

# 中華民國第 51 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 物理科

**最佳創意獎**

080105

**暗藏私心的 3D 偏光視界**

學校名稱：臺北市北投區明德國民小學

作者： 小六 高翊賢 小六 傅丹謙	指導老師： 吳柏菱 楊世昌
-------------------------	---------------------

關鍵詞：3D 偏光眼鏡、LED、膠帶旋光性

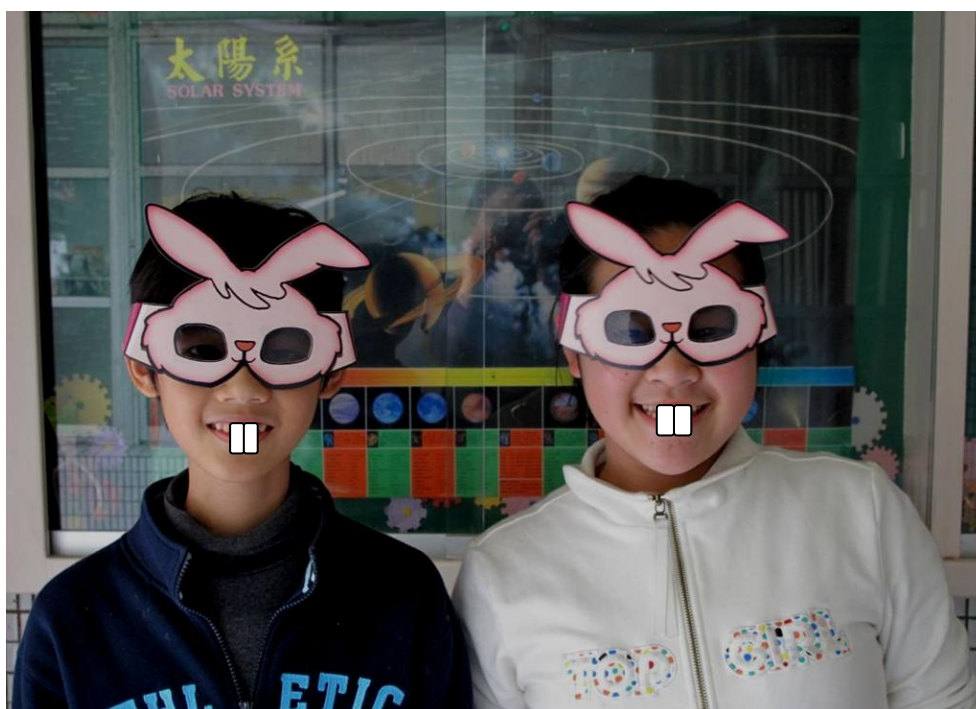
## 摘 要

我們的研究是針對現今流行的 3D 眼鏡(偏光片)進行相關探究，進而瞭解各種光穿透偏光片後的變化情形。研究結果發現：光源起始亮度相同的條件下，各色光 LED 穿透一片偏光片的透光率相近；而穿透兩片疊合的偏光片時，透光率會隨著偏光片疊合角度改變而有規律的起伏變化，紅光的透光率較藍光和綠光約高 10%，但是藍光的透光率起伏差異最大，紅光的起伏差異最小。

若是在兩片偏光片中間黏貼一層角度不同的透明膠帶，並將偏光片疊合成不同角度時，各色光的透光率起伏差異和最大值皆會產生程度不同但有規律的角度位移現象，表示膠帶具有旋光性。若改變透明膠帶黏貼的層數，透光率的起伏差異和最大值的疊合角度也會改變，但是沒有明顯的規律性。

## 壹、研究動機

校外教學時，我們到天文館看了一部 3D 電影，後來又在電視廣告中發現，現在也很流行 3D 電視，引發我們很好奇 3D 眼鏡上像黑色透明片的東西是什麼？於是上網找了資料才知道這是偏光片，而且我們又在科教館的國小組歷屆科展優勝作品中，發現了一件有關偏光片的作品，這個作品是在探討兩片偏光片中間貼膠帶後的變色效果，並製作成萬花筒，我們覺得十分有趣，於是模仿他們做了一些小實驗，在實驗過程中，我們聯想到了一個問題，大部分的實驗都是用白光或是紅色雷射光進行實驗，就造成了色彩的變化，那麼不同的光源或色光穿過偏光片後會有什麼變化差異？兩片偏光片轉不同角度，對各種色光的穿透影響有沒有差異？所以開始了這次的研究，希望對偏光片的特性有更多瞭解。



## 貳、研究目的

- 一、 探討偏光片對不同種類白光透光率的影響
- 二、 探討偏光片對不同色光透光率的影響
- 三、 探討改變兩片偏光片光柵疊合角度對不同色光透光率的影響
- 四、 探討在兩片偏光片中間黏貼透明膠帶，改變光柵疊合角度對不同色光透光率的影響
- 五、 探討在偏光片中間黏貼不同層數透明膠帶，改變光柵疊合角度對不同色光透光率的影響

## 參、文獻探討

### 一、光與偏光片的特性

#### 文獻資料整理：

1. 光是一種電磁波，也是一種橫波，即光波的振動方向垂直於它的前進方向。光波的振動方向也稱為偏振，每一類偏振光都有其不一樣的特性。一般光波的振動並不會局限在某些特定方向，就像太陽光，它的偏振是凌亂分布的。
2. 偏光片就像一片柵欄，只允許與柵欄平行的光波通過。因為只有與柵欄平行的光可通過，因此經過偏光片的作用後，光波的偏振就能成為單一方向，而且通過偏光片的光會變弱。兩片偏光片的偏光軸平行時，光波可以通過，垂直時光波不能通過。因此當兩偏光片垂直時，光會變暗。
3. 購買的產品規格內含：

尺寸：50mm x 50mm	厚度：0.18mm	顏色：灰色(neutral gray)
光學類型：穿透型	方向性：直線	波長：400~700nm
透光率：38%(單體)；30.0%(平行)；0.0045%(直交)	偏光度：99.985%	
耐久性：60°C / 90%濕度 / 750 小時 試驗通過		

#### 文獻閱讀啟發：

1. 因為光的振動方向是凌亂，而偏光片只會讓單一振動方向的光穿透，所以透光率便不會是百分之百，規格說明中的「單體」，應該是指單片偏光片的透光率，「平行」是指兩片偏光片的光柵平行，「直交」則是兩片偏光片的光柵成 90 度垂直。
2. 但是對於透光率的測量技術，我們參考之前學長姐研究的技術，想到兩種方法：一個是利用照度計直接測量，一個則是運用太陽光電板將光能轉換成電能後進行比較，若是選擇較強的光源，以照度計測量較為方便，但是如果選擇較弱的光源進行實驗，則以太陽光電板測量較為精密。
3. 波長 400~700nm 是可見光的範圍，所以偏光片主要是應用於可見光的比較，根據之前相關科展文獻，大多數的研究都只選用單一種雷射光，沒有比較不同可見色光的差異，所以針對光的穿透現象，我們覺得可以嘗試比較各色光的穿透差異。

### 二、LED(發光二極體)

#### 文獻資料整理：

1. 發光二極體晶粒的組成材料是半導體，其中含有帶正電的電洞比率較高的稱為 P 型半導體，含有帶負電的電子比率較高的稱為 N 型半導體。P 型半導體與 N 型半導體相接處的界面稱作 PN 界面。在發光二極體的正負極兩端施予電壓，當電流通過時，會使得電子與電洞結合，結合的能量便以光的形式發出，依使用材料的能階高低決定發光的波長，因此就會發出不同顏色的光。
2. 發光二極體的發光型態屬於冷光，是利用電子電洞對復合發光，不像傳統燈泡需要把燈絲加溫到很高的溫度而發光，因此不會有太多的能源消耗。

3. LED 燈發光效率高、反應時間快、使用壽命長、不易破損、耗電量少、環保無汞、體積小、可應用在低溫環境、光源具方向性、造成光害少、色域豐富。

#### 文獻閱讀啟發：

1. 依據文獻，因為 LED 燈是以使用材料來決定波長，不同波長會發出不同顏色的光，所以我們選用「單一色光」的 LED 燈來做實驗，也就可以瞭解各種波長色光對穿透偏光片的特性差異。
2. LED 燈的發光原理不是將燈絲加熱發光，因此光源較穩定，不會發熱，所以測量到的數據應該比較穩定一致。

### 三、旋光性

#### 文獻資料整理：

1. 石英的C結晶軸在光學上稱為「光軸」。當一束「平面偏光」沿著石英C結晶軸的方向進入石英時，這束「平面偏光」會分裂成為兩組「圓偏光」。這兩組圓偏光在石英晶體內部前進時，一組的偏振向量以順時鐘方向旋轉，另一組則以逆時鐘的方向旋轉。當到達光軸的另一端時，這兩組圓偏光又會組合在一起成為一道「平面偏光」離開石英晶體。由於左旋光與右旋光在晶體內的速度不一樣，因此出來的平面偏光與原先進入石英晶體的平面偏光，兩者的偏振方向有了不同角度的差異。如果不管光束在石英晶體內分裂的現象，我們看到的是平面偏光在進入石英晶體前與離開石英晶體後，它的「偏振方向」被旋轉了，這就是所謂的晶體旋光特性。
2. 具有旋光特性的晶體有一個共同的特點，就是它們的結構中一定缺少對稱中心。除了石英外，尚有少數晶體具有旋光特性，比如我們每天吃的糖（蔗糖），以及辰砂、羅雪鹽（Rochelle salt）、氯酸鈉等，這些晶體因為不具對稱中心，都有左型與右型兩種結晶。
3. 每一種光通過旋光晶體後，偏振光角度都會旋轉，但旋轉的角度不同，若晶體越厚的旋轉角度就越大，波長越長的旋轉的角度就越小。

#### 文獻閱讀啟發：

1. 因此，偏振方向凌亂的光源，通過第一片偏光片時，會只剩單一偏振方向的光，也就是平面偏光，再經過中間夾的膠帶，也就是旋光晶體，便會將這個平面偏光旋轉一個角度，再通過下面的偏光片時，又要通過另一個單一偏振方向的光柵，所以光的亮度就會改變。因此，我們可以根據各色光的透光率變化來推測各色光在通過膠帶(旋光晶體)時的可能狀況，而不同色光的變化如果不一致，就會產生不同的色光組合變化。

## 肆、研究器材

各實驗自行組裝的測量儀器請參閱研究過程各實驗的說明。

		
<p>5x5 cm<sup>2</sup> 偏光片</p>	<p>6x6.5 cm<sup>2</sup> 太陽光電板</p>	<p>三用電表</p>
		
<p>60w 白熾燈</p>	<p>42w(→60w)鹵素燈</p>	<p>12w(→60w)省電燈泡(白光)</p>
		
<p>白色光 LED</p>	<p>紅、綠、藍三色光 LED</p>	<p>紅光與綠光雷射筆</p>
		<p>圓規、量角器、絕緣膠帶、 剪刀、切割墊、熱熔膠槍、 油性筆、電線</p>
<p>中空手電筒</p>	<p>附開關電池組</p>	<p>其他組裝實驗工具</p>

## 伍、研究過程

### 一、決定研究架構

決定我們的研究對象是 3D 眼鏡的鏡片後，我們就開始查詢一些相關資料，瞭解偏光片的原理以及別人做過哪些研究。在閱讀文獻時，我們發現大多數的研究都是在說偏光片中夾膠帶後會出現變色的效果，相關的做法有的製成萬花筒，有的製成蝴蝶名片，我們就跟著試做，發現顏色變化真的很有趣，但是我們做研究不能只是模仿，所以我們在初步測試和討論的階段，就發現別的研究幾乎都只有使用一種光源(雷射光)做實驗，這讓我們想到如果改變光源，可能會有不一樣的變化，而且用 3D 眼鏡看電視時，也是讓光穿透偏光片進入我們的眼睛，所以我們就決定先研究各種光源和各種色光穿透偏光片後的變化，進一步再研究偏光片中間加上膠帶來看這種色光，會不會有差別？因此我們就確定了我們的研究架構(在下一頁)。

### 二、進行實驗設計

確定以光和偏光片的關係做為研究後，我們思考光有哪些種類可以選擇？偏光片又可以如何調整組合？再兩者搭配，就可以變出很多個要做的實驗，然後我們就一個一個按照自然課老師教我們的實驗假設驗證方法設計實驗。

### 三、製作實驗儀器

在設計實驗時，我們一邊想操作步驟，一邊就製作測量儀器，我們參考了幾份文獻裡的製作方式，瞭解他們的設計原理，再用我們學校現成有的材料或是到家裡找尋一些罐子等，後來還拆掉一個手電筒來做我們的儀器，為了操作更方便且測量精確，我們會一直換材料或修改固定儀器的方法。然後又請老師到光華商場幫我們買了各種顏色的 LED 燈。

