

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學科

第二名

080823

太陽剋星－七彩智能減光機

學校名稱：臺北市中正區國語實驗國民小學

作者：	指導老師：
小五 黃涵禎	黃夢怡
小五 宋沁凌	王郁軒
小五 劉育文	
小五 林承霈	
小五 郭家齊	
小五 梁祖禕	

關鍵詞：偏光片、薄膜干涉、太陽高度角

太陽剋星－七彩智能減光機

摘要

我們想解決學校教室「西晒」嚴重的情況，於是利用偏光片設計出加裝在窗戶上美觀又實用的自動減光裝置。首先，我們探究市售膠膜在兩片偏光片中所呈現的顏色變化，找到最佳膠膜製作減光板。接著以自製窗戶模型找出各層減光板的減光率及室內溫度變化情形。接下來，我們摹擬太陽在夏至、春秋分、冬至時的方位及高度角，探究東晒及西晒的實際情況及減光板減光效果。最後，我們利用輪軸動力傳送方式，研發出美觀又實用的自動旋轉減光裝置，第一代：能以紅外線遙控器控制偏光片旋轉；第二代：根據太陽在夏至、春秋分、冬至的日晒情形設定電子定時器，每日自動減光。第三代：利用動力機器人的光感應器及N X T軟體設計出全自動光感應減光機。

壹、研究動機

熱死啦！太陽好大！救命啊！我們學校的建築呈現口字形，有一整排教室都有嚴重東晒和西晒的問題，每天當太陽光射入教室時，不但刺眼而且溫度直線上升，在那裡上課的我們總是發出痛苦的哀號。

五年級上學期我們全班參觀天文館後，自然老師教我們利用看3D立體劇場的偏光眼鏡做「彩蝶」的科學遊戲，大家都覺得不可思議，單單兩張偏光片加上膠帶竟然能夠變出那麼多種顏色！我們對著窗外旋轉偏光片欣賞自己的作品，我們發現刺眼的陽光隨著偏光片旋轉角度而改變強度，發現了這個祕密武器，我們決定向太陽宣戰！

我們想如果將大片的偏光片加在窗戶上，不但能達到不同程度的減光效果而且只要貼上膠帶就可以變化出各種美麗的顏色。此外，我們想起四年級學過的電池與小馬達單元，於是我們想自己動手做出一個自動旋轉的裝置，結合偏光片減光的原理，完成一個美觀實用的智能減光機來對付陽光。



西晒教室中陽光刺眼



偏光片加膠帶的彩蝶遊戲



想要研發
智能減光機

貳、文獻探討

一、光的波動

十九世紀初，科學界研究確認光是一種波動現象，廿世紀美國科學家愛因斯坦發現波動的「光」，居然具有粒子的特性，故現在人們已經了解，光同時具備有波動與粒子的特性。

光的波動就好像手上拿著一端固定在牆上的繩子，不停地上下擺動時，繩子會有高低的波峰和波谷，把力量往前傳遞；不過，繩子在波動時的振動是一個方向的，而光則是會在和前進方向垂直的任意方向做波動。而如果光的振動方向很均勻的在各方向產生，那這個光就是未偏極化（unpolarized）的；而如果光的振動方向有偏向某些方向的話，那這個光就是偏極化（polarized）的偏振光。

二、偏光板原理

偏光板就像一片柵欄，只允許與柵欄平行的光通過，因此經過偏光板後，光的偏振成為單一方向，通過偏光片的光會變弱。兩片偏光板的偏光軸平行時，光可以通過，兩片偏光板垂直時光不能通過。

偏光板原理就是讓自然光中的亂反射的光線、眩光及物體反射光，能有效的阻絕掉，偏光板的內部結構於 1 cm^2 裏面就有 30 萬條肉眼看不到的直線分子排列體，並排列於同一個方向，讓光線偏極化取得柔和光線，利用偏光板來看物體會更清晰鮮明。

太陽光無論碰觸到任何物體都會自然反射及折射產生眩光，這樣的強光會造成刺眼及眼睛的疲勞。偏光板或偏光片可以讓反射及反覆曲折的太陽光線於同一方向透射，所以利用偏光板過濾後看出去的視野可以減低刺眼。

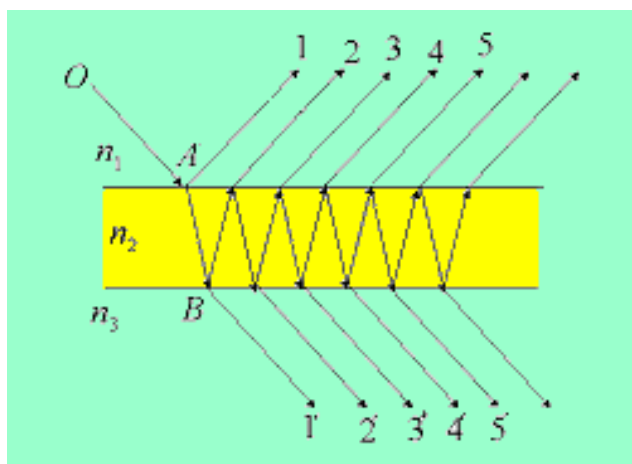
一般用的偏光太陽眼鏡，兩隻眼鏡的偏光方向會是一樣的，但是立體電影用的立體偏光眼鏡左右眼的偏光方向是不一樣的。

三、光的薄膜干涉現象

當汽油滴在雨天的馬路上，水表面形成薄薄的一層油膜，這層膜的上、下兩個面都會反射光線，如果兩束光的路程差是波長（光在油中的波長）的整數倍，就會發生相長干涉。隨著反射角度的變化，光線會經過不同厚度的油，發生相長干涉的光波的波長也不同，反射上來的光有不同的顏色，所以油面上便呈現像彩虹般的顏色，這叫做光的薄膜干涉現象。

自然界中，存在著許許多多的光學薄膜，幾乎所有的光學薄膜特性都是基於薄膜內的干涉效應，可能產生建設性干涉或破壞性干涉。由於此兩束光線間的變化決定於薄膜的厚度與入射角，肥皂泡沫和水面上油污層的顏色亦隨著薄膜厚度及觀察角度而變化。

光學薄膜是指在獨立基板上，製鍍上一層或多層膜，以改變光波之傳遞特性，包括光的透射、反射、吸收、散射、偏振及相位改變。故經由適當設計可以調變不同波段元件表面之穿透率及反射率，亦可以使不同偏振平面的光有不同的特性。



光的薄膜干涉現象示意圖

四、太陽高度角及方位變化

太陽的東昇西落是地球自轉的結果，每天太陽的高度（仰角）及方位有年週期性的改變，這是因為地球繞著太陽公轉所造成的。

地球由西向東繞日公轉，在地球上觀察太陽，會覺得太陽在天球上由西向東運行，其運行天球 1 周的軌跡，叫做「黃道」。又因地軸的傾斜，黃道和天球赤道相交約 23.5 度，使得每年春、秋分時，太陽會經過黃道和赤道的交點，這時太陽升起於正東，由正西沈下，春分過後太陽沿黃道北移，直到夏至時，到達黃道最北（+ 23.5 度），這時太陽升起於東北東，由西北西沈下。秋分過後，太陽沿黃道南移，直到冬至時，到達黃道最南（- 23.5 度），這時太陽升起於東南東，由西南西沈下，太陽這樣南來北往一回復，就是 1 年，叫「回歸年」，如此造成每天太陽東昇西落的位置改變，在天空中的高度和方位也隨之改變。

參、研究目的

我們為了解決學校教室「西晒」嚴重的情況，於是想利用偏光片及膠膜研發出加裝在窗戶上美觀又實用的自動減光裝置。我們試用各種馬達及電源、再研發輪軸動力傳送方式，配合之前測量的實驗數據，經過一連串的實驗、檢討及和改進，我們終於設計出美觀又實用的自動旋轉減光裝置，以下是我們的研究目的：

- 一、探究偏光片和各種材質的變色現象，找到最佳膠膜材質，製成減光板。
- 二、探究減光板的減光率及對室內溫度的影響。
- 三、探究太陽路徑對東晒及西晒窗戶的影響。
- 四、研發出加裝在窗戶上美觀又實用的自動減光裝置。

肆、研究設備及器材

一、觀測器材

器材名稱	器材數量	器材名稱	器材數量	器材名稱	器材數量
電子溫度計	1 個	照度計	1 個	數位照相機	1 台
鹵素燈 500w	1 台	三腳架	1 個	保麗龍箱	1 個
玻璃 25×25cm	1 片	壓克力板 10×10 cm	1 片	小積木	1 包
檯燈	1 個	長尺 50cm	1 把	棉線	1 捆
掃把柄	1 把	紙捲	1 個	固定膠帶	1 捲
大型量角器	2 個	計時器	1 個	八開厚紙板	4 張

二、減光板器材

器材名稱	器材數量	器材名稱	器材數量	器材名稱	器材數量
偏光片 25×25cm	6 片	透明硬塑膠片 60×40cm	3 片	雙面膠 0.5cm	1 捲
鹿頭牌膠帶 5cm 寬	1 捲	壓克力 25×25cm	1 片	螺絲及螺母	3 組
博士膜	1 尺	透明投影片	3 片	透明玻璃紙	1 張
鹿頭牌膠帶 1.8cm 寬	1 捲	電腦切割膜 25cm	1 捲	膠膜 Masking Film	1 捲
膠膜 Gau Ger	1 捲	油紙(貼紙用 完後之廢材)	1 大張		

