

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

080108

光彩魔術

學校名稱：新竹市香山區內湖國民小學

作者： 小五 蘇怡捷 小五 曾琳茜 小五 黃妍婷 小五 宋奕儒 小五 李浚瑋	指導老師： 邱梅英 林佑瑾
-----------------------------------------------------------	-------------------------

關鍵詞：偏光板、互補色、三原色

光彩魔術

摘要

本實驗研究如下：一、先探討偏光板的特性，了解偏振光所產生平行光與垂直光的互相的影響，以標準偏光板的 0 度當基準，可以讓全部光通過，90 度是最黑無法讓光線通過。二、探討以圓形的偏光板每隔 5 度貼透明膠帶，了解哪一個角度會產生彩光？三、探討兩偏光版的相對角度對彩光產生的影響，四、再探討以不同(厚度)層數的膠帶對產生彩光顏色的影響。五、在偏光板固定角度貼不同層數的透明膠帶，探討兩偏光板的相對角度的彩光變化。六、不同品牌透明膠帶與光源強度對彩光顏色的影響。七、探討還有那些透明介質可以讓偏光板產生彩光。八、探討偏光板的彩光顏色互相加成和相對角度之間變化。九、觀察者與偏光板相對角度位置改變對彩光影響。十、偏光板的彩光顏色如何應用在生活上？

壹、研究動機

寒假參加科學營，老師用兩片偏光板貼上膠帶，一片貼在已剪好蝴蝶形名片卡上，然後把另一片以兩角釘上下重疊，轉動偏光板，竟然出現一隻色彩繽紛的彩蝶，雖然我仿作成功，但是心中有許多的疑問，偏光板是什麼？貼上透明膠帶為什麼可以產生彩光？請問老師，老師也沒有確定的解答，但拿自然教室的偏光板給我觀察研究，並建議我可以多幾個彩蝶作比較，找出答案，於是展開偏光板產生彩光的研究。

貳、研究目的

- 一、了解透明膠帶如何讓偏光板由黑白變彩色。
- 二、兩片偏光板擺放相對角度改變，顏色會如何改變。
- 三、偏光板貼上不同厚度膠帶，顏色會如何改變。
- 四、偏光板產生的彩光可以互相加成嗎？
- 五、偏光板貼上不同廠牌的透明膠帶，產生彩光會一樣？
- 六、偏光板貼上其它透明介質，顏色會如何改變。
- 七、一定要有兩片偏光板才能產生彩光？
- 八、偏光板產生的彩光在生活上有那些發展應用？

參、研究設備及器材

- 一、實驗配置器材：實驗組偏光板及 25x25 方形偏光板、透明膠帶 1 公分寬(北極熊牌、鹿頭牌、3M 牌)、紅綠、藍、黃玻璃紙西卡紙、量角器、直尺、保鮮膜、透投影片、鏡子、沒有眩光檯燈(飛利浦 23W)。
- 二、測量及記錄工具：電腦、PhotoCap、電子游標尺、數位照相機、光度計。

肆、研究過程方法與結果

- 一、文獻探討
 - (一) 偏光板原理
 1. 光波行進方向與電場及磁場互相垂直，光波本身的電場與磁場分量，彼此也互

相垂直的。行進方向與電場及磁場分量，彼此是兩兩互相平行的。偏光板的作用就像是柵欄，阻隔掉與柵欄垂直的分量，只准許與柵欄平行的分量通過。

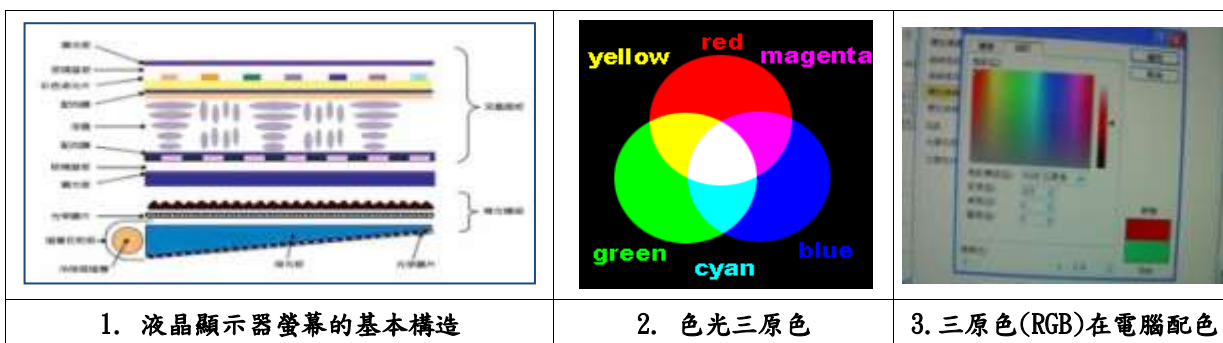
- 兩片偏光板疊在一起，旋轉兩片偏光板的相對角度，會隨著相對角度不同，光線亮度越來越暗。兩片偏光板柵欄角度互相垂直時，光線就完全無法通過。
- 偏光板的內部結構於 1cm^2 裏面就有 30 萬條肉眼看不到的直線分子排列體，並排列於同一方向，讓光線偏極化取得柔和光線，使自然光中的亂反射的光線、眩光及物體反射光，獲有效的阻絕，利用偏光板看物體會更清晰鮮明
- 偏光片只允許某一個方向的光線透過，為 LCD 液晶顯示器重要零件。製作液晶顯示面板 LCD Panel 過程中，必須在液晶上下各使用一片偏光片，且二片偏光片成 90 度交錯方向，如下圖 1。

(二) 光的三原色 RGB

- 人眼所見各種色彩因為光線有不同波長所造成，經過實驗發現，人類肉眼對其中三種波長的感受特別強烈，只要適當調整這三種光線的強度，就可以讓人類感受到『幾乎』所有的顏色。
- 這三個顏色稱為光的三原色(RGB)，就是紅(red)，綠(green)，藍(blue)。所有的彩色電視機、螢幕都具備產生三種基本光線的發光裝置。因這三種光線混合幾乎可以表示所有顏色，因此電腦常用 RGB 三個數值大小來標示顏色，每個顏色用 8bit 來記錄，可以有 0~255，共 256 種亮度的變化，三種乘起來就有一千六百多萬種變化，這也是我們常聽到的 24 bit 全彩。如下圖 3。
- 光線越加越亮，因此兩兩混合可得到更亮的中間色：黃(yellow)、青(cyan)、洋紅(magenta)；三種等量相加可得到白色，加入顏色的量愈多時，顏色的亮度會越高，色光三原色使用加色混合。如下圖 2。
- 補色是指完全不含另一種顏色，例如黃色一定是由紅綠兩色合成，完全不含藍色，因此黃色稱為藍色的補色，從色相圖中可以看到兩個補色隔著白色相對。將兩個補色相加會得到白色。以下是三原色任取兩種混合，所產生的顏色：
 紅色+綠色=黃色，紅色+藍色=洋紅色，藍色+綠色=青色
 黃色+藍色=白色，洋紅色+綠色=白色，青色+紅色=白色

(三) 化學色與物理色

依據進入眼中光波形成，區分為化學色和物理色。利用不同色素吸收特定波長的特性，使物體反射互補波段顏色，稱為化學色，色彩表現穩定。因為本身結構上特性，利用光線物理性形成色彩，就是物理色，會因光線入射角度或隨觀察角度不同出現不同顏色。



二、 實驗過程與方法

(一) 【實驗一】：觀測偏光板特性實驗。

1. 在室內以臺燈當光源，以實驗組偏光板，先兩片的 0° 與 0° 對齊。順時每隔 10 度觀測兩片偏光板相對角度對明暗的影響，以光度計測量，直至 180 度。
2. 用圓形偏光板對. 液晶(LCD、LED)螢幕、立體偏光鏡，作相對角度明暗觀察。

(二) 【實驗二】：觀測每隔 5° 在偏光板貼透明膠帶顏色變化。

1. 把 25×25 偏光板裁成直徑 13 公分圓形，貼在印有 ($0^\circ \sim 360^\circ$) 圓環刻度的西卡紙上，按下表(一) 四組的刻度通過圓心貼上 1 公分寬(北極熊牌)透明膠帶。

第 1 組	5-185	25-205	45-225	65-245	85-265	105-285	125-305	145-325	165-345
第 2 組	10-190	30-210	50-230	70-250	90-270	110-290	130-310	150-330	170-350
第 3 組	15-195	35-215	55-235	75-255	95-275	115-295	135-315	155-335	175-355
第 4 組	0-180	20-200	40-220	60-240	80-260	100-280	120-300	140-320	160-340

2. 在室內以臺燈當光源，先把兩片圓形偏光板 0° 對 0° 對齊(一片有透明膠帶，一片則無)。觀察第一到第四組，貼在不同角度透明膠帶所產生的顏色，觀察記錄每 1 條膠帶的顏色，用數位相機拍攝，以 PhotCap 作 RGB 顏色分析。
3. 再 0° 對 10° 重複操作 $^\circ$ 直至 360° 。

(三) 【實驗三】：觀測每隔 20° 在偏光板不同厚度透明膠帶顏色變化。

1. 按上表(一)第 4 組的刻度，再製作貼有二層和三層透明膠帶的觀察片。
2. 如【實驗二】實驗方法，觀測偏光板改為每隔 20 度貼有二層三層透明膠帶。
3. 作 0° 對 0° 、 0° 對 45° 、 0° 對 90° 以 PhotCap 作 RGB 顏色分析。

(四) 【實驗四】：觀測偏光板在特別角度對不同厚度透明膠帶顏色變化。

1. 把透明膠帶貼在(0-180)(45-225)(90-270)(135-315)偏光板上，製成有一至三層透明膠帶三片的觀察板。
2. 如【實驗二】實驗方法，觀測偏光板在(0-180)(45-225)(90-270)(135-315)貼一至三層透明膠帶所產生的顏色變化。
3. 作 0° 對 0° 、 0° 對 45° 、 0° 對 90° 以 PhotCap 作 RGB 顏色分析。。

(五) 【實驗五】：觀測偏光板在相同角度，貼上不同厚度透明膠帶顏色變化。

1. 把透明膠帶貼在 30° 偏光板上，製成一片含有 1 至 7 層透明膠帶的觀察片。
2. 同樣方法再製角度 60° 、 75° 有 1 至 7 層透明膠帶的觀察片。
3. 同樣方法再製角度 45° 有 1 至 12 層透明膠帶的觀察片。
4. 如【實驗二】實驗方法，觀測偏光板上 45° ，1 至 7 層透明膠帶所產生的顏色變化，再依序觀測 30° 、 60° 、 75° 所產生的顏色變化。
5. 觀測偏光板 45° 上，8 至 12 層透明膠帶所產生的顏色變化。
6. 作 0° 對 0° 、 0° 對 45° 、 0° 對 90° 以 PhotCap 作 RGB 顏色分析。



(六) 【實驗六】：觀測偏光板在相同角度，貼上不同牌透明膠帶顏色變化。

1. 把透明膠帶(鹿頭牌)貼在 45° 偏光板上，製成一片含有 1 至 7 層透明膠帶的觀察片。再換成 3M 牌、冠勝牌透明膠帶。
2. 如【實驗二】實驗方法，觀測偏光板 45° ，1 至 7 層(鹿頭牌)、(3M)、(冠勝牌)透明膠帶所產生的顏色變化。與【實驗五】北極熊牌所產生的顏色作比較。
3. 作 0° 對 0° 、 0° 對 45° 、 0° 對 90° 以 PhotoCap 作 RGB 顏色分析。

(七) 【實驗七】：觀測偏光板在不同光源下，所產生的顏色變化。

1. 如【實驗二】實驗方法，光源改為日光燈、不開燈、陽光下，在 0° 對 0° 觀測每一層透明膠帶所產生的顏色變化。
2. 把有七層透明膠帶放至在 LCD 液晶螢幕上，觀測每一層透明膠帶所產生的顏色變化。

(八) 【實驗八】：觀測偏光板所產生的彩光顏色加成變化。

1. 把【實驗四】貼有一層膠帶兩片加在一起重疊所產生的顏色與直接貼兩層的顏色比較。把一層和二層加在一起重疊對貼三層的顏色比較。
2. 把二片偏光板(45°)貼有 1 至 7 層(北極熊)膠帶在 0° 對 0° 對疊、重疊，再換成 30° 、 60° 、 90° 。中間再加一片沒貼膠帶偏光板，觀察所產生的顏色變化。

(九) 【實驗九】：觀測位置改變對偏光板所產生的彩光影響。

1. 把貼有一層至七層偏光板，放置在(0 度-360 度)方向盤中心點，轉動偏光板(隔 10 度)由 0 度到 180 度，觀測者(不動)在正面(90 度) 60 公分處觀測顏色變化。
2. 偏光板固定，觀測者(移動)由 0 度到 180 度(隔 10 度)，在 60 公分處觀測顏色變化。
3. 把偏光板放置可前後調整的架子上，以量角器確定角度，向前 90 度到 0 度，向後 90 度到 180 度觀測顏色變化。



(十) 【實驗十】：探討偏光板貼上其它透明介質，顏色會如何改變。

1. 把直徑 13 公分圓形偏光板，確定角度後，貼在印有(0° ~ 360°) 圓環刻度的西卡紙上，把依序貼上 1 透明膠帶(北極熊) 2 保鮮膜 3 PE 透明膠帶 4 投影片 5 黃透明玻璃紙 6 藍透明玻璃紙 7 紅透明玻璃紙 8 綠透明玻璃紙，製成一片含有 8 種透明介質觀察片。
2. 如【實驗二】實驗方法，觀測偏光板上 8 種不同透明介質、顏色變化。

(十一) 【實驗十一】：探討一片偏光板在其它光滑平面，顏色會如何改變。

1. 把貼有一層至七層偏光板，放在周遭有表面平滑的物體上，觀測彩光顏色變化。

(十二) 【實驗十二】：偏光片所產生的彩光在生活上的發展。

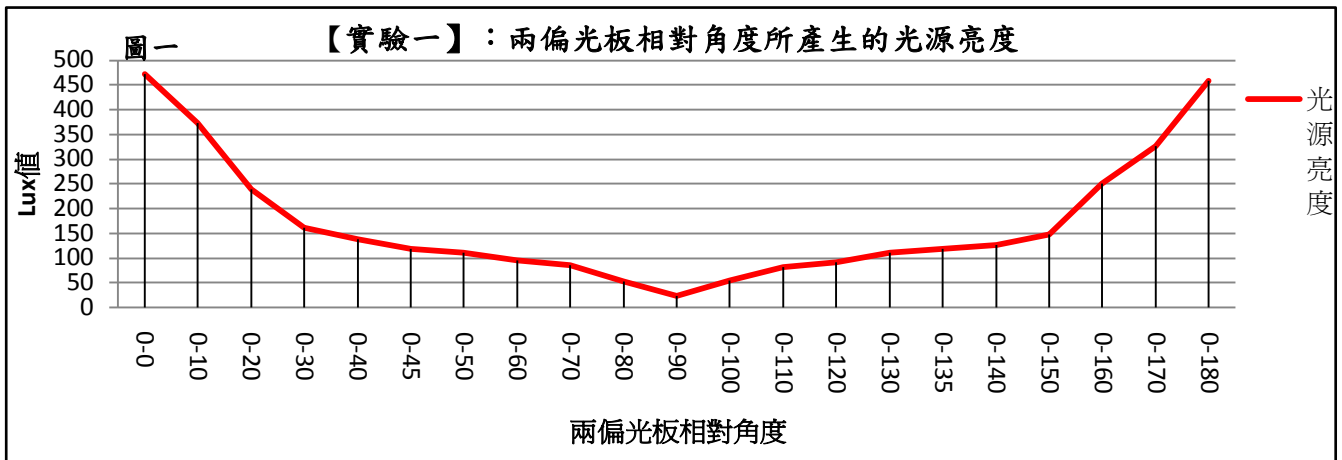
1. 把雄獅粉臘筆 59 種顏色作成色階圖，與實驗操作偏光片所產生的彩光作整理比較。
2. 把需要的顏色先用膠帶與角度調配，再剪成需要的形狀，製成圖畫。
3. 結合傳統的萬花筒，在鏡頭前面貼上有透明膠帶的偏光板。
4. 利用不同厚度膠帶所產生的顏色，和互相加成的色彩繽紛的彩光顏色、製作多變的牆

壁。

伍、 研究結果

一、 【實驗一】：偏光板特性實驗

1. 兩片偏光板相對角度對明暗的影響如下圖一，在(0-90)亮度最小、(0-0)(0-180)最大。

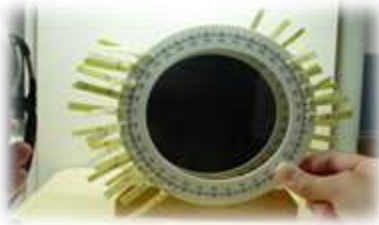




2. 以偏光板實驗組的刻度為標準，兩片作偏光板(0-0)度為最亮(++)，(0-45)度為中亮(+)，(0-90)度為最黑(-)，對日常用偏光板測試結果如下:表一

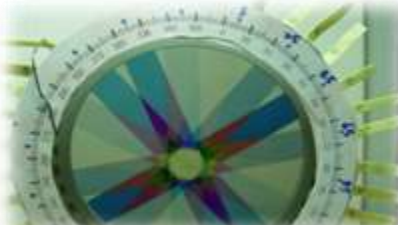

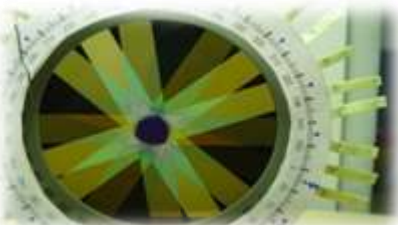
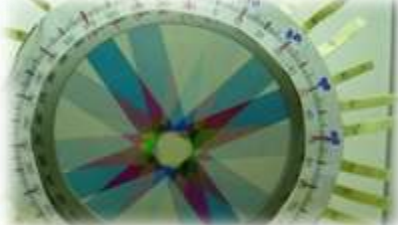
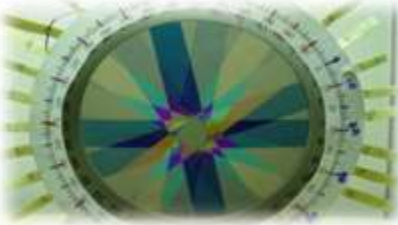
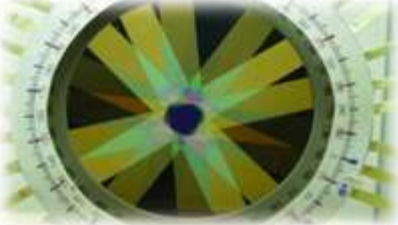




