

中華民國第 56 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

最佳創意獎

080833

圖片走出來-自製偏光螢幕探討

學校名稱：臺中市龍井區龍海國民小學

作者： 小六 黃瑋恩 小六 陳政堯 小六 蔡雅姍 小五 吳竺恩	指導老師： 李義評 柯嘉雁
---	-----------------------------

關鍵詞：偏光、3D、螢幕

摘要

在電影院戴上偏光眼鏡時，左眼會看到一個平面影像，右眼會看到另一平面影像，這兩個平面影像的水平位置會有位移，兩眼同時觀看時，大腦會將 2 個平面影像合成 1 個 3D 影像。而「特殊銀幕」是偏光 3D 的關鍵，但價格昂貴，約 3 萬元，我們想要找出便宜的材料降低螢幕成本，於是我們測量不同材質的「偏振保留性」、「反射性」、「漫射性」，發現材質表面呈現金屬光澤可保持偏振性；表面光滑，反射性佳、但漫射性不好；霧面的材質，反射性不好、漫射性佳。接著，進行噴漆探討，噴漆後，偏振保留性、反射性及漫射性皆提昇。然後，從不同顏色的噴漆實驗中發現，以白玉卡閃銀、豪卡板銀及珍珠板銀效果最佳，最後利用自製 3D 螢幕進行 3D 圖片觀察。

壹、研究動機

到電影院觀看「侏羅紀世界」3D 電影，每位觀眾進入電影院前，工作人員都會分一支眼鏡，當電影放映時，看到影片中的恐龍好像從螢幕跑出來，造成觀眾驚叫連連。拿掉眼鏡，螢幕上會同時出現兩個類似的影像，而且兩個影像間有水平位移。想起四年級時課本上有「光的世界」，介紹了光的反射和折射的現象。加上去年和前年的暑假科學營介紹了紅藍 3D 和偏光作畫，首先是紅藍 3D，兩張經過去紅及去藍影像，透過紅藍眼鏡篩選機制，一張影像讓右眼看到，另一張影像讓左眼看到，再到腦中合成為立體影像。另一種偏光畫製作，當膠帶層數、角度不同時，透過偏光眼鏡，會產生顏色變化的效果，而且兩偏光鏡轉動時，會產生週期性的明暗變化。拿兩支電影院 3D 眼鏡轉動時，也有明暗變化效果，偏光螢幕為一關鍵因素？而偏光螢幕相當昂貴，定價約 3 萬，裡面一定有些未知的道理，於是我們便展開這次的科學研究，希望找出成本低廉的材料自製偏光螢幕。

貳、資料收集與文獻回顧

在日常生活中，眼睛所看到的景物，都是立體的，我們雙眼看到的立體影像有別於一般螢幕及照片的平面影像。而 3D 電影會盛行，是因為立體影像最接近人類的視覺，在 3D 空間中，影像會產生深度感而變得立體，當觀眾觀賞立體電影時，影片因立體效果而栩栩如生，讓人有身歷其境的感覺。

立體顯示技術主要採用偏光式、分色式、和交錯式三種。第一種偏光式，科博館及電影院的 3D 電影，及暑假科學營中膠帶作畫偏光眼鏡即屬此類；科學營中透過 photoimpact，進行圖片去紅及去藍處理自製 3D 紅藍立體影像特效，屬於第二種分色式；關於第三種交錯式，如 7-11 所贈送 Hello-Kitty 磁鐵，左看右看圖樣不相同，把磁鐵拆解，分成兩部份，首先底面為一張圖片，上面有兩張圖形交錯出現，每一小片圖形間隔相等。上方有一條一條的柱狀透鏡，讓影像光源折射的角度不同，當柱狀透鏡逐步縮小，將使奇數畫素對及偶數畫素對的影像分別準確地進入肉眼的左眼和右眼，然後在腦中融合成立體影像。

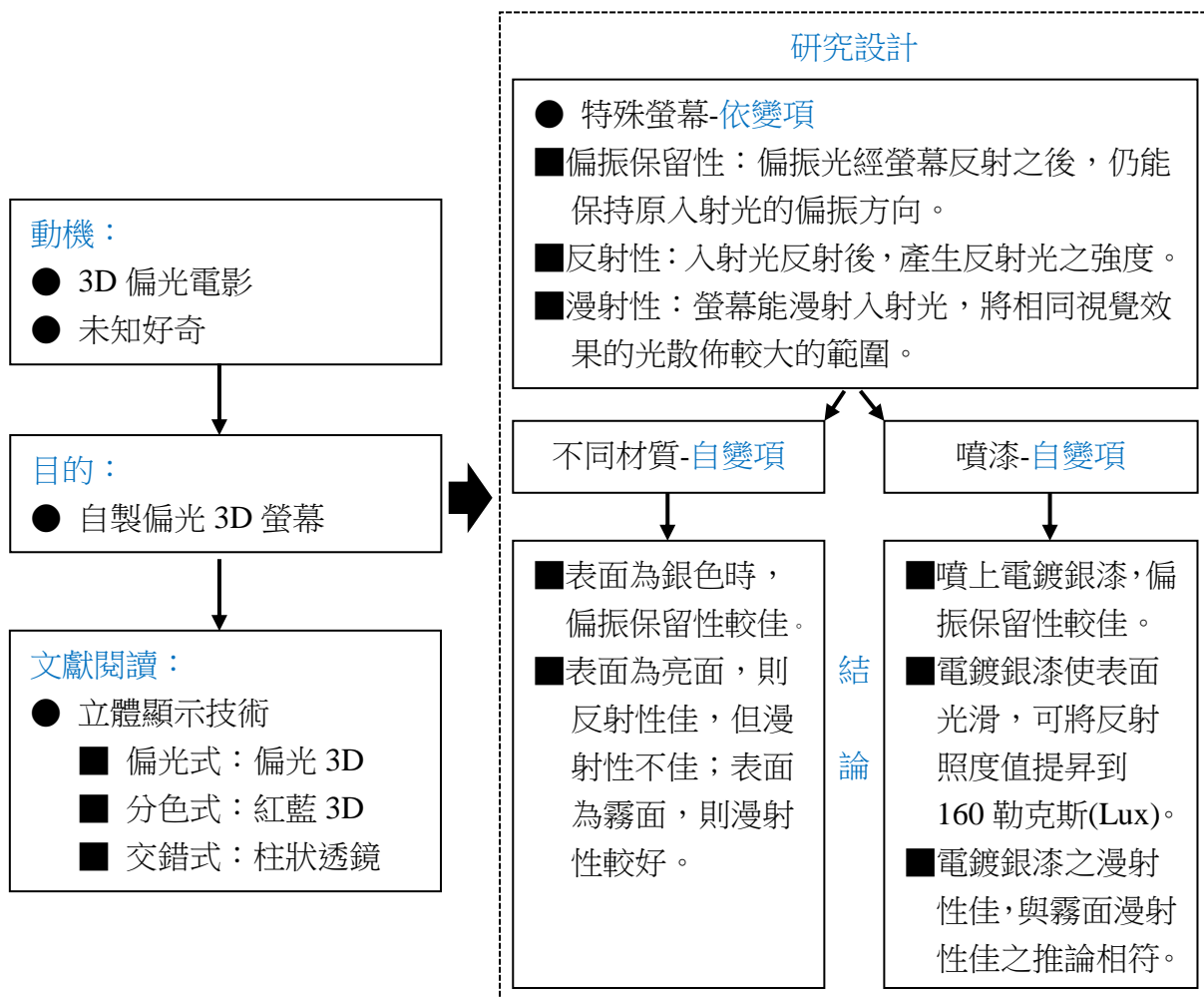
從周鑑恆教授書寫的「輕鬆學物理的第一本書」中說明，立體電影放映所用「特殊銀幕」是偏光 3D 電影的關鍵因子，此螢幕呈現影像的偏振方向，與原先投射到螢幕偏光的偏振方向一致。

參、研究目的

實驗目的：本實驗目的為自製偏光 3D 螢幕，研究問題如下：

- 一、材質不同，偏振保留性有何變化？
- 二、材質不同，反射性有何變化？
- 三、材質不同，漫射性有何變化？
- 四、噴漆對偏振保留性有何影響？
- 五、噴漆對反射性有何影響？
- 六、噴漆對漫射性有何影響？
- 七、不同顏色噴漆對偏振保留性有何影響？
- 八、不同顏色噴漆對反射性有何影響？
- 九、不同噴顏色漆對漫射性有何影響？
- 十、最佳偏光 3D 影像效果之螢幕為何？

肆、實驗流程圖



伍、研究設備及器材



1.單槍投影機*1 臺	2.偏振片*2 片	3.教具時鐘*2 臺
4.照度計*1 臺	5.魔鬼氈*1 捲	6.自製量角器*1 部
7.膠帶*1 捆	8.相機*1 臺	9.泡棉*2 塊
10.粉筆*1 隻	11.尺*1 把	12.美工刀*1 隻

一、自製螢幕特性檢測箱：

(一)設計時先針對自製螢幕特性檢測箱需求進行討論，並針對需求進行解決，相關設計說明如表 1 所示。

表 1：自製螢幕特性檢測箱設計說明

需求	解決之道	成品
外側量測訊號讀取	兩側有把手設計，方便將訊號線外拉。	
暗室效果:避免多餘光線進入檢測箱中	為方便檢測，於紙箱上方開起一活動門，並於接合處加上紙板，增進暗室效果。	
照度計、單槍投影機需固定高度且可移動位置	從教具室找出低年級數學幾何圖形的泡棉，用美工刀挖一凹槽，做為檢測器量測位置。泡綿下加裝魔鬼氈，方便移位。	
光點到照度計距離一致	用尺、量角器及粉筆畫出一個類似棒球場配置圖，頂點到量測點距離固定 30cm	
起偏片和檢偏片能夠旋轉	利用低年級教學時鐘，裝上偏振片，時鐘刻度就是旋轉角度，一小格為 6 度。	
避免多餘的反射面	螢幕夾用黑紙包住，黑紙會吸光，避免多餘的反射面。	
光源校正	於螢幕畫出校正方格，每次實驗前將光源校正後，再開始實驗，避免因投影大小及位置不同產生誤差。	

