of the elements 204. For example, one group or zone can have primary elements 208 with a first width, while another group or zone can have secondary elements 212 or 216 which are wider or narrower.

[0088] In addition, the height and shape of the elements or wires can be changed from one group of elements to another. Referring to FIG. 11, another polarizer device, indicated generally at 220, is shown. The polarizer device 220 has primary elements 224 with a first height or thickness, and secondary elements 228 and 232 with thicker or thinner elements. Changing the height of the elements allows for increased contrast while also affecting the transmission of the polarizer. The shape can be altered by changing the slope angle of the sidewalls of the elements, arriving at a shape that is tetrahedral rather than rectangular. Other alterations of the shape can include rounding the corners, etc. Altering the thickness or height, the width, and the shape of the elements also proved control of the interaction of the transmitted beam of light with the underlying substrate in a manner substantially similar to the behavior of a thin dielectric film. In effect, the elements behave as a dielectric layer with optical properties determined by the characteristics of the elements.

[0089] As the period, height or thickness, width or other features are varied to create a patterned polarizer, it will often be advantageous to alter other aspects of the elements, such as those identified above in a controlled manner to optimize the effective dielectric effect of the elements. This

would be done, for example, to provide the best transmission and/or contrast performance. These changes can be implemented in a gradual or smooth manner, or abruptly, as described above for the particular case of the element width.

[0090] The polarizer devices described above can be referred to as mosaic or patterned polarizers. Such polarizer devices can have numerous applications.

[0091] For example, referring to FIG. 9a, a single polarizing pixel 161 is diagrammed. Polarizing wires 162 are applied directly to a surface of a photodetector to eliminate parallax. They are at a $\pm 45^\circ$ angle in this case. The wires can serve as one of the electrodes for the detector via connector 164. Another connector 165 is also shown connected to the back of the photodetector.

[0092] FIG. 9b is an exploded view showing the polarizing wires 162 supported by a thin transparent substrate 166. In operation, the substrate 166 would be close to the photodetector 165 to limit parallax. Alternatively, the polarizing wires could be placed on the substrate surface that is closest to the photodetector.

[0093] Referring to FIG. 9c, a practical application is shown with an array 166 of such pixels. Double pointed arrows show the orientation of polarization that passes each pixel. Four different orientations are shown, but fewer or more orientations can be used for a particular application. The signals from the $\pm 45^\circ$ pixels are collected into a cable 167, and the -45° pixels are collected into another cable 168. Similarly, the signals from the vertical pixels are collected into a cable 169, and those from horizontal pixels go to another cable 170. Thus, when an image is cast on the array 166, four images will be produced in the cables, and each image will have its own polarization.

[0094] What is more, the complement of each image is reflected by the wires so that one or more of these complementary images can be collected by additional optical imaging and detection equipment. A complementary image has several uses. The sum of the intensity of an image and its complement should be a constant that is proportional to the total light intensity. This is true for each pixel as well as for the entire array of pixels of the same orientation. In addition, if an area is dim in the image strictly because of polarization orientation, it will be correspondingly bright in the reflected complement. This access to "extinct" light improves the accuracy of calculating high degrees of polarization.

[0095] Such a patterned or mosaic polarizing device for visible light can be used in imaging. Electromagnetic radiation reflected from a dielectric material is partially polarized. A given reflection will appear dim if viewed through a polarizer that blocks the reflected polarization. However, it will appear intense if the polarizer is rotated 90° to pass the reflected polarization. A ccd detector with many pixels can be used to turn the light into an electrical signal that could form an image on a monitor. Each group or zone with one orientation can be placed over a selected set of pixels, and another polarizer orientation placed over another set. Multiple sets with multiple different orientations produce multiple images of the same scene with different polarization orientations. Variation in the polarization of light reflected from the object will result in variations in the intensity reaching each of the multiple polarized pixels viewing a given spot in the subject. From this, angles of parts of the

subject relative to the source of illumination can be determined. In addition, if contrast between adjacent objects is low in one polarized image, it is likely to be high in one of the others. What is more, reflection from metal surfaces will obey different rules, and metal reflections can be distinguished from reflection by non-metals. These characteristics are of great value in interpreting the true shape and nature of the object being viewed by the ccd camera. An especially dramatic example is the spots of glare coming from the waves on a lake or ocean. For each polarization orientation, the spots indicate all of the positions where the water has a specific inclination with respect to the sun and the point of viewing.