### 四、開始實驗並蒐集數據畫出關係圖

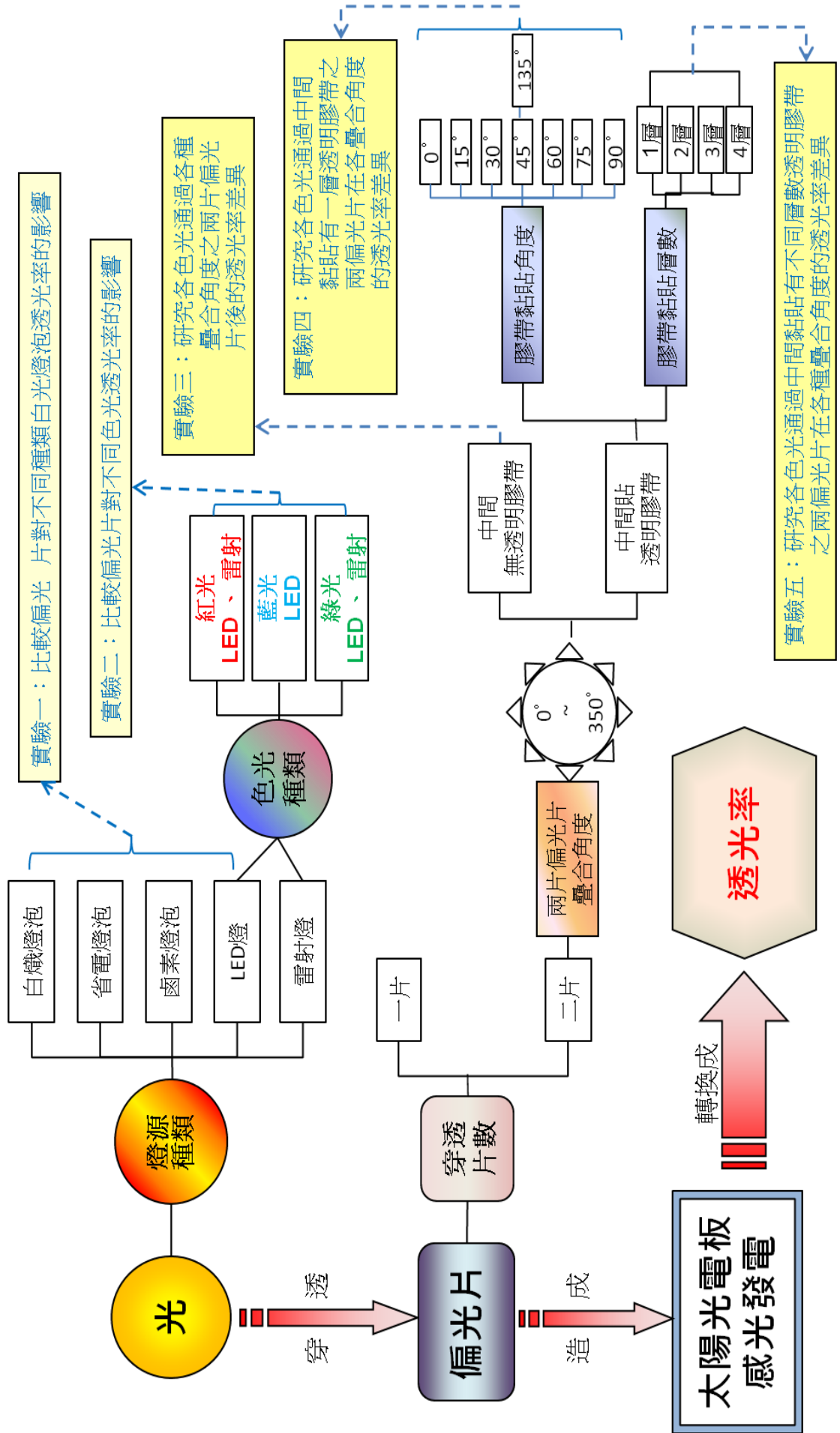
每次實驗儀器製作好，我們就會立刻測試，剛開始是在筆記本上畫記錄表，後來為了立刻看出變化是否有規律，我們就直接把測量到的數據輸入 EXCEL 計算和畫圖，測量的人和記錄的人要相互確認是否記錄完整，這樣也可以讓我們比較容易發現儀器出了問題或是我們少做了某個角度。每一個實驗我們通常都會做三次，看看得到的結果是不是都一樣或是把數據平均後再畫圖。

### 五、根據圖表分析實驗結果

實驗完後，我們就會根據圖表做比較和討論並寫完實驗報告，如果分析時覺得有不合理或不確定的地方，我們會馬上檢查或重做來確認。

以下便將我們的研究架構以及設計的五個實驗和實驗結果做詳細的介紹：

# 研究架構圖



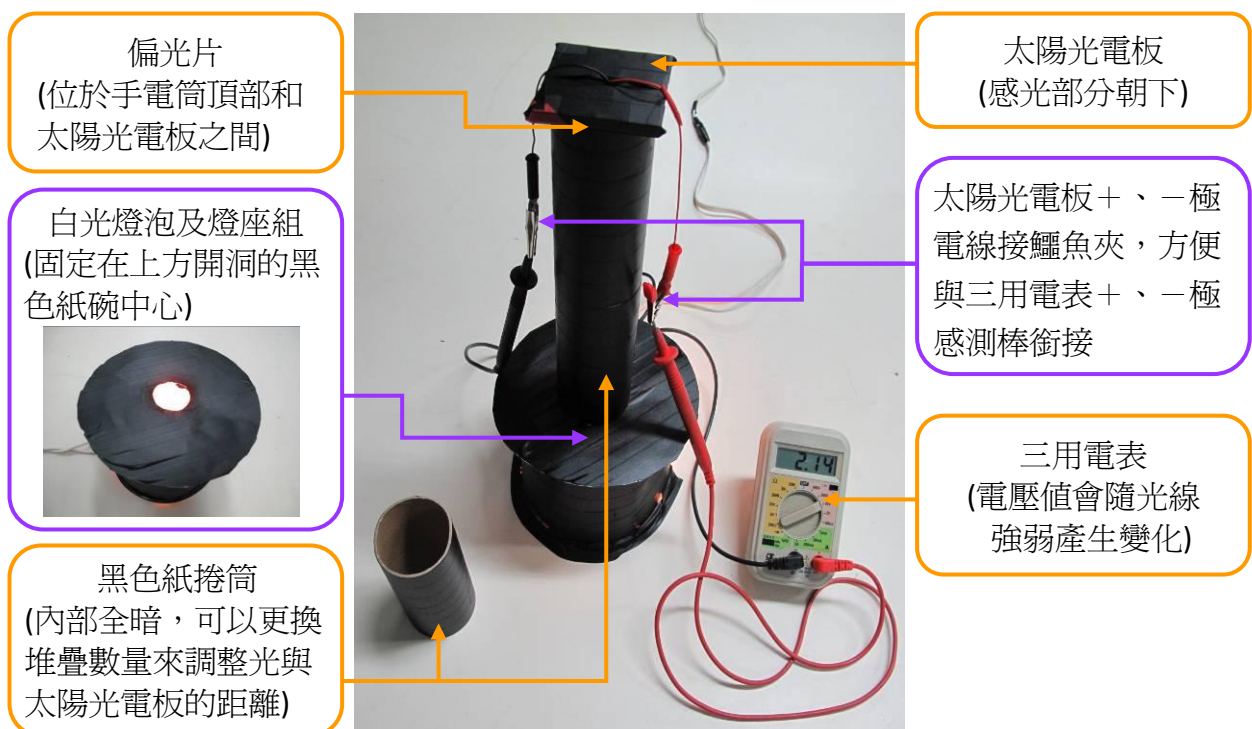


## 實驗一 比較偏光片對不同種類白光透光率的影響

- 一、**實驗假設**：我們認為各種白光穿過偏光片後，光的亮度都會減弱，但是光透光率會不同。
- 二、**實驗依據**：在購買偏光片的網站上看到偏光片規格介紹說單體透光率只有 38%，並未強調是何種光源，加上文獻中提到太陽光、日光燈、LED 燈等各種光源的發光原理或特性都不相同，所以偏光片阻擋各種光穿透的程度應該也會不同。
- 三、**變因控制**：
1. 操縱變因：不同種類的白光光源（白熾燈、省電燈泡、鹵素燈、LED 燈）
  2. 不變變因：
    - 器材：太陽光電板、三用電表
    - 環境：測量地點、測量時光線、擺放位置等要相同。
    - 操作：偏光片擺放方法、操作方式等要相同、  
調整燈源與太陽光電板之間的距離使原始感光電壓相同。
  3. 應變變因：透光率(以測量太陽光電板照光產生的電壓大小代表光線強度)

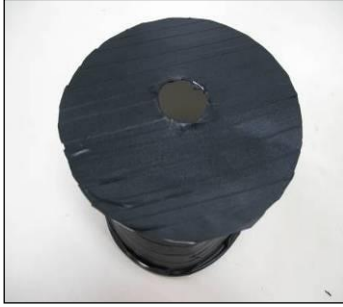
### 四、實驗器材：

器材名稱	白熾燈泡 60W	省電燈泡 12W(→60W)	鹵素燈 42W(→60W)	白光 LED
器材數量	1 個	1 個	1 個	1 個
器材名稱	燈泡電源座	偏光片	太陽光電板	三用電表
器材數量	1 個	1 片	1 個	1 個
器材名稱	紙碗	圓形紙捲筒	黑膠帶	熱熔膠
器材數量	1 個	5 個	1 捲	1 支



## 五、實驗步驟：

1. 準備一個周圍包上黑色膠帶的圓型紙碗，再將紙碗上面黏一張中間有洞的圓形黑色卡紙，側邊底部挖洞讓電源線穿過。



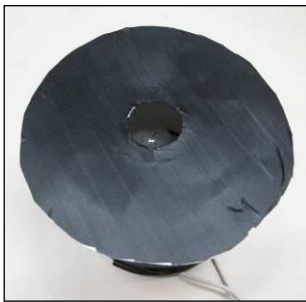
2. 將一個黑色紙捲筒對齊圓型卡紙中心並黏緊。



3. 在太陽光電板上黏有半徑 1 cm 圓形中空的黑膠帶，並接上三用電表。



4. 將不同種類燈泡裝入燈座，固定在黑碗下方。



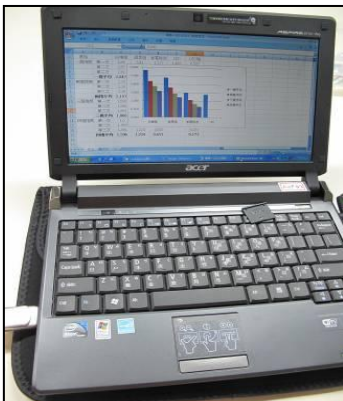
5. 將太陽光電板蓋在紙捲筒上方，測量光的強度(電壓值)並記錄。



6. 依序增加捲筒數量至 4 個，並記錄四種光的強度(電壓值)變化。



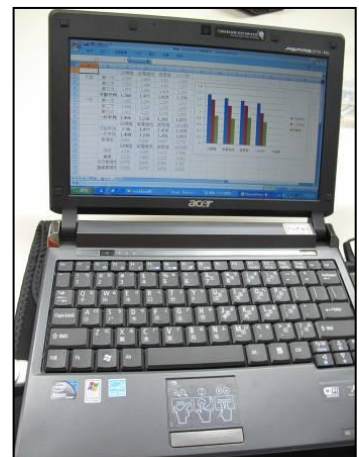
7. 將四種燈光在不同距離的強度做比較。挑選出各種光出現相近電壓時所對應的捲筒數量(高度)。



8. 將各種燈光依選定的捲筒高度做調整，測量每種燈隔了一片偏光片後的強度(電壓)變化。



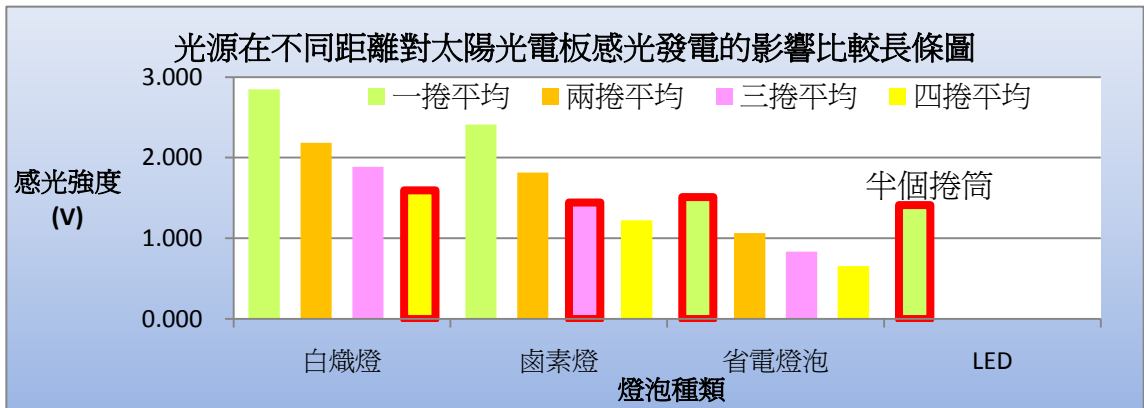
9. 將測量到的數值輸入電腦，進行四種光的透光率比較分析。



六、實驗紀錄：

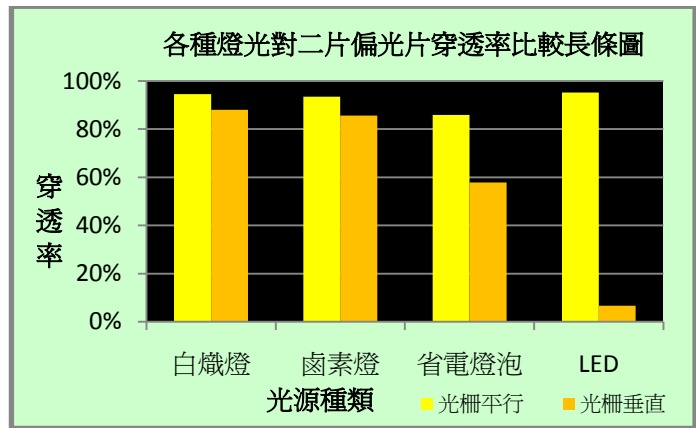
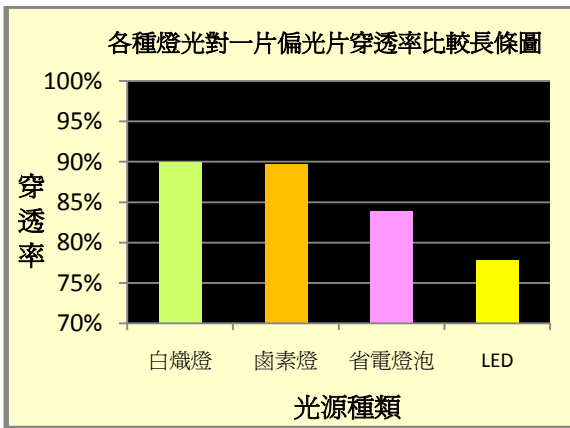
1. 測試不同燈泡在不同距離的光線強度，挑選適當的捲筒數量(燈與太陽光電板的距離)使各種光源的感光強度差不多。**黃色標示**即是選擇的結果。