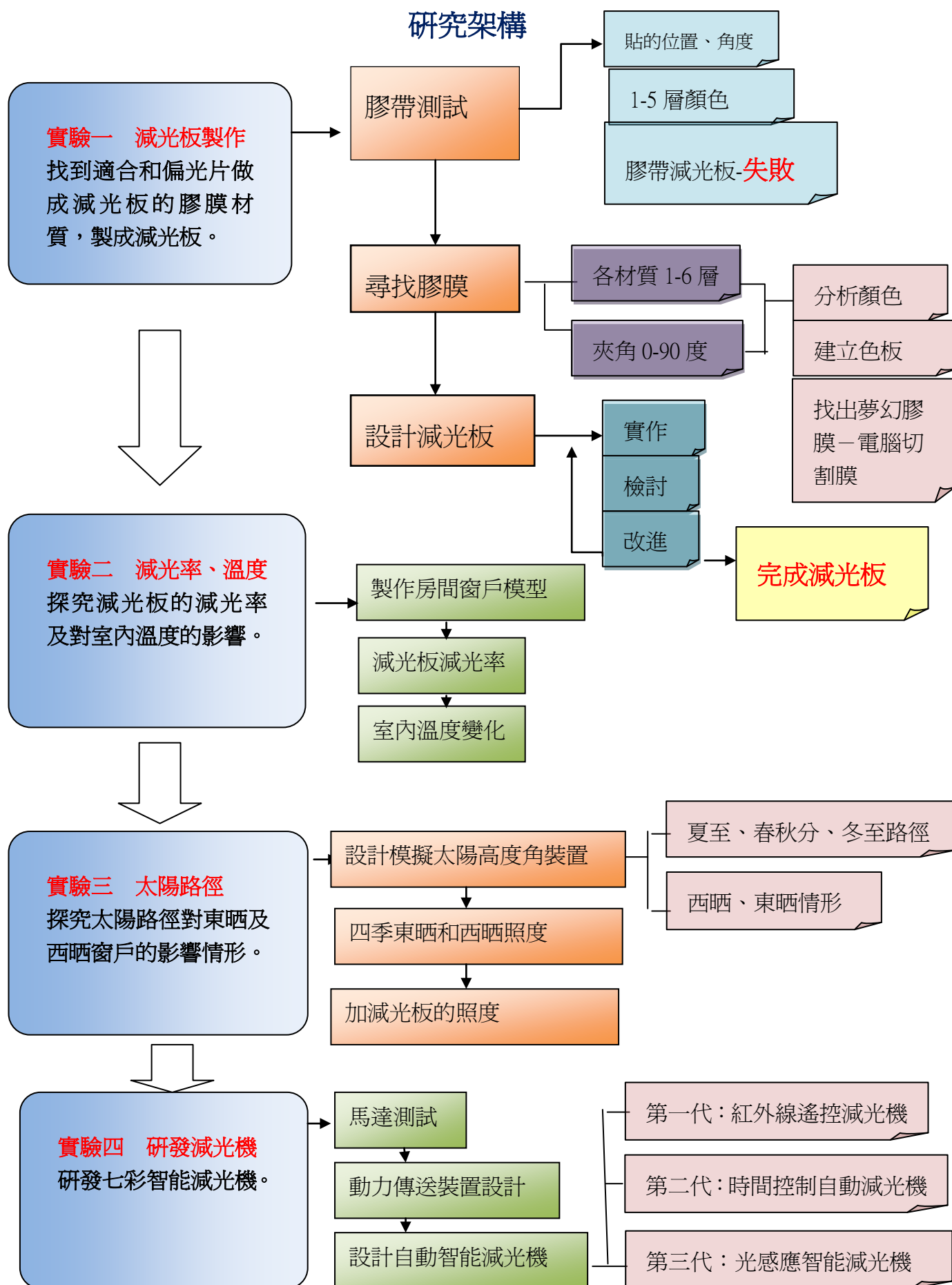
三、動力傳送器材

器材名稱	器材數量	器材名稱	器材數量	器材名稱	器材數量
線軸	5 個	棉線	1 捆	螺絲及螺母	3 組
慢速馬達(8 圈/分)	1 個	慢速馬達(2 圈/分)	1 個	壓克力條 100cm	4 條
鹿頭牌膠帶 1.8cm 寬	1 捲	樂高動力機 器人主機	1 個	樂高機器人 光源感應器	1 個
粗釣魚線	1 捲	程式軟體	NXT2.1	砂紙 25×25cm	1 張
三秒膠	1 個	細橡皮筋	10 條	鬆緊帶 3 尺	1 條
粗橡皮筋	1 條	書背膠	1 捲	細釣魚線	1 捲
樂高動力機 器人馬達	1 個	電源轉換控 制器	1 台	紅外線遙控 器	1 台
遙控小汽車	1 台	時間開關設 定器	1 台	吸盤	6 個

※有關研究設備的詳細組裝方式及照片請見各實驗的實驗過程。

伍、研究過程

研究架構



實驗一 找到適合膠膜的材質，結合偏光片製成減光板

實驗 1-1 探討膠帶在偏光片中的變色現象

一、實驗構想

我們在決定利用偏光片研發減光裝置後，就開始蒐集相關資料，在歷屆科展作品中我們發現別人做過的各種塑膠材質中，以膠帶的在偏光片中的變色效果最鮮豔，膠帶又最好取得，因此我們一開始想以膠帶為製作減光板的材料，我們對變色現象充滿好奇心，於是我們利用最常見的鹿頭牌膠帶進行測試研究，想親自了解膠帶在偏光片中的變化原理。最後我們試著將膠帶貼在大片偏光片上製成減光板。

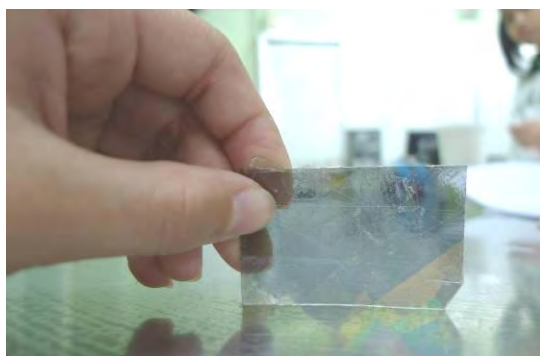
二、觀測裝置

(一)觀測裝置測試

1. 利用兩片偏光片貼上膠帶製作測試片。
2. 我們一開始先面對吊燈做光源，發現色彩亮度不平均，不可行。
3. 不用光源，直接看偏光片變色效果不佳，而且後方景物會影響顏色。
4. 經過試驗，我們發現必須要在偏光片後方加上白紙，並在其上方以檯燈照明，才能呈現較好的效果。



吊燈做光源，發現色彩亮度不平均，失敗。



不用光源，直接看偏光片變色效果不佳

(二) 觀測裝置設計

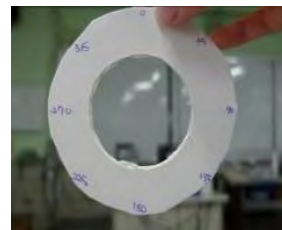
1. 利用厚紙板做成中空圓圈、標示 0~360 度的角度。
2. 取下天文館 3D 眼鏡的偏光片，找到偏光軸對準 0 度角貼在中空圓圈上。
3. 確定觀測距離：相機鏡頭架在距桌邊 5 公分處，偏光片以積木為座架在距桌邊 20 公分處，白紙架在距桌邊 35 公分處。
4. 確定光源：每次實驗都在自然教室二，燈全開窗簾全拉的情況下，在偏光片上方開一盞檯燈。



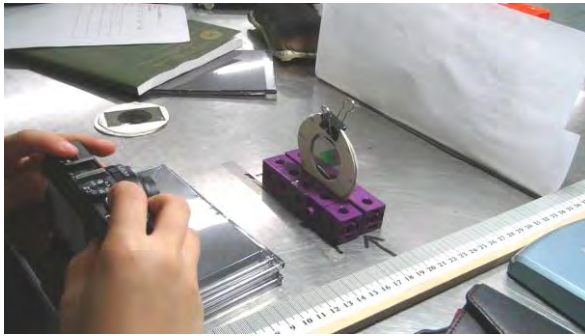
利用厚紙板做成中空圓圈



取下天文館 3D 眼鏡的偏光片



找到偏光軸對準 0 度角貼在中央



觀測裝置:相機鏡頭距桌邊 5 公分，偏光片距桌邊 20 公分，白紙架在距桌邊 35 公分。



觀測裝置以檯燈增加光源

三、實驗過程與結果

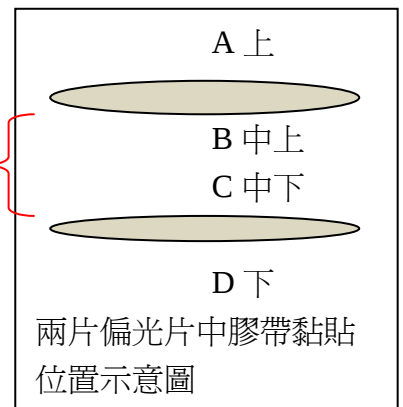
(一)探究問題 1：膠帶要貼在偏光片的哪個位置顏色最清楚？

1. 實驗步驟

- (1) 將鹿頭牌膠帶以相同角度貼在兩片偏光片的外層及中間(如圖示 ABCD 四個位置)。
- (2) 兩片偏光片重疊並讓偏光軸夾角呈現 0 度、45 度、90 度、135 度及 180 度，觀察並記錄。

2. 實驗結果

- (1) 膠帶只有貼在兩個偏光片中間時才有彩色變化，貼在上層或下層中間的變色情況相同。
- (2) 顏色的變化以夾角 90 度為一變化週期。



夾角 0 度時膠帶為藍色



夾角 45 度時膠帶無色



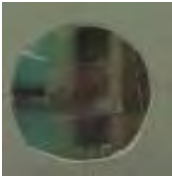
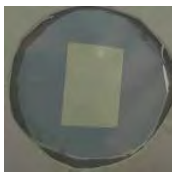
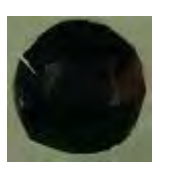
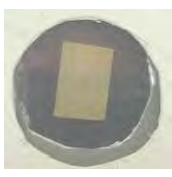
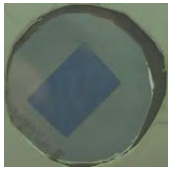
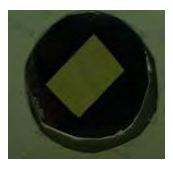
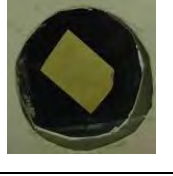
夾角 90 度時膠帶為黃色