照度計數值不易觀看	做出架子，放置照度計，方便觀看數值。	
螢幕材質太薄，放在螢幕夾裡會移動	墊上木板，增加厚度，固定螢幕材質，使其不晃動。	

依上述需求，製造出自製螢幕特性檢測箱如圖 1 所示。尺寸說明如圖 2。



圖 1：自製螢幕特性檢測箱

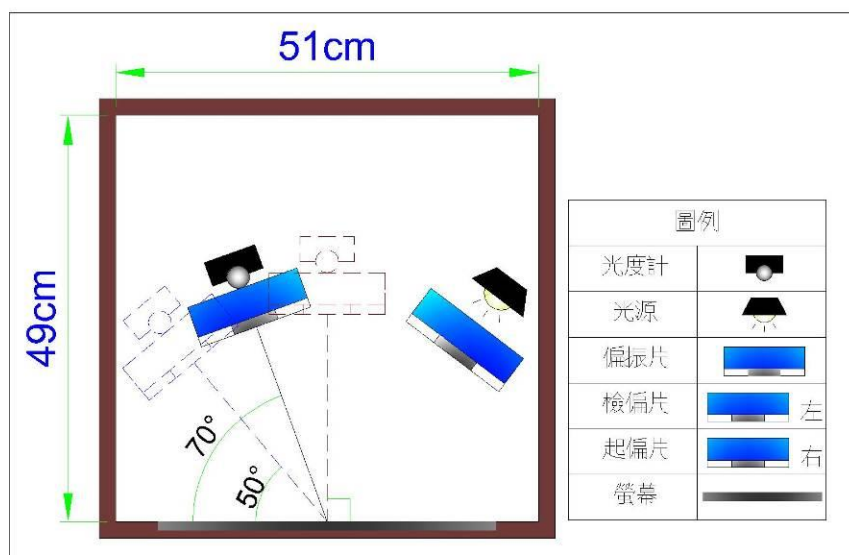


圖 2：自製螢幕特性檢測箱尺寸配置

(二)自製螢幕需考量三層面，分別為偏振保留性、反射性及漫射性，以圖 3 到圖 5 說明檢測方法：

1. **偏振保留性**：偏振光經螢幕反射之後，仍能保持原入射光的偏振方向。實驗配置如圖 3 所示，起偏片偏振角度 0 度與電腦螢幕的偏振方向垂直，此時看到的偏振片最黑。因偏振片具 180 度週期性，所以檢偏片轉角從 -90 度到 90 度，每 15 度為一量測點，當檢偏片 0 度時，照度值越大越好，其餘角度，照度值越小越佳。

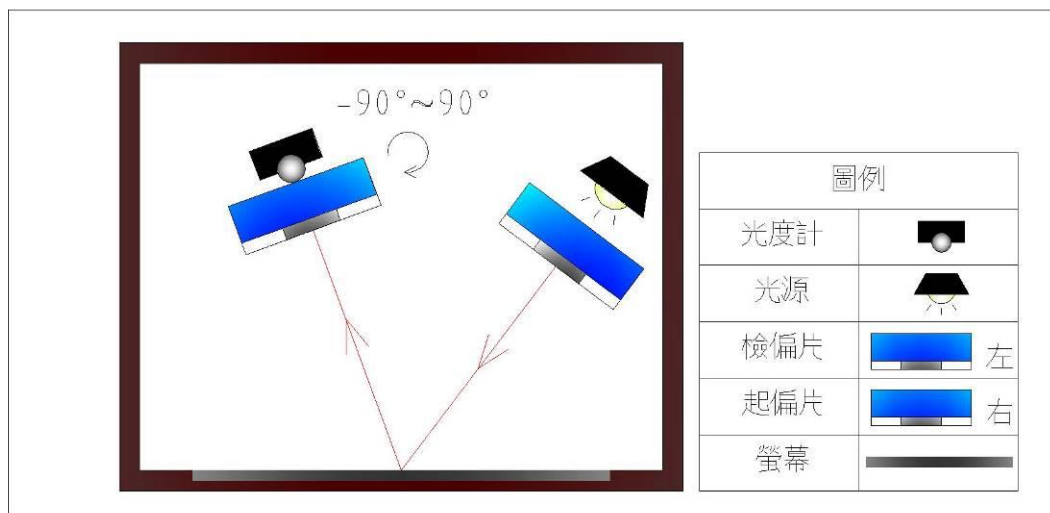


圖 3：偏振保留性實驗配置

2. **反射性**：當光線經過起偏片，形成偏振光，行經螢幕反射，照度會衰減，因採固定光源，照度值不變，此時照度計量測值越大越好。

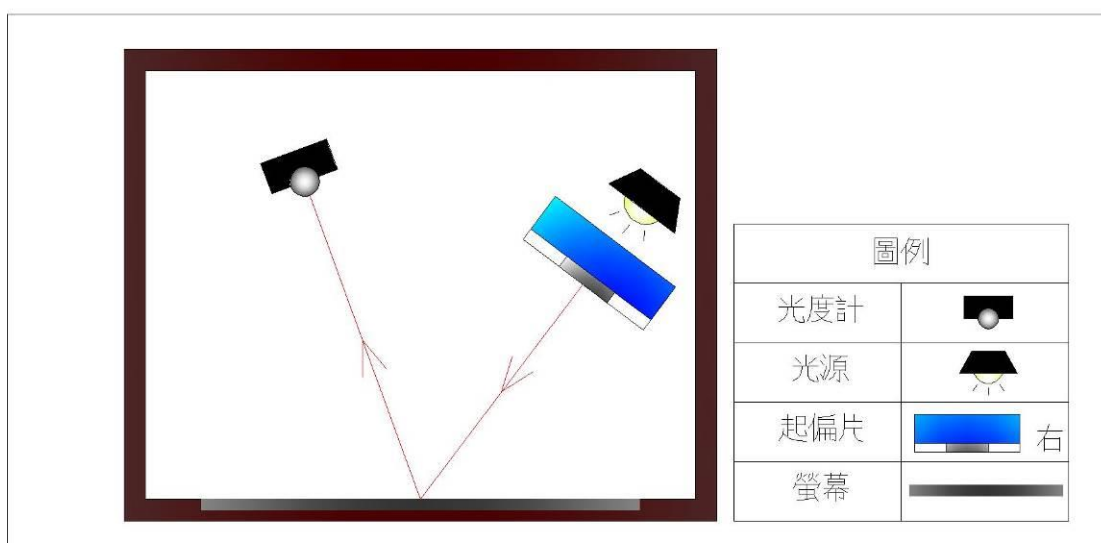


圖 4：反射性實驗配置

3.漫射性：螢幕上每一光點產生反射立體角越大越好，表示觀眾從不同位置觀賞電影，都能有相同視覺效果，所以要進行多角度的量測，不同角度照度差異越小越好。

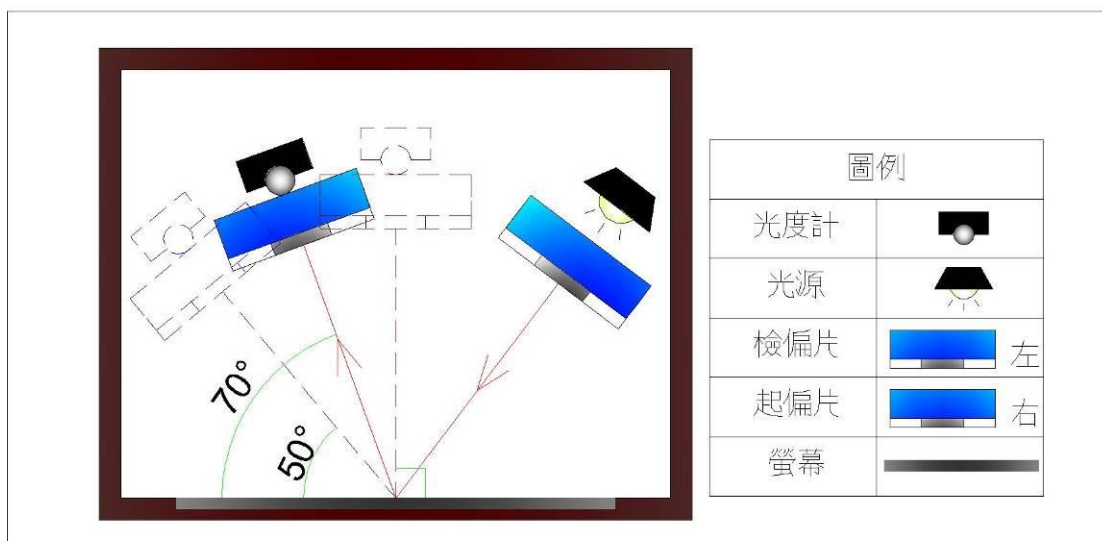


圖 5：漫射性實驗配置

二、試片

表 2：試片對照

牛奶板粗	牛奶板粗上漆	牛奶板細	牛奶板細上漆
白玉卡亮	白玉卡亮上漆	白玉卡霧	白玉卡霧上漆
灰銅卡灰	灰銅卡灰上漆	豪卡板	豪卡板上漆
木板	木板上漆	銀色希得紙	銀箔紙