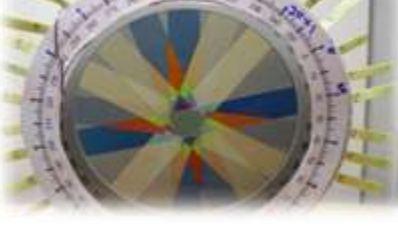
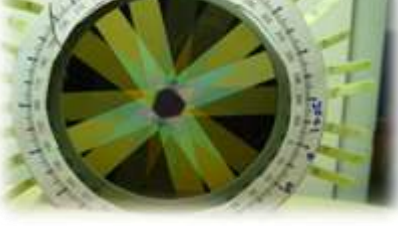
角度		0 度	45 度中	90 度	135 度	180 度	225 度	270 度	315 度	360 度
偏光種類		中上	右上	右中	右下	中下	左下	左中	左上	中上
實驗組偏光板		++	+	-	+	++	+	-	+	++
LCD	手機	++	+	-	+	++	+	-	+	++
	電腦 桌 螢幕 note	+	-	+	++	+	-	+	++	+
		+	++	+	-	+	++	+	-	+
	電視	+	-	+	++	+	-	+	++	+
LED、液晶電視		++	+	-	+	++	+	-	+	++
立體偏光鏡	左	-	-	+	++	+	-	+	+	+
立體偏光鏡	右	+	++	+	-	+	++	+	+	+

【實驗一】：圖片一

1. 兩片偏光板(0-0)為最亮	2. 偏光板0度對 LCD 螢幕45度為最黑	3. 偏光板0度對左右兩邊最亮， 一邊最黑

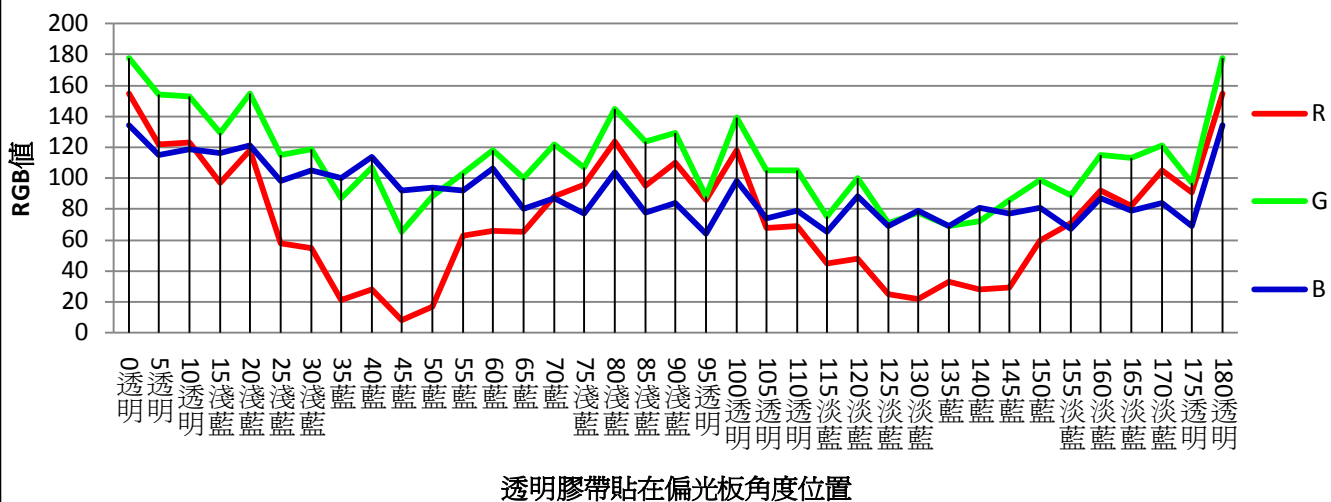
		
4. 兩片偏光板(0-90)為最黑	5. 偏光板 0 度對 LCD 螢幕 315、135 度為最亮	6. LED、液晶電視在 0-90(270)度為最黑

二、【實驗二】：觀測每隔 5° 在偏光板貼透明膠帶顏色變化。規律變化如下照片二

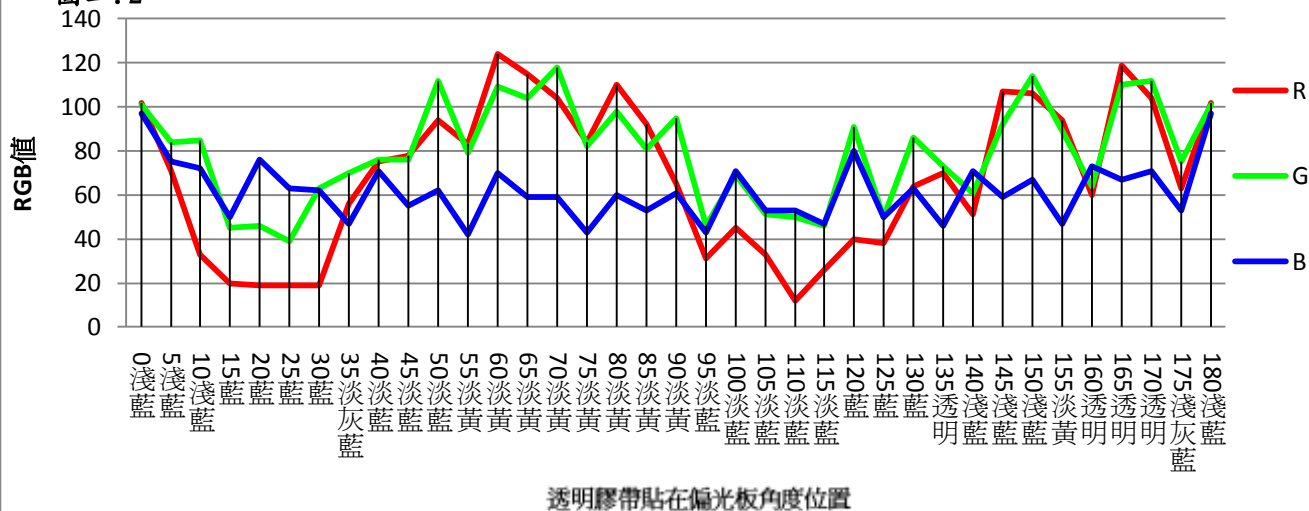
		
1. 第一組(5、25 度…) (0-0)	2. 第一組(5、25 度…) (0-45)	第一組(5、25 度…) (0-90)
		
4. 第二組(10、30 度…) (0-0)	5. 第二組(10、30 度…) (0-45)	6. 第二組(10、30 度…) (0-90)
		
7. 第三組(15、35 度…) (0-0)	8. 第三組(15、35 度…) (0-45)	9. 第三組(15、35 度…) (0-90)
		
10. 第四組(0、20 度…) (0-0)	11. 第四組(0、20 度…) (0-45)	12. 第四組(0、20 度…) (0-90)

1. 圖片用 PhotoCap 作 RGB 顏色分析，結果如附件表二.1，作成 RGB 與彩光顏色對照圖(圖二.1、圖二.2、圖二.3)
2. 發現貼一層透明膠帶，除了(0-180)度、(90-270)度是透明的，其他都會有顏色，兩偏光板的相對夾角，在(0-0)度時是藍色。再轉成 45 度的時候，顏色轉變淡，再逐漸慢慢變黃，(0-90)的顏色是黃色為藍色互補色。

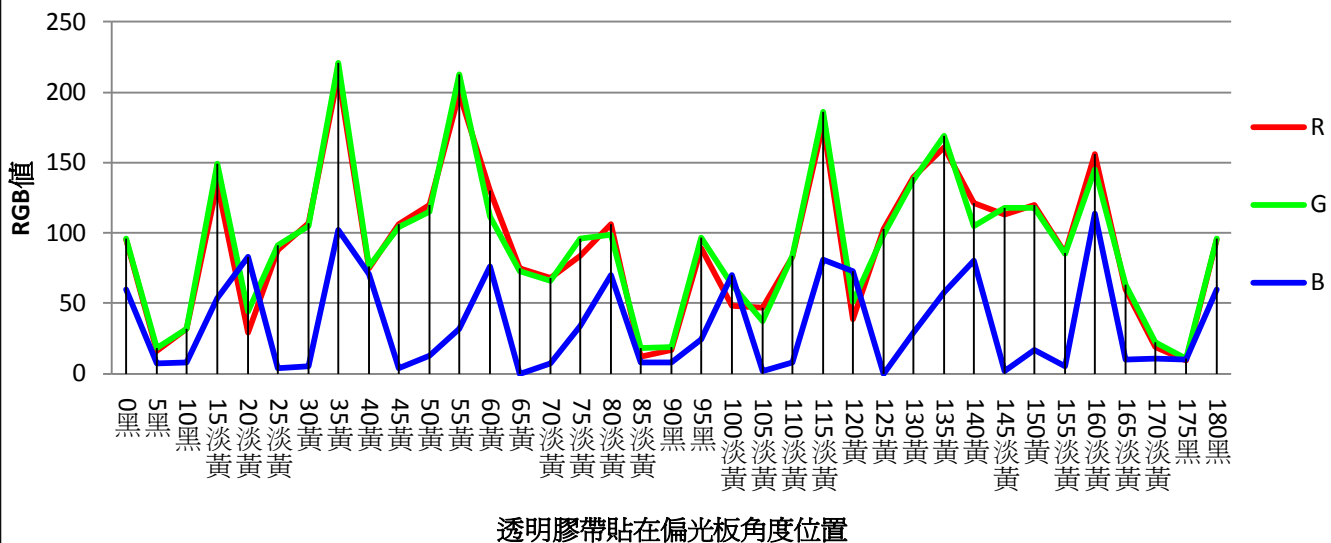
圖二.1 【實驗二】：觀測每隔5°在偏光板貼透明膠帶顏色變化(兩片偏光板0度對0度)



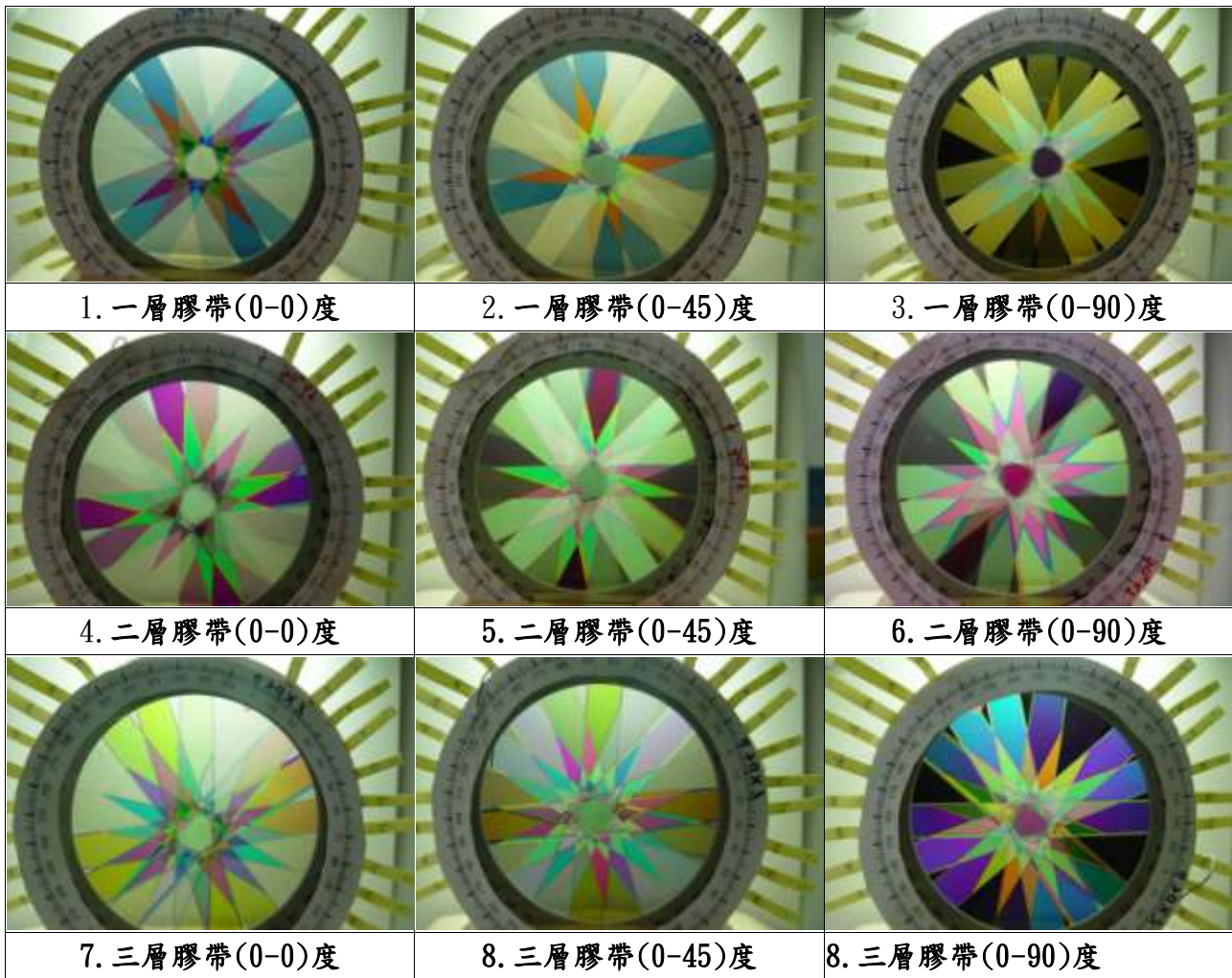
圖二.2 【實驗二】：每隔5°在偏光板貼透明膠帶顏色變化(0度對45度)



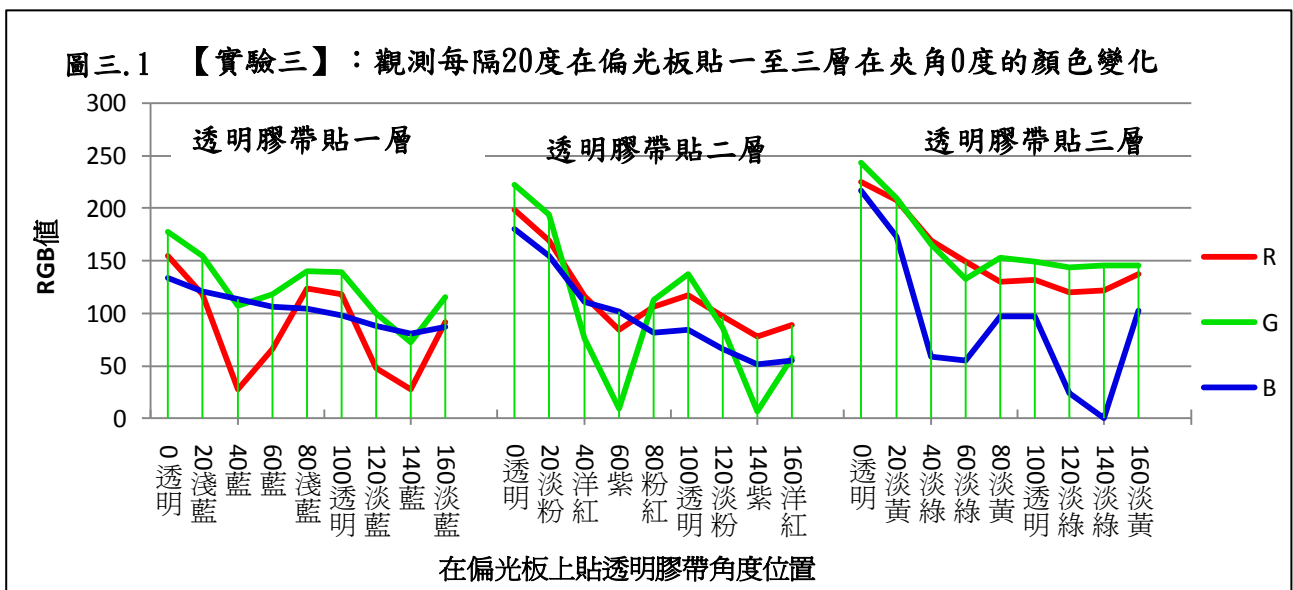
圖二.3 實驗二:每隔5°在偏光板貼透明膠帶顏色變化(0度對90度)