(二)探究問題 2：膠帶要貼哪一個角度顏色最明顯？

1. 實驗步驟

- (1) 在一片偏光片的 0 度、45 度、90 度、135 度軸上平行貼上膠帶。
- (2) 將兩片偏光片重疊，並將偏光片轉到夾角 0 度、45 度、90 度、135 度，觀察偏光片上顯示的顏色，拍照並做記錄。

2. 實驗結果

	夾角 0 度	夾角 45 度	夾角 90 度	夾角 135 度	夾角 180 度	顏色說明
膠帶 0 度						顏色較淡
膠帶 45 度						呈現鮮豔的藍色及黃色
膠帶 90 度						顏色較淡
膠帶 135 度						呈現鮮豔的藍色及黃色

3. 實驗討論

(1) 膠帶貼 0 度和 90 度時，顏色不清楚鮮豔。

(2) 膠帶貼在 45 度和 135 度時顏色清楚鮮豔，而且在 0 度及 90 度時顏色最明顯。

(三) 探究問題 3：不同層數的膠帶會呈現什麼樣的顏色變化？

1. 實驗步驟

(1) 取兩片偏光片，在中下的位置且以 45 度斜角貼上一到五層透明膠帶。

(2) 將兩片偏光片重疊，並將偏光片形成 0、22.5、45、67.5、90 度的夾角。

(3) 觀察偏光片上顯示的顏色，並以 Sony T30 數位相機拍照並做記錄。

(4) 找出控制紅橙黃綠藍靛紫七色的方法。

2. 實驗結果

表 1-3 偏光板夾角和膠帶層數的顏色變化

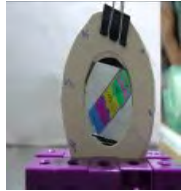
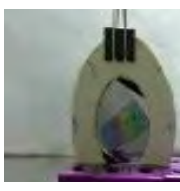
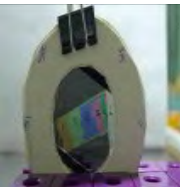
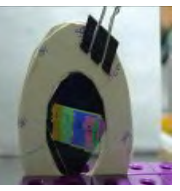
偏光片夾角	夾角 0 度	夾角 22.5 度	夾角 45 度	夾角 67.5 度	夾角 90 度
照片					
一層	藍色	藍色	淡黃色	黃色	黃色
二層	紫色	紫色	淡綠色	綠色	綠色
三層	黃色	黃色	淡藍色	藍色	藍色
四層	綠色	綠色	淡粉紅色	粉紅色	粉紅色
五層	粉紅色	粉紅色	淡綠色	綠色	綠色

表 1-4 控制紅橙黃綠藍靛紫七色的偏光夾角及膠帶層數

	粉紅	橙	黃	綠	藍	靛	紫
偏光夾角	0 度	90 度	0 度	0 度	22.5 度	0 度	0 度
膠帶層數	5 層	1 層	3 層	4 層	1 層	1 層	2 層

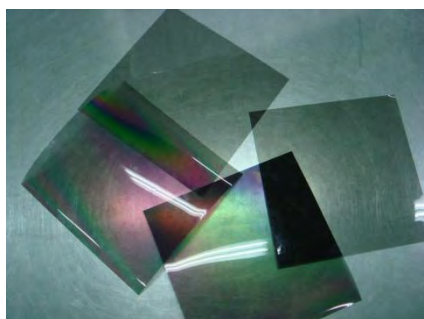
3. 實驗討論

- (1) 偏光片每層呈現出的顏色會因不同的夾角而有所改變。
- (2) 我們發現第一層的顏色變化(黃藍)和第三層的變化(藍黃)相反。而第四層(綠紅)和第五層(紅綠)的變化相反，獨有第二層(紫綠)的顏色變化較特別。
- (3) 找出七彩顏色的方法後，可以方便我們日後美工上的設計應用。

(四) 探究問題 4：膠帶是否能和大片偏光片製作減光板？

1. 實驗步驟

- (1) 旋轉 6 片 25x25cm 偏光片，讓偏光軸平行，統一用油性筆在一邊的中點標示 0 度。
- (2) 用圓規在白紙上畫出半徑 12.5cm 的圓當成樣板，將偏光片剪成圓形。
- (3) 用 5cm 鹿頭牌膠帶以 45 度方向貼滿整張偏光片。
- (4) 用同樣的方法在另一張偏光片上貼滿兩層膠帶。



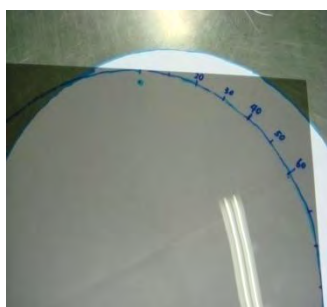
1.先讓偏光片偏光軸平行



2.白紙上畫出半徑 12.5cm 的圓



3.以白紙上的圓當樣板



4.標示 0 度。



5.剪下偏光片



6.用 5cm 鹿頭牌膠帶以 45 度方向貼滿整張偏光片。

2. 實驗結果

- (1) 鹿頭牌膠帶只有 5 公分寬，因此必須一條一條的貼滿偏光片，一不小心就會重疊，出現不同的顏色。
- (2) 在貼兩層膠帶時，每條膠帶條出現嚴重的色差。
- (3) 膠帶條的接線在陽光下非常明顯。

3. 實驗討論

- (1) 膠帶製作的減光板不但製作不易，而且顏色變化無法控制，也無法達到我們美觀的要求，因此膠帶宣告失敗。
- (2) 我們從膠帶的實驗中已得到寶貴的知識，此外膠帶的便利性很適合進行細部美化工作。
- (3) 要改進膠帶的缺點，我們必須另外尋找寬 25cm 的材質。



貼上兩層膠帶的偏光片出現嚴重色差

實驗 1-2 尋找適合當減光板的最佳材質

一、實驗構想

經由膠帶失敗的經驗，我們要找出符合以下條件的夢幻材質。

1. 面積要超過 25x25 c m。
2. 要有鮮豔的變色效果。
3. 製作要方便可行。

二、實驗步驟



1. 將各種市售材質剪一小條



2. 夾角 45 度方向在偏光片上各貼 1-6 層



3 用厚紙板製作偏光片旋轉架。



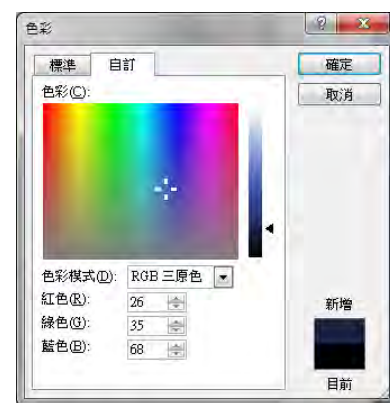
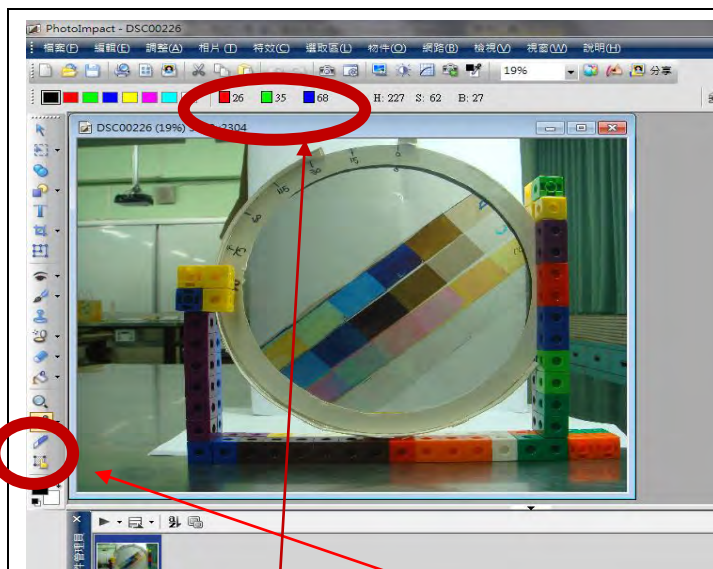
4. 標示 0-90 的刻度



5. 放入觀測裝置



6. 旋轉不同角度拍照



(一) 7.利用 photoImpact 軟體的**採筆工具**找出照片中各顏色的 **R(紅)G(綠)B(藍)值**。在每個變色範圍內取三個點，並計算這三個點的平均值。

8.將其色彩變化利用 Word 表格網底填色設定 R(紅)G(綠)B(藍)值，製作色板。(工作路徑如下：表格工具/設計/網底/其他色彩/自訂/製作色板。

三、實驗結果

表 1-5 偏光板夾角和各種材質層數的顏色變化

	0 度	15 度	30 度	45 度
四種 膠膜 ABCD				
	60 度	75 度	90 度	
玻璃 紙和 投影 片	0 度	15 度	30 度	45 度

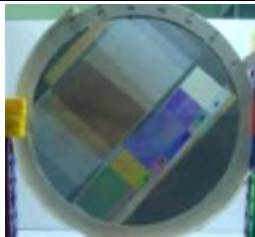
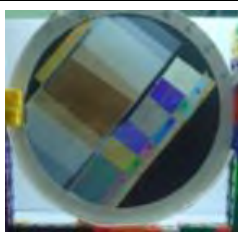
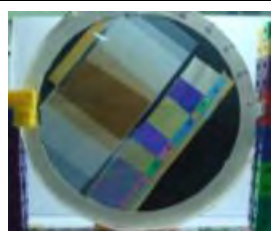
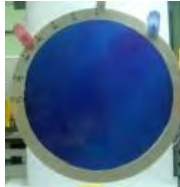
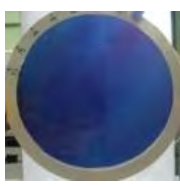
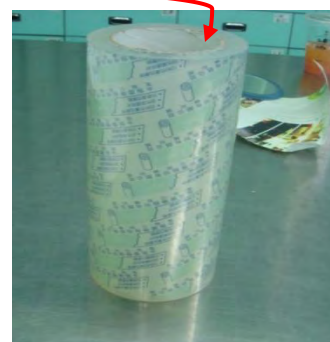
	60 度	75 度	90 度	
				