感光強度變化		白熾燈	鹵素燈	省電燈泡	LED 燈
一個捲筒 (LED 燈為 半個捲筒)	第一次	2.880	2.410	1.517	1.416
	第二次	2.850	2.410	1.512	1.412
	第三次	2.810	2.410	1.503	1.412
	平均	2.847	2.410	1.511	1.413
兩個捲筒	第一次	2.180	1.821	1.069	
	第二次	2.180	1.817	1.066	
	第三次	2.190	1.810	1.063	
	平均	2.183	1.816	1.066	
三個捲筒	第一次	1.898	1.443	0.835	
	第二次	1.886	1.446	0.833	
	第三次	1.881	1.446	0.833	
	平均	1.888	1.445	0.834	
四個捲筒	第一次	1.600	1.224	0.657	
	第二次	1.597	1.225	0.659	
	第三次	1.591	1.224	0.655	
	平均	1.596	1.224	0.657	



2. 測試不同燈泡在隔了一片偏光片和兩片光柵角度不同(0°和 90°)偏光片的光透光率。

燈光種類	白熾燈	鹵素燈	省電燈泡	白光 LED
原本光源強度(V)	1.477	1.428	1.560	1.379
隔 1 片偏光片的感光強度(V)	1.238	1.281	1.404	1.073
透光率	90%	90%	84%	78%
隔 2 片光柵垂直偏光片的感光強度(V)	0.717	1.096	1.235	0.072
透光率	88%	86%	58%	7%
隔 2 片光柵平行偏光片的感光強度(V)	1.063	1.198	1.327	1.022
透光率	95%	94%	86%	95%



七、實驗結果：我們的假設得到支持，各種白光穿過偏光片後，光的亮度都會減弱，但穿透一片和穿透兩片偏光片的透光率有明顯差異，說明如下：

1. 穿過一片偏光片的透光率由高到低排列如下：

白熾燈 90% = 鹵素燈 90% > 省電燈泡 84% > LED 燈 78%。

2. 穿過兩片偏光片的透光率由高到低排列如下：

光柵平行：LED 燈 95% = 白熾燈 95% = 鹵素燈 94% > 省電燈泡 86%

光柵垂直：白熾燈 88% = 鹵素燈 86% > 省電燈泡 58% > LED 燈 7%

## 八、實驗討論：

(一) 實驗結果分析：

根據我們的實驗結果，每種燈穿過偏光片後，光的亮度都會減弱，但透光率差異很大，可能是因為白熾燈、鹵素燈的光像太陽光，有各種偏振方向的波、較多較凌亂，而 LED 燈的光波偏振方向種類較少。因為根據文獻我們知道：光的光波偏振方向越多，穿過偏光片的分量加總就越大，所以即使是光柵垂直時，透光率還是很高，例如白熾燈、鹵素燈在光柵平行和垂直的差異較小，很可能就是偏振方向多造成的，而光的光波偏振方向越少，穿過偏光片的分量加總就越小，所以在光柵平行時，透光率就非常高，而垂直時，透光率就明顯很低，例如雷射光就是只有單一偏振方向的光，因此我們推測 LED 燈比較接近雷射光的偏振波分佈特性，光的偏振波方向數量較少。

(二) 變因控制檢討：

1. 為了確實做到變因控制，讓各種燈泡公平的比較，我們盡可能挑選瓦數相等的燈泡(標示上說明換算後都是 60W)，除了 LED 燈沒有標示瓦數，但我們也使用強光形的 LED 燈。



白熾燈(60w)



鹵素燈(42→60w)



省電燈泡(12→60w)

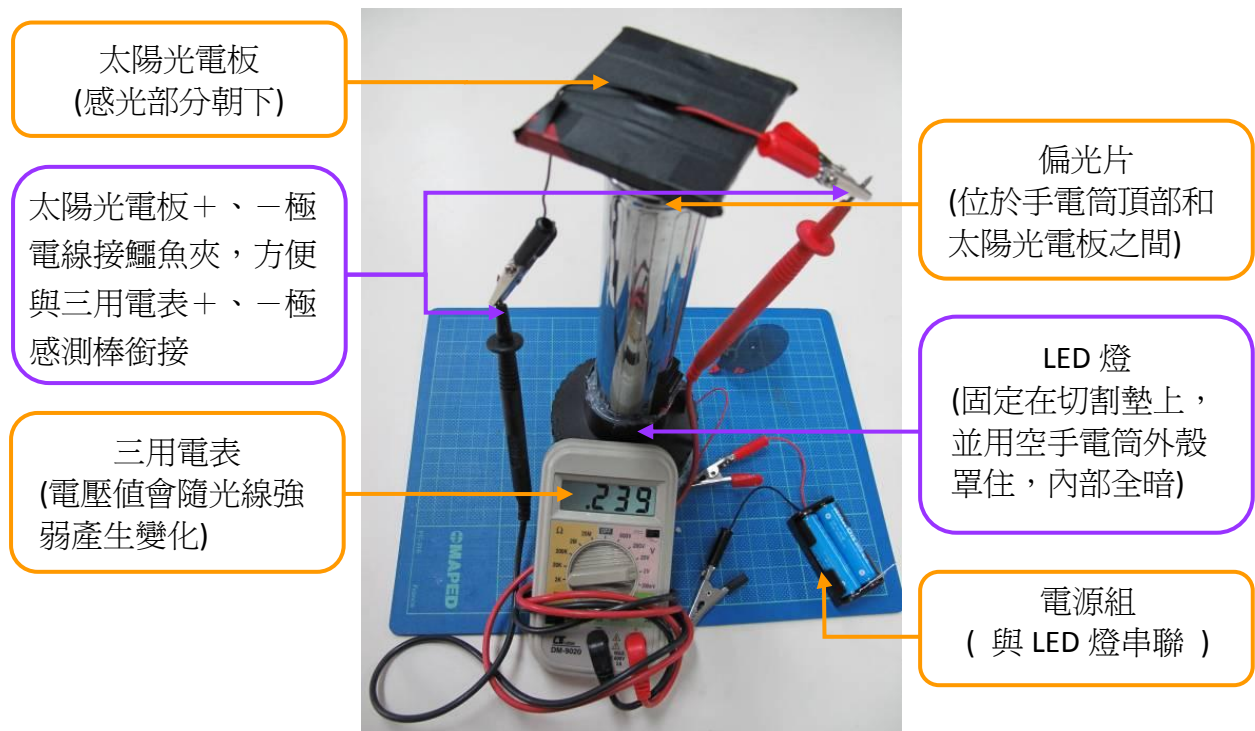
## 實驗二 比較偏光片對不同色光透光率的影響

- 一、**實驗假設**：我們認為在光源種類相同的條件下(都是 LED 燈或都是雷射光)，各種色光穿過偏光片後，所有色光的光透光率都相同。
- 二、**實驗依據**：因為都是相同的光源種類(LED 燈)，發光原理相同，所以光波的特性應該也差不多，所以我們推測各色光穿過偏光片後，光透光率(光線減弱的比例)應該差不多。
- 三、**變因控制**：
4. 操縱變因：發出不同色光的 LED 光源
  5. 不變變因：
    - 器材：燈的種類(LED)、電池電量、太陽光電板規格、三用電表規格。
    - 環境：測量地點、測量時環境光線(暗箱內全暗)。
    - 操作：光源照射角度、光源與偏光片及太陽光電板的距離、偏光片擺放角度。
  6. 應變變因：透光率

### 四、實驗器材：

器材名稱	各色 LED 燈	紅綠雷射筆	電池	三用電表
器材數量	5 個	2 支	2 顆(每組)	1 個
器材名稱	偏光片	太陽光電板	空手電筒	
器材數量	2 片	1 個	1 個	

### 自製測量儀器：



五、實驗步驟：各色光皆按照下列步驟進行實驗觀測記錄。

<p>1. 將 LED 燈接上電池，並直立固定在切割墊上</p> 	<p>2. 在太陽光電板上黏有半徑 1 cm 圓形中空的黑膠帶</p> 	<p>3. 將手電筒拆開只剩空殼，形成筒狀的暗箱</p> 
<p>4. 將電筒罩住 LED 燈，使燈位於中間，並將電筒固定</p> 	<p>5. 將太陽光電板接上三用電表</p> 	<p>6. 將太陽光電板面朝下放在手電筒上方開口感光</p> 
<p>7. 開啓三用電表，調至適當範圍測量電壓</p> 	<p>8. 將太陽光電板旋轉不同角度，重複步驟 7 三次測量電壓，確認測量準確度</p> 	<p>9. 取下太陽光電板，將偏光片固定在手電筒上方</p> 
<p>10. 將太陽光電板放在偏光片上方開口感光</p> 	<p>11. 將偏光片旋轉三個不同角度，重複步驟 10 和 11，測量電壓是否一致</p> 	

## 六、實驗紀錄：

1. 各種 LED 燈色光強度比較記錄 (註：光源距離太陽光電板 20 cm)

光電板 電壓值(V)	LED 燈色光種類		
	紅光	綠光	藍光
平均	0.310	0.565	0.809

光電板 電壓值(V)	紅色光 LED 燈種類		
	小顆 (直徑 0.25cm)	中顆 (直徑 0.65cm)	大顆 (直徑 0.85cm)
平均	0.349	0.456	0.703

註：LED 亮度和讓太陽光電板的感光

電壓值會受電池電量的影響而有很大的差異，所以上列數據只是用於比較，並不是絕對的定值。

2. 挑選適當 LED 大小，並調整到適當距離使各色光起始感光電壓值到一致時，各種色光 LED 穿過一片偏光片後，(9 次測量的平均)透光率比較分析表：

光電板 電壓值(V)	LED 燈色光種類		
	紅光	綠光	藍光
原始感光電壓(V)：A	0.589	0.588	0.587
穿透一片偏光片的感光電壓：B	0.376	0.377	0.369
透光率：(B/A)*100%	64%	64%	63%

3. 各種雷射光穿透一片偏光片的強度比較記錄 (註：光源距離太陽光電板 20 cm)

光電板 電壓值(V)	雷射光種類	不加偏光片	加一片偏光片		加一片偏光片	
		原始值	最大值	最小值	最大透光率	最小透光率
雷射光種類	紅光	0.680	0.600	0.021	88%	3%
	綠光	1.313	1.190	0.731	91%	56%

## 七、實驗結果：我們的假設沒有完全得到支持，在光源種類相同的條件下，

LED 的各色光穿過偏光片後，各色光的透光率都大致相同，大約都是 64%。

雷射的各色光穿過偏光片後，各色光的透光率並不相同，而且轉動偏光片，透光率還會明顯產生變化。

## 八、實驗討論：

### (一) 實驗結果分析：

- LED 各種色光的透光率都相同，表示各色光的偏振波分布應該是均勻的。雷射各種色光的透光率都不相同，而且轉動偏光片，透光率還會跟著改變，表示偏振波分布應該是單一的，如果與偏光片光柵平行，透光率就大；與偏光片光柵垂直，透光率就小。
- 不論是用眼睛觀察還是用光電板測量，各色光的起始感光電壓差異非常大，這可能和各波長色光本身的能量特性有關，藍光波長較短，而紅光波長較長。

### (二) 變因控制檢討：

- 實驗時，應該讓每種燈光的起始強度都一樣，再來比較透光率，這樣才能得到公平的比較。而且不同色光 LED 耗電的速度不同，所以測量時，要掌握測量的速度與順序，要先測耗電少的，避免電池的電量不同而影響測量的公平性。

### 實驗三 改變兩片偏光片光柵疊合角度對不同色光透光率的影響

一、實驗假設：我們推測每種色光通過不同疊合角度的兩片偏光片都會有固定的規律變化。

二、變因控制：

1. 操縱變因：偏光片旋轉的角度(兩片偏光片光柵疊合角度)