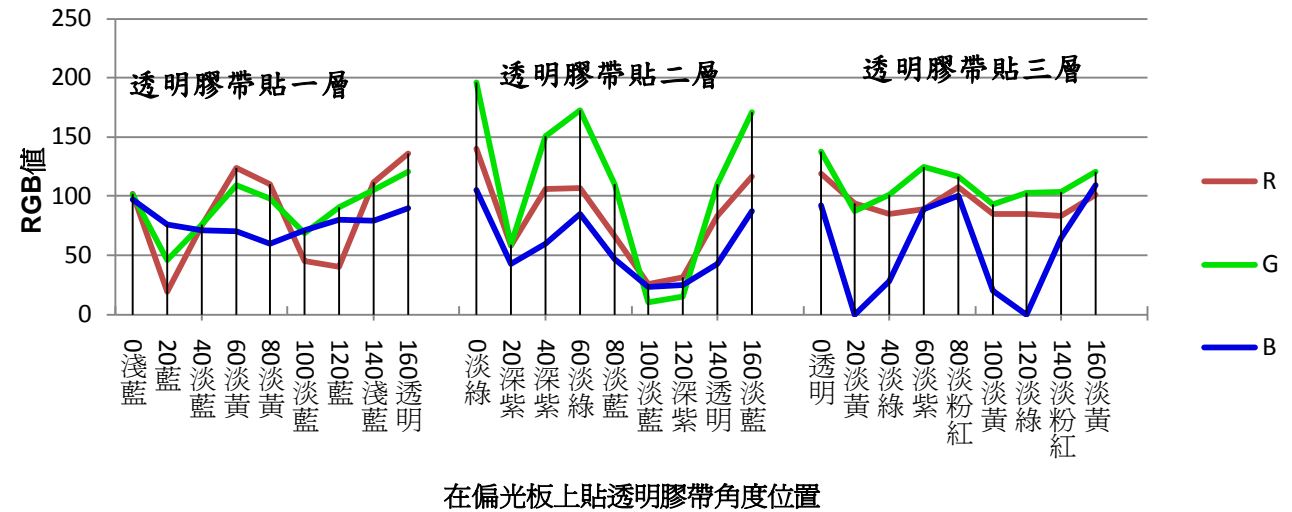
三、【實驗三】：觀測每隔 20° 在偏光板不同厚度(一層至三層)透明膠帶顏色變化。產生彩光規律變化如下圖片三。



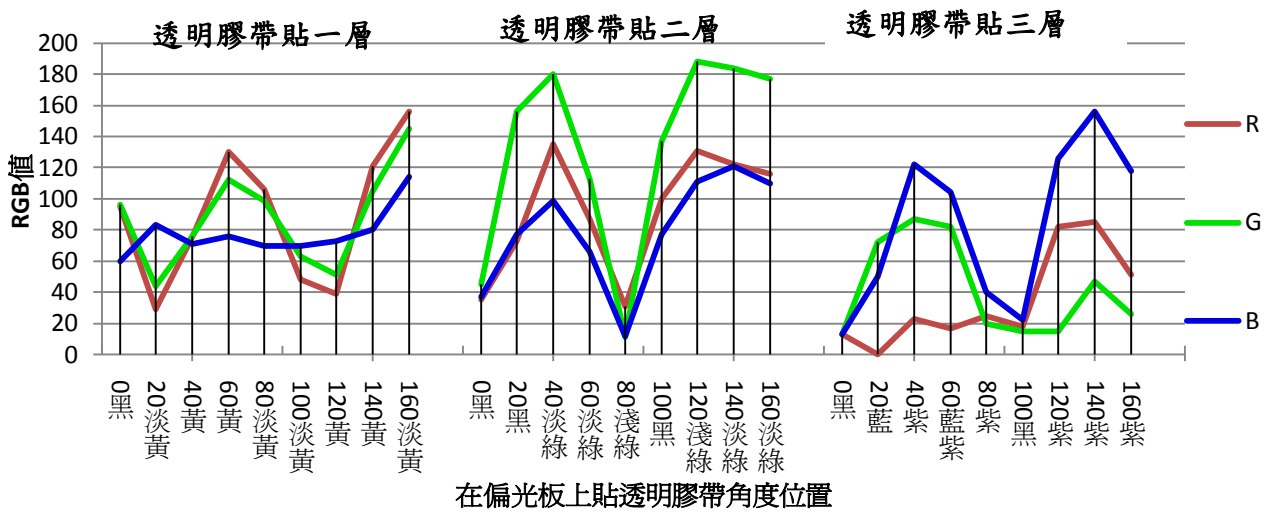
1. 同一層顏色會隨著兩偏光相對夾角而改變，在兩偏光片夾角是 0 度，是膠帶原來產生的顏色，45 度時，顏色開始便最淡，再逐漸轉成互補色，直到 90 度，顏色最飽和。圖用 PhotoCap 作 RGB 顏色分析，結果如附件表三，成 RGB 與顏色對照圖樣圖三.1、圖三.2、圖三.3)如下



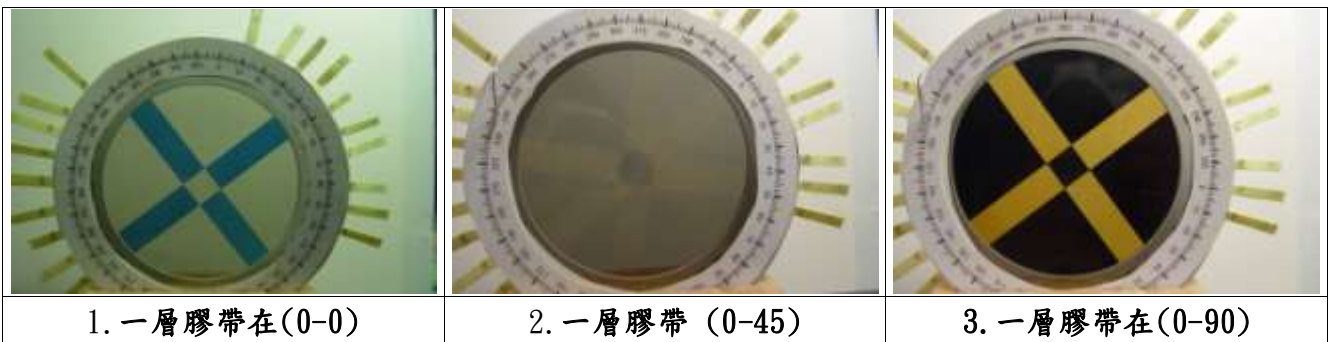
圖三.2 【實驗三】：觀測每隔20度在偏光板貼一層至三層在夾角45度的顏色變化

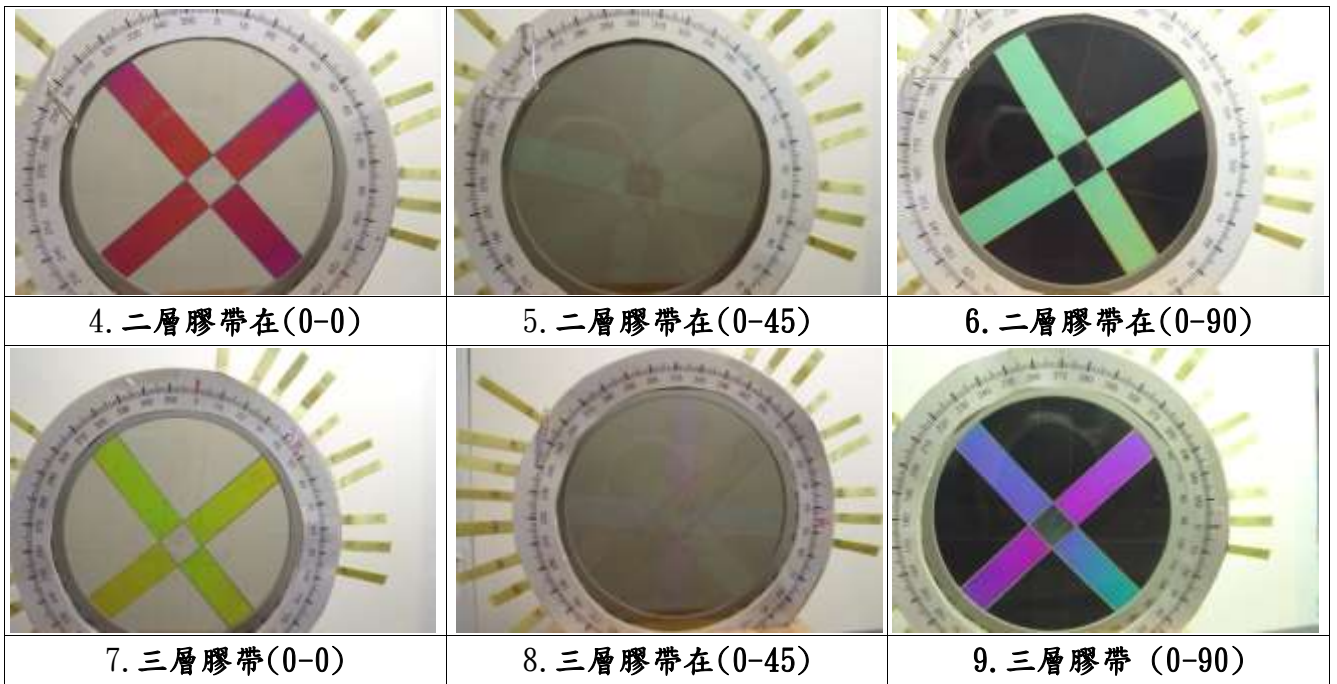


圖三.3 【實驗三】：觀測每隔20度在偏光板貼一至三層在夾角90度的顏色變化

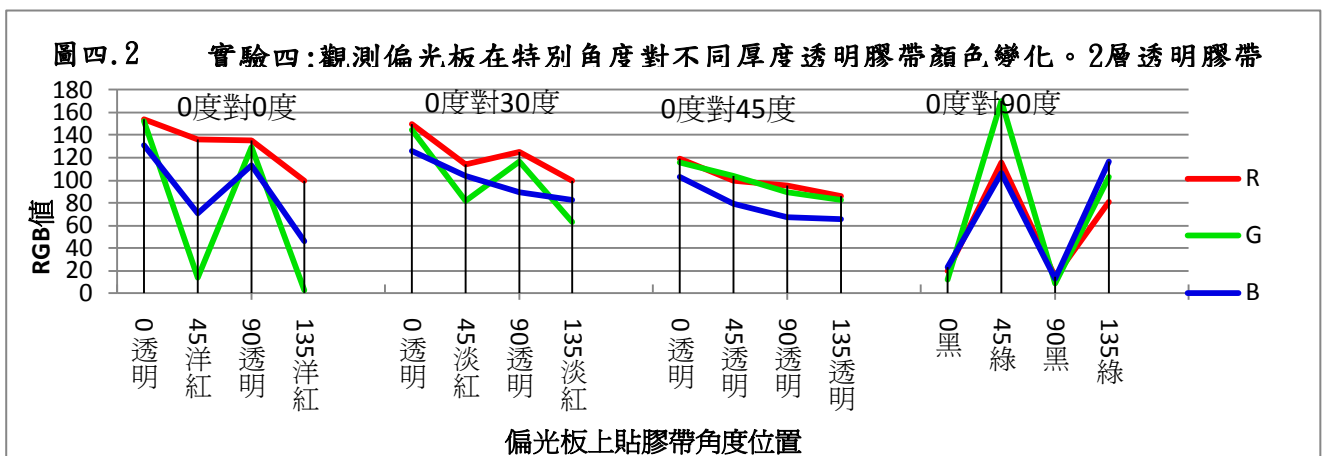
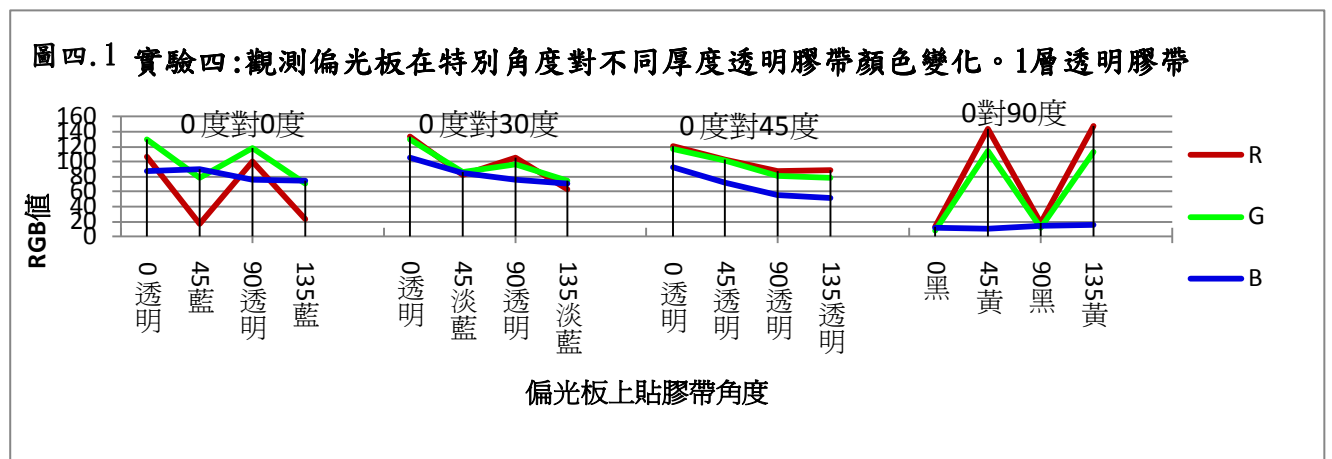


四、【實驗四】：觀測偏光板在特別角度(0、45、90、135度)對不同厚度(一、二、三層)透明膠帶所產生的彩光顏色變化。規律變化如照片四。

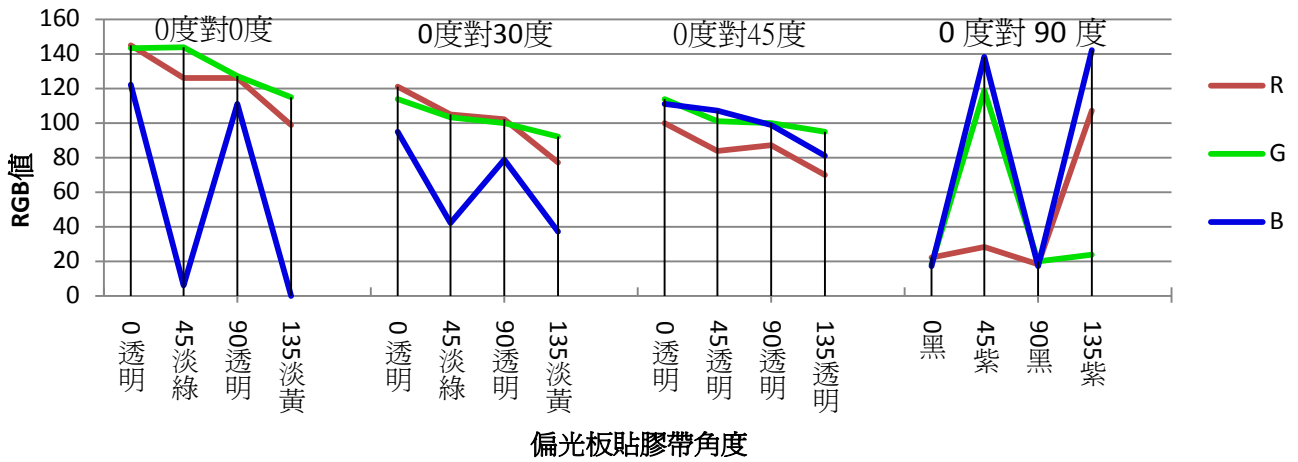




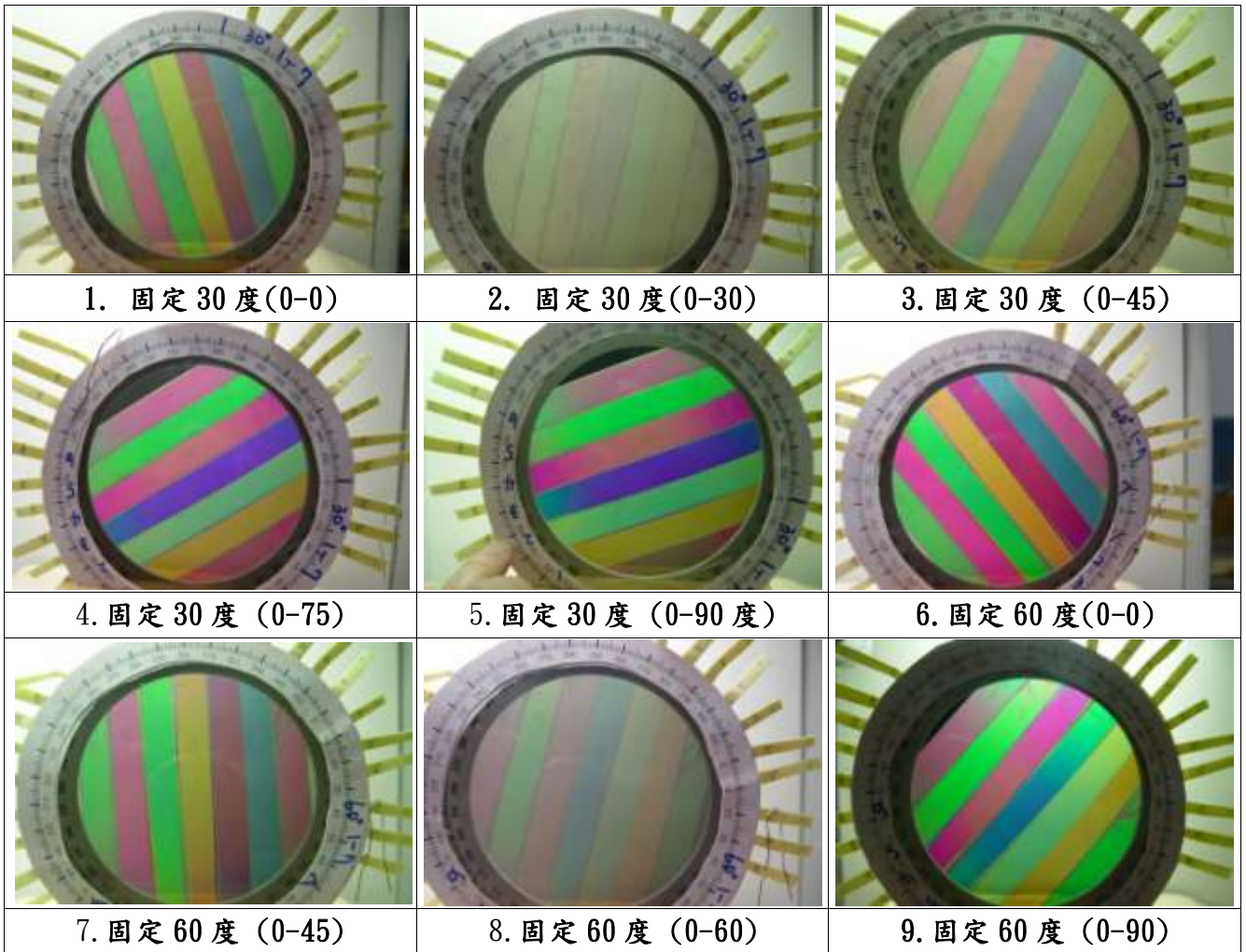
1. 從照片明顯可以看出，貼在偏光板上 0 度和 90 度的膠帶，都無法產生彩光，無論在夾角 0 度、45 度、90 度，都無法有彩光顏色，當兩偏光板相對角度是 0 度對 45 度是，無顏色產生。
2. 照片用 PhotoCap 作 RGB 顏色分析，結果如附件表四作成 RGB 與顏色對照圖(圖四.1、圖四.2 圖四.3)如下