三、噴漆

1.電鍍銀(鐵樂士 146)*2 罐	2.銀(鐵樂士 124)*2 罐	3.閃銀(鐵樂士 147)*2 罐
4. 白銀(噴師傅 NISSAN3)*1 罐	5.電鍍銀(可樂 114)*2 罐	6. 金(鐵樂士 123)*2 罐

陸、研究結果

一、實驗一 材質不同對偏振保留性的影響

1.方法：

光源來自單槍投影機，投影機前放置起偏片，起偏片角度為 0 度，距離螢幕中心 25cm；照度計放在位置 70 度的地方，距離螢幕中心 30cm；檢偏片放在照度計前，檢偏片的旋轉角度從-90 到 90 度，每 15 度測量一次照度值。

2.實驗結果：

以照度計量測值作為實驗結果，量測單位為勒克斯(Lux)，如下表所示。

表 3：材質不同對偏振保留性的影響

	-90 度	-75 度	-60 度	-45 度	-30 度	-15 度	0 度
白玉卡亮	37.1	39	40.7	43.2	45.6	46.8	48.5
白玉卡霧	32.7	37.8	39.1	39.8	42.8	43.9	45.2
牛奶板粗	41.4	42.9	43.4	46.1	46.6	48.7	50.9
牛奶卡細	43.3	44	45.1	46.8	48	49.4	49.9
灰銅卡灰	11.3	17.1	19.1	20	20.1	22.8	23
豪卡板	41.2	40.4	43	44.9	46.6	48.2	51.8
珍珠板	7.1	6.8	8.7	9.6	11.9	12.3	12.9
銀色希得紙	7.5	10.5	20.3	33.2	46.2	53.9	55.8
銀箔紙	10	22.3	37.7	48.6	83	98.2	152.6
木板	16.1	16	16.2	17.8	18.6	19.7	20.1
	15 度	30 度	45 度	60 度	75 度	90 度	無
白玉卡亮	47.5	45.5	44.2	40.8	39	38.8	106.9
白玉卡霧	45.2	43.5	40.8	39.1	37.4	38	102.3
牛奶板粗	49.8	48.6	46.3	37.4	38.1	42.8	115.6
牛奶卡細	48.7	43.3	45.9	42.1	43.2	43.3	115.6
灰銅卡灰	21.9	20.8	19.1	19.3	15.5	10.1	51.6
豪卡板	50.1	44.3	46.9	41.5	42.7	40.8	113.3
珍珠板	11.9	11.9	9.8	8.5	7.1	5.5	22.2
銀色希得紙	50.7	41	28.5	15.1	8	6.7	75.8
銀箔紙	134	104.9	66	28.8	14.3	10.4	240
木板	19.8	19.3	17.6	16.4	15.5	14.7	45.4

當我們旋轉檢偏片時，發現最亮值會落在角度 0 的位置，將此位置亮度稱為**基準光點**，取其照度值為比較基準。經由數值轉換(每位置照度除基準光點照度)，結果如表 4 所示。

表 4：轉換不同材質之偏振保留性

	-90	-75	-60	-45	-30	-15
白玉卡亮	0.76	0.80	0.84	0.89	0.94	0.96
白玉卡霧	0.72	0.84	0.87	0.88	0.95	0.97
牛奶板粗	0.81	0.84	0.85	0.91	0.92	0.96
牛奶卡細	0.87	0.88	0.90	0.94	0.96	0.99
灰銅卡灰	0.49	0.74	0.83	0.87	0.87	0.99
豪卡板	0.80	0.78	0.83	0.87	0.90	0.93
珍珠板	0.55	0.53	0.67	0.74	0.92	0.95
銀色希得紙	0.13	0.19	0.36	0.59	0.83	0.97
銀箔紙	0.07	0.15	0.25	0.32	0.54	0.64
木板	0.80	0.80	0.81	0.89	0.93	0.98
	15	30	45	60	75	90
白玉卡亮	0.98	0.94	0.91	0.84	0.80	0.80
白玉卡霧	1.00	0.96	0.90	0.87	0.83	0.84
牛奶板粗	0.98	0.95	0.91	0.73	0.75	0.84
牛奶卡細	0.98	0.87	0.92	0.84	0.87	0.87
灰銅卡灰	0.95	0.90	0.83	0.84	0.67	0.44
豪卡板	0.97	0.86	0.91	0.80	0.82	0.79
珍珠板	0.92	0.92	0.76	0.66	0.55	0.43
銀色希得紙	0.91	0.73	0.51	0.27	0.14	0.12
銀箔紙	0.88	0.69	0.43	0.19	0.09	0.07
木板	0.99	0.96	0.88	0.82	0.77	0.73

將表 4 數值轉換成圖 6。

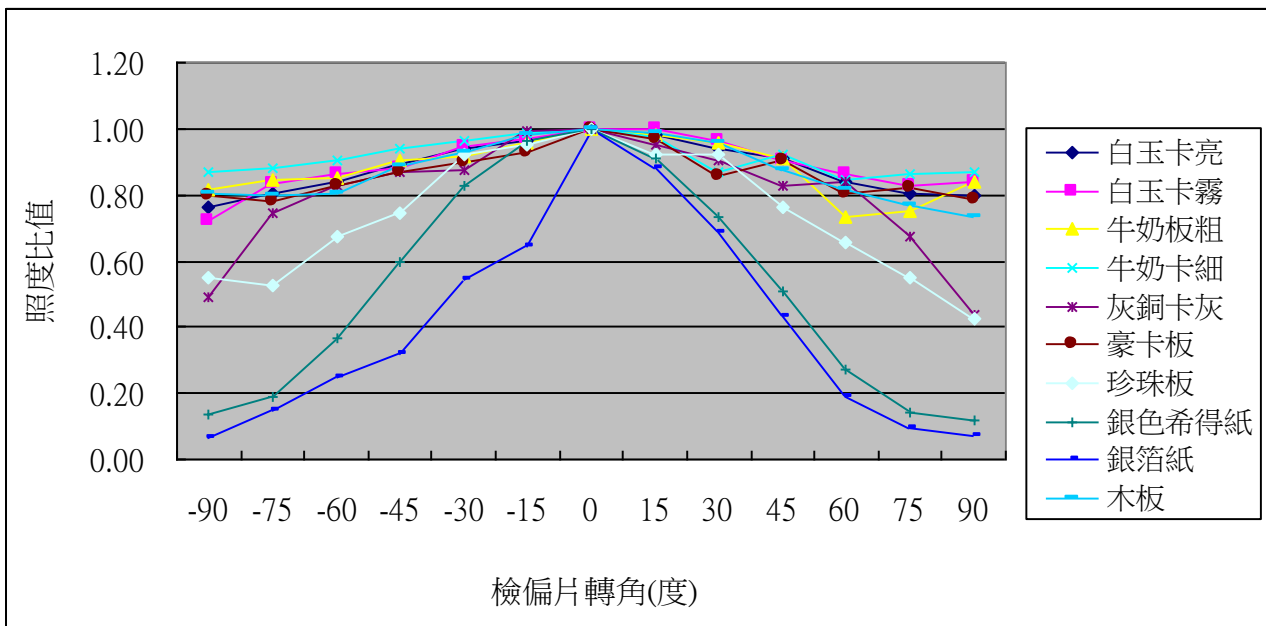


圖 6：轉換不同材質之偏振保留性

3.討論：

由圖 6 可知，銀箔紙和銀色希得紙圖形越集中，表示兩者的偏振保留性越佳。其餘試片圖形呈現水平狀，表示沒有顯著保留入射光偏振方向。分析兩者，可知當表面有金屬光澤時，入射光偏振保留性越佳。

二、實驗二 材質不同對反射性的影響

1.方法：

光源為單槍投影機，投影機前放置起偏片，起偏片角度為 0 度，距離螢幕中心 25cm；照度計放置在位置 70 度的地方，距離螢幕中心 30cm，測量照度值。

2.實驗結果：

以照度計量測值作為實驗結果，量測單位為勒克斯(Lux)，如表 5 所示。

表 5：材質不同對反射性的影響

試片	照度值
白玉卡亮	106.9
白玉卡霧	102.3
牛奶板粗	115.6
牛奶卡細	115.6
灰銅卡灰	51.6
豪卡板	113.3
珍珠板	22.2
銀色希得紙	75.8
銀箔紙	240
木板	45.4

將表 5 轉換成圖 7

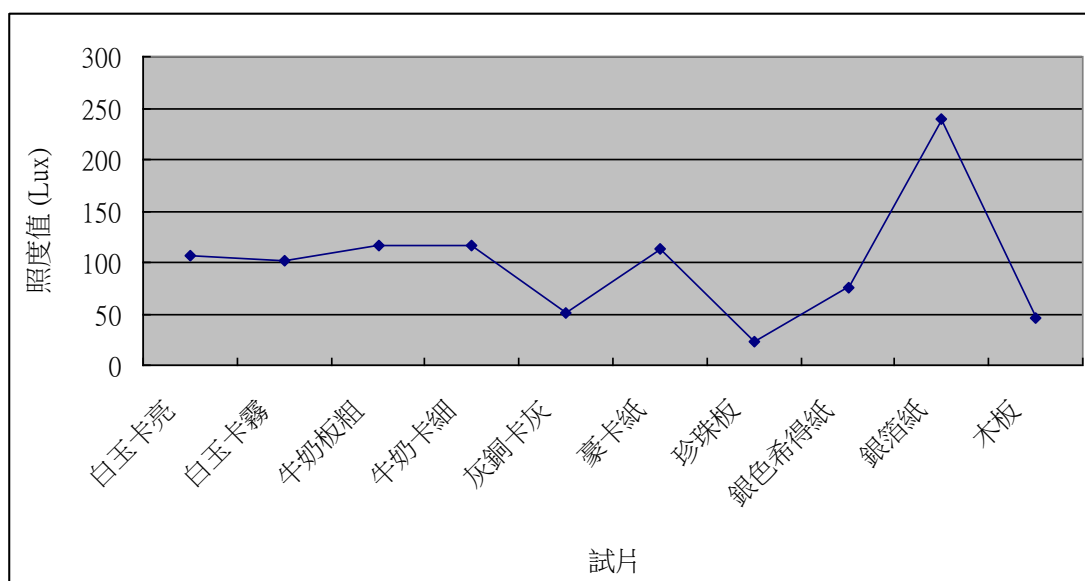


圖 7：材質不同對反射性的影響

3.討論：

從實驗結果得知，材質改變，照度值也會跟著變動，銀箔紙表面光亮，反射性高，照度值大。其餘試片表面較暗，反射性變低，照度值較小。

三、實驗三 材質不同對漫射性的影響

1.方法：

選擇偏振保留性較佳的銀色希得紙及銀箔紙進行漫射性的討論。光源來自單槍投影機，投影機前放置起偏片，起偏片角度為 0 度，距離螢幕中心 25cm；照度計分別放在位置 50 度、位置 70 度和位置 90 度的地方，距離螢幕中心皆為 30cm；檢偏片放在照度計前，檢偏片的旋轉角度從-90 到 90 度，每 15 度測量一次照度值。