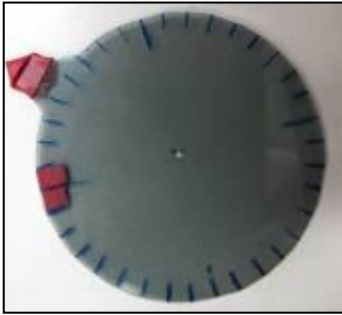
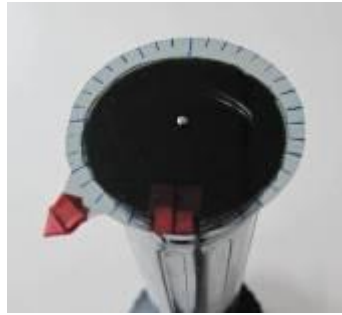
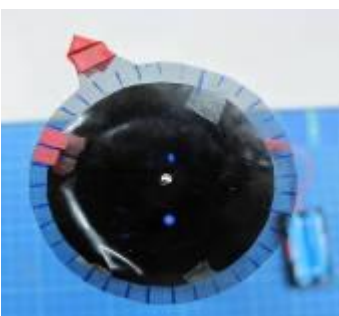


2. 不變變因：

- 器材：燈的種類(LED)、電池電量、太陽光電板規格、三用電表規格。
- 環境：測量地點、測量時環境光線(暗箱內全暗)、偏光片的表面清潔。
- 操作：光源照射角度、光源與偏光片及太陽光電板的距離。

3. 應變變因：透光率

三、實驗器材：與實驗二大致相同，但在手電筒和太陽光電板中間改放兩片偏光片，下方的固定黏著在手電筒上，上方的偏光片在感光區外的邊緣每  $10^\circ$  畫一個刻度。

四、實驗步驟：

<p>12.剪一片半徑 2.2 cm的偏光片固定黏著在空手電筒上，並在其中一邊的邊緣貼膠帶後標上記號。</p> 	<p>13.再剪一片半徑 2.5 cm的圓形偏光片(其中一邊凸出不要剪掉，方便旋轉)，邊緣每 <math>10^\circ</math> 標示一個刻度</p> 	<p>14.將兩片偏光片的圓心用大頭針固定在空手電筒上，以大頭針為圓心，上方的偏光片可以旋轉。</p> 
<p>15.旋轉上方偏光片，讓光線變到最暗，並用光電板測試電壓值是否最小，將最暗時的疊合角度設為 <math>0^\circ</math> (輸入時要轉換成 <math>+90^\circ</math>)</p> 	<p>16.以每 <math>10^\circ</math> 為調整間距，從 <math>0^\circ</math> 到 <math>360^\circ</math> 依序旋轉上方偏光片，並用太陽光電板測量光線強弱變化(三用電表的電壓變化)。</p> 	<p>17.每種色光都重複上面的步驟做三次，並同時將數據輸入 excel 計算平均後，用電腦畫出變化折線圖。</p> 



## 五、實驗紀錄：

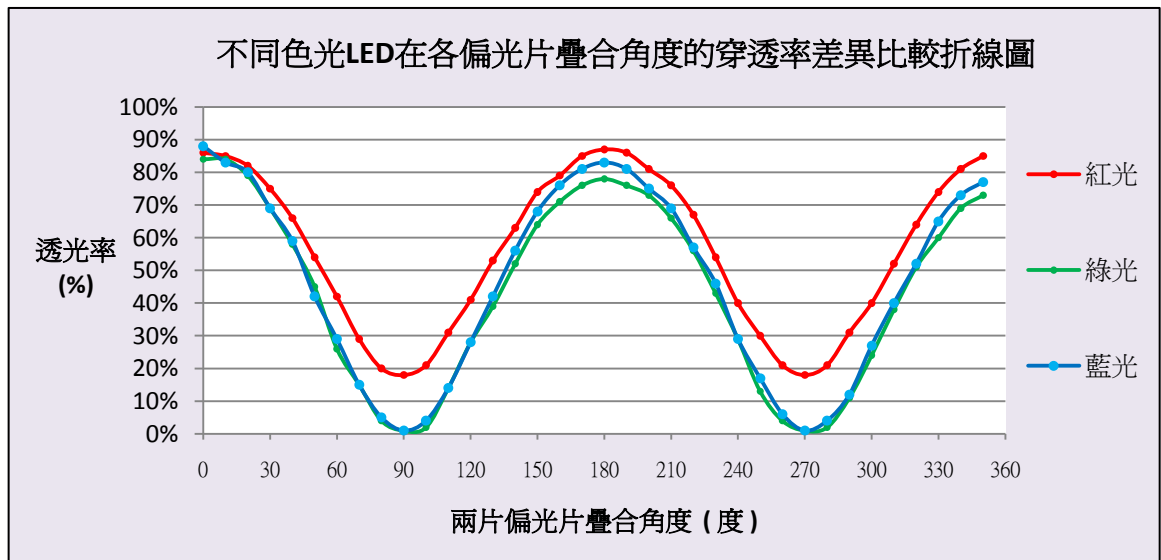
兩片偏光片 疊合角度	太陽光電板感光發電強度 (電壓單位：v)			各色光的透光率 (穿透兩片偏光片的電壓值/穿透一片偏光片的電壓值)		
	紅光	綠光	藍光	紅光	綠光	藍光
不加偏光片的 起始感光電壓	0.589	0.587	0.588			
穿透一片偏光片 的感光電壓	0.382	0.378	0.362	65%	64%	62%
0°	0.330	0.317	0.319	86%	84%	88%
10°	0.325	0.316	0.300	85%	84%	83%
20°	0.312	0.299	0.288	82%	79%	80%
30°	0.286	0.262	0.250	75%	69%	69%
40°	0.251	0.218	0.212	66%	58%	59%
50°	0.205	0.168	0.153	54%	45%	42%
60°	0.159	0.099	0.105	42%	26%	29%
70°	0.111	0.057	0.055	29%	15%	15%
80°	0.078	0.015	0.019	20%	4%	5%
90°	0.067	0.003	0.002	18%	1%	1%
100°	0.079	0.009	0.013	21%	2%	4%
110°	0.119	0.054	0.052	31%	14%	14%
120°	0.155	0.105	0.100	41%	28%	28%
130°	0.201	0.149	0.151	53%	39%	42%
140°	0.240	0.196	0.203	63%	52%	56%
150°	0.282	0.241	0.246	74%	64%	68%
160°	0.303	0.270	0.276	79%	71%	76%
170°	0.326	0.286	0.294	85%	76%	81%
180°	0.332	0.294	0.300	87%	78%	83%
190°	0.329	0.289	0.293	86%	76%	81%
200°	0.311	0.275	0.270	81%	73%	75%
210°	0.290	0.248	0.251	76%	66%	69%
220°	0.255	0.212	0.207	67%	56%	57%
230°	0.208	0.163	0.166	54%	43%	46%
240°	0.153	0.110	0.105	40%	29%	29%
250°	0.113	0.049	0.062	30%	13%	17%
260°	0.081	0.016	0.021	21%	4%	6%
270°	0.069	0.002	0.003	18%	1%	1%
280°	0.080	0.009	0.014	21%	2%	4%
290°	0.118	0.041	0.044	31%	11%	12%
300°	0.154	0.090	0.096	40%	24%	27%
310°	0.198	0.144	0.145	52%	38%	40%
320°	0.246	0.192	0.188	64%	51%	52%
330°	0.282	0.228	0.236	74%	60%	65%
340°	0.310	0.260	0.266	81%	69%	73%
350°	0.326	0.276	0.280	85%	73%	77%

## 六、實驗結果：

- 我們的假設得到支持，不管是何種色光，光穿透兩片不同疊合角度的偏光片的強弱會有固定的規律變化，從轉 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$ 的範圍內，分別在疊合角度 $0^{\circ}(360^{\circ})$ 及 $180^{\circ}$ (光柵平行)時穿透的光最強，而 $90^{\circ}$ 及 $270^{\circ}$ (光柵垂直)時穿透的光最弱。

光線穿透情形觀察	紅光	綠光	藍光
$0^{\circ}$ 或 $180^{\circ}$			
$90^{\circ}$ 或 $270^{\circ}$			

- 各色光穿透同一疊合角度時，藍光和綠光的透光率差異不明顯，紅光則明顯稍高一些。特別是雖然在疊合角度 $0^{\circ}$ 及 $180^{\circ}$ (光柵平行)時，三種色光的透光率大致都達到80%，但在 $90^{\circ}$ 及 $270^{\circ}$ (光柵垂直)時，綠光和藍光的透光率都接近0%，而紅光的透光率最低都還有18%。



## 七、實驗討論：

- 在旋轉偏光片時，雖然調好特定的角度，但是在蓋上太陽光電板時，還是會造成偏光片有小幅度的偏移，實驗初期，我們是用口紅膠(可以方便反覆拆黏)將偏光片暫時固定，但反覆拆黏並旋轉幾次後，偏光片表面就變得很髒很模糊、可能會影響透光率，所以我們又試了在外側貼膠帶，但膠帶如果緊繃，偏光片就會鼓起不密合，最後改成在兩片偏光片中間貼兩小段雙面膠，才把之前的缺點都排除，測試得到的數據也出現比較穩定和規律的變化。

使用雙面膠的偏光片

使用口紅膠的偏光片



## 實驗四 兩片偏光片中間夾不同角度膠帶對各色光 LED 透光率的影響

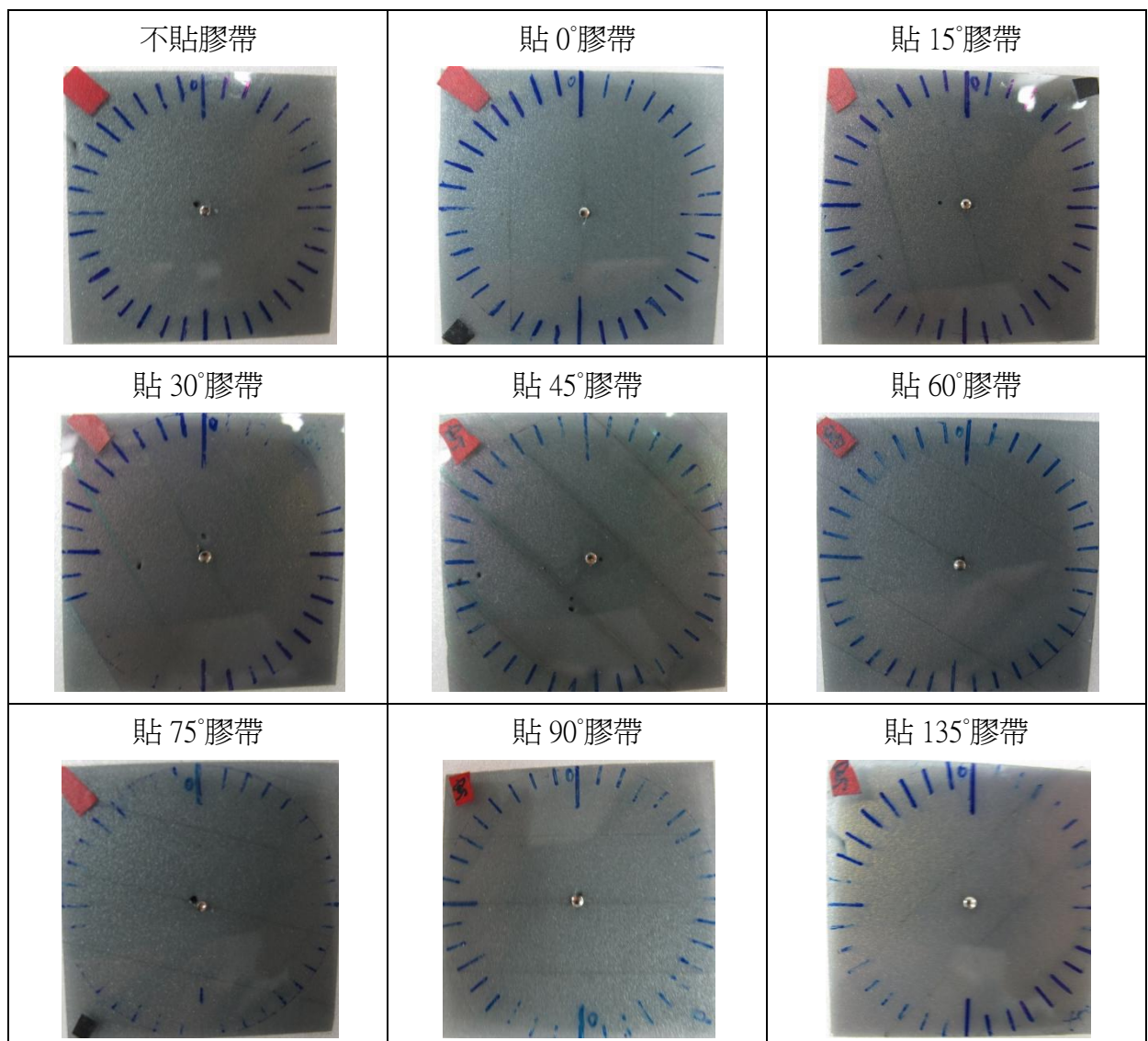
一、**實驗假設**：我們推測每種色光通過中間夾不同角度膠帶的兩片偏光片後，透光率還是會隨著偏光片疊合角度不同而有規律的波狀起伏變化，但是波形趨勢(透光率的最高點及最低點)所對應的疊合角度會有偏移。

二、**變因控制**：

1. 操縱變因：兩偏光片中間夾的膠帶角度(分別有  $0^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $75^\circ$ 、 $90^\circ$ )，以不貼膠帶的為對照組。
2. 不變變因：與實驗三同
3. 應變變因：透光率