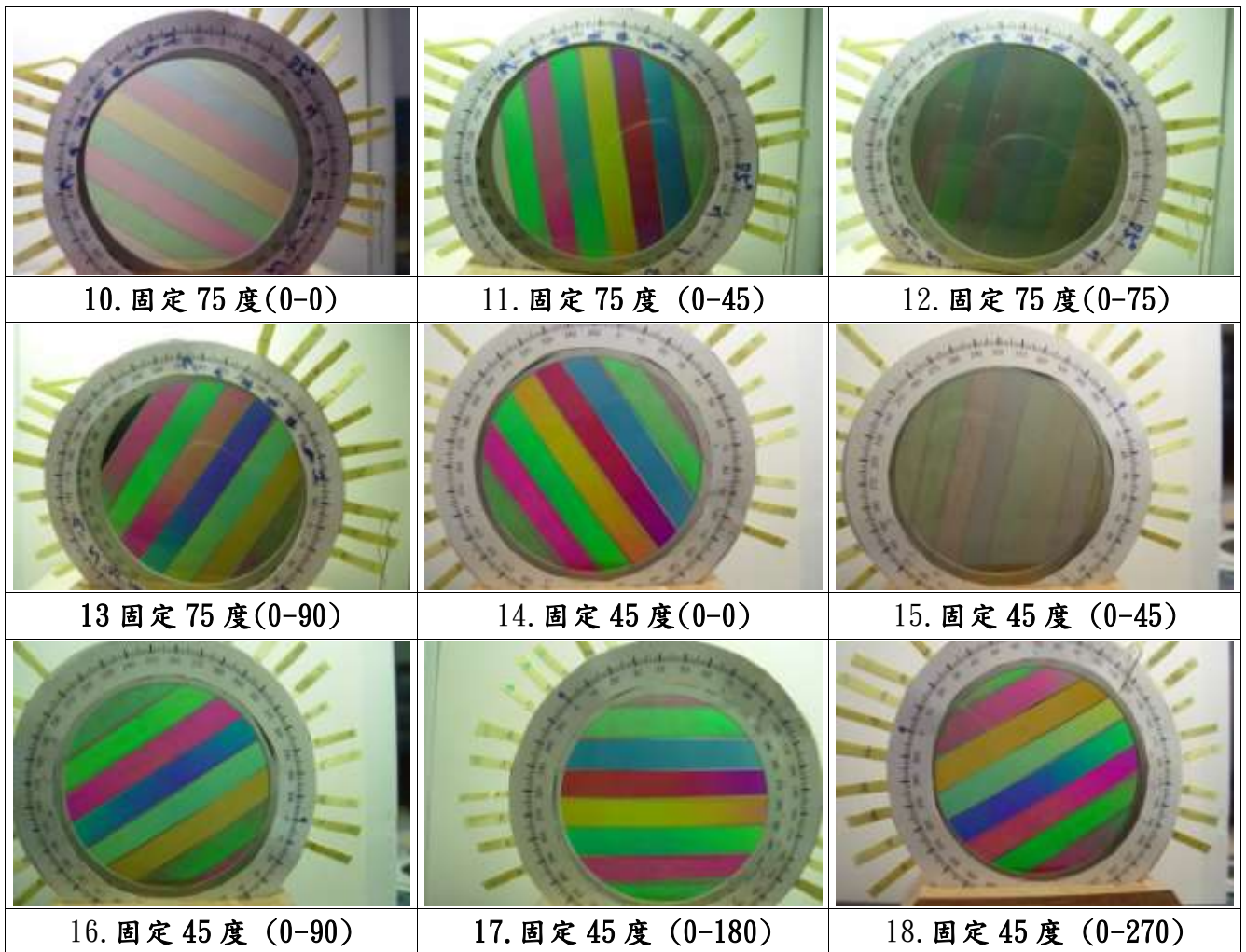


圖四.3 實驗四：觀測偏光板在特別角度對不同厚度透明膠帶顏色變化。3層透明膠帶



五、【實驗五】：觀測偏光板在相同角度(固定 30、60、75、45 度)，貼上不同厚度(一至七層)透明膠帶顏色變化。由實驗操作得以下圖片：

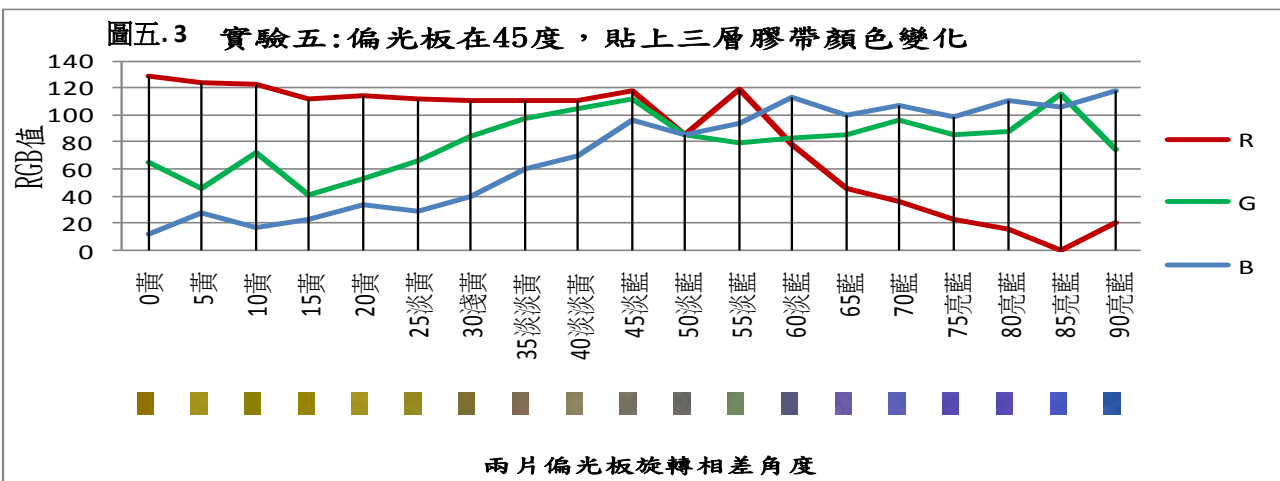
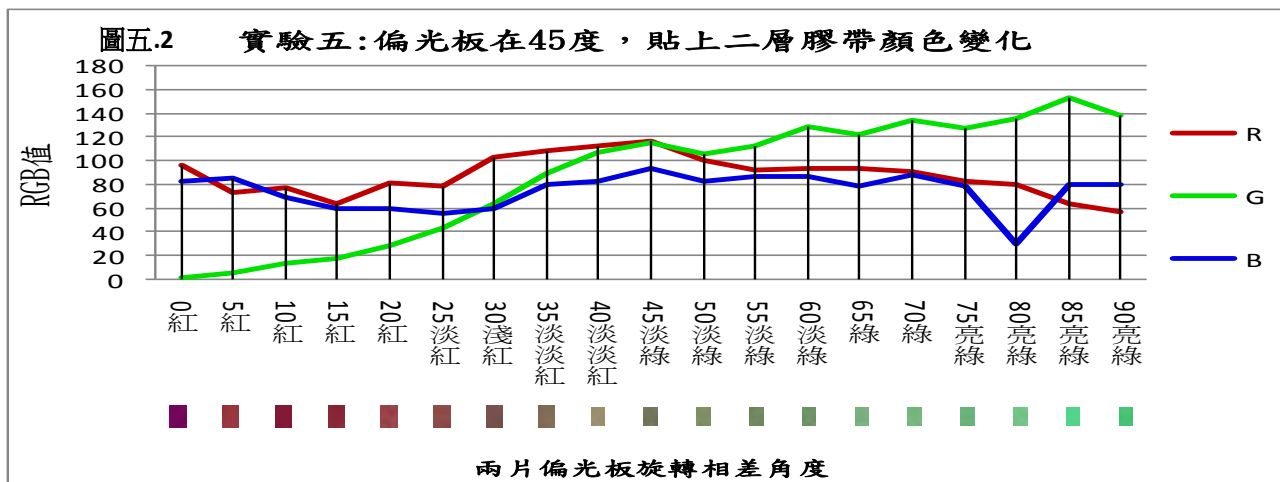
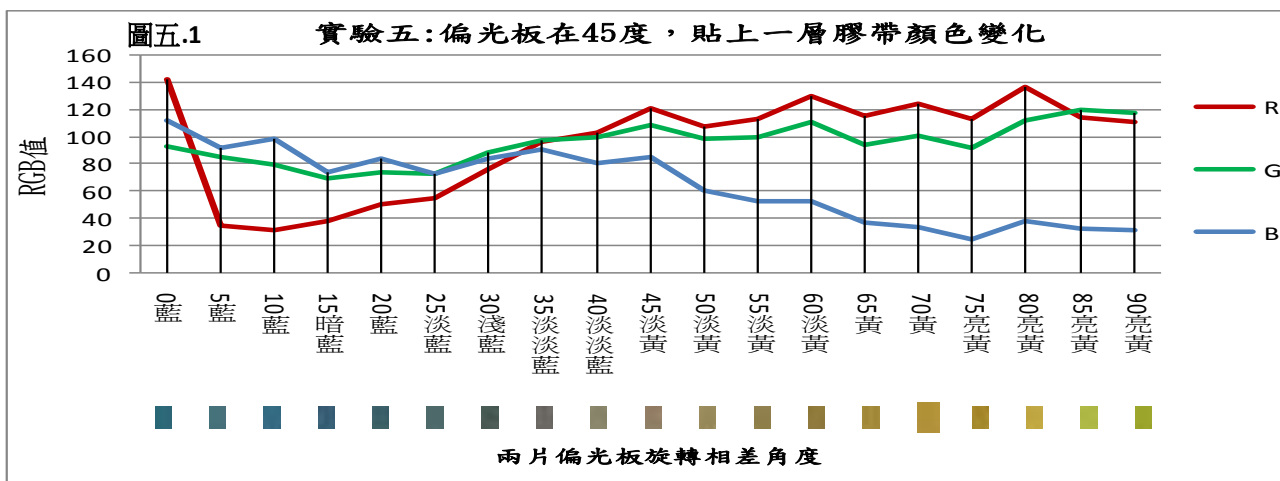




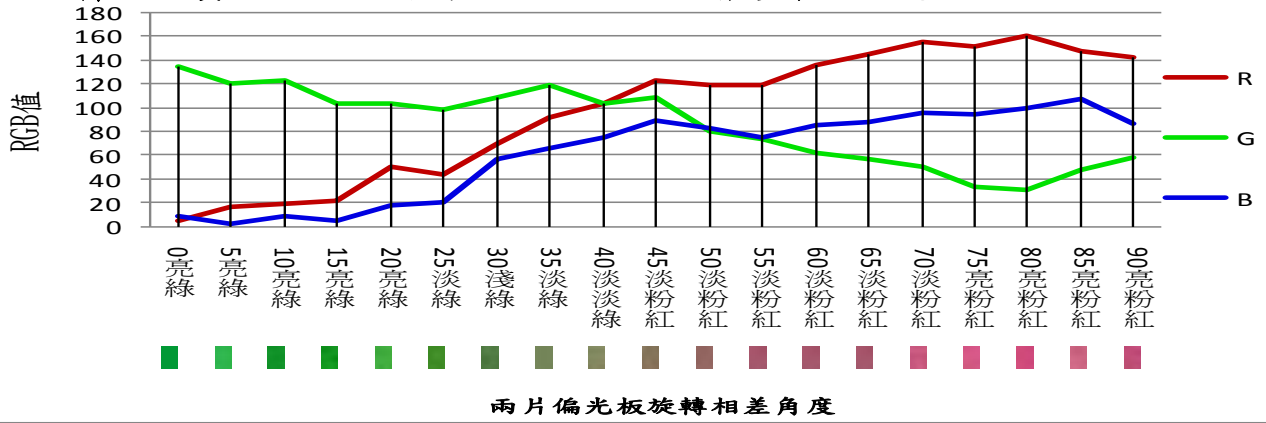
1. 固定 30 度、60 度、75 度貼一至七層膠帶顏色變化，兩偏光板角度從 0 度對 0 度到 90 度(每隔 10 度作一次)，顏色變化在表五.1、五.2、五.3。
2. 固定 45 度貼一至七層膠帶顏色變化，兩偏光板角度從 0 度對 0 度到 100 度(每隔 5 度作一次)，顏色變化在表五.4。第一層是藍色，到 45 度逐漸變成黃色，第二層是紅色，45 度以後逐漸轉成綠色。第三層是黃色，經過 45 度轉變成藍色。顏色會依透明膠帶的厚度而改變。0 到 90 度是一個週期。觀測結果用 PhotoCap 作 RGB 顏色分析，作成 RGB 值與顏色對照圖(圖五.1、圖五.2~圖五.7)。
3. 圖五.8.1 是固定 45 度一至七層膠帶顏色 RGB 值的 R 值，圖五.8.2 是一至七層膠帶顏色 RGB 值的 G 值，圖五.8.3 是一至七層膠帶顏色 RGB 值的 B 值，發現都在 0 度對 45 度時作對稱的變化。
4. 由表五.1 作出圖五.9 是固定 30 度一至七層膠帶顏色 RGB 值的 R 值，發現在 0 度對 30 度時作對稱的變化。
5. 由表五.2 作出圖五.10 是固定 60 度一至七層膠帶顏色 RGB 值的 R 值，發現在 0 度對 60 度時作對稱的變化。
6. 由表五.3 作出圖五.11 是固定 75 度一至七層膠帶顏色 RGB 值的 R 值，發現在 0 度對 75 度時作對稱的變化。

由以上發現，可歸納如下表五：

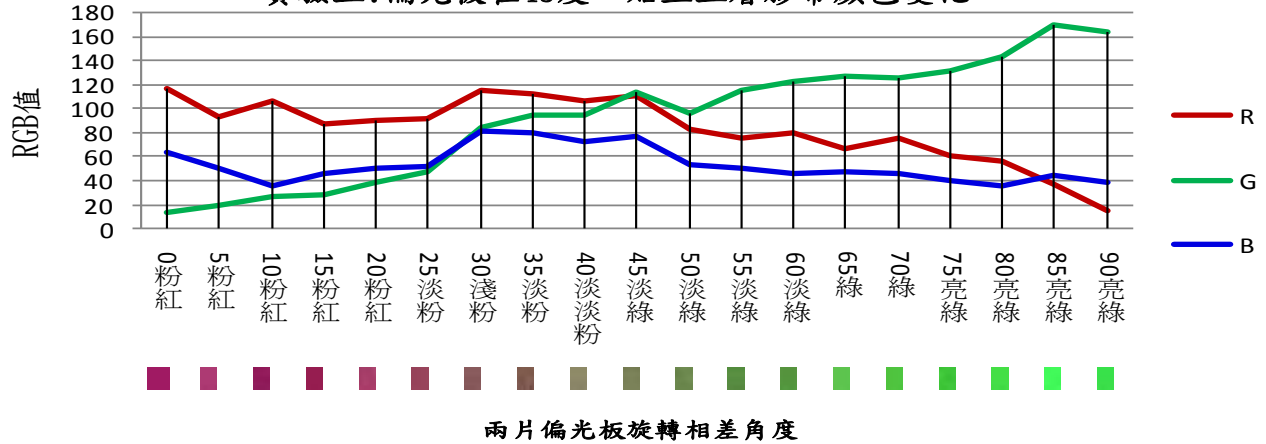
固定角度		固定 30 度	固定 45 度	固定 60 度	固定 75 度
彩光角度		貼 1 至 7 層	貼 1 至 7 層	貼 1 至 7 層	貼 1 至 7 層
產生最佳 顏色兩偏 光板相對 角度	正色	0 度對 345 度 0 度對 165 度	0 度對 0 度 0 度對 180 度	0 度對 15 度 0 度對 195 度	0 度對 30 度 0 度對 210 度
	互補色	0 度對 75 度 0 度對 255 度	0 度對 90 度 0 度對 270 度	0 度對 105 度 0 度對 285 度	0 度對 120 度 0 度對 300 度
開始產生互補色 兩偏光板相對角度		0 度對 30 度	0 度對 45 度	0 度對 60 度	0 度對 75 度