2.實驗結果：

表 6：材質不同對漫射性的影響

	-90 度	-75 度	-60 度	-45 度	-30 度	-15 度	0 度
銀色希得紙 50	8.1	12.3	20.9	32.0	42.4	51.4	53.1
銀色希得紙 70	8.3	18.5	21.1	22.8	31.4	57.4	60.8
銀色希得紙 90	7.5	10.5	20.3	33.2	46.2	53.9	55.8
銀箔紙 50	12.1	13.6	21.2	29.4	38.6	45.1	48.6
銀箔紙 70	11.3	14.0	19.4	27.0	31.9	35.9	36.9
銀箔紙 90	10.0	22.3	48.6	37.7	83.0	98.2	152.6
	15 度	30 度	45 度	60 度	75 度	90 度	無
銀色希得紙 50	50.1	41.6	30.1	17.4	10.6	8.2	79.1
銀色希得紙 70	57.3	44.6	31.5	28.5	10.2	8.6	83.1
銀色希得紙 90	50.7	41.0	28.5	15.1	8.0	6.7	75.8
銀箔紙 50	44.3	31.5	22.0	16.6	13.3	12.2	57.7
銀箔紙 70	33.8	27.3	22.9	17.0	12.9	12.0	52.7
銀箔紙 90	134.0	104.9	66.0	28.8	14.3	10.4	240.0

將表 6 轉化為比值，方便分析，以 50 度為比較基準，經由轉換後，可得表 7。

表 7：材質不同之漫射性的轉換值

	-90	-75	-60	-45	-30	-15	0
銀色希得紙 70/50	1.02	1.50	1.01	0.71	0.74	1.12	1.15
銀色希得紙 90/50	0.93	0.85	0.97	1.04	1.09	1.05	1.05
銀箔紙 70/50	0.93	1.03	0.92	0.92	0.83	0.80	0.76
銀箔紙 90/50	0.83	1.64	2.29	1.28	2.15	2.18	3.14
	15	30	45	60	75	90	
銀色希得紙 70/50	1.14	1.07	1.05	1.64	0.96	1.05	
銀色希得紙 90/50	1.01	0.99	0.95	0.87	0.75	0.82	
銀箔紙 70/50	0.76	0.87	1.04	1.02	0.97	0.98	
銀箔紙 90/50	3.02	3.33	3.00	1.73	1.08	0.85	

將表 7 轉化為圖 8。

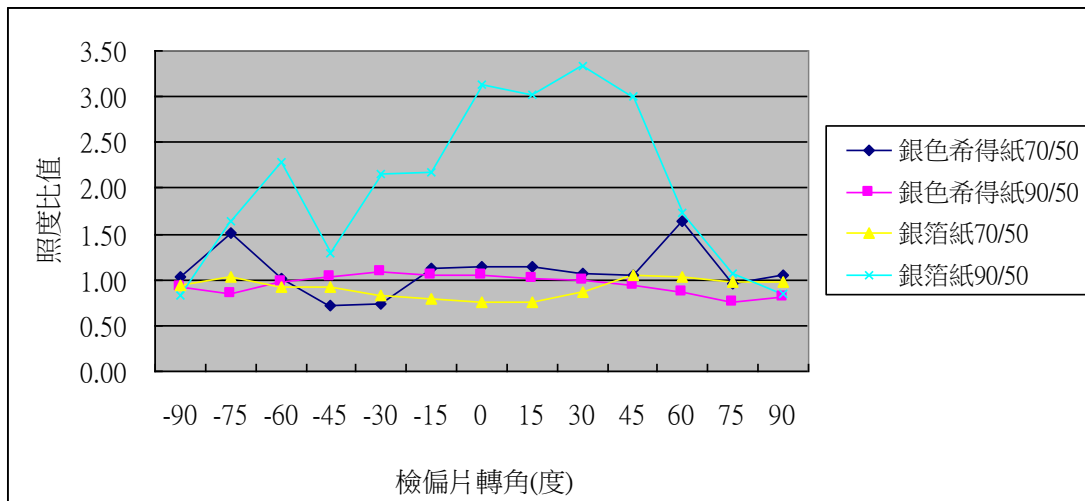


圖 8：材質不同對漫射性的影響

3.討論：

從實驗結果得知，具金屬光澤銀箔紙在位置 90 度照度比值超過 3，此時兩眼亮度差距大，表示只有在某特定位置的觀眾會見到局部畫面。而銀色希得紙三個位置照度變化趨勢一致，漫射效果較好，表面呈現沙面。

4.結論：

從實驗一到實驗三發現，偏光螢幕製作考慮以下幾點因素：

- (1) 螢幕表面是銀色時，可保有入射偏振光的偏振方向特性。
- (2) 螢幕表面反光度好，反射性佳、照度值大。
- (3) 物體反光度較高時，容易造成漫射性不佳，有霧面情形，漫射情形可能會較好。

依據結論，將以兩面向繼續深究自製偏光螢幕**(1)金屬片(鐵片、不鏽鋼片及鋁片)****(2)噴漆(金屬色澤)**。將金屬片(鐵片、不鏽鋼片及鋁片)、銀色希得紙及銀箔紙做偏振保留性、反射性及漫射性比較，實驗結果以圖表示如圖 9-11 所示。