壓克力板	0 度	15 度	30 度	45 度
				
	60 度	75 度	90 度	
				

表 1-6 各種材質在 0 度及 90 度不同層顏色變化

材質	A Gau Ger 膜		B 電腦切割膜		C 博士膜		D Masking Film		E 透明玻璃紙		F 透明膠片		G 壓克力板	
夾角	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90
一層	白	暗灰	淺黃	深藍	白	灰	淺棕	淺藍	黃	灰紫	灰	淺藍	深藍	淺黃
二層	白	暗灰	黃	藍	灰	灰	棕	淺藍	淺紫	黃	灰	灰		
三層	白	暗灰	淺粉	綠	棕	淺灰	深藍	淺黃	黃	紫	黑藍	淺棕		
四層	白	暗灰	粉	黃綠	灰	淺黃	藍	黃	淺紫	黃	深藍	棕		
五層	白	暗灰	淺藍	黃	深藍	淺黃	淺黃	黑紫	淺黃	深紫	藍	深棕		
六層	白	暗灰	淺紫	淺黃	藍	黃	黃	深藍	深藍	白	深藍	棕		

四、實驗討論

- (一) 我們發現壓克力板的顯色效果非常好，但是不容易切割，於是首先淘汰。
- (二) 透明玻璃紙的顯色效果明顯，但是前五層只有黃色和紫色，變色單調也淘汰。
- (三) 透明片的顯色太過暗淡，不予考慮。
- (四) 市售四種膠膜中，A 膜變色暗淡，B、C、D 膜都可產生多樣的色彩，但是只有 B 膜在前三層就能展現出鮮豔的顏色。
- (五) B 膜全名為「電腦切割轉貼膜」，成為減光板的夢幻材質。



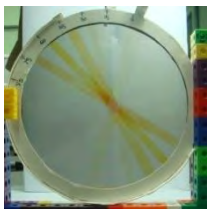
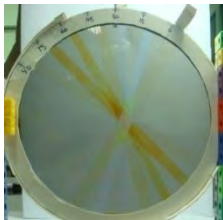
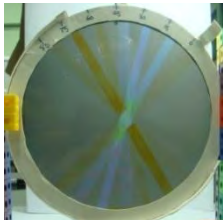
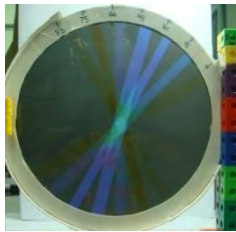
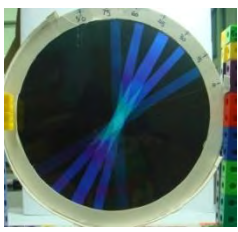
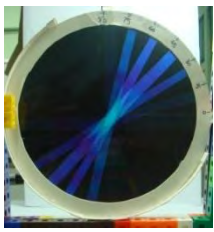
減光板的夢幻材質
-電腦切割轉貼膜

五、夢幻材質「電腦切割轉貼膜」的探究

(一) 黏貼角度

之前的實驗我們依照膠帶實驗的結果，將膠膜貼在 45 度的地方，但是膠膜和膠帶的變色情況會一樣嗎？於是我們把膠膜貼在油紙上剪成長條，貼在不同的角度上，確認「電腦切割轉貼膜」的顯色的特性，結果發現「電腦切割轉貼膜」和膠帶一樣，貼在 45 度角時變色非常明顯。實驗結果如下：

「電腦切割轉貼膜」在 45 度變色最明顯

			
夾角 0 度	夾角 15 度	夾角 30 度	夾角 45 度
			
夾角 60 度	夾角 75 度	夾角 90 度	

(二) 製作色板

我們將「電腦切割轉貼膜」在不同角度的平均 RGB 值做成色板，供日後設計時可以參考比較。其數值為實驗室光源下的顯色情況，不適用在其他環境。

表 1-7 電腦切割轉貼膜 1~6 層在不同角度的 RGB 平均值色板

夾角	0 度			15 度			30 度			45 度			60 度			75 度			90 度		
色值	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B
一層	167	173	91	136	147	98	114	125	104	83	102	117	51	74	133	25	35	129	24	34	144
二層	149	144	61	137	137	81	118	124	102	89	114	130	59	97	144	35	85	157	35	74	154
三層	138	122	113	129	120	107	114	117	101	86	112	97	56	105	95	17	94	100	20	83	94
四層	112	101	86	110	106	91	104	110	92	79	100	88	66	106	96	50	110	117	27	90	102
五層	56	89	83	74	95	85	82	95	81	88	99	77	83	102	83	51	96	90	64	83	90
六層	82	76	84	81	82	81	79	87	72	64	90	71	52	95	73	25	84	79	11	77	87

實驗 1-3 製作減光板

一、實驗構想

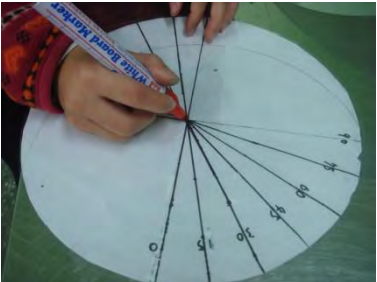
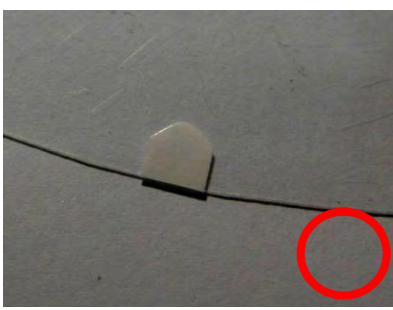
我們想製作可以隨心所欲更換顏色的減光板，因此將偏光片上貼上 1-3 層膠膜，互相組合就可以有 4 和 5 層的變色效果。此外，偏光片太薄，直立時會彎曲，必須加裝堅硬的透明面板。如何讓面板和偏光片「合體」是我們面臨的問題。

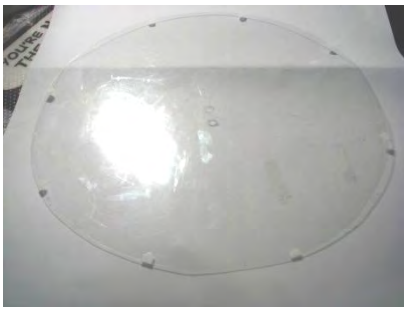
二、實驗過程及結果

(一)在偏光片上貼上膠膜

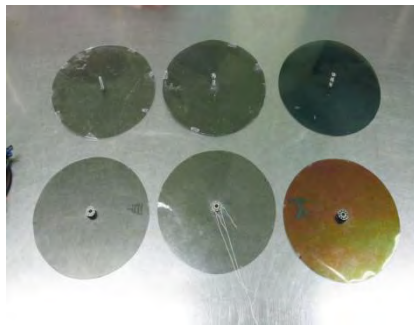
 1.在偏光片 45 度方向直接貼上膠膜，中間會出現許多氣泡。	 2.改進方法：先把膠膜貼在油性紙張上，再慢慢按壓讓膠膜密合。	 3.依照同樣的方法在三片偏光片上分別貼上 1 到 3 層膠膜。
---	---	--

(二)讓偏光片和塑膠片合體

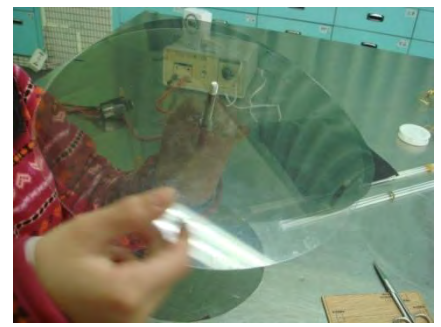
 1.剪下 6 個半徑 12.5 公分的塑膠片	 2.精準的找出圓心。	 3.用剪刀尖頭慢慢旋轉出直徑 0.5 公分的小洞。
 4. 便利貼膠測試： 用便利貼膠不平整。(失敗)	 5. 滾輪膠帶測試： 滾輪膠帶太呆板。(失敗)	 6. 雙面膠測試 可剪出美觀的造型。(成功)



7. 在塑膠片上貼上 8 個雙面膠，將偏光片貼上並鑽孔。



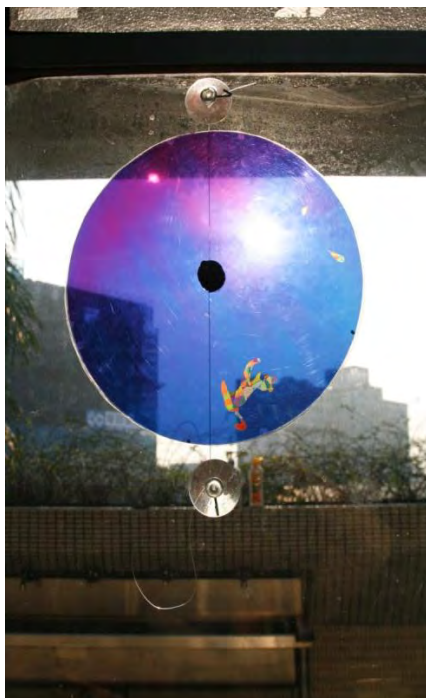
8. 製作六張減光板：0 膜 3 張及 1 層膜、2 層膜、3 層膜各一張。



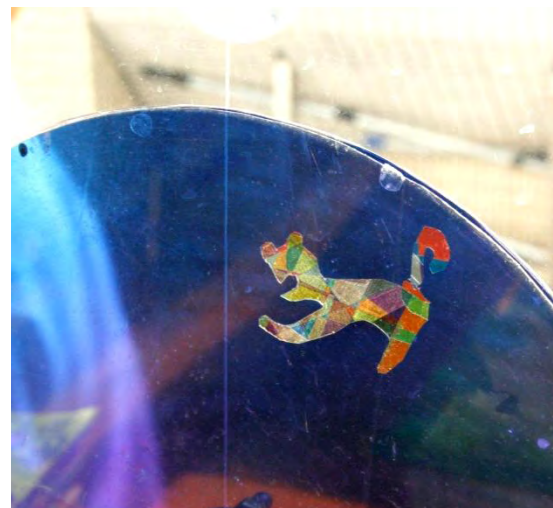
9. 用螺絲和螺帽可以隨意組合不同層的減光板。

三、實驗討論

- (一) 我們發現用來固定偏光片的塑膠板也有干涉的現象，因此，我們在疊合兩片偏光板時要讓塑膠板位在兩片偏光片外側，才不會產生色差。
- (二) 將減光板疊合後，用釣魚線加上吸盤就可以輕易貼在窗戶上達到減光的效果，而我們之前所研究的顯色效果是以正前方所見色彩，隨著不同的視角，減光板也呈現不同的顏色，我們的減光板不但能減光，而且其美化環境的功能也非常好。
- (三) 膠帶雖然不能成為減光板的最佳材質，不過我們利用製作「彩蝶」的技巧，可以任意為減光板加上可愛的圖樣。