三、**實驗器材**：與實驗三大致相同，但上方偏光片要貼不同角度的膠帶。

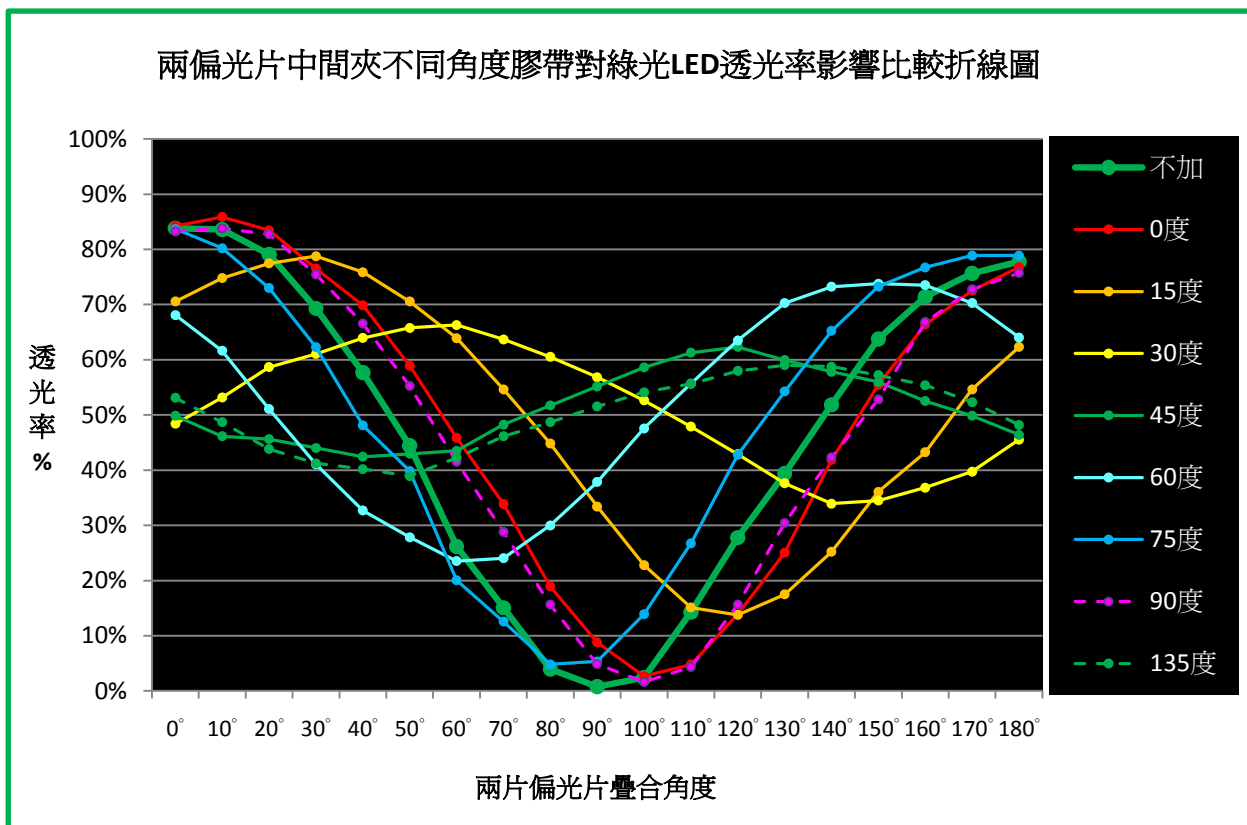
四、**實驗步驟**：與實驗三大致相同，但是必須再製作 7 片畫有刻度的偏光片，然後對齊圓心，黏貼各種角度的膠帶，成果如下。



## 五、實驗紀錄：

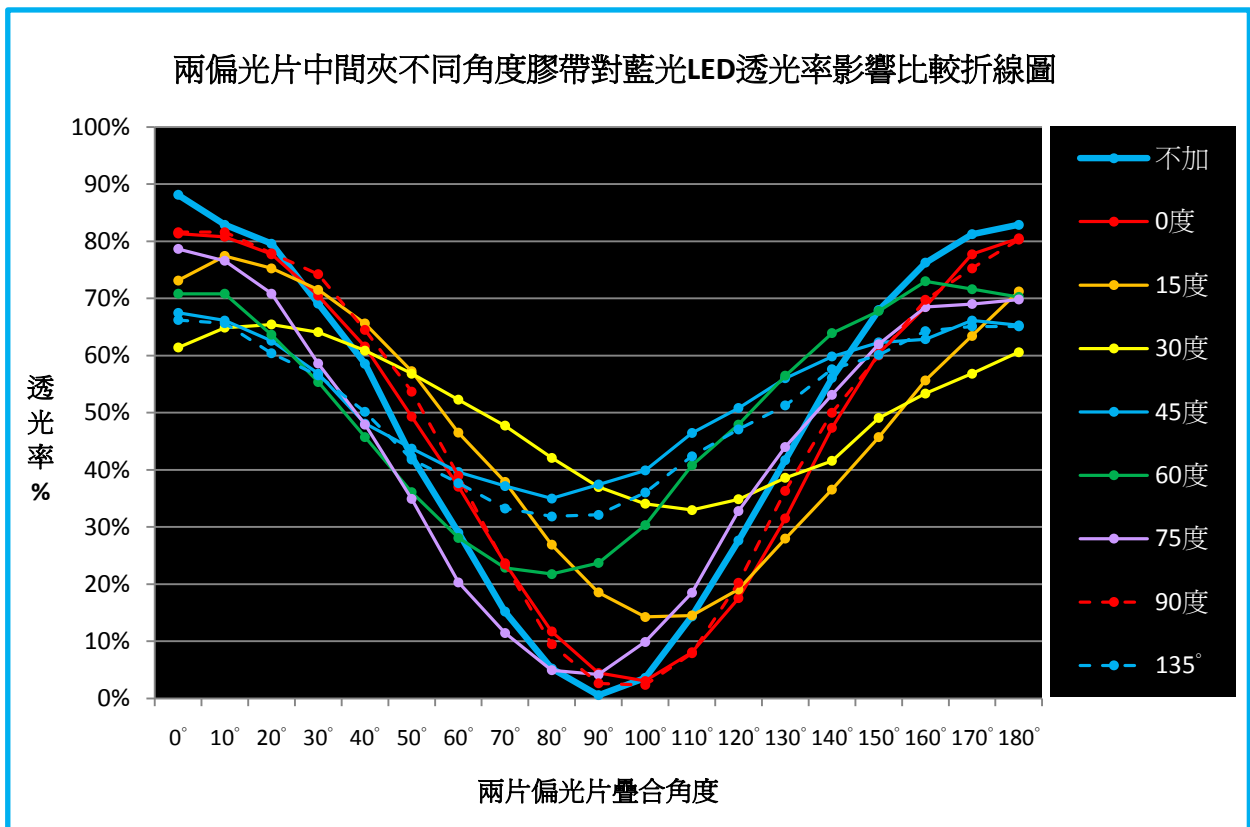
### 1. 綠光 LED 穿過夾不同角度膠帶的兩片偏光片的透光率

偏光片疊合角度	不加	0 度	15 度	30 度	45 度	60 度	75 度	90 度	135 度
0°	87%	84%	71%	48%	50%	68%	84%	83%	53%
10°	84%	86%	75%	53%	46%	62%	80%	84%	49%
20°	81%	83%	77%	59%	46%	51%	73%	83%	44%
30°	72%	77%	79%	61%	44%	41%	62%	75%	41%
40°	62%	70%	76%	64%	42%	33%	48%	67%	40%
50°	49%	59%	71%	66%	43%	28%	40%	55%	39%
60°	42%	46%	64%	66%	44%	24%	20%	42%	42%
70°	29%	34%	55%	64%	48%	24%	13%	29%	46%
80°	16%	19%	45%	61%	52%	30%	5%	16%	49%
90°	1%	9%	33%	57%	55%	38%	5%	5%	52%
100°	2%	3%	23%	53%	59%	48%	14%	2%	54%
110°	14%	5%	15%	48%	61%	56%	27%	4%	56%
120°	28%	14%	14%	43%	62%	64%	43%	16%	58%
130°	39%	25%	18%	38%	60%	70%	54%	30%	59%
140°	52%	42%	25%	34%	58%	73%	65%	42%	59%
150°	64%	55%	36%	34%	56%	74%	73%	53%	57%
160°	71%	66%	43%	37%	53%	74%	77%	67%	55%
170°	76%	73%	55%	40%	50%	70%	79%	73%	52%
180°	78%	77%	62%	46%	46%	64%	79%	76%	48%



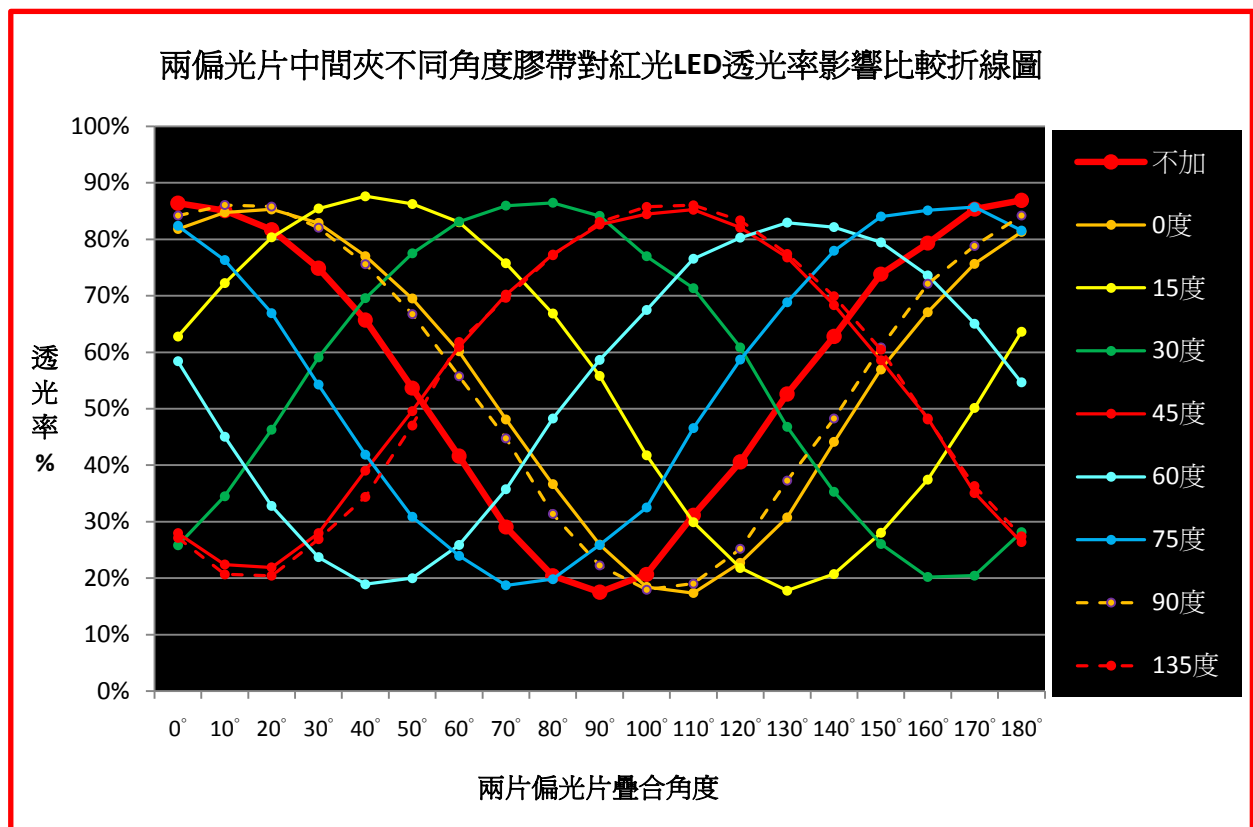
2. 藍光 LED 穿過夾不同角度膠帶的兩片偏光片的透光率

偏光片 疊合角度	不加	0度	15度	30度	45度	60度	75度	90度	135度
0°	88%	81%	73%	61%	67%	71%	79%	82%	66%
10°	83%	81%	77%	65%	66%	71%	77%	82%	66%
20°	80%	78%	75%	65%	63%	64%	71%	78%	60%
30°	69%	70%	72%	64%	57%	55%	59%	74%	57%
40°	59%	62%	66%	61%	48%	46%	48%	64%	50%
50°	42%	49%	57%	57%	44%	36%	35%	54%	42%
60°	29%	37%	47%	52%	40%	28%	20%	39%	38%
70°	15%	24%	38%	48%	37%	23%	11%	23%	33%
80°	5%	12%	27%	42%	35%	22%	5%	9%	32%
90°	1%	4%	19%	37%	37%	24%	4%	3%	32%
100°	4%	3%	14%	34%	40%	30%	10%	2%	36%
110°	14%	8%	15%	33%	46%	41%	18%	8%	42%
120°	28%	18%	19%	35%	51%	48%	33%	20%	47%
130°	42%	31%	28%	39%	56%	56%	44%	36%	51%
140°	56%	47%	37%	42%	60%	64%	53%	50%	58%
150°	68%	60%	46%	49%	62%	68%	62%	60%	60%
160°	76%	69%	56%	53%	63%	73%	68%	70%	64%
170°	81%	78%	63%	57%	66%	72%	69%	75%	65%
180°	83%	81%	71%	61%	65%	70%	70%	80%	65%