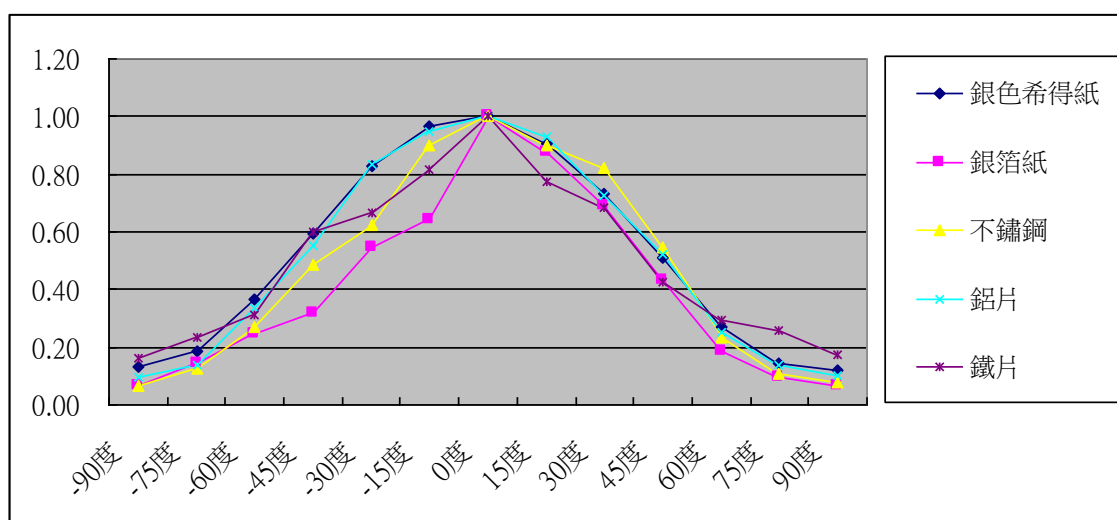


圖 9：不同金屬之偏振保留性的影響

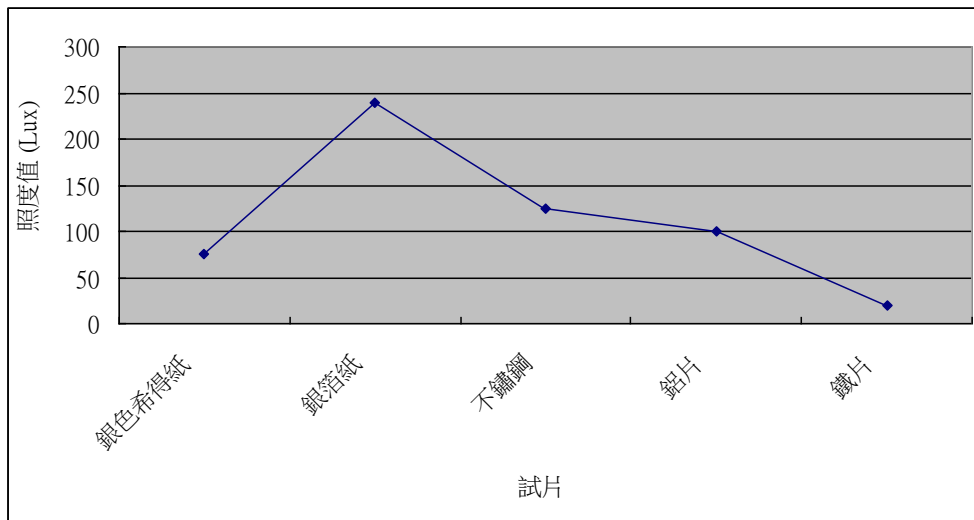


圖 10：不同金屬對反射性的影響

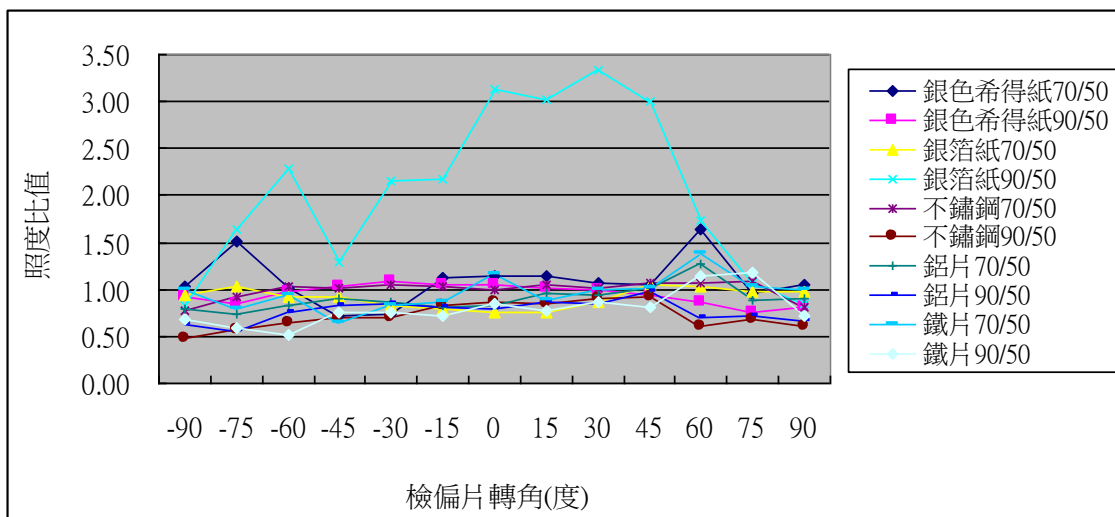


圖 11：不同金屬對漫射性的影響

從圖 9-11 可知，金屬片的偏振保留性圖形無更集中的現象產生，另外反射性及漫射性效果並未更好，加上金屬片價格高，加工不易，因此，以第二面向噴漆(金屬色澤)進行後續實驗。

四、實驗四 噴漆對偏振保留性的影響

1.方法：

每一螢幕試片進行噴漆上色，選用的噴漆顏色為電鍍銀。以單槍投影機做為光源，投影機前放置起偏片，起偏片角度為 0 度，距離螢幕中心 25cm；照度計放在位置 70 度的地方，距離螢幕中心皆為 30cm；檢偏片放在照度計前，檢偏片的旋轉角度從-90 到 90 度，每 15 度測量一次照度值。

2.實驗結果：

以照度計量測值作為實驗結果，量測單位為勒克斯(Lux)，如表 8 所示。

表 8：噴漆對偏振保留性的影響

	-90	-75	-60	-45	-30	-15	0
牛奶板粗	41.4	42.9	43.4	46.7	45.9	48.7	48.3
牛奶板粗漆	8.8	14.5	30.3	47.7	68.5	80.9	89.0
牛奶板細	43.3	44.0	45.1	46.8	48.0	49.4	49.9
牛奶板細漆	9.3	15.2	27.0	49.5	66.2	77.0	84.5
白玉板亮	37.4	39.0	40.7	43.2	45.6	46.8	48.5
白玉板亮漆	8.3	21.6	28.1	56.9	77.3	104.2	109.9
白玉板霧	37.7	37.8	39.1	39.8	42.8	43.9	45.2
白玉板霧漆	8.2	13.4	27.6	47.0	64.5	79.8	82.8
	15	30	45	60	75	90	
牛奶板粗	50.5	48.7	45.9	42.6	43.7	41.9	
牛奶板粗漆	84.9	70.5	47.8	29.8	12.9	8.0	
牛奶板細	48.7	43.3	45.9	42.1	43.2	43.3	
牛奶板細漆	78.2	65.2	48.5	28.2	12.9	7.8	
白玉板亮	47.5	45.5	44.2	40.8	39.0	38.8	
白玉板亮漆	106.2	73.6	48.1	28.1	12.8	9.4	
白玉板霧	45.2	43.5	40.8	39.1	37.4	38.0	
白玉板霧漆	71.4	63.3	41.5	23.0	12.1	7.9	
	-90	-75	-60	-45	-30	-15	0
豪卡板	41.2	40.4	43.0	44.9	46.6	48.2	51.8
豪卡板漆	10.5	15.5	26.4	53.3	60.1	113.0	125.9
珍珠板	7.1	6.8	8.7	9.6	11.9	12.3	12.9
珍珠板漆	8.0	16.2	35.5	57.7	79.0	91.2	114.4
灰銅卡灰	17.1	18.7	19.1	20.0	23.0	22.8	20.1
灰銅卡灰漆	8.6	14.2	23.9	34.4	64.5	77.1	81.9
木板	16.1	16.0	16.2	17.8	18.6	19.7	20.1
木板漆	8.7	11.8	21.8	35.7	47.6	61.5	65.7
	15	30	45	60	75	90	
豪卡板	50.1	44.3	46.9	41.5	42.7	40.8	
豪卡板漆	115.8	88.8	44.2	26.4	12.5	9.9	
珍珠板	11.9	11.9	9.8	8.5	7.1	5.5	
珍珠板漆	108.8	79.6	49.1	32.8	12.2	7.9	
灰銅卡灰	21.9	20.8	19.1	19.3	16.2	15.5	
灰銅卡灰漆	79.0	67.7	51.9	32.5	15.2	9.0	
木板	19.8	19.3	17.6	16.4	15.5	14.7	
木板漆	61.5	49.9	34.2	23.5	12.0	8.5	

以偏振片旋轉角度 0 為**基準光點**，取其照度值為比較基準，進行數值轉換(每位置照度除基準光點照度)，結果如表 9 及表 10 所示。

表 9：轉換噴漆材質之偏振保留性 1

	-90	-75	-60	-45	-30	-15
牛奶板粗	0.86	0.89	0.90	0.97	0.95	1.01
牛奶板粗漆	0.10	0.16	0.34	0.54	0.77	0.91
牛奶板細	0.87	0.88	0.90	0.94	0.96	0.99
牛奶板細漆	0.11	0.18	0.32	0.59	0.78	0.91
白玉板亮	0.77	0.80	0.84	0.89	0.94	0.96
白玉板亮漆	0.08	0.20	0.26	0.52	0.70	0.95
白玉板霧	0.83	0.84	0.87	0.88	0.95	0.97
白玉板霧漆	0.10	0.16	0.33	0.57	0.78	0.96
	15	30	45	60	75	90
牛奶板粗	1.05	1.01	0.95	0.88	0.90	0.87
牛奶板粗漆	0.95	0.79	0.54	0.33	0.14	0.09
牛奶板細	0.98	0.87	0.92	0.84	0.87	0.87
牛奶板細漆	0.93	0.77	0.57	0.33	0.15	0.09
白玉板亮	0.98	0.94	0.91	0.84	0.80	0.80
白玉板亮漆	0.97	0.67	0.44	0.26	0.12	0.09
白玉板霧	1.00	0.96	0.90	0.87	0.83	0.84
白玉板霧漆	0.86	0.76	0.50	0.28	0.15	0.10

共實驗 8 種試片，分為兩個圖形進行分析，將表 9 數值轉換成圖 12。

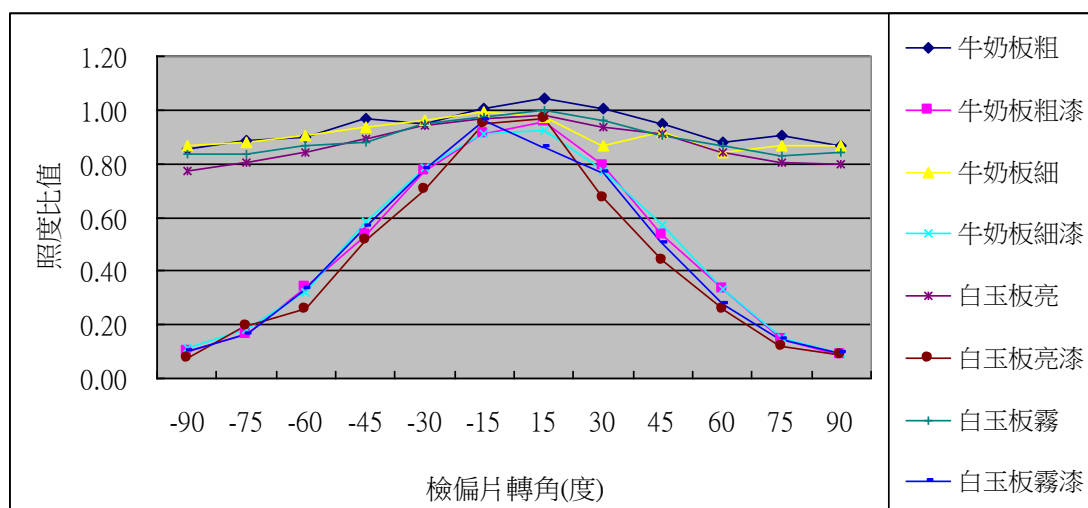


圖 12：轉換噴漆材質之偏振保留性 1

表 10：轉換噴漆材質之偏振保留性 2

	-90	-75	-60	-45	-30	-15
豪卡板	0.80	0.78	0.83	0.87	0.90	0.93
豪卡板漆	0.08	0.12	0.21	0.42	0.48	0.90
珍珠板	0.55	0.53	0.67	0.74	0.92	0.95
珍珠板漆	0.07	0.14	0.31	0.50	0.69	0.80
灰銅卡灰	0.85	0.93	0.95	1.00	1.14	1.13
灰銅卡灰漆	0.11	0.17	0.29	0.42	0.79	0.94
木板	0.80	0.80	0.81	0.89	0.93	0.98
木板漆	0.13	0.18	0.33	0.54	0.72	0.94
	15	30	45	60	75	90
豪卡板	0.97	0.86	0.91	0.80	0.82	0.79
豪卡板漆	0.92	0.71	0.35	0.21	0.10	0.08
珍珠板	0.92	0.92	0.76	0.66	0.55	0.43
珍珠板漆	0.95	0.70	0.43	0.29	0.11	0.07
灰銅卡灰	1.09	1.03	0.95	0.96	0.81	0.77
灰銅卡灰漆	0.96	0.83	0.63	0.40	0.19	0.11
木板	0.99	0.96	0.88	0.82	0.77	0.73
木板漆	0.94	0.76	0.52	0.36	0.18	0.13