完成美觀又實用的減光板



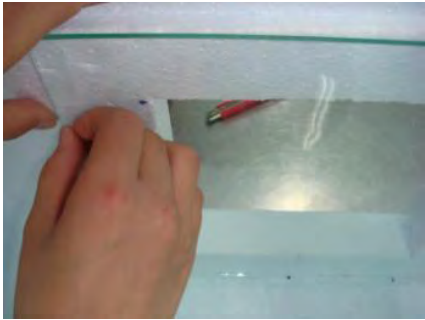
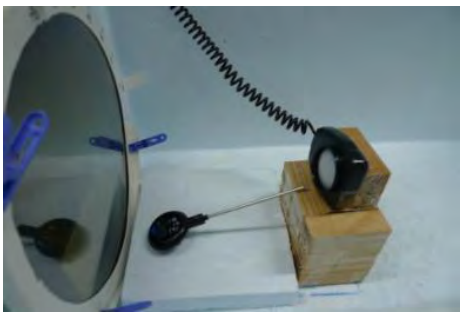
可以隨心情加上可愛的圖樣。

實驗二 探究減光板的減光率及對室內溫度的影響

一、實驗構想

到底我們的減光板能減多少光？對室內的溫度有什麼影響？我們決定製作一個房間模型，控制所有的變因，測量出我們自製減光板的減光率及對房間溫度的影響情形。

二、房間模型製作過程

		
1.紙箱測試失敗：材質太軟，有細縫，不能絕熱絕光。	2.改用賣魚的保麗龍箱當房間模型，有較佳的絕熱絕光效果。	3.在箱子上切開一個邊長 18 公分的正方形當作窗戶。
		
4.在窗戶上加裝邊長 25cm 正方形玻璃。	5.在蓋子上方開一個觀測洞，內部黏上小塊壓克力板。	6.記錄溫度時，只要打開觀測孔蓋子，不用打開蓋子。
		
7.在玻璃上放減光板旋轉架，在圓心高度，10 公分距離放置照度計及電子溫度計。	8.用三角架固定 500W 鹵素燈模擬太陽。	9.將鹵素燈平射窗戶，放在距離觀測箱前 50 公分處。

實驗 2-1 探討減光板的減光率

一、實驗步驟

- (一) 將自然教室的燈全關，拉簾全關上的環境中，以 500W 鹵素燈模擬太陽光，直射觀測裝置。
- (二) 觀測照度計，記錄沒有加上減光板時房間模型內的照度。
- (三) 將六片減光板(0 膜 3 張及 1 層膜、2 層膜、3 層膜各一張)分別兩兩組合成 0 層膜、1 層膜、2 層膜、3 層膜、4 層膜、5 層膜的裝置。
- (四) 分別在減光板架上放上 0 層膜、1 層膜、2 層膜、3 層膜、4 層膜、5 層膜的減光板，旋轉減光板，記錄偏光軸在 0 度、15 度、30 度、45 度、60 度、75 度、90 度時的室內照度。
- (五) 計算出各層膜在不同夾角時的減光率。減光率計算方式： $(\text{無減光板照度} - \text{加減光板照度}) \div \text{無減光板照度} \times 100\%$
- (六) 將不同層膜的減光率畫成折線圖。

二、實驗結果

表 2-1 各層膜減光板在不同夾角時的照度值

單位：Lux (無減光板照度為 11920Lux)

	0 度	15 度	30 度	45 度	60 度	75 度	90 度
0 層膜	3830	3660	3120	2530	1570	930	670
1 層膜	3240	3100	2620	2270	1840	1380	1180
2 層膜	2600	2530	2270	2090	1890	1770	1610
3 層膜	2330	2270	2280	2220	2180	2130	2050
4 層膜	2150	2100	1980	1870	1710	1600	1500
5 層膜	2470	2300	2180	1770	1430	1240	1060

表 2-2 各層膜減光板在不同夾角時的減光率

減光率計算 $(11920 - \text{照度值}) / 11920 \times 100\%$

單位：%

	0 度	15 度	30 度	45 度	60 度	75 度	90 度
0 層膜	68	69	74	79	87	92	94
1 層膜	73	74	78	81	85	88	90
2 層膜	78	79	81	82	84	85	86
3 層膜	80	81	81	81	82	82	83
4 層膜	82	82	83	84	86	87	87
5 層膜	79	81	82	85	88	90	91

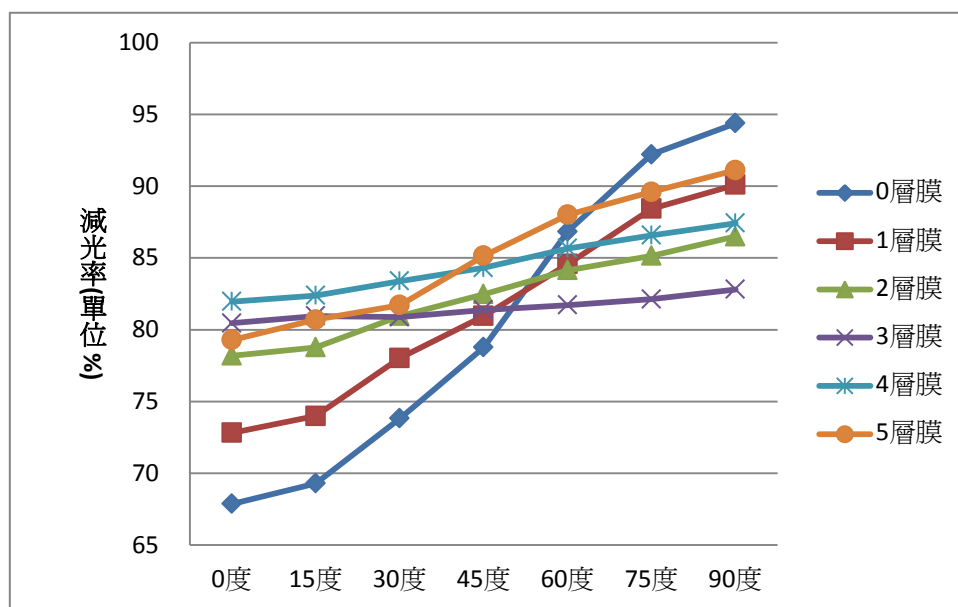


圖 2-1 減光板在不同夾角時的減光率折線圖

三、實驗討論

- (一) 所有層數的減光板都是在 0 度夾角時減光率最低，在 90 度夾角時減光率最高。
- (二) 90 度夾角時，0 層、1 層和 5 層的減光率都高達 90%以上，可見我們的減光板有很大的減光作用。
- (三) 我們發現 0 層膜的減光率變化起伏最大，0 度時減光率是全部最低的，90 度時減光率是全部最高的。
- (四) 3 層膜的減光板變化最少，只差了 3 個百分點，它的變化顏色為綠色和粉紅色。
- (五) 雖然 0 層膜的減光率最大，但是沒有加膠膜因此只有灰黑色的變化，反而是 1 層膜的減光片，減光率變化也很明顯，而且會轉變出鮮豔的顏色，是理想的減光板。

實驗 2-2 探討減光板對室內溫度的影響

一、實驗步驟

- (一) 將自然教室的燈全關，拉簾全關上。用手電筒觀測房間模型內的溫度計，並記錄。
- (二) 以 500W 鹵素燈模擬太陽光，直射觀測裝置五分鐘。
- (三) 每一分鐘從觀測孔觀測溫度計，記錄下沒有加上減光板時房間模型內的溫度。
- (四) 五分鐘後打開觀測箱，並打開教室的電扇降溫回原本的溫度。
- (五) 分別在減光板架上放上 0 層膜、1 層膜、2 層膜 3 層膜的減光板，旋轉減光板，讓偏光軸在 0 度、15 度、30 度、45 度、60 度、75 度、90 度，記錄受到光照前五分鐘的溫度變化。
- (六) 將各層減光板在不同角度溫度變化畫成折線圖。



每一分鐘從觀測孔觀測溫度計，記錄光照五分鐘的溫度變化。

二、實驗結果

表 2-3 無減光板五分鐘日照溫度記錄表 單位:℃

	開始	1 分	2 分	3 分	4 分	5 分
無減光板	23.6	24.5	26.3	26.7	27.9	28.8

表 2-4 0 層膜減光板五分鐘日照溫度記錄表 單位:℃

	開始	1 分	2 分	3 分	4 分	5 分
0 度	23.6	24.1	25.9	26.1	27	27.5
15 度	23.6	24.4	25.5	25.9	26.1	27.2
30 度	23.8	24.3	24.5	24.9	25.1	26.5
45 度	23.6	24.3	24.5	25.3	25.5	25.7
60 度	23.6	24.2	24.5	24.8	25.1	25.5
75 度	23.6	24.2	24.4	24.7	24.9	25.3
90 度	23.6	24.1	24.3	24.5	24.6	24.8

表 2-5 一層膜減光板五分鐘日照溫度記錄表 單位:℃

	開始	1 分	2 分	3 分	4 分	5 分
0 度	23.6	24.3	24.9	25.8	26.8	27
15 度	23.5	24.4	24.5	25.1	26.1	26.7
30 度	23.8	24.3	24.5	24.9	25.9	26.3
45 度	23.6	24.3	24.5	25.3	25.5	25.7
60 度	23.6	24.2	24.5	24.8	25.1	25.5
75 度	23.7	24.2	24.4	24.7	24.9	25.3
90 度	23.6	24.1	24.3	24.5	24.6	24.8