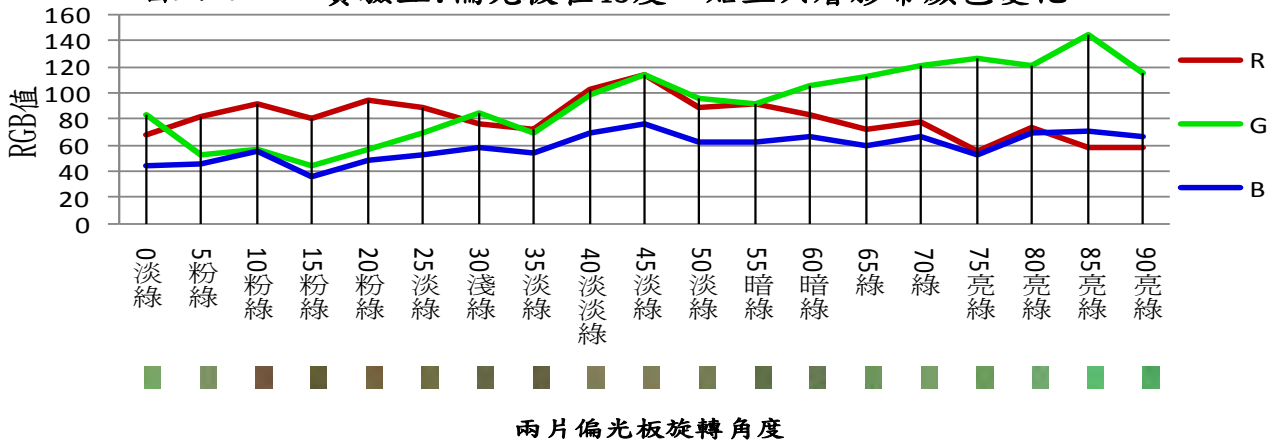
圖五.4 實驗五:偏光板在45度,貼上四層膠帶顏色變化



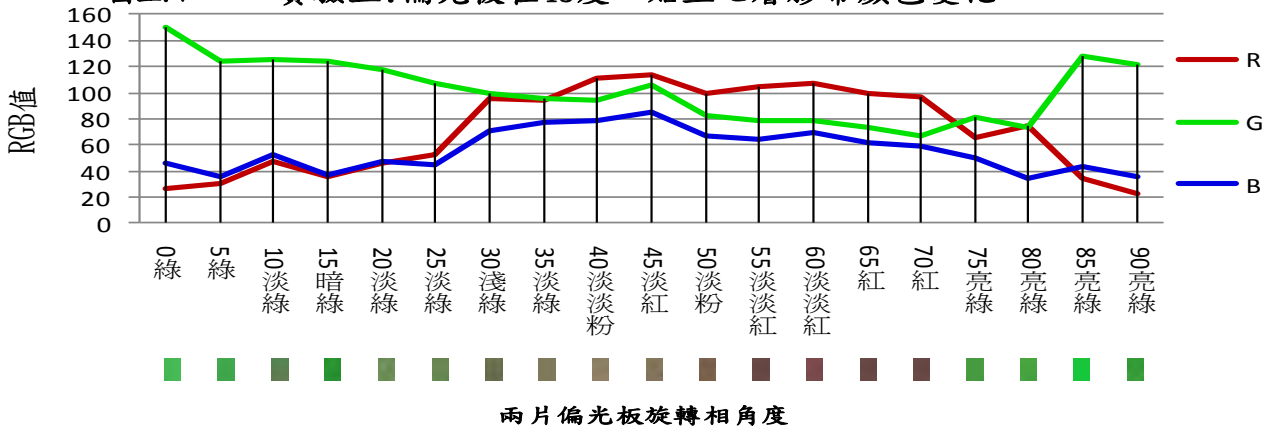
圖五.5 實驗五:偏光板在45度,貼上五層膠帶顏色變化



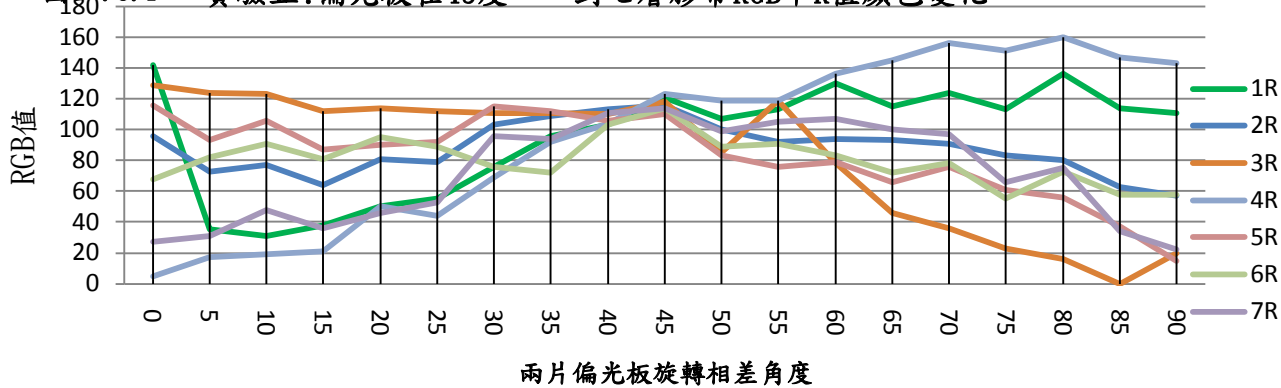
圖五.6 實驗五:偏光板在45度,貼上六層膠帶顏色變化



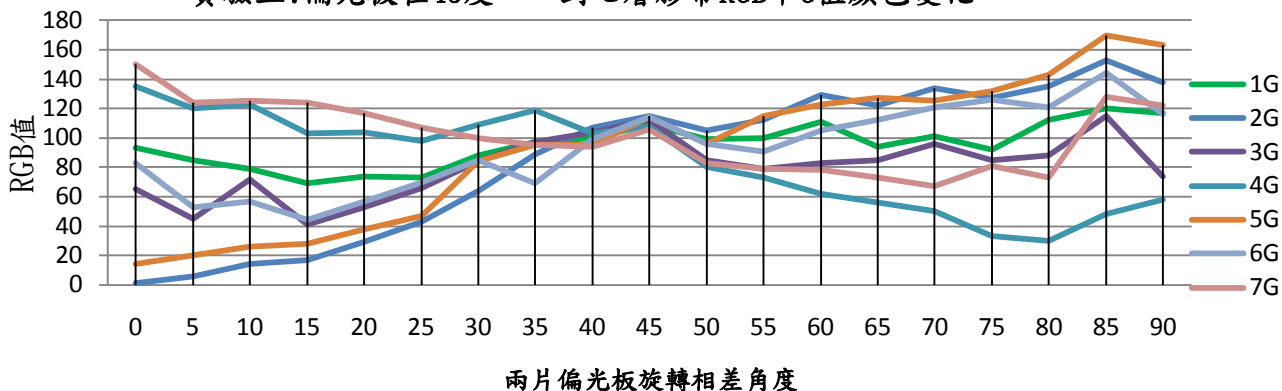
圖五.7 實驗五:偏光板在45度,貼上七層膠帶顏色變化



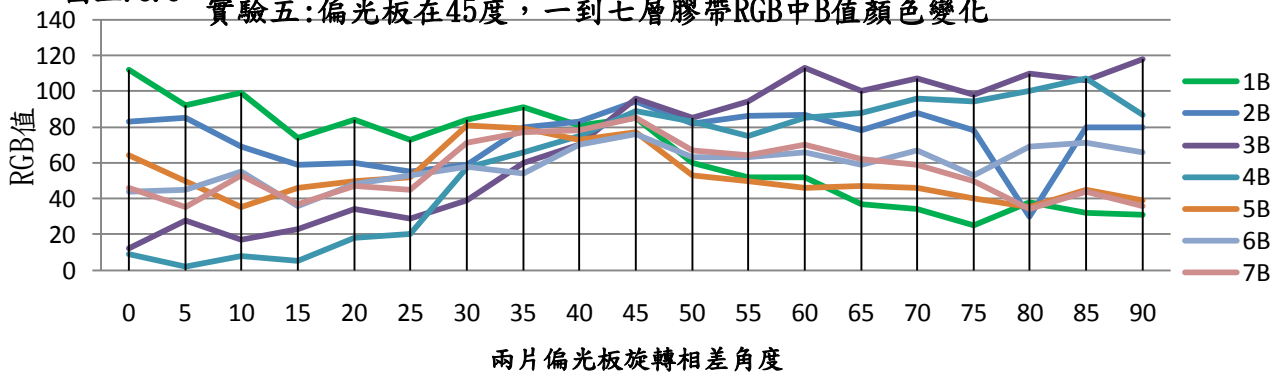
圖五.8.1 實驗五:偏光板在45度，一到七層膠帶RGB中R值顏色變化



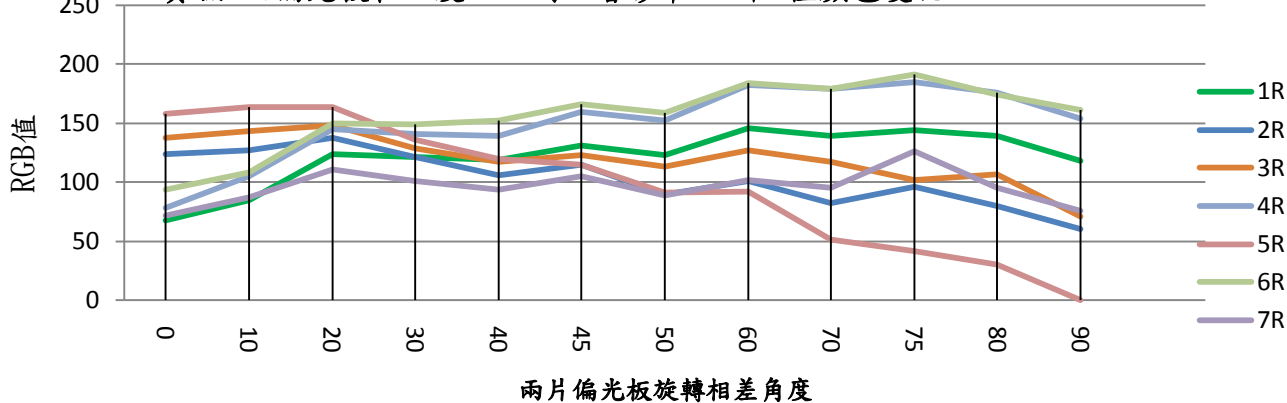
圖五.8.2 實驗五:偏光板在45度，一到七層膠帶RGB中G值顏色變化

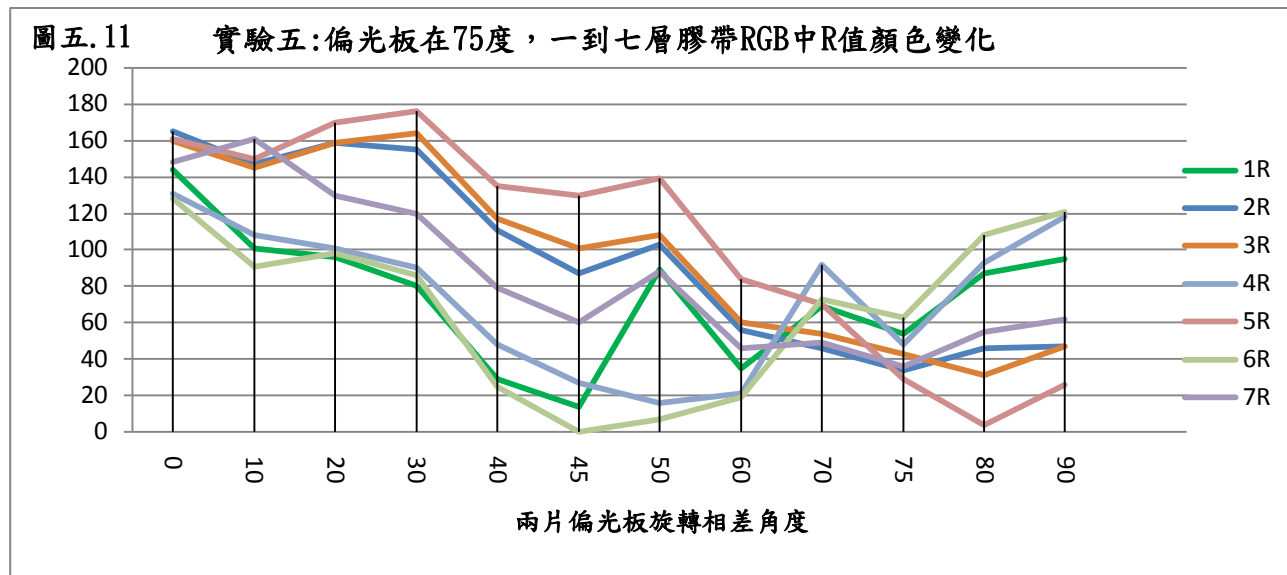
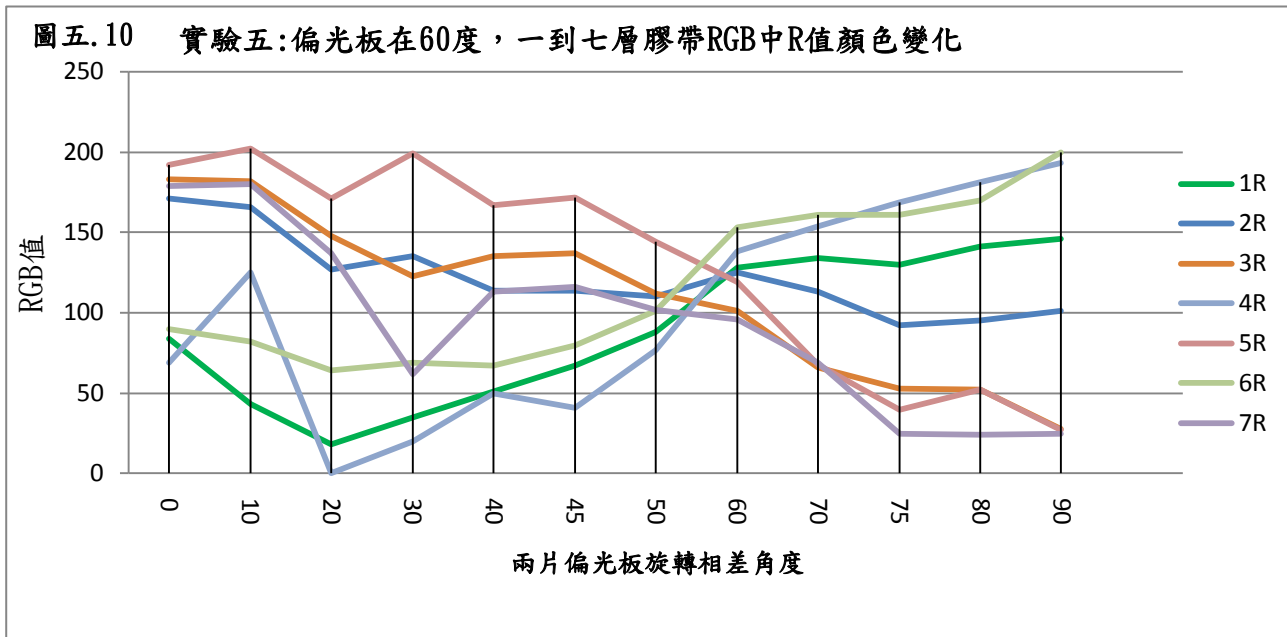


圖五.8.3 實驗五:偏光板在45度，一到七層膠帶RGB中B值顏色變化



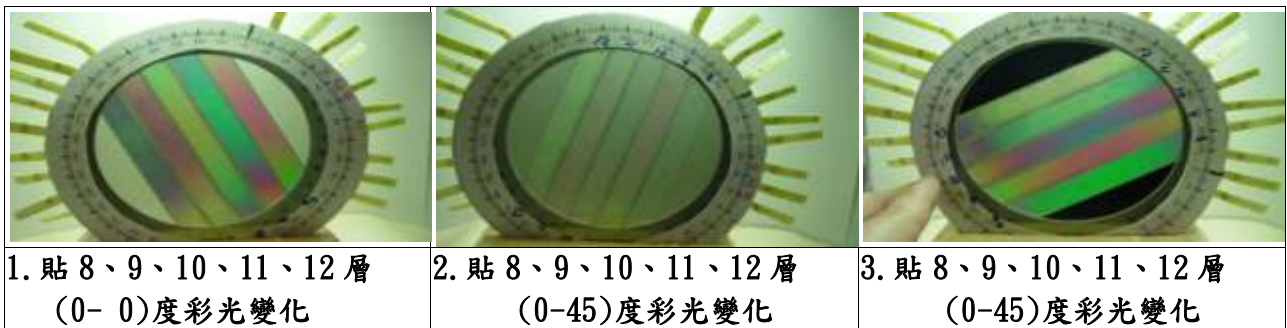
圖五.9 實驗五:偏光板在30度，一到七層膠帶RGB中R值顏色變化





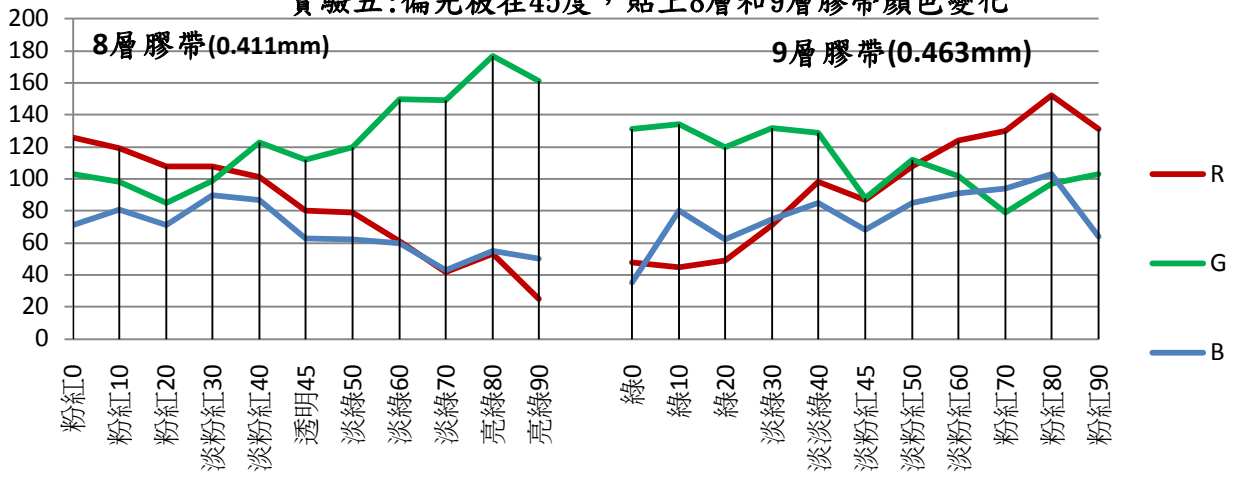
7. 固定 45 度貼 8 至 12 層膠帶顏色變化，兩偏光板角度從 0 度對 0 度到 90 度(每隔 10 度)，顏色變化在表五.5, 作成 RGB 數值與顏色對照圖(圖五.12、圖五.13、圖五.14)如下。