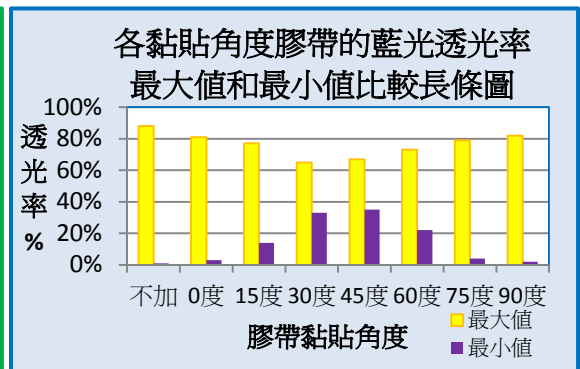
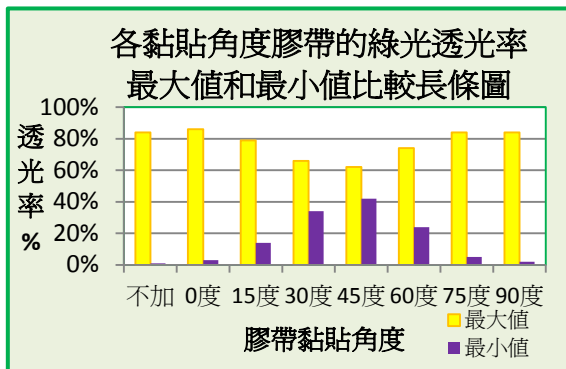
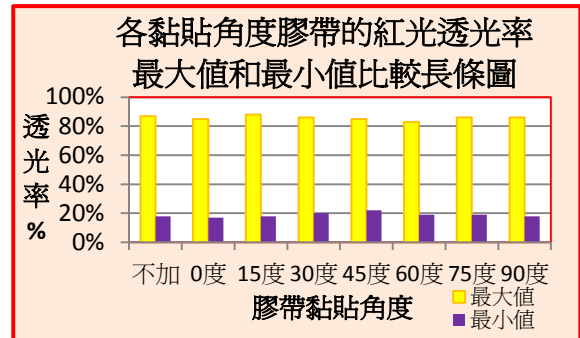
### 3. 紅光 LED 穿過夾不同角度膠帶的兩片偏光片的透光率

偏光片疊合角度	不加	0度	15度	30度	45度	60度	75度	90度	135度
0°	86%	82%	63%	26%	28%	58%	82%	84%	27%
10°	85%	85%	72%	35%	22%	45%	76%	86%	21%
20°	82%	85%	80%	46%	22%	33%	67%	86%	20%
30°	75%	83%	85%	59%	28%	24%	54%	82%	27%
40°	66%	77%	88%	70%	39%	19%	42%	76%	34%
50°	54%	70%	86%	77%	50%	20%	31%	67%	47%
60°	42%	60%	83%	83%	61%	26%	24%	56%	62%
70°	29%	48%	76%	86%	70%	36%	19%	45%	70%
80°	20%	37%	67%	86%	77%	48%	20%	31%	77%
90°	18%	26%	56%	84%	83%	59%	26%	22%	83%
100°	21%	18%	42%	77%	84%	67%	33%	18%	86%
110°	31%	17%	30%	71%	85%	77%	47%	19%	86%
120°	41%	23%	22%	61%	82%	80%	59%	25%	83%
130°	53%	31%	18%	47%	77%	83%	69%	37%	77%
140°	63%	44%	21%	35%	68%	82%	78%	48%	70%
150°	74%	57%	28%	26%	59%	79%	84%	61%	60%
160°	79%	67%	37%	20%	48%	74%	85%	72%	48%
170°	85%	76%	50%	20%	35%	65%	86%	79%	36%
180°	87%	81%	64%	28%	26%	55%	82%	84%	27%



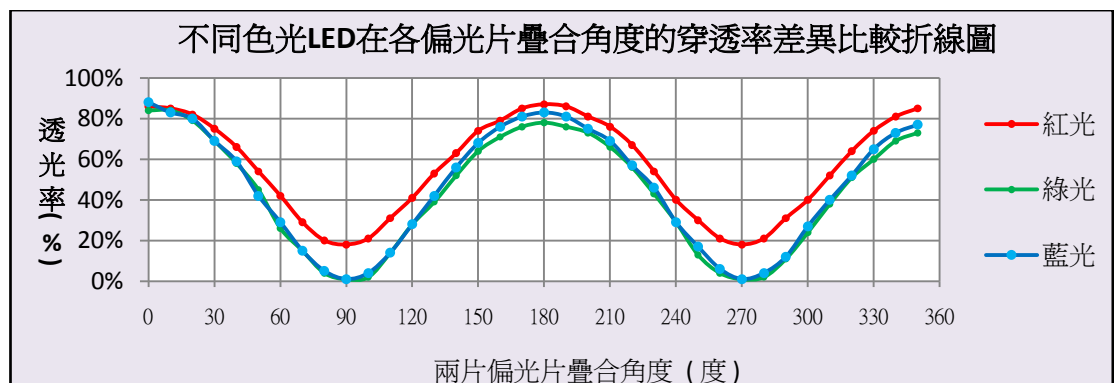
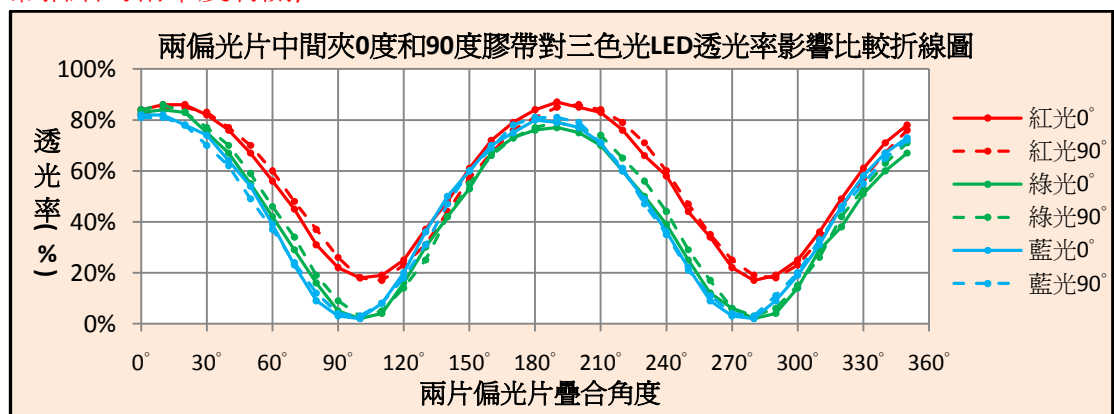
## 六、實驗結果：

- 我們的假設得到支持，每種色光通過兩偏光片中夾不同角度的膠帶後，透光率變化的折線圖波形大致都會產生規律的角度位移現象，也就是透光率最大值和最小值出現時的偏光片疊合角度都會有規律的變化，但每種色光的角度位移規律並不同。
- 實驗發現，綠光及藍光通過不同黏貼角度的膠帶後，透光率最大值或最小值會有明顯的變化，紅光的透光率變化則不明顯。

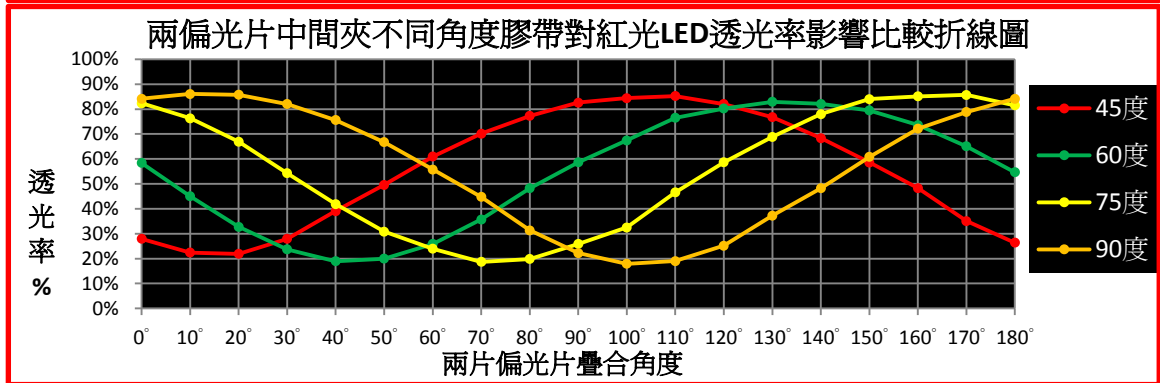
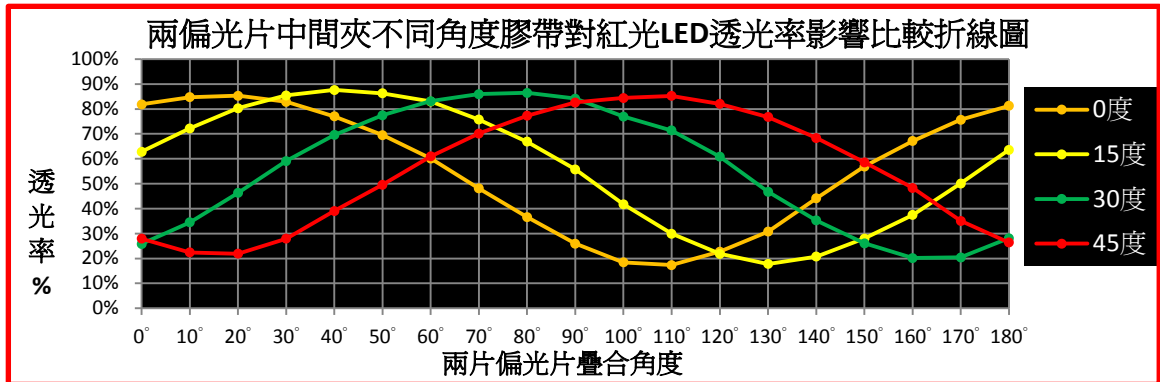


- 以下針對各色光的透光率變化規律作比較說明：

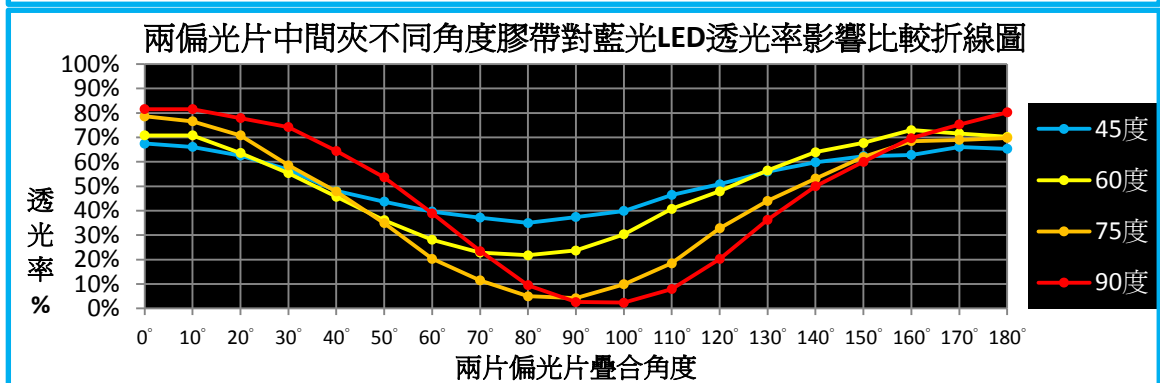
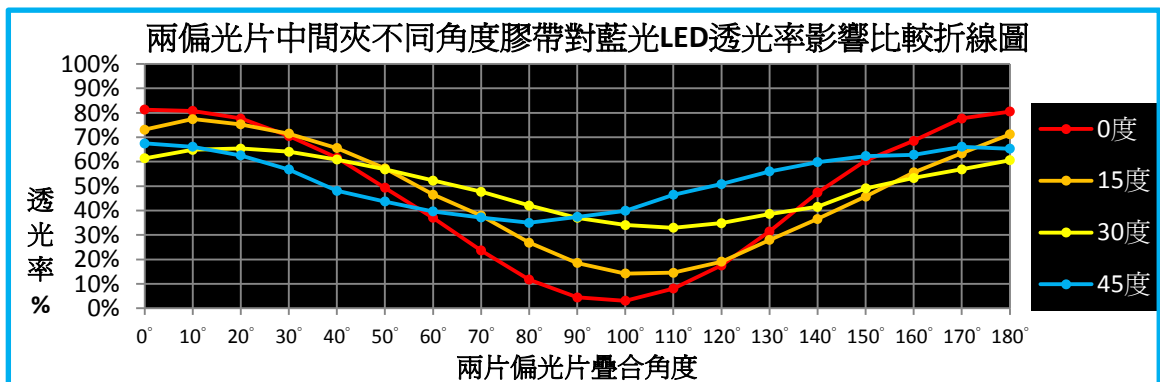
- (1) 各色光在兩偏光片夾 0 度及 90 度膠帶時，透光率的變化折線圖幾乎疊和，而且和不貼膠帶的透光率變化折線圖趨勢大致相同，但是都有大約 10° 的偏移(推測是和膠帶黏貼的精準度有關)。