表 2-6 二層膜減光板五分鐘日照溫度記錄表 單位:℃

	開始	1 分	2 分	3 分	4 分	5 分
0 度	23.5	24.3	24.5	25.1	25.2	25.5
15 度	23.5	23.9	24.3	24.4	24.9	25.2
30 度	23.4	23.6	23.9	24.1	24.3	24.8
45 度	23.4	23.7	24.2	24.3	24.5	24.8
60 度	23.5	23.9	24.2	24.2	24.7	24.9
75 度	23.4	23.7	24	24.3	24.5	24.7
90 度	23.4	23.7	23.9	24	24.1	24.3

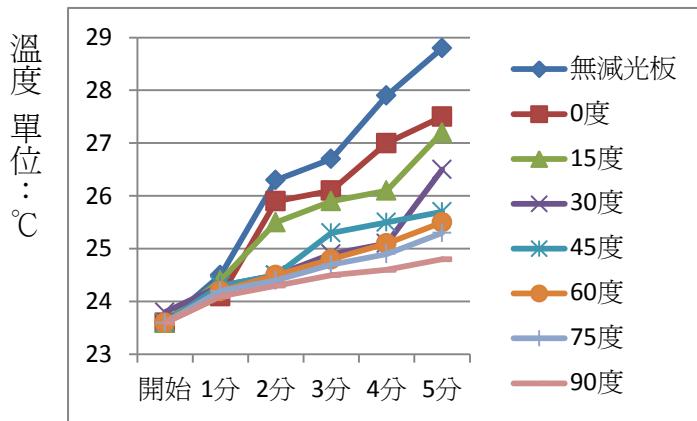


圖 2-2 0 層膜減光板五分鐘日照溫度統計圖

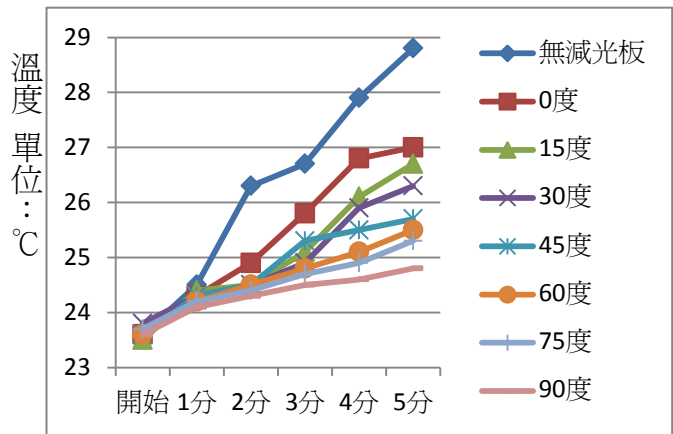


圖 2-3 1 層膜減光板五分鐘日照溫度統計圖

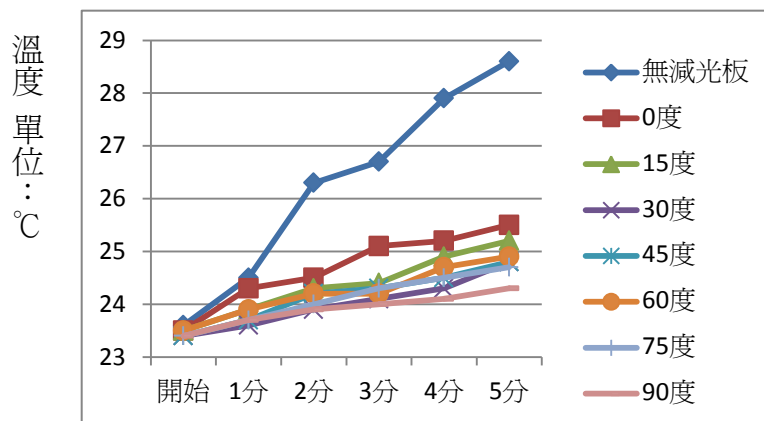


圖 2-4 2 層膜減光板五分鐘日照溫度統計圖

三、實驗討論

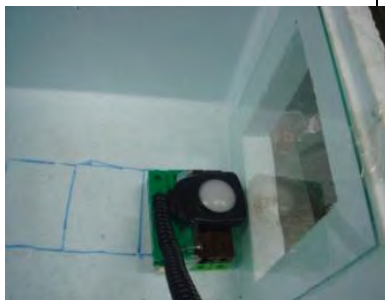
- (一) 在沒有減光板時，室內溫度在 5 分鐘內就可以上升到 5 度，而加了減光板之後，可以達到只上升大約 1 度的減熱效果。
- (二) 0 層膜的減光板各角度減熱的效果相差比較大，而 2 層膜的減熱效果比較相近，幾乎每一個角度都可以達到不錯的減熱效果。
- (三) 我們對照實驗 2-1 的結果，發現減光率越高的減光板也越能減熱。
- (四) 2 層膜的減光板雖然在夾角 45 度到 90 度的減光率沒有 0 和 1 層高，但是它的減熱效果卻沒有比 0 和 1 層低，這是一個值得我們再深入探討的問題。
- (五) 由實驗證明，我們的減光板不但能減去刺眼的陽光，也可以減去陽光所帶來的熱，使生活更舒適。

實驗三 探究太陽路徑對東晒及西晒窗戶的影響情形

一、實驗構想

我們五上的時候有在自然課上到太陽高度角，因此我們想模擬太陽四季的路徑，找出夏至、春秋分、冬至當天幾點到幾點東晒及西晒最嚴重，我們就可以適時的把我們的減光機轉到 90 度夾角。

二、實驗步驟

		
1.我們試著用繩子及量角器模擬太陽路徑，但是燈光無法保持同一角度，因此失敗。	2.我們改用掃把柄緊緊的綁住鹵素燈，再加裝高度角觀測器。	3.在窗口放上大型量角器，用來對照方位角。
		
4.把照度計平放，模擬被太陽照到的書桌平面照度。	5.從中央氣象局網頁取得太陽的高度角及方位角數據，把方位角減 180 度，轉換成西晒時量角器方便測量的方位。	6.依據太陽路徑數據，模擬加了減光片房間在夏至，春秋分，冬至時被東晒和西晒的情形。
		
7.我們將裝置實際拿到太陽下測試西晒時的照度變化。		8 在太陽下測試各層減光板的減光率。

三、實驗結果

表 3-1 模擬台北太陽東晒照度表 單位:Lux

時間	6	7	8	9	10	11	中天
夏至	725	1050	1398	1702	1542	1065	42
春秋分	441	832	1252	1572	1397	94	33
冬至		570	829	993	400	87	40

表 3-2 模擬台北太陽西晒照度表 單位:Lux

時間	12	13	14	15	16	17	18
夏至	58	107	922	1774	1548	1149	735
春秋分	42	202	1497	1495	1180	787	
冬至	43	110	810	1054	863	433	