將表 10 數值轉換成圖 13。

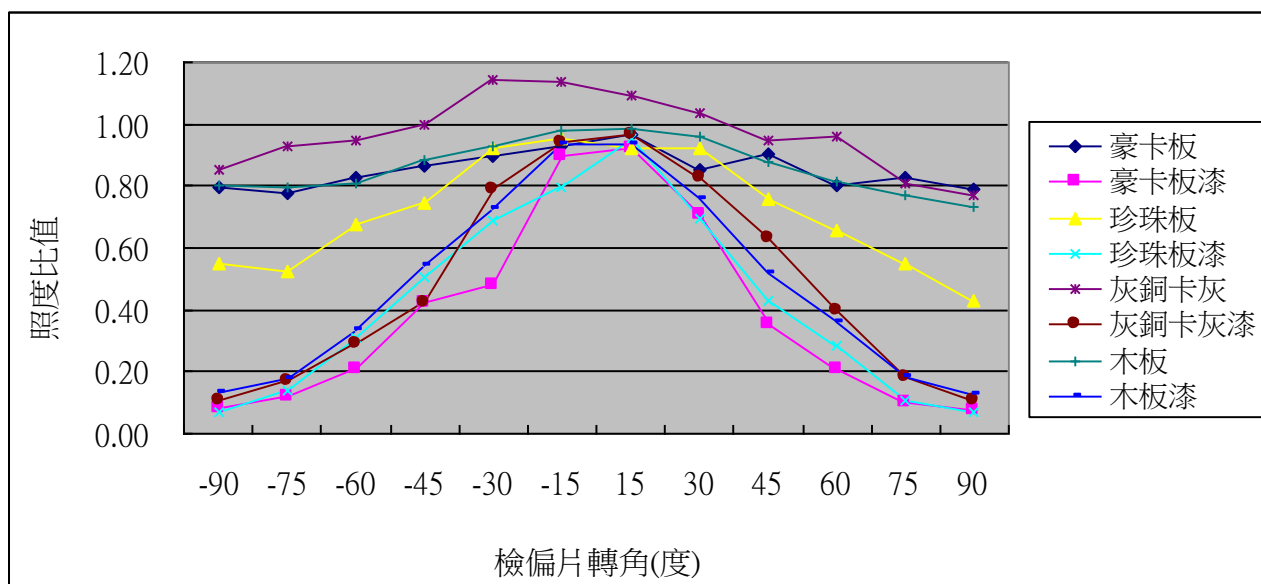


圖 13：轉換噴漆材質之偏振保留性 2

3.討論：

8 種試片，噴上電鍍銀後，發現偏振性保有性有顯著改善，且趨勢幾乎一致，表示電鍍銀色澤的噴漆噴在試片表面時，入射光偏振性經由電鍍銀漆反射，偏振性會保留。

五、實驗五 噴漆對反射性的影響

1.方法：

將螢幕試片噴漆上色，選用的噴漆顏色為電鍍銀。以單槍投影機為光源，投影機前放置起偏片，起偏片角度為 0 度，距離螢幕中心 25cm；照度計放置在位置 70 度的地方，距離螢幕中心 30cm，測量照度值。

2.實驗結果：

以照度計量測值作為實驗結果，量測單位為勒克斯(Lux)，如表 11 所示。

表 11：噴漆對反射性的影響

試片	照度值	噴漆照度值
牛奶板粗	115.6	120.4
牛奶板細	115.6	117.2
白玉板亮	106.9	160.3
白玉板霧	102.3	115.9
豪卡板	113.3	165.6
珍珠板	22.2	162.6
灰銅卡灰	51.6	116.1
木板	45.4	92.4

將表 11 數據轉換成圖 14。

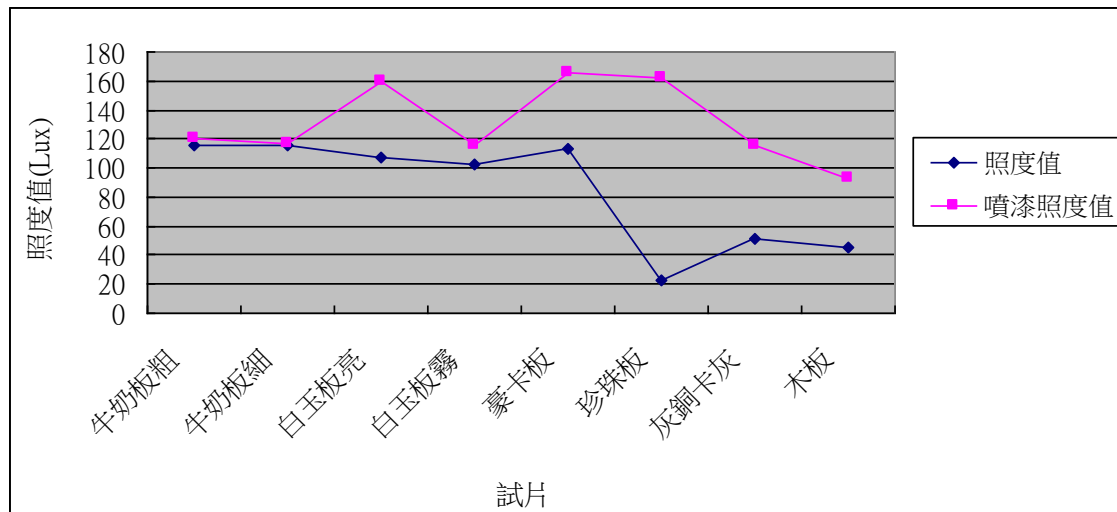


圖 14：噴漆對反射性的影響

3.討論：

與原先照度值比較得知，噴上電鍍銀漆後，反射的照度值會分為三組，第一組木板照度值最低，照度值約 90 勒克斯(Lux)。第二組約 120 勒克斯(Lux)，包括牛奶板粗細、白玉板霧及灰銅卡灰，第三組照度值為 160 勒克斯(Lux)，有白玉卡亮、豪卡板及珍珠板，其中珍珠板提昇 140 勒克斯(Lux)，最為顯著。從中解析可知，表面噴上電鍍銀漆時，反射光的照度值會以 90 勒克斯(Lux)為起點，若試片表面為光滑面，對反射照度值有加成作用，可達到 160 勒克斯(Lux)。

六、實驗六 噴漆對漫射性的影響

1.方法：

將螢幕試片噴上電鍍銀漆，進行漫射性實驗。光源來自單槍投影機，投影機前放置起偏片，起偏片角度為 0 度，距離螢幕中心 25cm；照度計分別放在位置 50 度、位置 70 度和位置 90 度的地方，距離螢幕中心皆為 30cm；檢偏片放在照度計前，檢偏片的旋轉角度從 -90 到 90 度，每 15 度測量一次照度值。

2.實驗結果：

表 12：噴漆材質之漫射性

	-90	-75	-60	-45	-30	-15	0
牛奶板粗漆 50	12.2	15.8	31.1	53.6	81.1	102.1	112.3
牛奶板粗漆 70	11.6	21.9	39.2	60.6	86.2	104.9	114.1
牛奶板粗漆 90	8.8	14.5	30.3	47.7	68.5	80.9	89.0
牛奶板細漆 50	11.6	15.6	31.0	59.8	84.8	102.6	110.5
牛奶板細漆 70	8.5	15.7	33.1	56.8	87.6	102.3	110.0
牛奶板細漆 90	9.3	15.2	27.0	49.5	66.2	77.0	84.5
白玉板亮漆 50	12.7	24.1	56.6	102.5	126.5	159.6	159.3
白玉板亮漆 70	8.6	23.5	51.8	87.0	119.4	145.9	153.5
白玉板亮漆 90	8.3	21.6	28.1	56.9	77.3	104.2	109.9
白玉板霧漆 50	11.9	17.5	35.0	55.4	91.7	110.9	118.4
白玉板霧漆 70	10.5	14.2	32.0	52.5	75.6	89.3	96.3
白玉板霧漆 90	8.2	13.4	27.6	47.0	64.5	79.8	82.8
豪卡板漆 50	12.0	20.7	41.0	74.3	102.9	131.0	137.7
豪卡板漆 70	9.7	14.9	36.0	76.3	92.5	135.2	131.4
豪卡板漆 90	10.5	15.5	26.4	53.3	60.1	113.0	125.9
珍珠板漆 50	12.2	21.3	42.7	75.8	108.0	128.5	142.0
珍珠板漆 70	11.7	22.4	43.7	75.5	105.4	132.8	135.0
珍珠板漆 90	8.0	16.2	35.5	57.7	79.0	91.2	114.4
灰銅卡灰漆 50	9.9	12.5	25.1	43.4	72.6	79.4	101.4
灰銅卡灰漆 70	9.9	15.2	28.7	55.6	69.2	92.6	94.1
灰銅卡灰漆 90	8.6	14.2	23.9	34.4	64.5	77.1	81.9
木板漆 50	16.5	17.7	32.6	54.2	81.9	104.4	114.9
木板漆 70	12.1	13.5	29.9	47.5	70.0	88.0	97.3
木板漆 90	8.7	11.8	21.8	35.7	47.6	61.5	65.7
	15	30	45	60	75	90	
牛奶板粗漆 50	108.5	92.0	66.6	34.7	19.9	11.6	
牛奶板粗漆 70	107.6	89.6	63.4	41.0	18.5	9.2	
牛奶板粗漆 90	84.9	70.5	47.8	29.8	12.9	8.0	