[0096] Another example of patterned polarizer use occurs in the industrial inspection of manufactured items. In one case, light reflected from items as they pass on a conveyor belt is detected and used to verify the presence of the item. Certain characteristics of the item can also be measured. Background light severely hinders this process, so the illumination is polarized and the detector responds only to this polarization. With a mosaic polarizer, one can not only detect the item in spite of background, but can verify the expected dielectric and metallic reflections from the various facets of the item.

[0097] Yet another example of a use for a mosaic polarizer array occurs where the stress that is present in an object changes the polarization of transmitted or reflected light. Observation of the spatial distribution of polarization provides important information about stress and potential failure of the part. The mosaic polarizer allows one to measure the extent of polarization change simultaneously at many points on the object, either in monochromatic or white light.

[0098] A mosaic polarizer array would also simplify certain types of polarimeters where the incoming light needs to be measured in terms of its ellipticity and the orientation of the major axis. A mosaic of linear polarizers, some with properly adjusted wave plates, could transmit the proper intensities to detectors and allow the immediate calculation of the ellipticity and orientation of the incoming light.

[0099] These are but a few examples of many which illustrate the usefulness of patterned polarizers, especially if they operate well in the visible spectrum and if they can be made small for use with the pixels of an image.

[0100] Unfortunately, it is difficult and time consuming to make a polarizer mosaic of a practical size unless the mosaic has only a few large areas with different orientations of polarization. Most applications require a complex polarizing mosaic. It would be useful, in general, to be able to manufacture any set of relative orientations for the polarizer pixels, select their sizes and shapes, and cover the entire area seamlessly. Specifically, the areas must not be mis-oriented; they must not overlap at junctions; and they must not leave gaps between areas that will allow unpolarized light to degrade the image. In some applications, the polarizer must be thin and close to the detector or parallax of the incident light will cause crosstalk between adjacent pixels. In other applications, the mosaic itself is imaged on a distant target, so the polarizer can be thicker. For some applications, the polarizer must work well for a wide variety of angles of incidence, i.e. it must have a wide acceptance angle.

[0101] As described above, although there are a number of different types of polarizers, not all can be made in complex patterns with many small areas that are thin and that have wide acceptance angles.

[0102] It is to be understood that the above-described arrangements are only illustrative of the application of the principles of the present invention. Numerous modifications and alternative arrangements may be devised by those skilled in the art without departing from the spirit and scope of the present invention and the appended claims are intended to cover such modifications and arrangements. Thus, while the present invention has been shown in the drawings and fully described above with particularity and detail in connection with what is presently deemed to be the most practical and preferred embodiment(s) of the invention, it will be apparent to those of ordinary skill in the art that numerous modifications, including, but not limited to, variations in size, materials, shape, form, function and manner of operation, assembly and use may be made without departing from the principles and concepts of the invention as set forth in the claims.

What is claimed is:

1. A visible light polarizer device, comprising:
 - a) a plurality of elongated elements sized to interact with visible light to substantially transmit visible light of one polarization orientation, and substantially reflect visible light of another polarization orientation; and
 - b) at least a portion of at least one of the elements having a different angular orientation with respect to other elements.
2. A device in accordance with claim 1, wherein the plurality of elements includes primary elements which are substantially parallel with one another, and secondary elements having at least a portion disposed at a different angular orientation with respect to the primary elements.
3. A device in accordance with claim 1, wherein all of the elements are configured to substantially transmit visible light of a common first polarization orientation, and substantially reflect visible light of a common second polarization orientation.
4. A device in accordance with claim 1, further comprising:
 - four quadrants defined by a longitudinal axis parallel and dividing at least some of the elements, and a lateral axis perpendicular to and intersecting the longitudinal axis, the quadrants having distal corners opposite an intersection of the axes; and
 - wherein at least one of the elements located in the distal corners of the quadrants have at least a portion disposed at a different angular orientation with respect to the other elements.
5. A device in accordance with claim 4, wherein the portion of the elements in the distal corners extend inwardly towards the longitudinal axis.
6. A device in accordance with claim 4, wherein the portions of the elements in the distal corners extend outwardly away from the longitudinal axis.
7. A device in accordance with claim 1, wherein at least a portion of at least one of the elements is arcuate, and has a curvature within a layer defined by the elements.
8. A device in accordance with claim 1, wherein some of the elements are concave with respect to a longitudinal axis parallel with and dividing at least some of the elements.
9. A device in accordance with claim 1, wherein some of the elements are convex with respect to a longitudinal axis parallel with and dividing at least some of the elements.
10. A device in accordance with claim 1, wherein the plurality of elements includes:
 - a) a plurality of adjacent groups of elements;
 - b) the elements within a group having similar angular orientations; and
 - c) the elements of at least one group having a different angular orientation with respect to elements of at least one other group.
11. A device in accordance with claim 10, wherein the groups are configured to transmit visible light of different polarization orientations.
12. A device in accordance with claim 10, wherein all of the groups are configured to transmit visible light of substantially the same polarization orientation.
13. A device in accordance with claim 10, wherein the groups have a length oriented parallel to the elements, and a width oriented lateral to the elements, the length and width being greater than a wavelength of visible light.
14. A device in accordance with claim 10, wherein adjacent groups are spaced apart a distance less than a width of one of the adjacent groups.
15. A device in accordance with claim 10, wherein adjacent groups are spaced apart a distance less than a wavelength of visible light.
16. A device in accordance with claim 10, wherein the groups have a polygon shape with more than three sides.
17. A device in accordance with claim 10, further comprising at least one open zone, sized substantially the same as one of the groups, without any elements.
18. A device in accordance with claim 10, further comprising:
 - a plurality of photodetectors, each one disposed behind one of the groups.
19. A device in accordance with claim 1, wherein the elements have a period less than 200 nm.
20. A device in accordance with claim 1, wherein the elements have a width, and wherein at least one of the elements has a width different than the widths of other elements.
21. A device in accordance with claim 1, wherein the elements have a thickness, and wherein at least one of the elements has a thickness different than the thicknesses of other elements.
22. A polarizer device, comprising:
 - a) a transparent substrate having a first surface; and
 - b) a plurality of elongated primary and secondary elements, disposed on the first surface of the substrate, sized to interact with visible light to substantially transmit visible light of a first polarization orientation, and substantially reflect visible light of a second polarization orientation; and
 - c) the primary and secondary elements having a different angular orientation with respect to one another.
23. A device in accordance with claim 22, wherein the primary and secondary elements are both configured to

substantially transmit visible light of a common first polarization orientation, and substantially reflect visible light of a common second polarization orientation.

24. A device in accordance with claim 22, further comprising:

four quadrants defined by a longitudinal axis parallel with and dividing the primary elements, and a lateral axis perpendicular to and intersecting the primary elements, the quadrants having distal corners opposite an intersection of the axes; and

wherein the secondary elements each have a portion, located in one of the distal corners of one of the quadrants, disposed at a different angular orientation with respect to the primary elements.

25. A device in accordance with claim 24, wherein the portion extends inwardly towards the primary elements.

26. A device in accordance with claim 24, wherein the portion extends outwardly away from the primary elements.

27. A device in accordance with claim 22, wherein at least a portion of the secondary elements is arcuate, and has a curvature within a layer defined by the elements.

28. A device in accordance with claim 22, wherein the secondary elements are concave with respect to a longitudinal axis parallel with and dividing at least some of the elements.

29. A device in accordance with claim 22, wherein the secondary elements are convex with respect to a longitudinal axis parallel with and dividing at least some of the elements.

30. A device in accordance with claim 22, wherein the plurality of elements includes:

- a) a plurality of adjacent groups of elements;
- b) the elements within a group having similar angular orientations; and
- c) the elements of at least one group having a different angular orientation with respect to elements of at least one other group.

31. A device in accordance with claim 30, wherein the groups are configured to transmit visible light of different polarization orientations.

32. A device in accordance with claim 30, wherein the groups are configured to transmit visible light of substantially the same polarization orientation.

33. A device in accordance with claim 30, wherein the groups have a length oriented parallel to the elements, and a width oriented lateral to the elements, the length and width being greater than a wavelength of visible light.

34. A device in accordance with claim 30, wherein adjacent groups are spaced apart a distance less than a width of one of the adjacent groups.

35. A device in accordance with claim 30, wherein adjacent groups are spaced apart a distance less than a wavelength of visible light.

36. A device in accordance with claim 30, wherein the groups have a polygon shape with more than three sides.

37. A device in accordance with claim 30, further comprising at least one open zone, sized substantially the same as the groups, without any elements.

38. A device in accordance with claim 30, further comprising:

a plurality of photodetectors, each one disposed behind one of the groups.