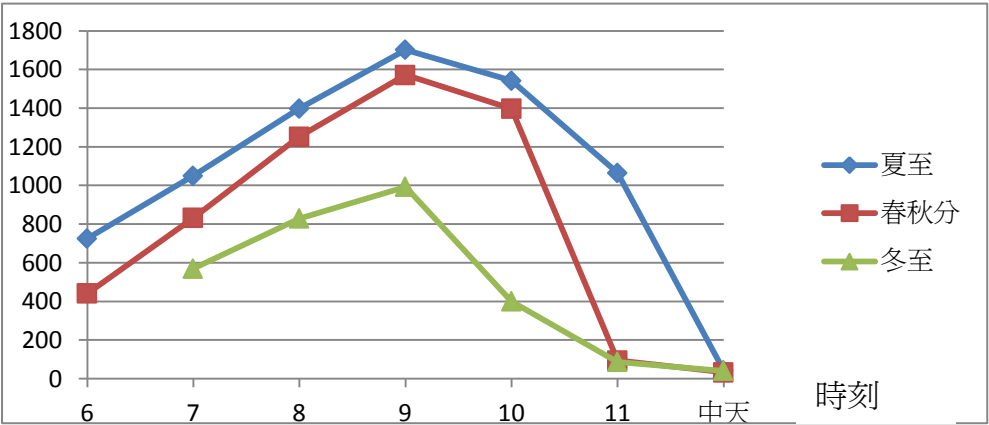


圖 3-1 模擬台北太陽東晒照度圖

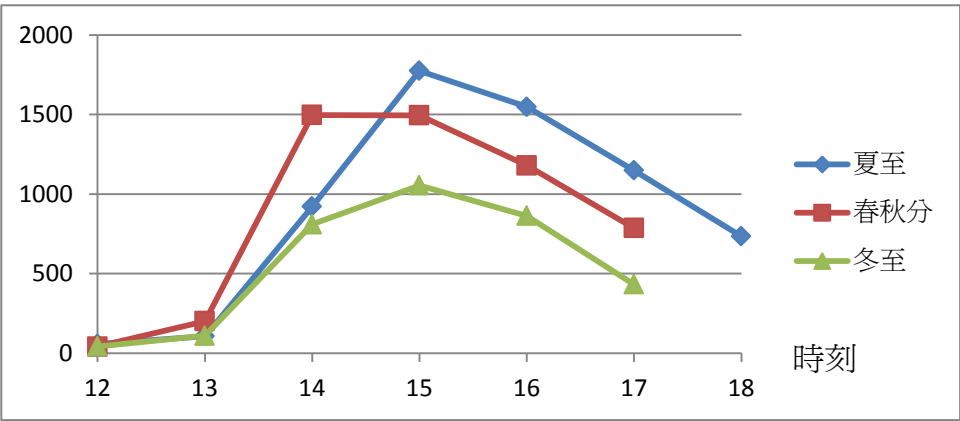


圖 3-2 模擬台北太陽西晒照度圖

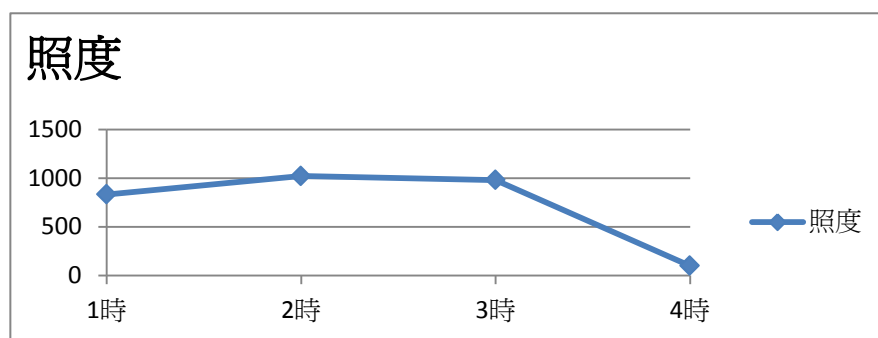


圖 3-3 三月 17 日台北西晒照度圖

四、實驗討論

- (一)東晒的時候，夏至和春秋分是早上九點到十點照度最高，冬至時是八點和九點。
- (二)西晒時，這三個節氣都是三點照度最高。
- (三)我們發現，平時我們感覺最熱太陽最大的時候是中午十二點，但是，此時太陽的高度角太高，對窗戶裡的人而言，並不會造成刺眼的陽光，反而是每天早上九點及下午三點正是被東晒和西晒所苦的時間。
- (四)我們實際到操場去測量太陽光對我們觀測裝置及減光板的測試，我們發現下午二三點的陽光最強，但是三月 17 日當天好不容易放晴，但非萬里無雲，因此在測減光板時一下有陽光一下沒有陽光，所測數據不足，也讓我們了解實際上陽光的變化非常快速。

實驗四 研發七彩智能減光機

一、實驗構想

我們的減光器最大的優點是可以利用偏光片旋轉來改變夾角，形成不同的減光效果，因此我們想利用中年級學過的馬達來帶動減光片旋轉，所以要先找到合適的馬達。此外，減光機是裝在窗戶上的，因此絕對要達到美觀的要求，不能把馬達放在窗戶中間，因此我們想要利用輪軸的動力傳送方式來帶動減光片旋轉。

二、實驗過程

(一)測試馬達



1.我們最先在五金行找到一分鐘 8 轉的慢速馬達，可以直接接在插座上。

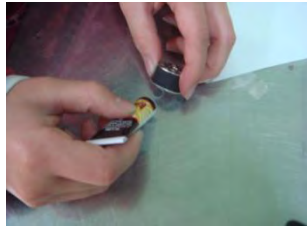


2.接著我們找到一分鐘 2 轉的超慢馬達，但是它是接在電池盒上。



3.我們發現跟我們共用同一間教室的機器人社團有樂高特殊馬達，可設參數讓它旋轉。

(二)研發動力傳送

		
1.我們利用線軸來當帶動減光板轉動的輪軸。	2 我們嘗試了各種膠皮圈，但是爲了達到美觀的要求，我們選用粗棉線。	3.在線軸上捲上書背膠,增加輪軸的半徑。
		
4 在輪軸加貼上砂紙增加摩擦力。	5.用三秒膠黏在減光板上	6 穿過螺絲鎖上兩個螺帽。
		
7.在壓克力條上綁上橡皮筋。	8.把壓克力條卡在兩個螺帽中間。	9 把馬達加上另一個輪軸，用膠帶固定在壓克力條上。
		11 只以橡皮筋卡著壓克力條，很方便又可以隨時調整長短。.
10.以棉線帶動		

(三)智能減光機第一代：紅外線遙控減光機

1. 我們從遙控小汽車得到靈感，原本想利用遙控車的零件加以改裝，但是無法解決小汽車馬達轉太快的問題。
2. 後來在一連串的請教和尋覓後，我們在一家五金行找到了紅外線開關，因此我們的減光機就能隨心所欲的轉動到想要的角度。
3. 此外，我們試著將它接到一般燈具所用的調光器上，就能自己決定它旋轉的快慢了。
4. 但是它有一個缺點，有時它順時鐘轉，有時它逆時鐘轉，我們去請教了五金行

的老闆，老闆說，這個馬達設計卡到東西時就會倒轉，我們還有改進的空間。



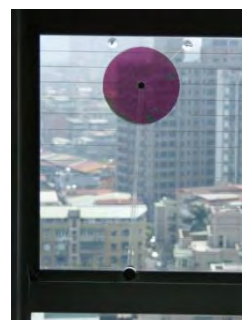
紅外線遙控減光機



紅外線遙控



可以斜放



可以直立

(四) 智能減光機第二代：全自動時間控制減光機

1. 我們在實驗三對太陽的路徑有了深入的了解，我們知道每天的早上九點和下午三點是窗邊位置具有最大照度的時候。因此我們可依照我們的數據資料來設定減光機的轉動時間。
2. 我們找到了一種可以定一分鐘開關，可以設定 20 組程序的定時器。
3. 將一分鐘轉兩圈的馬達接上學校的電源轉換控制器，就能加裝時間控制器。
4. 用膠帶微調輪軸大小，讓馬達帶動的減光機一分鐘轉兩圈又 30 度(750 度)。
5. 配合陽光的強度，我們讓偏光板上午 9 時或下午 3 時依序轉成 90 度。計算後完成東晒設定表及西晒設定表，如此一來，就能自動調光。

東晒窗設定表：

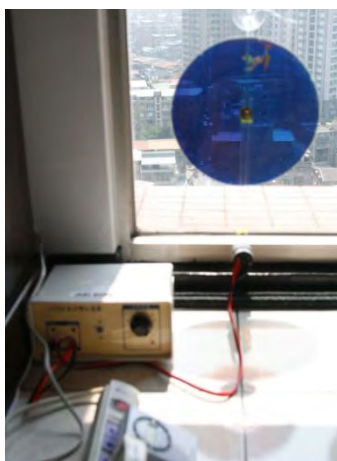
時間	7:00	7:01	8:00	8:01	9:00	9:01	10:00	10:01	11:00	11:01	12:00	12:01
開關設定	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
偏光夾角	0	30	30	60	60	90	90	120	120	150	150	180(0)

西晒窗設定表：

時間	1:00	1:01	2:00	2:01	3:00	3:01	4:00	4:01	5:00	5:01	6:00	6:01
開關設定	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
偏光夾角	0	30	30	60	60	90	90	120	120	150	150	180(0)



時間電源控制器



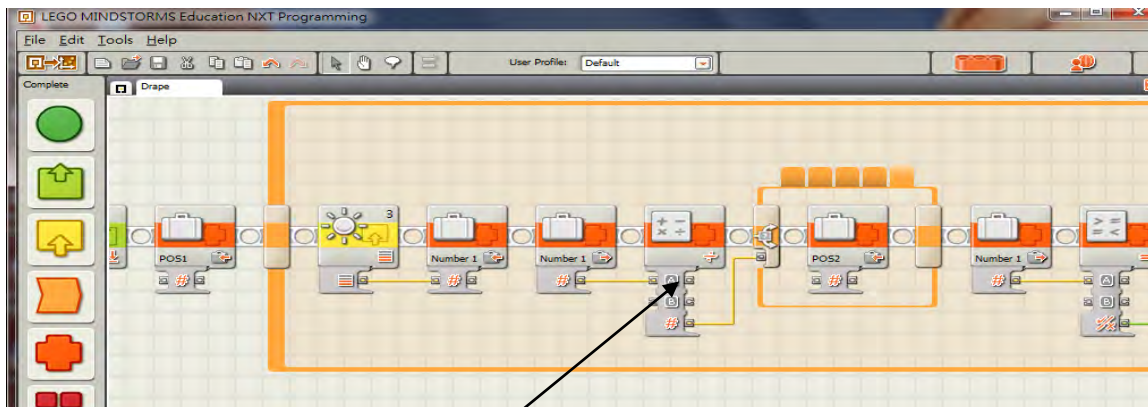
慢速馬達加上電源轉換器



全自動時間控制減光機

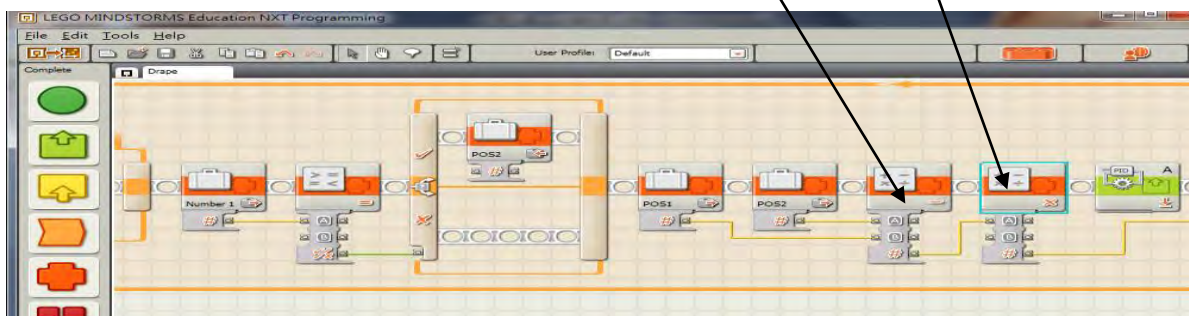
(五) 智能減光機第三代：智能感光減光機

1. 我們在實際測試太陽照度時，發現自然界中太陽的變化受到氣候的影響，不是時間控制器可以解決的，如果有一個機器可以隨著光源感應，那就可以時時刻刻掌握光線的改變了。
2. 我們看到動力機器人社團的機器人可以自己感應地上的黑線，於是就去請問動力機器人社團的老師它是如何走動的，老師聽了我們減光窗的想法、就開始教我們馬達參數的設定。
3. 我們用自然教室的 NXT2.1 動力機器人軟體設定參數，讓動力機器人的感光器去驅動馬達轉動的角度。
4. 動力機器人的感光數值為 1~100，我們寫參數讓馬達隨著光值而轉動。