牛奶板細漆 50	107.6	89.5	65.3	43.8	20.9	11.7	
牛奶板細漆 70	102.0	87.2	57.7	35.0	12.4	9.2	
牛奶板細漆 90	78.2	65.2	48.5	28.2	12.9	7.8	
白玉板亮漆 50	158.3	118.0	82.7	29.1	20.8	14.0	
白玉板亮漆 70	136.1	105.5	74.1	28.5	15.6	12.0	
白玉板亮漆 90	106.2	73.6	48.1	28.1	12.8	9.4	
白玉板霧漆 50	111.2	96.0	66.0	40.4	21.3	11.5	
白玉板霧漆 70	91.9	78.0	55.9	30.7	14.8	10.3	
白玉板霧漆 90	71.4	63.3	41.5	23.0	12.1	7.9	
豪卡板漆 50	122.0	106.0	68.1	35.9	15.5	11.1	
豪卡板漆 70	125.4	108.4	74.2	32.6	13.7	9.4	
豪卡板漆 90	115.8	88.8	44.2	26.4	12.5	9.9	
珍珠板漆 50	130.6	115.0	65.6	38.8	17.3	11.3	
珍珠板漆 70	128.8	104.6	70.9	41.3	16.5	9.8	
珍珠板漆 90	108.8	79.6	49.1	32.8	12.2	7.9	
灰銅卡灰漆 50	92.7	84.9	57.2	27.7	17.2	12.2	
灰銅卡灰漆 70	100.2	80.4	58.3	38.7	16.3	10.4	
灰銅卡灰漆 90	79.0	67.7	51.9	32.5	15.2	9.0	
木板漆 50	114.0	98.3	79.1	52.5	27.1	14.7	
木板漆 70	93.5	78.2	51.1	30.4	16.8	10.8	
木板漆 90	61.5	49.9	34.2	23.5	12.0	8.5	

將表 12 轉化為比值，方便分析，以位置 50 度為比較基準，經由轉換後，可得表 13 及表 14。

表 13：噴漆材質之漫射性轉換值 1

	-90	-75	-60	-45	-30	-15	0
牛奶板粗漆 70/50	0.95	1.39	1.26	1.13	1.06	1.03	1.02
牛奶板粗漆 90/50	0.72	0.92	0.97	0.89	0.84	0.79	0.79
牛奶板細漆 70/50	0.73	1.01	1.07	0.95	1.03	1.00	1.00
牛奶板細漆 90/50	0.80	0.97	0.87	0.83	0.78	0.75	0.76
白玉板亮漆 70/50	0.68	0.98	0.92	0.85	0.94	0.91	0.96
白玉板亮漆 90/50	0.65	0.90	0.50	0.56	0.61	0.65	0.69
白玉板霧漆 70/50	0.88	0.81	0.91	0.95	0.82	0.81	0.81
白玉板霧漆 90/50	0.69	0.77	0.79	0.85	0.70	0.72	0.70
	15	30	45	60	75	90	
牛奶板粗漆 70/50	0.99	0.97	0.95	1.18	0.93	0.79	
牛奶板粗漆 90/50	0.78	0.77	0.72	0.86	0.65	0.69	
牛奶板細漆 70/50	0.95	0.97	0.88	0.80	0.59	0.79	
牛奶板細漆 90/50	0.73	0.73	0.74	0.64	0.62	0.67	
白玉板亮漆 70/50	0.86	0.89	0.90	0.98	0.75	0.86	
白玉板亮漆 90/50	0.67	0.62	0.58	0.97	0.62	0.67	

白玉板霧漆 70/50	0.83	0.81	0.85	0.76	0.69	0.90	
白玉板霧漆 90/50	0.64	0.66	0.63	0.57	0.57	0.69	

將表 13 轉化為圖 15。

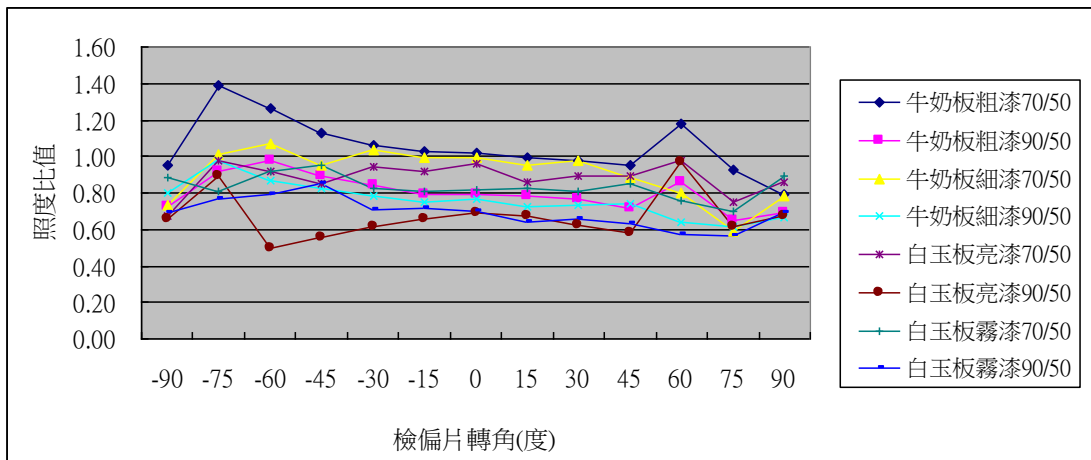


圖 15：噴漆材質之漫射性轉換值 1

表 14：噴漆材質之漫射性轉換值 2

	-90	-75	-60	-45	-30	-15	0
豪卡板漆 70/50	0.81	0.72	0.88	1.03	0.90	1.03	0.95
豪卡板漆 90/50	0.88	0.75	0.64	0.72	0.58	0.86	0.91
珍珠板漆 70/50	0.96	1.05	1.02	1.00	0.98	1.03	0.95
珍珠板漆 90/50	0.66	0.76	0.83	0.76	0.73	0.71	0.81
灰銅卡灰漆 70/50	1.00	1.22	1.14	1.28	0.95	1.17	0.93
灰銅卡灰漆 90/50	0.87	1.14	0.95	0.79	0.89	0.97	0.81
木板漆 70/50	0.73	0.76	0.92	0.88	0.85	0.84	0.85
木板漆 90/50	0.53	0.67	0.67	0.66	0.58	0.59	0.57
	15	30	45	60	75	90	
豪卡板漆 70/50	1.03	1.02	1.09	0.91	0.88	0.85	
豪卡板漆 90/50	0.95	0.84	0.65	0.74	0.81	0.89	
珍珠板漆 70/50	0.99	0.91	1.08	1.06	0.95	0.87	
珍珠板漆 90/50	0.83	0.69	0.75	0.85	0.71	0.70	
灰銅卡灰漆 70/50	1.08	0.95	1.02	1.40	0.95	0.85	
灰銅卡灰漆 90/50	0.85	0.80	0.91	1.17	0.88	0.74	
木板漆 70/50	0.82	0.80	0.65	0.58	0.62	0.73	
木板漆 90/50	0.54	0.51	0.43	0.45	0.44	0.58	