8. 由圖可發現 8 至 12 層膠帶顏色，主要以綠色為主要顏色，G 值很高。



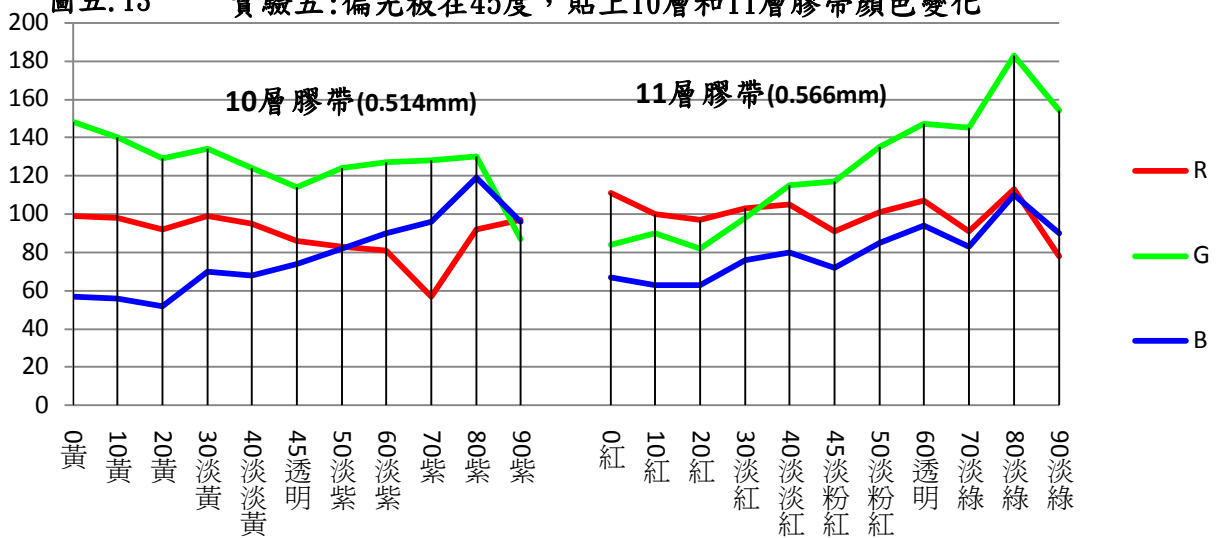
圖五.12

實驗五:偏光板在45度，貼上8層和9層膠帶顏色變化

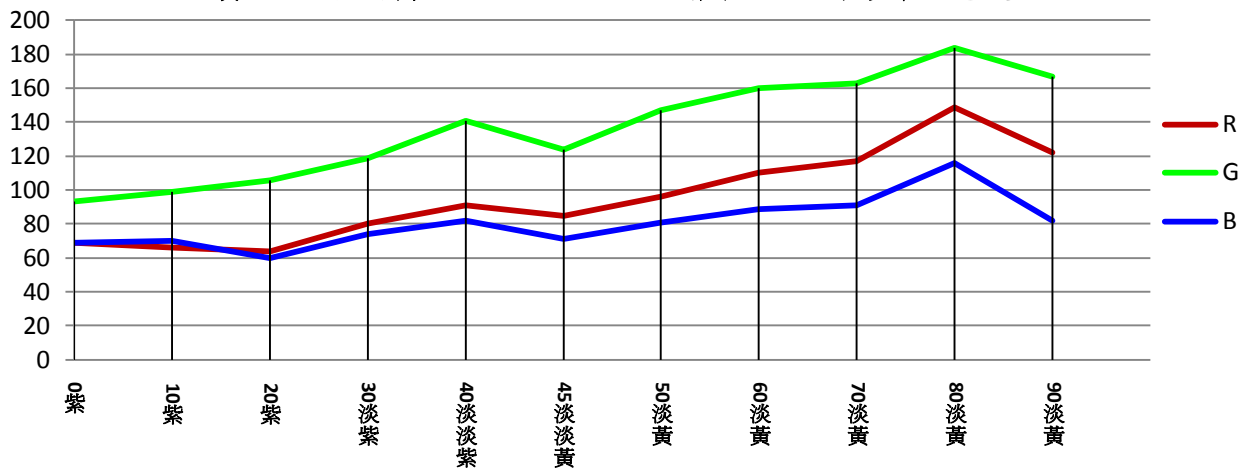


圖五.13

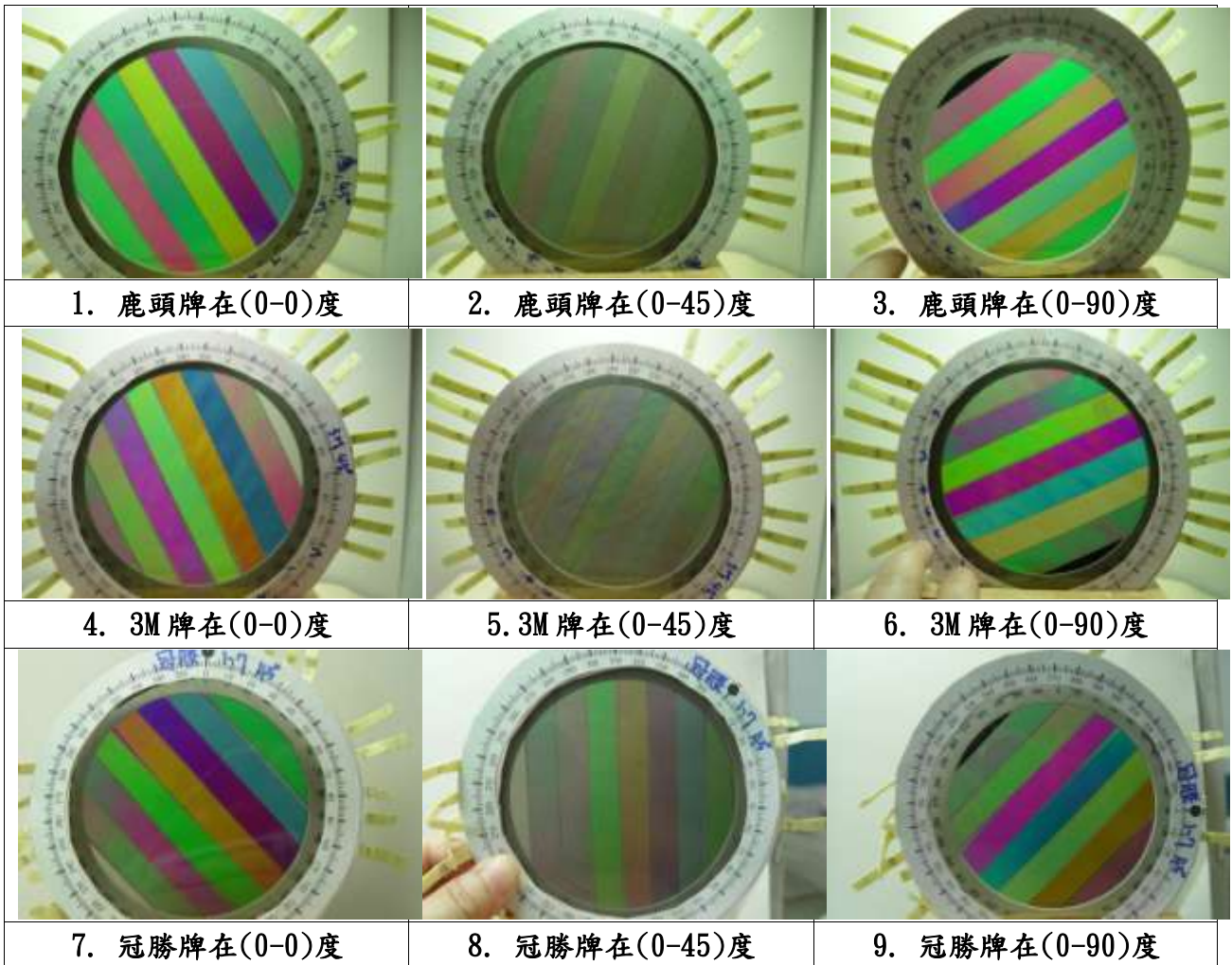
實驗五:偏光板在45度，貼上10層和11層膠帶顏色變化



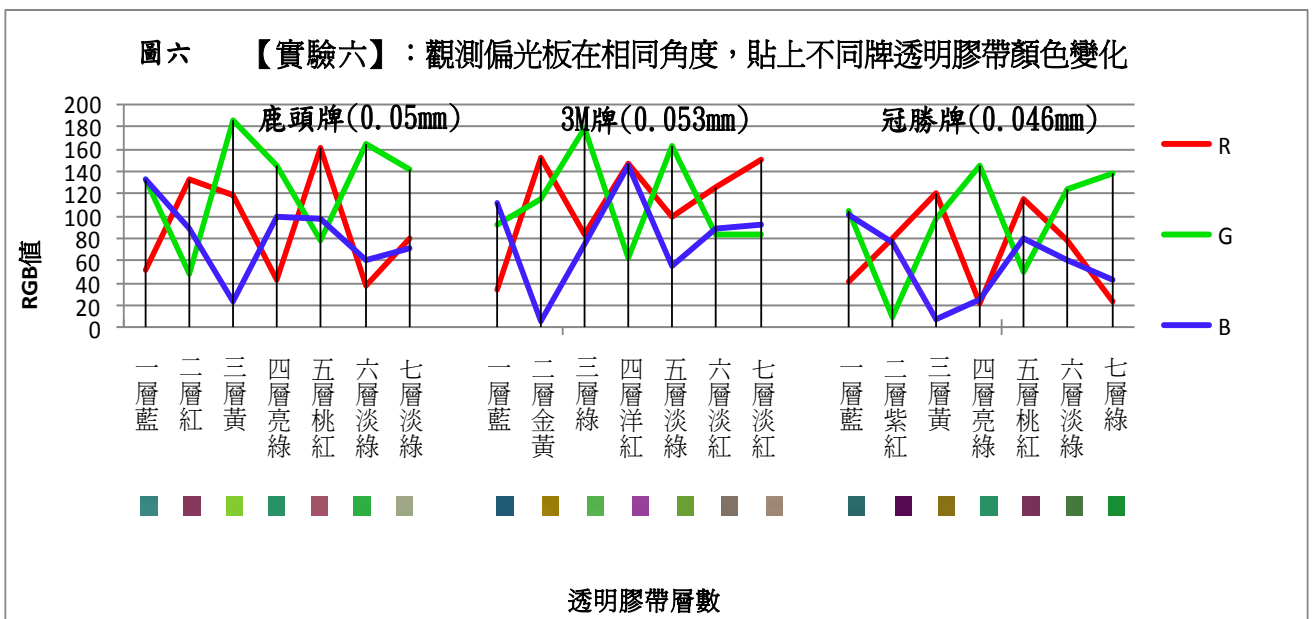
圖五.14 實驗五:相同角度45度，貼上1 2層(0.617mm)膠帶顏色變化



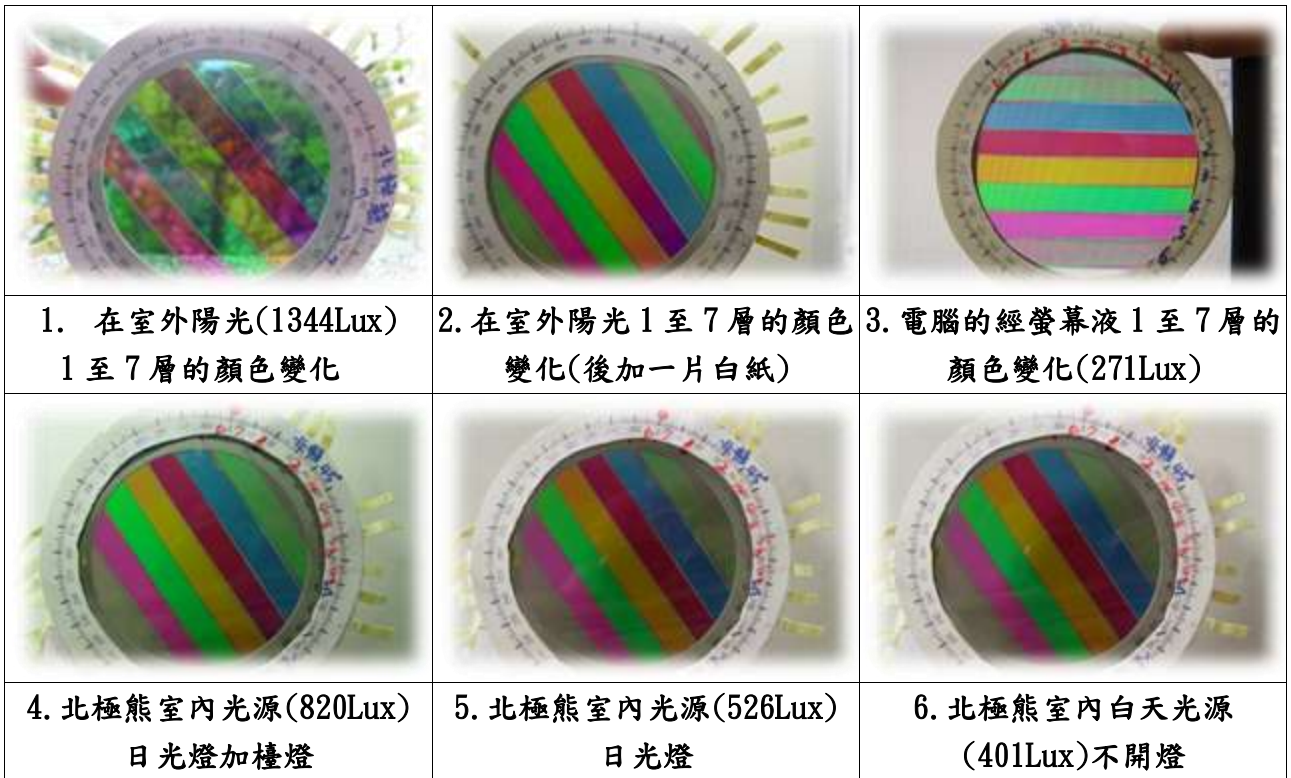
六、【實驗六】：觀測偏光板在相同角度，貼上不同牌透明膠帶顏色變化，變化如下。



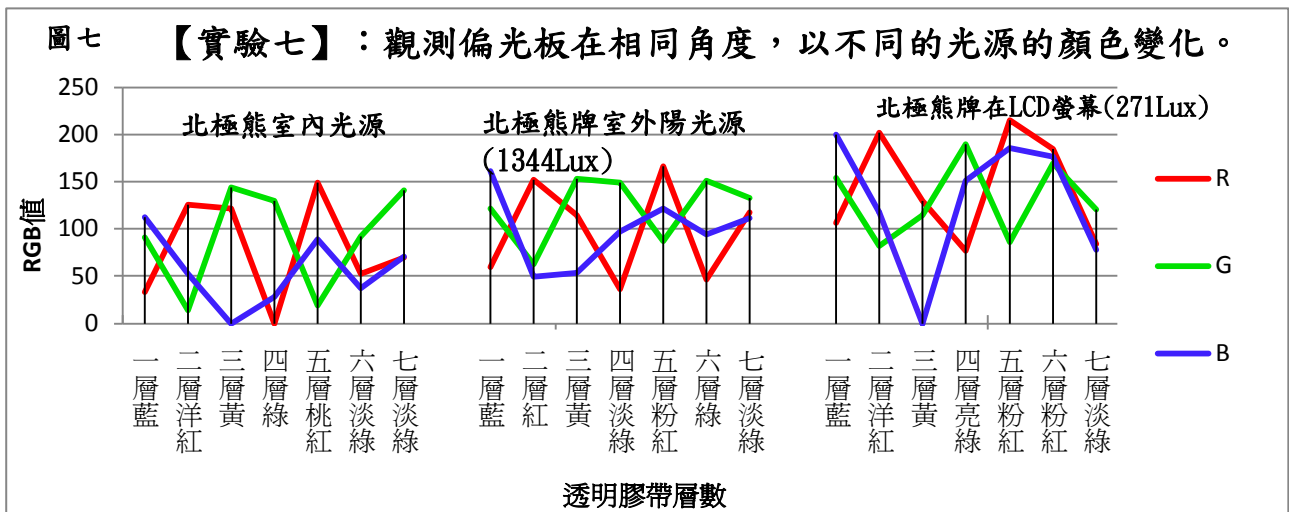
1. 在圖片中(0-0)度和(0-90)度明顯互補色，用 PhotoCap 作 RGB 顏色分析，結果如附件表六，作成 RGB 數值與顏色對照圖(圖六.1)。
2. 以電子游標尺量測不同廠牌的透明膠帶厚度，有少許差異，但顏色變化很大，尤其是 3M 牌厚了(0.003mm)與其它牌顏色就很不一樣。



七、 【實驗七】：觀測偏光板在不同光源下，所產生的顏色變化。



1. 圖片用 PhotoCap 作 RGB 顏色分析，結果如附件表七，作成 RGB 值對彩光顏色對照圖(圖七)光源不會影響偏光鏡所產生的顏色，目測顏色幾乎一樣，RGB 值有一點相差。