讓光源÷20=(1,2,3,4,5)五個數值

馬達的旋轉角度為:(第二個數值減第一個數值)*23 度



5. 我們用兩條棉線帶動輪軸，就完成了自動旋轉的智能減光機。



光源感應器



動力機器人馬達



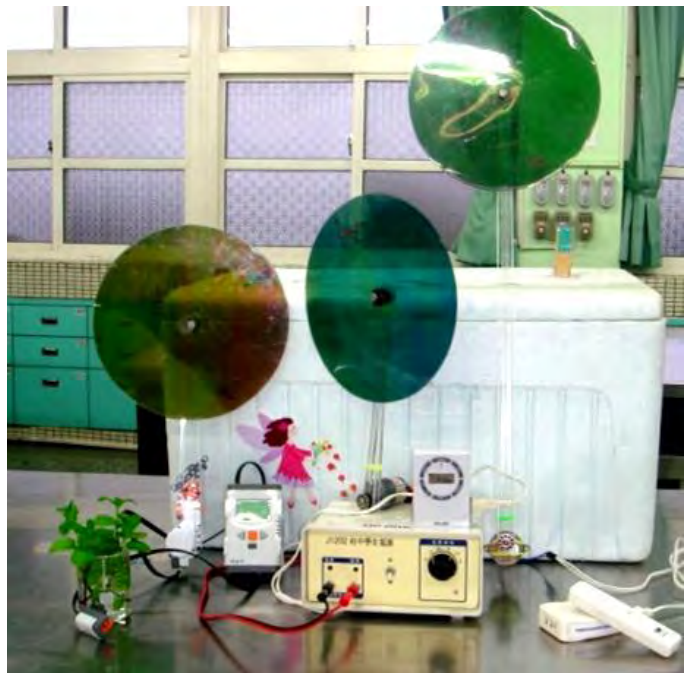
用棉線固定



智能感光減光機組件



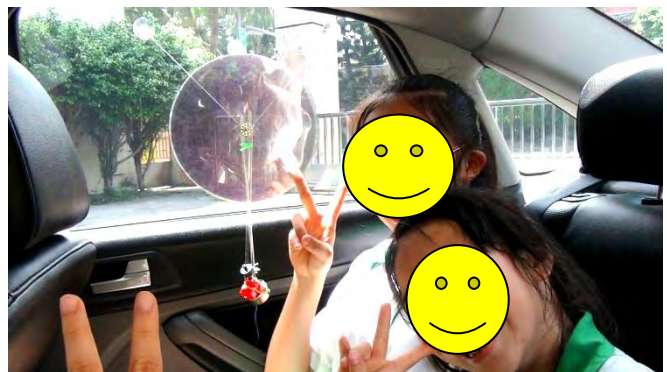
智能減光機第三代：智能感光減光機



三代同堂 太陽剋星—智能減光機



YA！教室內陽光不再刺眼



隨著車子轉彎，智能減光機能靈活遮陽

陸、研究結果

實驗一 找到適合膠膜的材質，結合偏光片製成減光板

一、膠帶特性

1. 膠帶只有貼在兩個偏光片中間時才有彩色變化，貼在上層或下層中間的變色情況相同，顏色的變化以夾角90度為一變化週期。
2. 膠帶貼在45度和135度時顏色清楚鮮豔。
3. 我們發現第一層的顏色變化(黃藍)和第三層的變化(藍黃)相反。而第四層(綠紅)和第五層(紅綠)的變化相反，而獨有第二層(紫綠)的顏色變化比較特別。

二、製作減光板

1. 膠帶製作的減光板不但製作不易，而且顏色變化無法控制，也無法達到我們美觀的要求，因此膠帶宣告失敗。
2. 各種塑膠材質中以電腦切割轉貼膜前三層就出現很好的顯色效果，成為減光板的夢幻材質。
3. 我們製作六張減光板：0 膜 3 張及 1 層膜、2 層膜、3 層膜各一張。

實驗二 探究減光板的減光率及對室內溫度的影響

一、減光板的減光率

1. 所有層數的減光板都是在 0 度夾角時減光率最低，在 90 度夾角時減光率最高。
2. 我們發現 0 層膜的減光率變化起伏最大，0 度時減光率是全部最低的，90 度時減光率是全部最高的。
3. 3 層膜的減光板變化最少，只差了 3 個百分點，它的變化顏色為綠色和粉紅色。雖然 0 層膜的減光率最大，但是沒有加膠膜因此只有灰黑色的變化，反而是 1 層膜的減光片，減光率變化也很明顯，而且會轉變出鮮豔的顏色，是理想的減光板。

二、室內溫度的影響

2. 0 層膜的減光板各角度減熱的效果相差比較大，而 2 層膜的減熱效果比較相近，幾乎每一個角度都可以達到不錯的減熱效果。
2. 減光率越高的減光板也越能減熱。
3. 光板不但能減去刺眼的陽光，也可以減去陽光所帶來的熱，使生活更舒適。

實驗三 探究太陽路徑對東晒及西晒窗戶的影響情形。

- 一、東晒的時候，夏至和春秋分是早上九點到十點照度最高，冬至時是八點和九點。
- 二、西晒時，這三個節氣都是三點照度最高。

實驗四 研發七彩智能減光機

- 一、我們利用輪軸動力傳送方式，研發出美觀又實用的自動旋轉減光裝置。
- 二、第一代：能以紅外線遙控器控制偏光片旋轉。
- 三、第二代：根據太陽在夏至、春秋分、冬至的日晒情形設定電子定時器，每日自動減光。
- 四、第三代：利用動力機器人的光感應器及 N X T 軟體設計出全自動光感應減光機。

柒、討論

一、研究的重要性

- (一) **利用旋轉偏光片可以依需求改變減光效果：**一般的窗戶爲了減光，大多採用窗簾或貼上隔熱紙，減光率固定不能改變，但是採用偏光片旋轉的方式來減光，可以依照需求而輕易改變減光率。依照實驗結果，用偏光片的減光效果很好，可以達到 90%以上的減光效果。
- (二) **自製減光板變色鮮豔，可達到美化環境的效果：**我們找到的電腦切割轉貼膜具有出色的變色效果，這種夢幻材質可以輕易在市面上買到，方便一般大眾用我們研究的方式自製減光板，除了達到減光效果，更可藉著旋轉來改變室內顏色，具有美化居家氣氛的作用。
- (三) **運用學校所學研發動力傳送裝置，堅持用生活上的物品加以組合運用：**我們利用生活上不起眼的小物件(線軸、棉線、橡皮筋、砂紙等)加以組合，讓小兵立大功，研發美觀的動力傳送方式。這個看起來簡潔的動力傳送裝置，其實是我們在無數次錯誤嘗試下的結晶品。
- (四) **模擬太陽方位及高度角，掌握東晒及西晒的實況：**我們在實驗模擬東晒和西晒的實際情況，掌握了一天及四季的變化，因此我們設定的自動裝置不但能對付一天的烈日，也可以配合四季變化而調整。
- (五) **利用樂高動力機器人，跨足科技生活：**在不斷的學習和測試下，我們利用樂高動力機器人的馬達實現了我們全自動感光的夢想。我們讓這個科技裝置不再只是沿著黑線跑，而是讓我們享有更舒適的室內環境。

二、未來研究的方向

- (一) **加大偏光片：**受到經費的限制，我們只用 25x25 公分的偏光片製作減光板，適合用在教室及小汽車中。未來可以加大偏光片，增加可運用的範圍。
- (二) **動力傳送方式再進化：**未來我們想考慮用齒輪帶動圓周，如此可以省去減光板圓心的輪軸，讓減光板更美觀。
- (三) **動力機器人的程式可以設計成多選單：**可設計不同亮度的程式，製作成選單，可以依照每個人當時的室內活動，自由選擇室內所需亮度。

三、未來展望

- (一) **綠建築設計：**未來如果能在建築房子時就設計好偏光原理的自動窗，將自動窗鑲嵌在牆面或天花板中，將可有效節能。
- (二) **汽車窗戶設計：**開車時總能感受到太陽的猛烈，隨著車子轉彎，日晒也隨著改變，車上採用我們研發的減光機，就能靈活遮陽。
- (三) **溫室光照調控：**特定植物的生長跟光照及顏色有關，可以在溫室加裝我們研發的七彩減光機，調控溫室的照度及顏色。

捌、結論

- 一、我們探究市售膠膜在兩片偏光片中所呈現的顏色變化，找到最佳膠膜--電腦切割轉貼膜，成功製作成會變色的減光板。
- 二、以自製窗戶模型找出各層減光板的減光率，自製減光板的減光效果可達90%上。加裝減光板可明顯讓室內溫度變化降低。
- 三、我們找出太陽在夏至、春秋分、冬至時的方位及高度角，探究東晒及西晒的實際情況，掌握出一天及四季的日照變化，依照實際情況設定自動定時裝置。
- 四、利用輪軸動力傳送方式，研發出美觀又實用的自動旋轉減光裝置，第一代：能以紅外線遙控器控制偏光片旋轉；第二代：根據太陽在夏至、春秋分、冬至的日晒情形設定電子定時器，每日自動減光。第三代：利用動力機器人的光感應器及N X T軟體設計出全自動光感應減光機。

玖、參考資料

沃克(2000)。物理馬戲團Ⅲ。台北：天下文化

高翊賢等(2011)。暗藏私心的3D偏光視界。中華民國第51屆中小學科學展覽會作品說明書

蘇怡健等(2011)。光彩魔術。中華民國第51屆中小學科學展覽會作品說明書

潘柏瑋等(2008)。「轉吧！轉吧！七彩萬花筒」。中華民國第四十九屆中小學科學展覽會國小組作品

陳宏彬（2005）。光學薄膜之原理與應用。精儀中心簡訊。67期：中華民國94年2月28日出版

太陽東昇西落的位置及方位會變化（中央氣象局）

取自<http://www.cwb.gov.tw/V7/knowledge/encyclopedia/as069.htm>

【評語】 080823

為解決教室東西晒的問題研發利用偏光片減光，課題與生活息息相關加入紅外線遙控定時與感光模組等功能，以及膠膜形成色彩是個非常有創意，完成度高，且與生活應用貼近的作品。