- (2) 紅光夾不同角度(每種差異 15 度)膠帶時，透光率最高值 (或最低值)對應到的疊合角度會規律的向右位移約 30°。

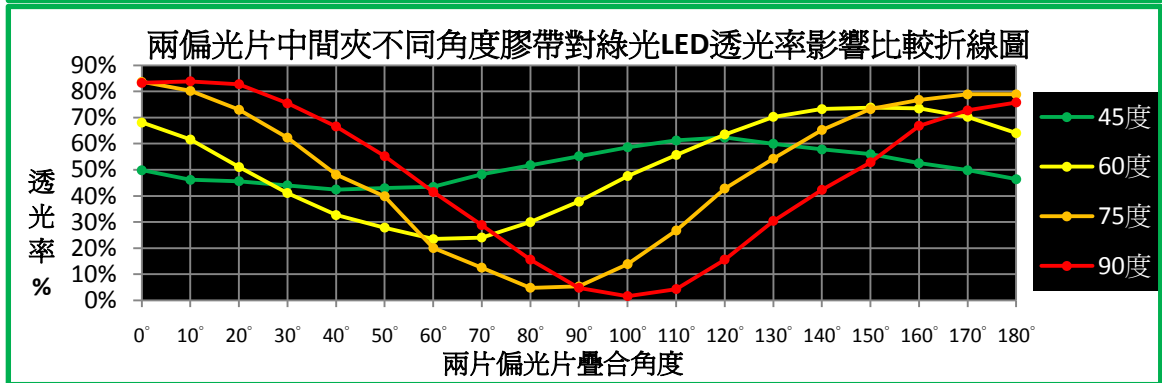
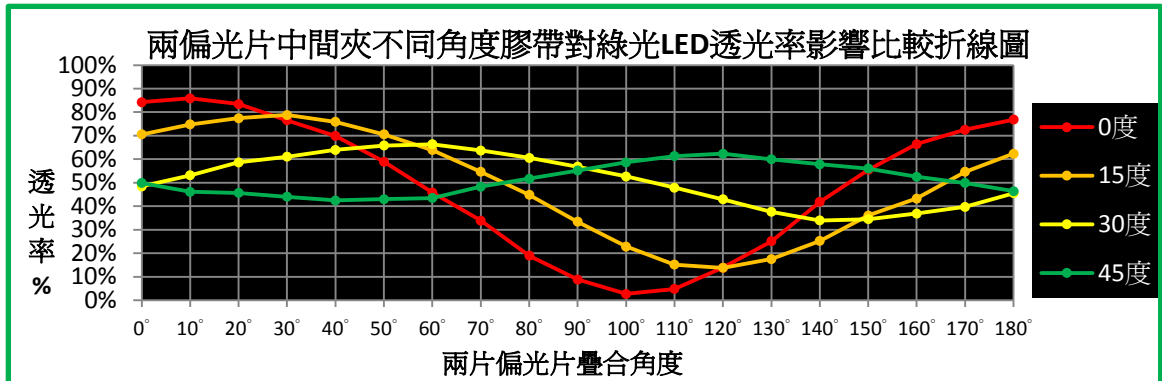


- (3) 藍光穿透夾不同角度膠帶的偏光片時，45 度膠帶的透光率起伏最平緩，往 0 度或 90 度調整的起伏越來越陡。
- (4) 藍光夾不同角度(每種差異 15 度)膠帶時，0 度到 45 度，透光率最高值 (或最低值)對應到的疊合角度會規律的向右位移約 10°；但到 45 度時又向左移回約 30°，從 60 度到 90 度，透光率最高值 (或最低值)對應到的疊合角度又會規律的向右移約 10°。

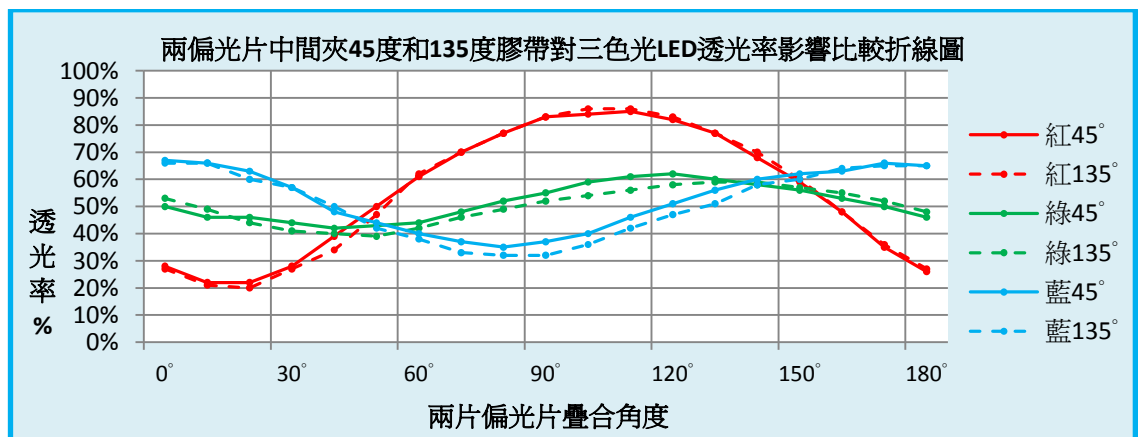




- (5) 綠光夾不同角度(每種差異 15 度)膠帶時，0 度到 45 度，透光率最高值 (或最低值) 對應到的疊合角度會規律的向右位移約 20°；但 30 度到 45 度的移動角度非常大，約向右移了 60°，從 60 度到 90 度，透光率最高值 (或最低值) 對應到的疊合角度又會規律的向右位移約 20°。



- (6) 比較各色光在兩偏光片夾 45 度及 135 度膠帶(方向剛好對稱)的透光率，各疊合角度對應到的透光率幾乎相同，透光率誤差都在 5% 以內。



## 七、實驗討論

- 對於各色光在 45°~60° 之間所產生的透光率不規律改變，推測有可能是膠帶黏貼在轉動的偏光片上、黏貼膠帶的方向(逆時針旋轉 15 度為間隔黏貼)和疊合角度變化的方向(每次順時針旋轉 10°)三個因素組合產生的結果，若是改變膠帶黏貼方向(改成順時針旋轉 15 度為間隔黏貼)或偏光片旋轉方向(每次逆時針旋轉 10°)會有什麼不同的變化規律，值得做更多實驗比較。

## 實驗五 兩片偏光片中間夾不同層數膠帶對各色光 LED 透光率的影響

一、**實驗假設**：我們推測每種色光通過中間夾不同層數膠帶的兩片偏光片後，透光率還是會隨著偏光片疊合角度不同而有規律的波狀起伏變化，但是波形趨勢(透光率的最高點及最低點)所對應的疊合角度會有偏移。

二、**變因控制**：

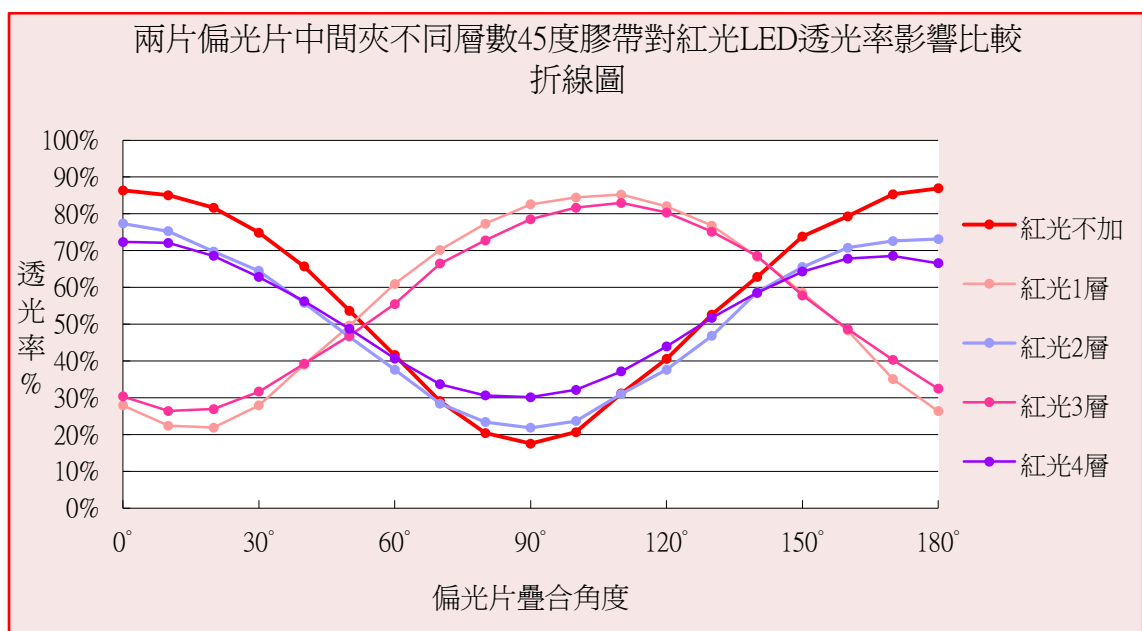
1. 操縱變因：兩偏光片中間夾的膠帶層數(分別有 1 層、2 層、3 層、4 層)，以不貼膠帶的為對照組。
2. 不變變因：膠帶黏貼角度都是 45 度
3. 應變變因：透光率

三、**實驗器材**：與實驗三大致相同，但上方偏光片要貼不同層數的膠帶。

四、**實驗步驟**：與實驗三大致相同，但是每次測量完就再貼一層膠帶，重複實驗。

五、**實驗記錄與結果**：

1. 紅光 LED 穿過夾不同層數的 45 度膠帶的兩片偏光片的透光率



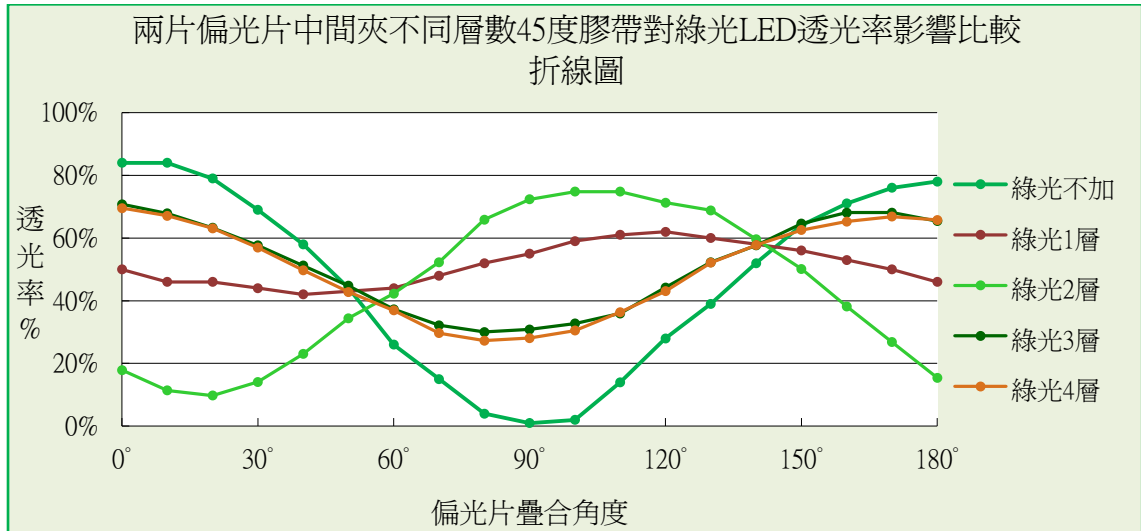
(1)紅光通過兩偏光片夾各種層數的 45 度膠帶時，不夾、2 層和 4 層膠帶透光率最高點在 0 度，而夾 1 層和 3 層膠帶的透光率最高值皆在 110 度。

(2)紅光通過兩偏光片夾各種層數 45 度膠帶時，透光率起伏並不一致，

最高值由高到低：不夾膠帶 87% > 1 層 85% > 3 層 86% > 2 層 77% > 4 層 72%

最低值由高到低：4 層 30% > 3 層 28% > 2 層 22% = 1 層 22% > 不加 18%

2. 綠光 LED 穿過夾不同層數的 45 度膠帶的兩片偏光片的透光率

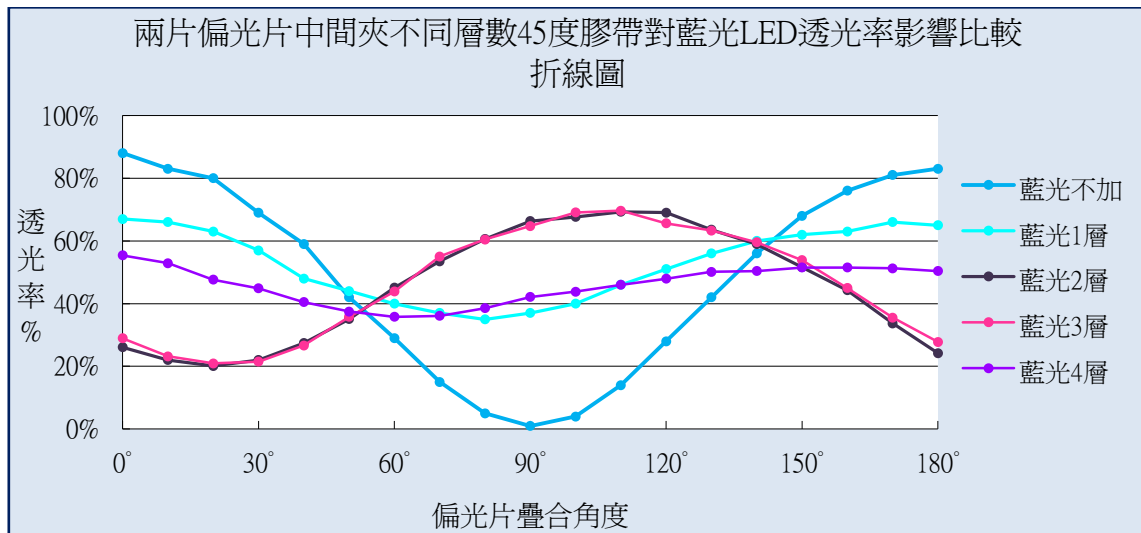


(1)綠光通過兩偏光片夾各種層數的 45 度膠帶時，透光率最高值並沒有規律的位移變化，不夾、夾 3 層和 4 層膠帶在透光率最高值的疊合角度較接近，約差 10°，而夾 1 層和 2 層膠帶的透光率最高值的疊合角度則差距較大，約差了 60°。