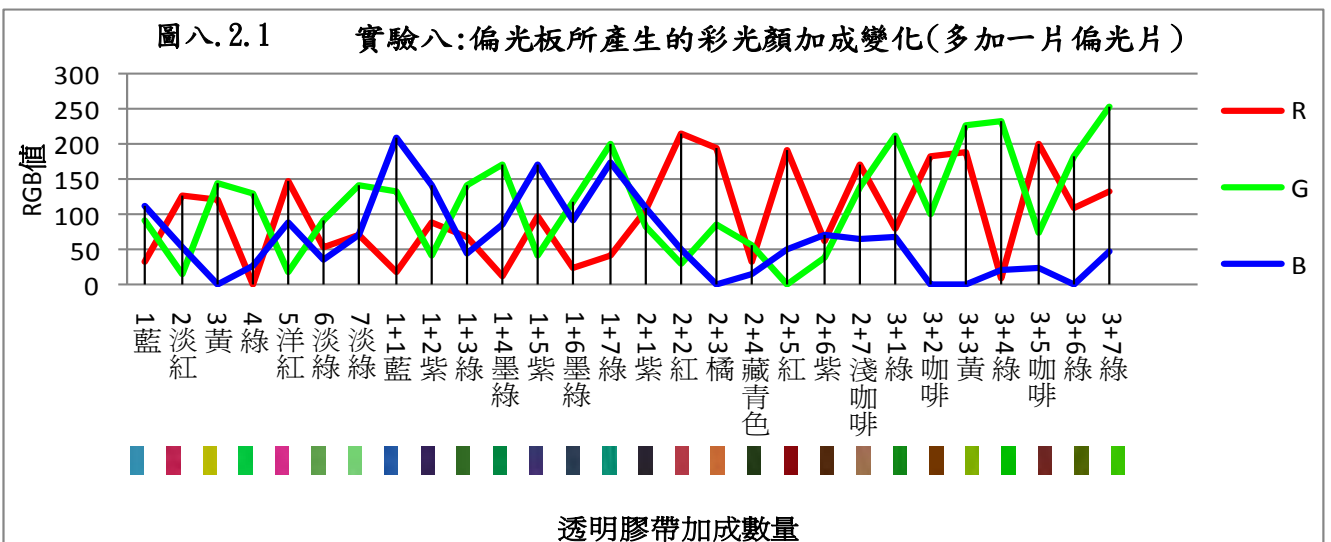
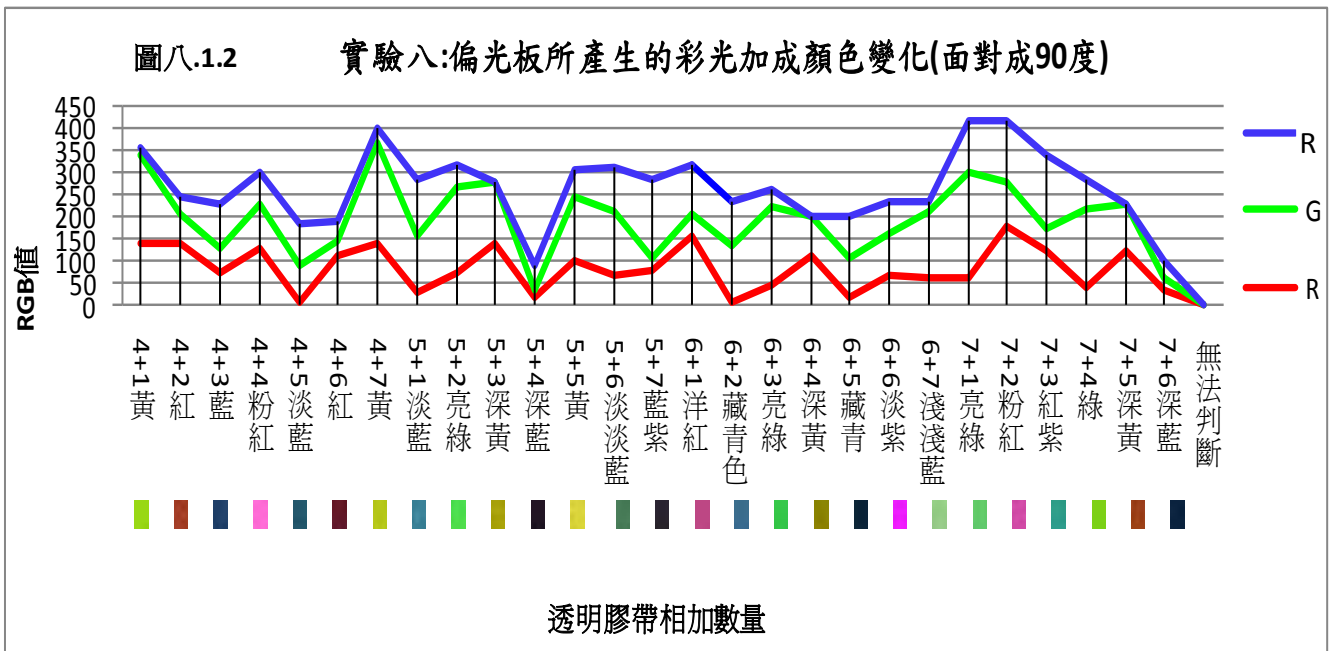
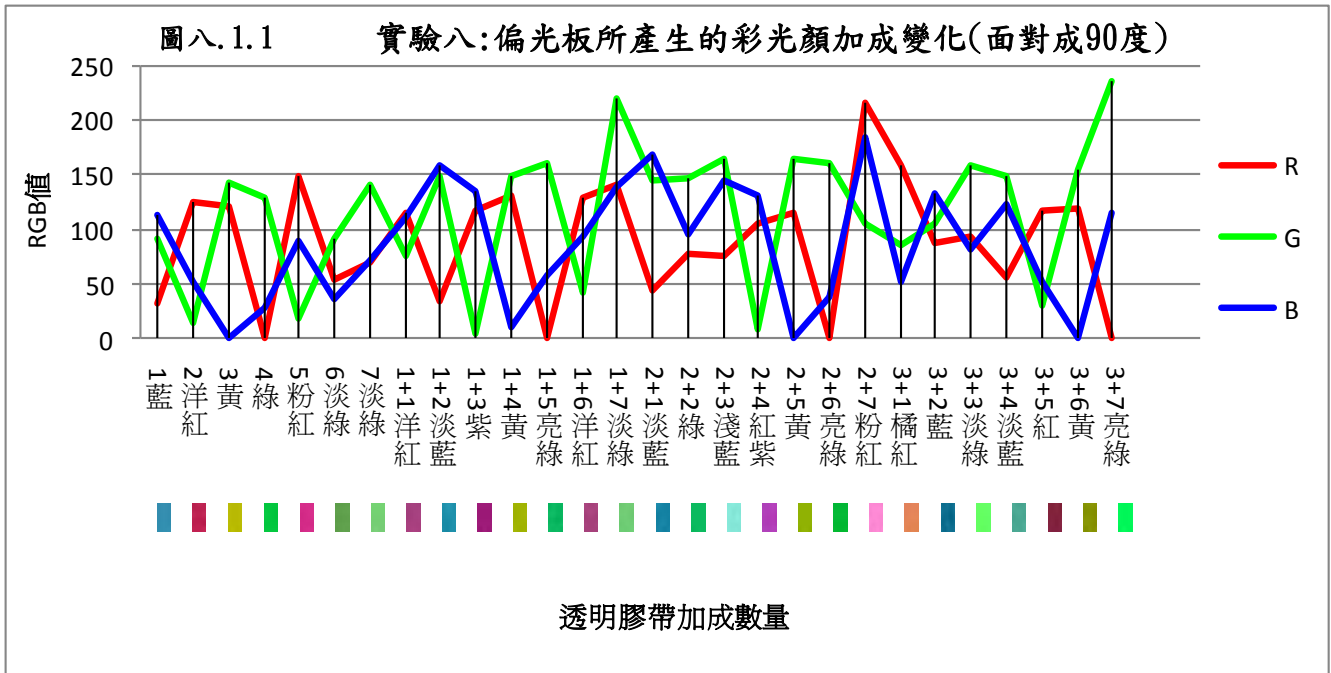


八、 【實驗八】：觀測偏光板所產生的彩光顏色的加成變化。變化如下照片說明



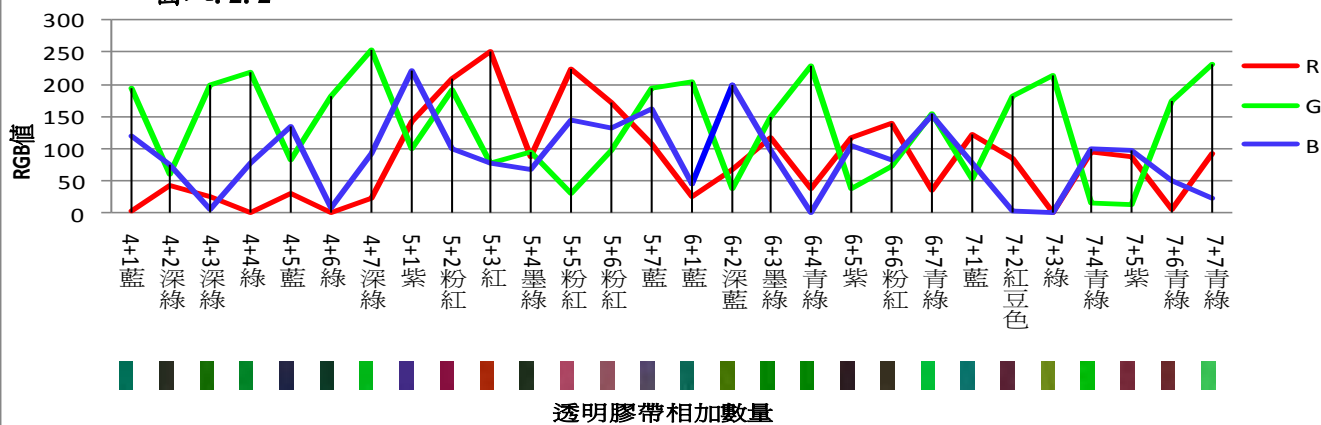
		
4. 重疊變成顏色加深	5. 一層加二層面對疊	6. 可變成直接貼三層的顏色
		
7. 但再加一片偏光片變紫色	8. 貼有 1~7 層兩片(45度)互面對疊成 90 度	9. 變成色彩繽紛的色格圖
		
10. 編號作顏色分析	11. 再加一片空偏光片	12. 兩片(中)再加一片空偏光片，顏色改變
		
13. 編號作顏色分析	14. 兩片(外)再加一片空偏光，顏色不變，更鮮豔更飽滿	15. 貼有 1~7 層兩片(45度)(0-270)度

1. 偏光板所產生的彩光，第一種觀測顏色加成的作用，如果是面對面疊合，產生的顏色會與直接貼膠帶的數量一樣的顏色，以北極熊牌固定 45 度貼 1 至 7 層兩片相加，會得照片 9，用行列標示如照片 10，用 PhotoCap 作 RGB 顏色分析，結果如附件表八.1，但 (1+1, 2+2, 3+3, 4+4, 5+5, 6+6, 7+7) 是白色的，會成白色因為兩片偏光板的相對角度是 0 度對 0 度，以實驗五在 (0-0) 度，貼有 (2、4、6、8、10、12) 層膠作修正，作成 RGB 與顏色對照圖(圖八.1.1、圖八.1.2)
2. 第二種觀測顏色加成的作用如果是面對面疊合，如果中間再加一片偏光片，照片 9 白色部分顏色照片 12，照片 12 用 PhotoCap 作 RGB 顏色分析，用行列標示如照片 13，結果如附件表八.2，作成 RGB 與顏色對照圖(圖八.2.1、圖八.2.2)。



圖八.2.2

實驗八:偏光板所產生的彩光加成顏色變化(多加一片偏光片)



4. 貼有 1~7 層兩片固定(30、60、75) 度互面對疊, 在兩片(0-0)度時, 都不會成正方形, 經過旋轉角度後, 與兩片固定 45 度的顏色相同, 顏色變化如下圖片, 旋轉角度可由公式計算:
 例如兩片固定 30 度, $30+30-90=-30$, $-30+360=330$ (0-330)度

兩片固定 60 度, $60+60-90=30$, (0-30)度, 而中加偏光板的角度, 參考實驗表五。

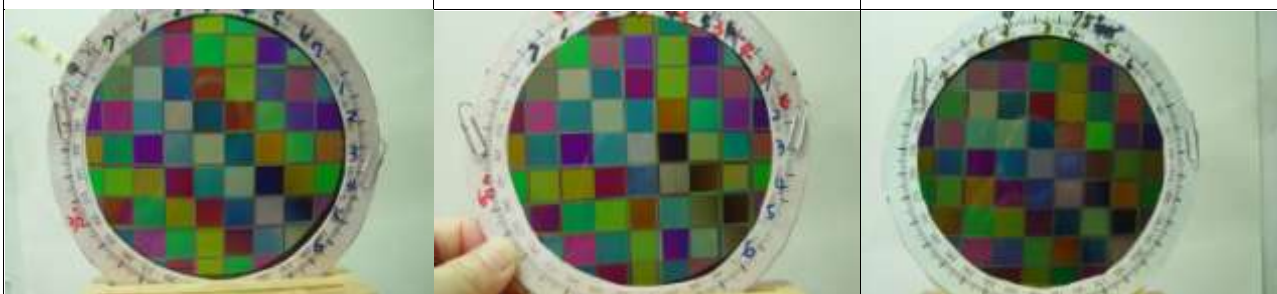
5. 兩片固定(30、60、75) 度互面對疊成直線條, 是固定角度的 2 倍, 如下圖片(25、26、27) 如果是不同角度, 只要角度相加, 例如兩片分別是(30、45)度, 在 0 對 75 度成直線條, 彩光顏色最淡(消失), 詳見參考附錄 1。



16. 兩片 30 度對疊(0-0)度

17. 兩片 60 度對疊(0-0)度

18. 兩片 75 度對疊(0-0)度



19. 兩片 30 度對疊(0-330)度

20. 兩片 60 度對疊(0-30)度

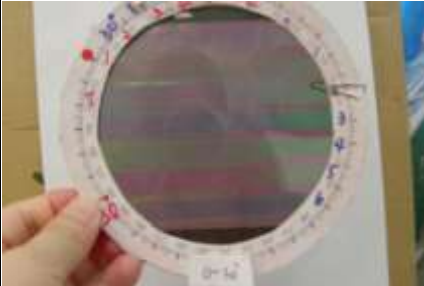
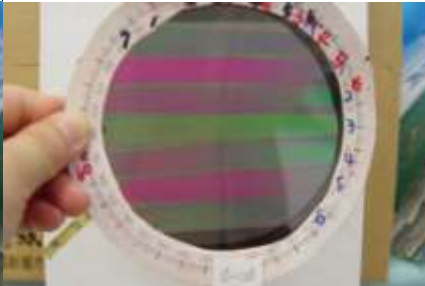
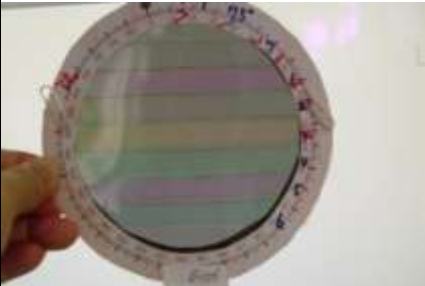
21. 兩片 75 度對疊(0-60)度



22. 兩片 30 度對疊(0-330)度
中加偏光板(0-345)度




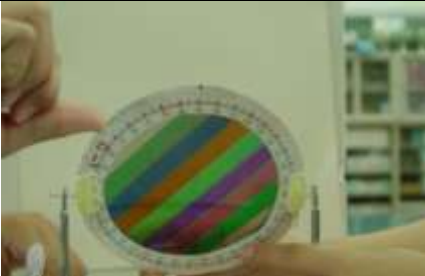
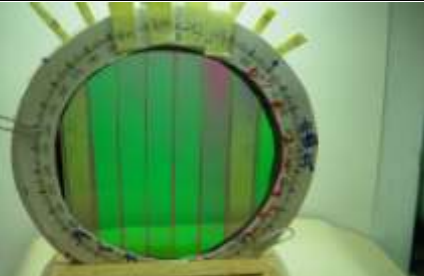

23. 兩片 60 度對疊(0-30)度
中加偏光板(0-15)度

24. 兩片 75 度對疊(0-60)度
中加偏光板(0-30)度

		
25. 兩片 30 度對疊(0-60)度成直條狀形	26. 兩片 60 度對疊(0-120)度成直條狀形	27. 兩片 75 度對疊(0-150)度成直條狀形

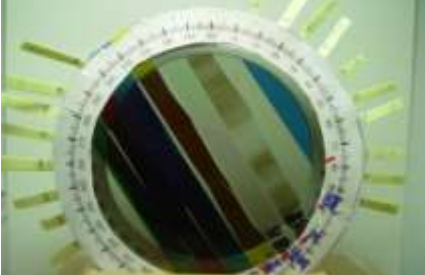

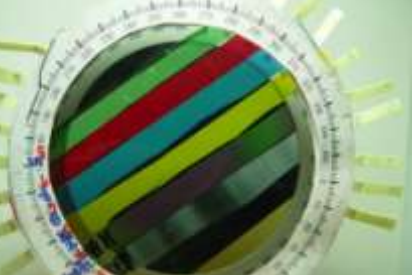
【實驗九】：觀測位置改變對偏光片所產生的彩光影響。

1. 由實驗操作顏色會隨觀察者與偏光版相對位置不同而不同，上下左右差 10 度顏色都會改變，彩光顏色會變淡，或變成相鄰層數的顏色，或變成互補色。
2. 把兩片固定 45 度貼有 1 至 7 層偏光板互疊成 6 層(圖片 5、6)，正面與左側觀測不一樣，互為互補色。