39. A device in accordance with claim 22, wherein the elements have a period less than 200 nm.

40. A device in accordance with claim 22, wherein the primary and secondary elements have different widths with respect to one another.

41. A device in accordance with claim 22, wherein the primary and secondary elements have different thicknesses with respect to one another.

42. A polarizer device, comprising:

- a) a transparent substrate having a first surface;
- b) a plurality of adjacent zones on the first surface of the substrate representing discrete surface areas; and
- c) a plurality of adjacent groups of elongated, parallel elements, each group disposed in one of the zones on the first surface of the substrate, sized to interact with visible light to substantially transmit visible light of one polarization orientation, and substantially reflect visible light of another polarization orientation; and
- d) the elements of one group having a different orientation with respect to elements of another group.

43. A device in accordance with claim 42, wherein the groups have a length oriented parallel to the elements, and a width oriented lateral to the elements, the length and width being greater than a wavelength of visible light.

44. A device in accordance with claim 42, wherein adjacent groups are spaced apart a distance less than a width of one of the adjacent groups.

45. A device in accordance with claim 42, wherein adjacent groups are spaced apart a distance less than a wavelength of visible light.

46. A device in accordance with claim 42, wherein the groups have a polygon shape with more than three sides.

47. A device in accordance with claim 42, wherein the elements have a period less than 200 nm.

48. A device in accordance with claim 42, wherein at least some of the elements are arcuate and have a curvature within the first surface.

49. A device in accordance with claim 42, wherein the plurality of zones further includes at least one open zone without any elements.

50. A device in accordance with claim 42, further comprising:

- a plurality of photodetectors, each one disposed behind one of the zones.
- 51. A device in accordance with claim 42, wherein the elements of one group have a different width with respect to elements of another group.
- 52. A device in accordance with claim 42, wherein the elements of one group have a different thickness with respect to elements of another group.
- 53. A polarizer device, comprising:

- a) a plurality of elongated elements disposed in a layer and sized to interact with visible light to substantially transmit visible light of one polarization orientation, and substantially reflect visible light of another polarization orientation; and
- b) the elements being arcuate and have a curvature within the layer.

54. A device in accordance with claim 53, wherein the elements have a period less than 200 nm.

55. A device in accordance with claim 53, further comprising:

- a plurality of adjacent groups of elements.
- 56. A polarizer device, comprising:
- a) a plurality of elongated primary elements sized to interact with visible light to substantially transmit visible light of one polarization orientation, and substantially reflect visible light of another polarization orientation;
- b) the elements forming acute angles with respect to one another and widening gaps therebetween; and
- c) a plurality of elongated secondary elements, each one disposed in one of the widening gaps between the primary elements.

57. A device in accordance with claim 56, wherein the elements have a period less than 200 nm.

58. A method for treating a visible beam of light to compensate for an undesired optical effect applied by an optical element, the method comprising the steps of:

- a) passing the beam of light through an optical element capable of undesirably modifying at least a portion of the beam of light;
- b) passing a portion of the beam of light through a first group of elongated elements; and
- c) passing a portion of the beam of light through a second group of elongated elements having a different orientation with respect to the elements of the first group, to compensate for the undesirable modification by the optical element.

59. A method in accordance with claim 58, wherein the steps of passing the portions of the beam of light through the first and second groups of elongated elements further includes:

- passing the portions of the beam of light through the first and second groups of elongated elements prior to passing the beam of light through the optical element.

60. A method in accordance with claim 58, wherein the step of passing the beam of light through the optical element further includes:

passing the beam of light through an optical element which is capable of undesirably rotating the polarization orientation of at least a portion of the beam of light; and wherein the steps of passing at least a portion of the beam of light through the first and second groups of elements further includes:

passing the at least a portion of the beam of light through first and second groups of elements prior to passing the beam of light through the optical element to transmit a polarization orientation of at least a portion of the beam of light prior to exposure to the optical element.

61. A method in accordance with claim 58, wherein the steps of passing at least a portion of the beam of light through the first and second groups of elements further includes:

passing at least a portion of the beam of light through a group of curved elements.

62. A method in accordance with claim 58, further including the step of:

passing at least a portion of the beam of light through a retarder to induce an elliptical polarization into the at least a portion of the beam of light.

63. A method in accordance with claim 58, wherein the steps of passing at least a portion of the beam of light through the first and second groups of elements further includes:

passing the at least a portion of the beam of light through a polarizer with elements configured to correct the undesirable optical effect.

* * * * *