(2)綠光通過兩偏光片夾各種層數 45 度膠帶時，透光率起伏並不一致，

最高值由高到低：不夾膠帶 84% > 3 層 75% > 2 層 71% > 4 層 70% > 1 層 62%  
 最低值由高到低：1 層 42% > 3 層 30% > 4 層 27% > 2 層 10% > 不加 1%

3. 藍光 LED 穿過夾不同層數的 45 度膠帶的兩片偏光片的透光率



(1)藍光通過兩偏光片夾各種層數的 45 度膠帶時，透光率最高值並沒有規律的位移變化，不夾、夾 1 層和 4 層膠帶在透光率最高值的疊合角度較接近，而夾 2 層和 3 層膠帶的透光率變化趨勢非常接近，折線圖形幾乎重疊。

(2)藍光通過兩偏光片夾各種層數 45 度膠帶時，透光率起伏並不一致，

最高值由高到低：不夾膠帶 88% > 3 層 70% > 2 層 69% > 1 層 67% > 4 層 55%  
 最低值由高到低：4 層 36% > 1 層 35% > 3 層 21% > 2 層 20% > 不加 1%

## 陸、研究討論

### 一、光源原始強度不一的影響與解決策略

在實驗一和二，我們原本覺得將各種光源調整成和太陽光電板保持相同距離(保持不變的變因)，就算做到了精確的變因控制，但是後來發現這樣的設計會使太陽光電板對各種光的起始感光強度不一樣，在進行實驗比較時，也可能會對原本較弱的光不公平，所以我們將實驗設計修正，將各種光源的起始強度統一，這個好處是會使後面測量出的感光強度數據差異更容易被比較分析！

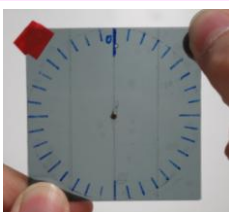
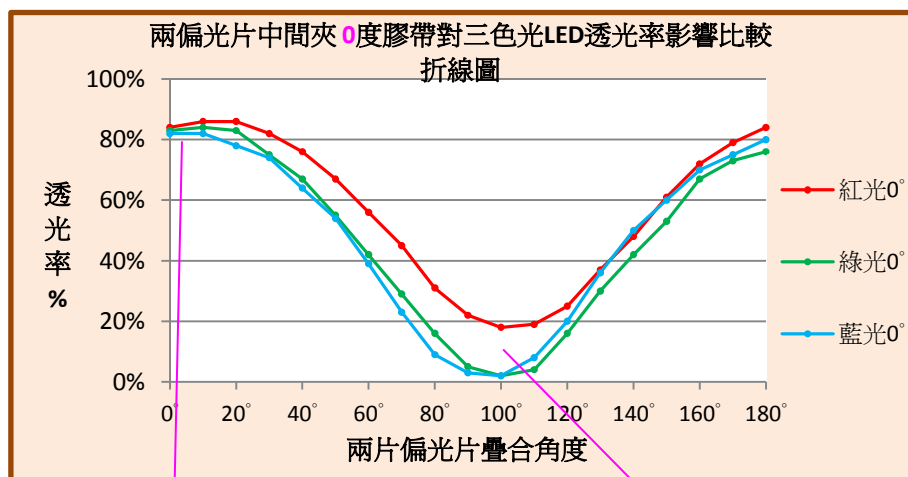
### 二、偏光片疊合角度的測量間距設定對結果分析的影響

把兩片偏光片疊合在一起時，我們一開始旋轉的角度是參考文獻，以  $30^\circ$  為一個間隔旋轉偏光片，發現感光強弱區分的很明顯，但是對於偏光片的偏光特性感受不是那麼強烈，後來我們又定為每  $10^\circ$  為一個間隔轉一次，才發現光線強弱的變化成一個有穩定起伏的波浪變化。雖然測量過程中還是會因為我們製作的儀器不夠精密，讓波形偶爾有一些不平滑，但實驗幾十次的結果，大概的趨勢形狀應該不會錯！

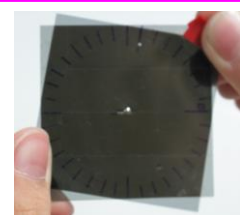
### 三、各色光透光率變化的差異比較與視覺觀察偏光片變色情形的關聯

在測量出各色光的透光率會隨著兩片偏光片疊合角度以及夾膠帶的角度或層數等因素產生差別後，我們便將三種色光在相同條件下的透光率數據作結合，進一步推論在白光下看到的色彩變化就是因白光中不同波長的色光偏振特性不同，穿過偏光片後的透光率改變，再加上通過膠帶後被旋光等效果綜合後造成的變化。

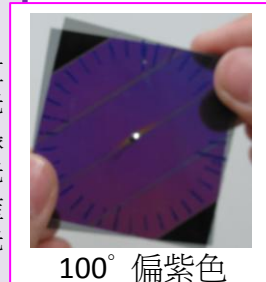
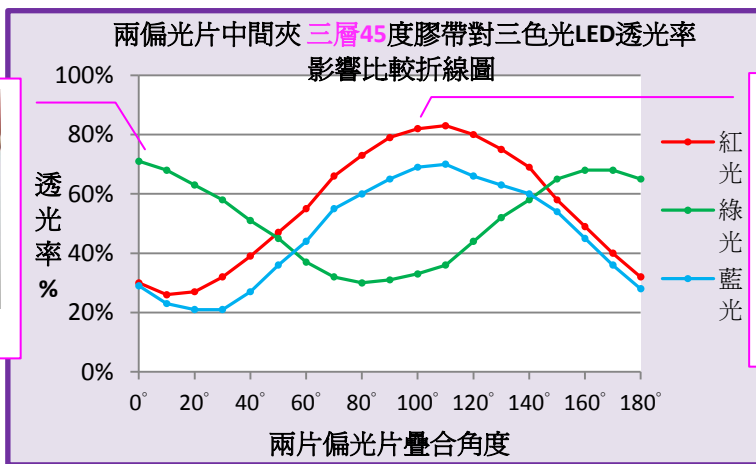
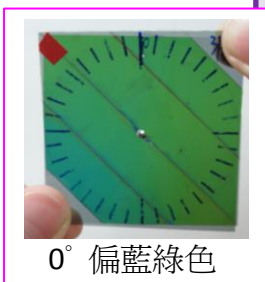
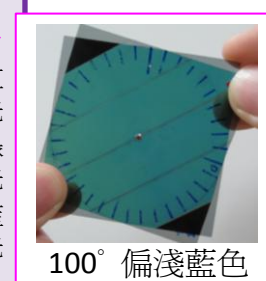
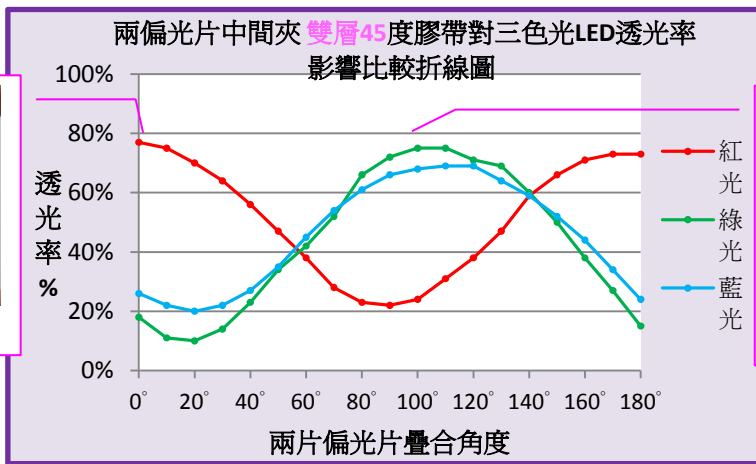
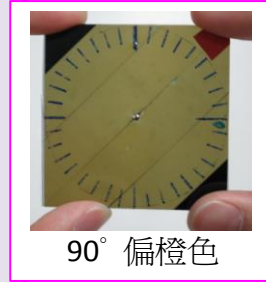
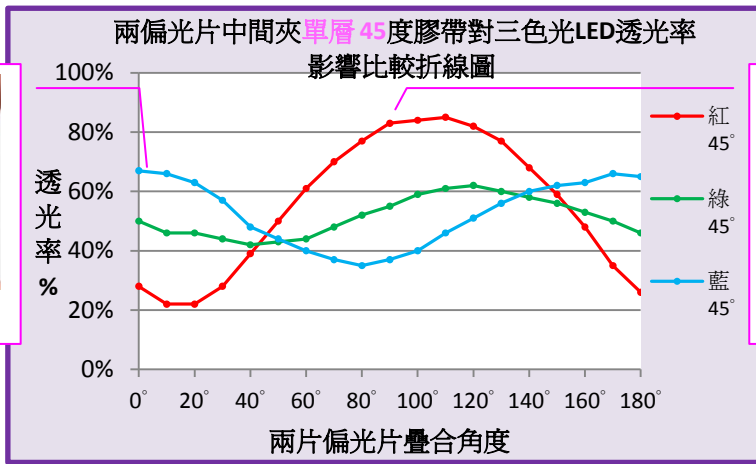
以下便舉幾個例子用數據折線圖與實際觀看到的顏色照片做對照說明：



$0^\circ$  淺灰色  
(與偏光片原本顏色相近)



$100^\circ$  深褐色



## 柒、研究結論

經過這段時間的研究，讓我們更加了解了偏光片的變化特性，也知道了做實驗有哪些地方要特別注意與遵守的規範，在實驗操作中，我們雖然面臨過許多的技術上的困難，但也訓練出我們親自動手解決問題的態度和能力，以下便是我們這段時間所研究出的成果：

- 一、在光線的起始強度(光電板感光強度)一樣時，不同種類的白色燈光穿透偏光片的能力是不一樣的。本研究發現各種白色燈光的透光率由高到低依序是：  
白熾燈 > 鹵素燈 > 省電燈泡 > LED 燈。
- 二、各種白光透光率的差異和光源各方向偏振光分布多寡有關。偏振方向越少的光在偏光片疊合角度  $0^\circ$  和  $90^\circ$  時的差異越大，(例如 LED、雷射)，偏振方向越多的光在偏光片疊合角度  $0^\circ$  和  $90^\circ$  時的差異就越小，(例如鹵素燈、白熾燈)。
- 三、在起始光源強度相近的條件下，紅藍綠三種不同色光 LED 穿透一片偏光片的透光率大致相同，約 60%。
- 四、兩片偏光片疊合成不同角度時，紅藍綠色光 LED 的透光率都會有規律的波狀起伏變化，分別在疊合角度  $0^\circ$  及  $180^\circ$ (光柵平行)時穿透的光最強，而  $90^\circ$  及  $270^\circ$ (光柵垂直)時穿透的光最弱。而紅光的透光率比藍光和綠光稍微高一些。
- 五、在兩片偏光片中間黏貼一層透明膠帶，並將偏光片疊合旋轉不同角度( $0^\circ \sim 350^\circ$ )時，紅藍綠三種色光的透光率皆會下降，但各色光的透光率最大值(或最小值)出現的疊合角度(對照不貼膠帶的數據)皆會產生程度不同的角度位移現象，其中以紅光的變化最為明顯。
- 六、在兩片偏光片中間黏貼一層透明膠帶，透明膠帶黏貼的角度不同，也會造成透光率的數值範圍以及最大值發生時的偏轉角度產生有規律的改變，其中以膠帶黏貼  $45^\circ$  時，變化差異最大。
- 七、在兩片偏光片中間黏貼不同層數的透明膠帶，會造成透光率的數值範圍以及最大值發生時的疊合角度產生明顯差異，但是各色光的變化規律並不相同，而且同一色光也沒有一致的規律。但是值得注意的是，兩片偏光片中間不管夾了幾層膠帶，都能使透光率的最低值增加許多。
- 八、白光下看到的偏光片色彩變化是因為各種條件(膠帶黏貼角度和層數、偏光片疊合角度)會造成各種色光的透光率有差異，若將各色光的不同透光率組合，合成後所產生的顏色就會不同。

## 捌、參考資料

1. 潘柏瑋;馮威翔。中華民國第四十九屆中小學科學展覽會國小組作品「轉吧！轉吧！七彩萬花筒」。2010.09.20。取自：<http://science.ntsec.edu.tw/files/13-1004-15929-1.php>
2. 偏光片(購買網站)。2010.9.20。取自：<http://www.3dlens.com/chinese>
3. 余樹楨。晶體的旋光特性。科學發展 449 期。2010 年 5 月。
4. 生活智慧網之眼鏡資訊網。光的波長。2010.9.24。取自：<http://yctrade.netfirms.com>
5. 張菁文、張明芳、李貞儀、陳奕寧。中華民國第四十五屆中小學科學展覽會高中組作品「醣寶寶的旋光世界」。2010.12.15。取自：<http://science.ntsec.edu.tw/files/13-1004-9018-1.php>
6. 國立台灣科技大學。光電量測實習-偏極光。2010.12.15。取自：  
<http://www.me.ntust.edu.tw/DGteaching>
7. 維基百科。發光二極體。2011.01.21。取自：<http://zh.wikipedia.org/zh-tw>

## 【評語】 080105

教材設計極具創意，色彩繽紛，主題適切，表達清楚。