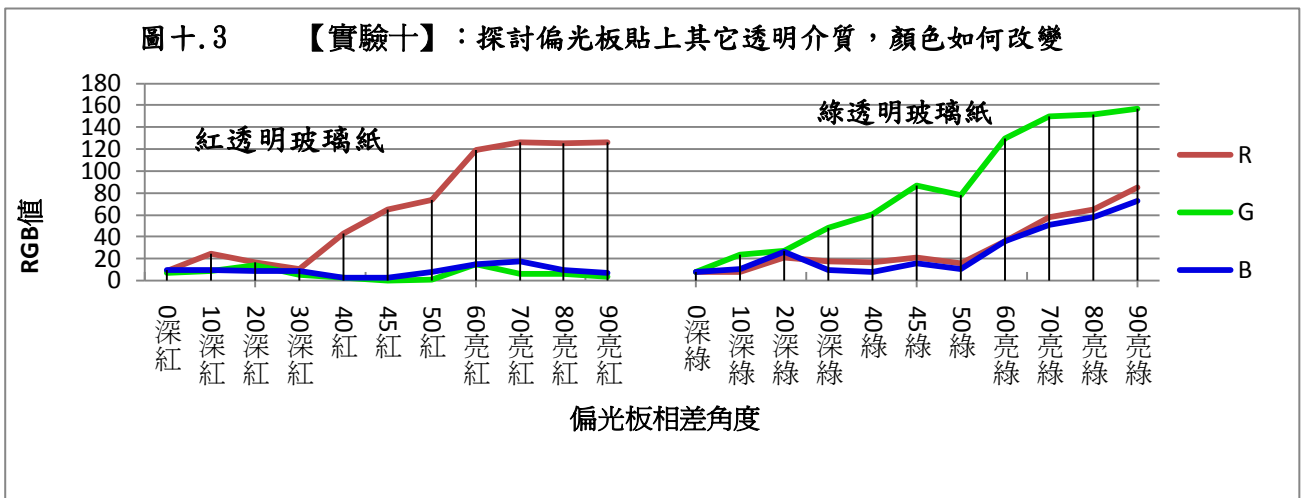
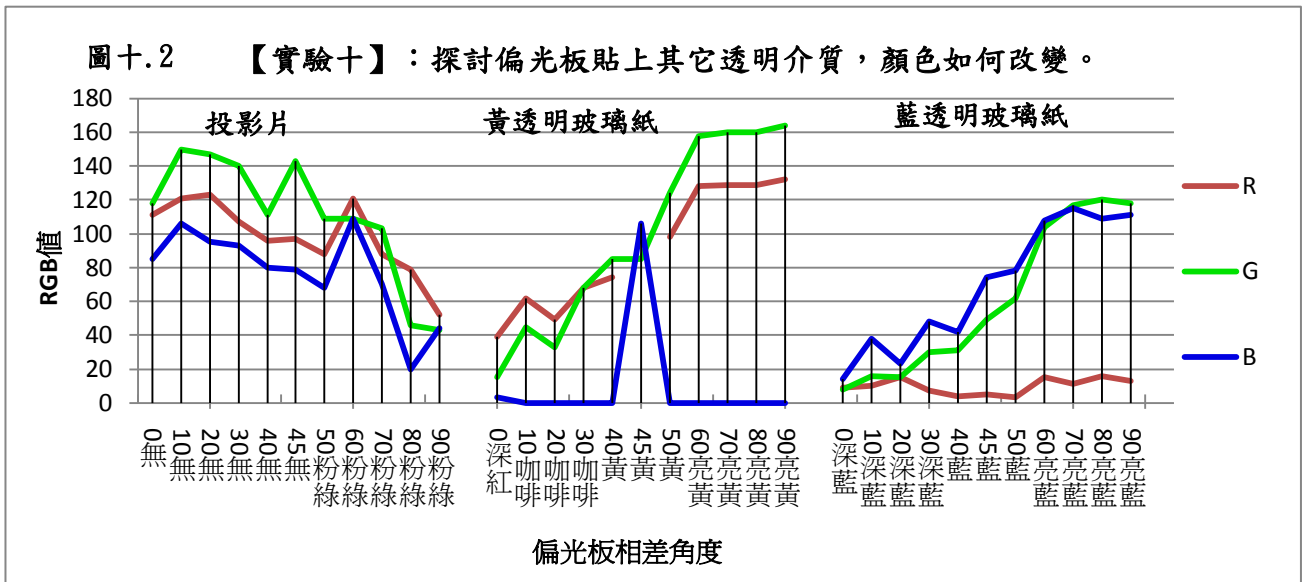
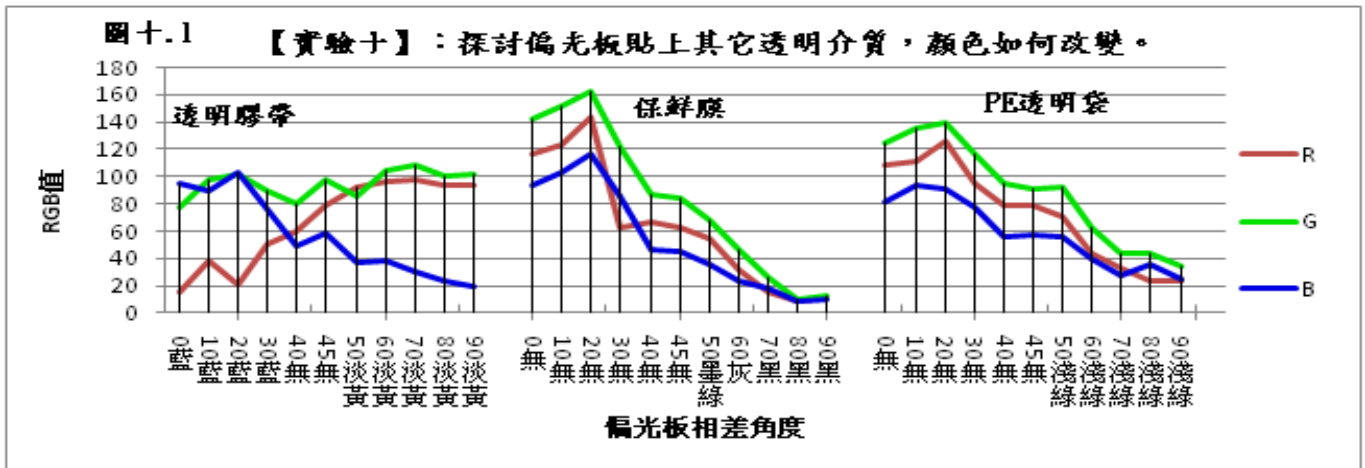
		
1. 偏光版不動，觀察位置在正面 90 度	2. 觀察位置在 120 度	3. 觀察位置不動，偏光版轉動 20 度
		
3. 觀察位置不動，偏光版向前轉動 10 度	5. 5+1、4+2, 3+3, 2+4, 1+5 正面觀測，顏色符合貼 6 層的顏色	6. 5+1、4+2, 3+3, 2+4, 1+5 左測觀測，顏色像貼 5 層的顏色

十、 【實驗十】：探討偏光板貼上其它透明介質，顏色會如何改變。

1. 偏光板上 8 種不同透明介質顏色變化，變化如下圖片：


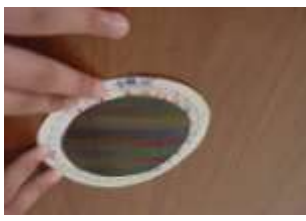



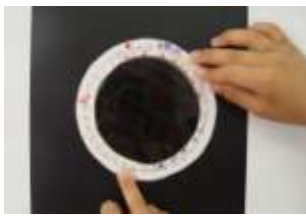
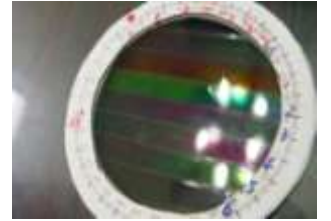
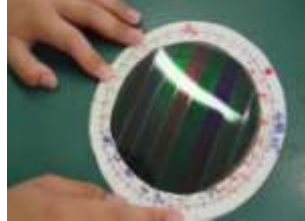



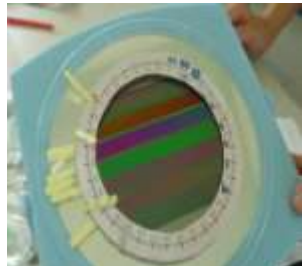
		
1. 在(0 度對 0 度)	2 在(0 度對 45 度).	3. 在(0 度對 90 度)

2. 圖片用 PhotoCap 作 RGB 顏色分析，結果如附件表十，作成 RGB 值和彩光顏色對照圖(圖十.1、圖十.2)兩片偏光片加入其他的介質，未必會有顏色，但會使紅、藍、綠玻璃紙，顏色更鮮豔。



十一、【實驗十一】：探討一片偏光板在其它光滑平面，顏色會如何改變。





















1. 把貼有一層至七層偏光板放在平滑物體面，觀測彩光顏色變化如下圖片。
2. 發現在平面有反光的面，會產生彩光，鏡子更會依不同角度，產生鮮豔的彩光，與偏光板相同，顏色變化多端。

			
1. 象牙白桌面	2. 貼棕色木紋	3. 電子白板	4. 窗戶透明玻璃
			
5. 冰箱門面	6. 黑色塑膠墊片	7. 書桌玻璃面上	8. 綠色橡膠桌墊
			
9. 在毛玻璃面上	10. 在空中	11. 鏡面	12. 鏡面

3. 發現在平面有反光的面，會產生彩光，鏡子更會依不同角度，產生鮮豔的彩光，與偏光板相同，顏色變化多端。

十二 【實驗十二】：偏光片所產生的彩光在生活上的發展。

1. 比較雄獅牌 59 色蠟筆，與實驗所得彩光顏色相對照，得以下結果。說明如下：呈現顏色以(一, 85)呈現，表示偏光板在 45 度，貼上一層膠帶，0 度對 85 度時所得顏色(參照實驗五)。若以(8, 1+1)呈現，表示兩片偏光板在面對成 90 度時，第一層與第一層彩光顏色加成變化(參照實驗八)，若無標示則為未發現相近顏色。

									
朱 (二,5)	紅 (二,10)	橙 (8.2.1,2+2)	亮橘 (8.2.1,2+3)	黃土 (8.2.1,2+7)	柑 (8.1,4+2)	銘黃 (一,75)	黃 (一,85)	象牙 (一,80)	淺茶 (8.2.1,2+7)
									
皮膚	青磁 (二,80)	淺綠 (二,55)	黃綠 (四,20)	草綠 (二,85)	青綠 (二,65)	深綠 (一,15)	藍 (一,20)	群青 (一,5)	靛青 (一,0)

青 (三,70)	淺青 (三,85)	水 (8.1.1,1)	藍綠 (8.1.1,1+2)	暖灰	淡藍 (一,20°)	淡黃 (8.1.2,5+5)	淡青綠 (8.1,3+3)	粉肉紅 (八,0)	黃肉色 (8.1.2,5+3)
蘋果綠 (五,80)	淺藍 (8.1.1,2+3)	灰紫 (十一,0)	藍紫 (8.1.1,2+4)	桃 (四,85)	紫 (二,0)	灰紅紫 (四,75)	鵝黃 (8.1,3)	紅磚 (8.1,3+1)	土橘 (一,70)
銀	金 (三,30)	嫩紅 (8.2,2+5)	橘粉紅 (8.1.1,3+1)	紅豆 (二,5)	墨綠 (六,30)	深茶 (二,10)	黑土 (四. 2.0-90)	駱駝色 (四,45)	茶 (二,15)
淡咖啡 (二,25)	橄欖 (六,25)	深橄欖 (六,35)	土綠 (六,55)	灰綠 (六,60)	深灰	灰	黑 (四. 3.0-90)	白	

2. 偏光片所產生的彩光在生活上的發展應用，如照片所示。



陸、 討論

- 【實驗一】：了解偏光板的特性，應用在日常生活中非常多，由這個實驗中發現 LCD 液晶螢幕正面的角度，與標準偏光板的角度呈 45 度時，覺得這個現象很有趣，所以在設計實驗時，特別以 45 度做特別觀察，果然在接下來的實驗中發現，45 度可以讓色彩非常飽和，也是方便操作的角度。但其它 LED、液晶電視和手機最亮的角度與標準偏光板相同，哪一種優點多，值得研究。另一發現立體劇場所使用的眼鏡，一眼是平行光，一眼是垂直光，原來這樣可以有立體效果。
- 【實驗二】：偏光板貼上透明膠帶，可以產生顏色，但要如何記錄顏色的變化，是一大難題。最後經過老師和我們的共同討論，再加上學過的圓周角變化的概念，所以用圓形 360 度的刻度來表達，可以正確記錄說明彩光顏色依偏光板角度而改變。根據實驗結果發現，在圓形偏光板貼一層膠帶在(0-0)度時，由 0 度到 45 度彩光顏色由透明變藍，再由 45 度到 90 度，由藍變透明，超過 90 度顏色又會透明變藍，由圖二.1 可知 360 度的

偏光板有 4 個週期。在(0-90)時，彩光顏色由黑變黃(圖二.3)，藍與黃是互補色。

- 三、【實驗三】：是要了解透明膠帶貼在相同的角度，改變透明膠帶的厚度和兩片偏光板的相對角度，是改變產生彩光的主要原因。
- 四、【實驗四】：在【實驗二】中兩偏光板的相對角度(0-0)度時，發現透明膠帶貼在(0-180)度、(90-270)度時是透明，(45-225)、(135-315)度光顏色會最飽和。改變兩偏光板的不同相對角度，在(0-180)、(90-270)度的膠帶始終都沒有彩光出現。而膠帶貼在(45-225)、(135-315)度，兩偏光板的相對角度在(0-45)、(0-135)度彩光顏色會變淡消失。了解貼膠帶的角度與兩偏光板的相對角度相同時(45 或 45+90)度，彩光顏色會變淡消失，在相對角度超過 45 度時，彩光顏色轉為互補色。
- 五、【實驗五】：在前面由實驗一到實驗四，發現兩片偏光板在夾角(0-0)度的時，貼在 45 度膠帶所產生的顏色最飽滿。所以，先固定 45 度做不同厚度的實驗，發現所有 RGB 值，在 45 度的時會有對稱的改變(由圖五 8.1、8.2、8.3)可知。固定在 30 度(圖五.9)、60 度(圖五.10)、75 度(圖五.11)，它們的 RGB 值，也會有對稱的改變。根據實驗觀察膠帶貼的角度位置，當與兩偏光板的相對角度相同時，是互補色轉換的角度。雖透明膠帶貼在不同角度(但只要加減 45 度)，會得到最佳相對角度，使產生的彩光顏色最飽和，參考表五。
- 六、【實驗六】：本實驗所用不同牌的膠帶厚度雖差(0.001~0.005)mm，顏色卻改變很大，參圖六.1、六.2。
- 七、【實驗七】：不同的光源下，對偏光板所產生彩光顏色影響不大，眼睛辨識不出差異。參圖七.1。
- 八、【實驗八】：偏光板所產生彩光顏色會有加成的效果有兩種形式，一種是互對相加，分別在兩片偏光板膠帶數和直接相同層數產生的彩光一樣，如兩片都是藍色，和起來是洋紅色，這是多層膜折射效果；另一種是彩光相加，兩片都是藍色，和起來是藍色，兩片分別是藍色，洋紅色和起來是紫色，這是光線愈加愈亮，可以得到更亮的顏色。
- 九、【實驗八】：固定角度(45°、30°、60°、75°)兩片，互相對疊，7 條狀膠帶可變成 49 個小正方形彩光顏色，45°在(0-0)度形成，其它角度必須改變兩片偏光板的相對角度，才能有此變化，詳參結果實驗八.4。以上所得的加成彩光顏色相同。
- 十、【實驗九】：由實驗操作顏色會隨觀察者與偏光版相對位置不同而不同，驗證了文獻中所提及的物理色，會因光線入射角度或觀察者角度不同而出現不同顏色。本研究所觀測的顏色都是直接面對 90 度的觀察顏色。
- 十一、【實驗十】：探討偏光板貼上其它透明介質，未必會有顏色，但會使原來的顏色紅、藍、綠顏色更鮮豔，參圖十.1、十.2、十.3，與文獻資料符合。
- 十一、【實驗十一】：發現在一片偏光板所產生彩光在其它平滑面不明顯，但在反射超佳的鏡子，改變觀察角度，色彩變化無窮，可當未來研究。
- 十二、【實驗十二】：利用偏光板產生顏色的特性，可以讓我們生活更有趣，如：畫畫不用顏料，就可以製作出色彩繽紛的圖畫，萬花筒可以隨心所欲，調整喜歡的彩光顏色，房間的牆壁，也可以用偏光板加鏡子任意改變顏色。
- 十三、本研究偏光板產生的彩光顏色，以數位相機拍攝後再以 PhotoCap 作三原色 RGB 數值分析，主要是因為用目測眼睛所看到的顏色都差不多，但透過 RGB 數值圖表分析差異很大，所以彩光顏色用 RGB 值和顏色做對照圖方便察看。

柒、 結論

- 一、研究偏光板的顏色，由黑白變彩色，我的學習也變成彩色，原來偏光板貼上透明膠帶會產生顏色，主要是因為光線進入貼有透明膠帶的偏光版後，因偏光板只會使某一特定方向的光進入，反射時產生路徑差（相位差），會隨觀看角度的不同，而呈現不同的彩光。膠帶貼的角度位置是決定彩光的關鍵，最佳角度是45度（最方便操作），貼的角度與兩偏光板的相對角度相同時，是互補色轉換的角度。
- 二、兩片偏光板中間沒有其它透明介質，這時是黑白，由相對角度決定明暗亮度；透明介質影響彩色的產生，透明膠帶產生的顏色效果最好，已有顏色的透明介質，不會再使偏光板產生其他彩光顏色；豐富多變有規律的彩光顏色，決定於透明膠帶貼的角度、厚度和兩片偏光板相對角度，觀測角度，不同廠牌的透明膠帶產生的彩光也很豐富。
- 三、兩片偏光板貼上透明膠帶不僅可以產生非常多的彩光顏色，又可以互調配顏色，市售顏料幾乎都可以包括，只要掌握彩光顏色產生的關鍵技巧，可以不須染料也可以作畫，用偏光板改造萬花筒，加上鏡子製作隨意顏色牆壁圖讓生活更有趣。

捌、 參考資料及其他

- 一、戴明鳳國立清華大學 物理系。光的偏振原理和應用
- 二、坡寇維茲(1993)林至愨譯。光的故事。貓頭鷹書房。
- 三、張阜權 孫榮山 唐偉國(1998)。光學。凡譯出版社。
- 四、休伊特助編。觀念物理。天下文化。
- 五、高中奈米通用補充教材II。教育部中北區奈米科技K-12 教育發展中心系列叢書。

【評語】 080108

光的偏振性與膠帶的旋光性是個有趣的傳統主題。本作品運用這些有趣的現象組合膠帶，配合 LED 與 LCD 等光源，製作出多彩變化的圖樣。唯量化的探討與分析相對而言仍有增進與改良的空間以展新意。