將表 14 轉化為圖 16。

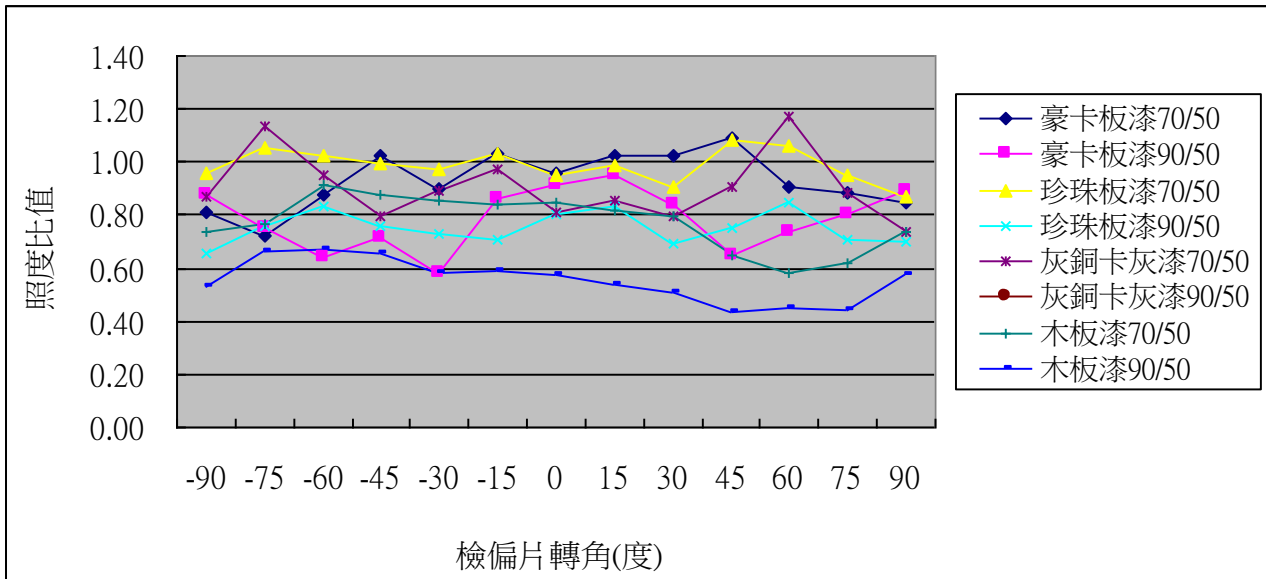


圖 16：噴漆材質之漫射性轉換值 2

3.討論：

從實驗結果得知，當試片噴上電鍍銀漆後，漫射性也顯著提昇，不論試片材質為何，照度比值 1.2-0.5 左右，表示大部分觀眾會見到全部畫面。

4.結論：

從實驗四到實驗六發現：

- (1)噴上電鍍銀漆，螢幕具有保有入射偏振光的偏振方向特性。
- (2)電鍍銀漆加是表面光滑，可將反射照度值提昇到 160 勒克斯(Lux)。
- (3)漆上電鍍銀漆，漫射性佳，與之前霧面等於漫射性佳推論相符。

依據結論，將以白玉板、豪卡板及珍珠板，配合找到四種具金屬光澤噴漆繼續深究自製偏光螢幕。

七、實驗七 不同顏色噴漆對偏振保留性的影響

1.方法：

將四種金屬色澤的噴漆(鐵樂士)(電鍍銀、金、銀、閃銀)噴在白玉卡亮面、豪卡板及珍珠板上，進行偏振保留性測量。光源來自單槍投影機，投影機前放置起偏片，起偏片角度為 0 度，距離螢幕中心 25cm；照度計放在位置 70 度的地方，距離螢幕中心 30cm；檢偏片放在照度計前，檢偏片的旋轉角度從-90 到 90 度，每 15 度測量一次照度值。

2.實驗結果：

以照度計量測值作為實驗結果，量測單位為勒克斯(Lux)，如表 15 所示。

表 15：不同顏色噴漆對偏振保留性的影響

	-90	-75	-60	-45	-30	-15	0
白玉板亮電鍍銀	6.6	9.9	17.7	30.1	38.8	45.0	49.7
白玉板亮金	4.6	9.3	23.7	37.1	49.7	56.2	60.6
白玉板亮銀	7.6	12.5	22.2	36.3	49.4	58.3	61.9
白玉板亮閃銀	7.1	14.2	30.0	48.9	73.1	82.5	86.2

豪卡板電鍍銀	6.1	9.3	14.2	24.9	31.1	37.4	38.4
豪卡板金	6.0	12.3	24.9	42.6	56.1	65.6	68.3
豪卡板銀	6.1	8.7	13.9	21.4	29.1	33.7	35.5
豪卡板閃銀	9.8	11.7	16.3	27.2	28.2	35.1	37.1
珍珠板電鍍銀	6.1	8.9	13.6	20.9	22.9	32.0	37.2
珍珠板金	3.8	6.0	13.3	21.6	31.3	36.4	36.5
珍珠板銀	6.0	10.3	20.5	28.1	46.8	59.5	65.5
珍珠板閃銀	5.8	8.1	14.9	23.0	34.5	43.7	43.1
	15	30	45	60	75	90	
白玉板亮電鍍銀	43.7	35.9	26.5	17.1	8.6	6.7	
白玉板亮金	58.2	47.0	33.3	18.5	5.6	4.6	
白玉板亮銀	57.7	48.5	33.0	18.7	11.0	7.8	
白玉板亮閃銀	76.5	64.1	40.9	24.4	11.8	7.4	
豪卡板電鍍銀	36.6	28.8	21.3	12.7	7.5	6.1	
豪卡板金	63.7	49.9	34.1	19.3	8.2	6.5	
豪卡板銀	33.6	28.6	20.2	12.5	7.5	5.7	
豪卡板閃銀	34.7	32.4	21.2	16.4	10.7	9.6	
珍珠板電鍍銀	32.6	30.2	21.8	12.1	7.9	6.1	
珍珠板金	36.7	29.1	18.8	13.3	6.1	4.9	
珍珠板銀	57.6	47.5	33.2	18.3	9.1	6.0	
珍珠板閃銀	41.6	35.1	24.6	14.4	8.8	5.7	

以偏振片角度 0 為基準光點，取其照度值為比較基準，進行數值轉換(每位置照度除基準光點照度)，結果如表 16 所示。

表 16：轉換不同顏色噴漆之偏振保留性

	-90	-75	-60	-45	-30	-15
白玉板亮電鍍銀	0.13	0.20	0.36	0.61	0.78	0.91
白玉板亮金	0.08	0.15	0.39	0.61	0.82	0.93
白玉板亮銀	0.12	0.20	0.36	0.59	0.80	0.94
白玉板亮閃銀	0.08	0.16	0.35	0.57	0.85	0.96
豪卡板電鍍銀	0.16	0.24	0.37	0.65	0.81	0.97
豪卡板金	0.09	0.18	0.36	0.62	0.82	0.96
豪卡板銀	0.17	0.25	0.39	0.60	0.82	0.95
豪卡板閃銀	0.26	0.32	0.44	0.73	0.76	0.95
珍珠板電鍍銀	0.16	0.24	0.37	0.56	0.62	0.86
珍珠板金	0.10	0.16	0.36	0.59	0.86	1.00
珍珠板銀	0.09	0.16	0.31	0.43	0.71	0.91
珍珠板閃銀	0.13	0.19	0.35	0.53	0.80	1.01
	15	30	45	60	75	90

白玉板亮電鍍銀	0.88	0.72	0.53	0.34	0.17	0.13
白玉板亮金	0.96	0.78	0.55	0.31	0.09	0.08
白玉板亮銀	0.93	0.78	0.53	0.30	0.18	0.13
白玉板亮閃銀	0.89	0.74	0.47	0.28	0.14	0.09
豪卡板電鍍銀	0.95	0.75	0.55	0.33	0.20	0.16
豪卡板金	0.93	0.73	0.50	0.28	0.12	0.10
豪卡板銀	0.95	0.81	0.57	0.35	0.21	0.16
豪卡板閃銀	0.94	0.87	0.57	0.44	0.29	0.26
珍珠板電鍍銀	0.88	0.81	0.59	0.33	0.21	0.16
珍珠板金	1.01	0.80	0.52	0.36	0.17	0.13
珍珠板銀	0.88	0.73	0.51	0.28	0.14	0.09
珍珠板閃銀	0.97	0.81	0.57	0.33	0.20	0.13

共實驗 12 種試片，分為兩個圖形進行分析，將表 16 數值轉換成圖 17。

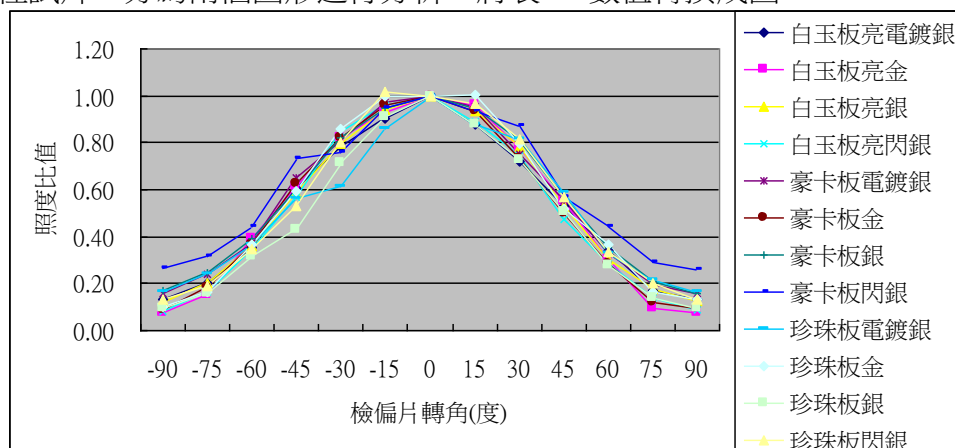


圖 17：轉換不同顏色噴漆之偏振保留性

3.討論：

3 種試片，噴上不同顏色噴漆後，發現偏振保留性趨勢幾乎一致，表示不同顏色噴漆在偏振保留性趨效果一致，四種噴漆沒有顯著差異。

八、實驗八 不同顏色噴漆對反射性的影響

1.方法：

在白玉卡亮面、豪卡板及珍珠板上進行噴漆，噴漆有四種金屬色澤（鐵樂士)(電鍍銀、金、銀、閃銀)，進行反射性測量。光源來自單槍投影機，投影機前放置起偏片，起偏片角度為 0 度，距離螢幕中心 25cm；照度計放在位置 70 度的地方，距離螢幕中心 30cm，測量照度值。

2.實驗結果：

以照度計量測值作為實驗結果，量測單位為勒克斯(Lux)，如下表所示。

表 17：不同顏色噴漆對反射性的影響

試片	照度值	試片	照度值	試片	照度值
白玉板亮電鍍銀	77.4	豪卡板電鍍銀	65.7	珍珠板電鍍銀	80.1
白玉板亮金	81.2	豪卡板金	93.5	珍珠板金	52.7
白玉板亮銀	84.7	豪卡板銀	99.3	珍珠板銀	89.5
白玉板亮閃銀	118.7	豪卡板閃銀	71.3	珍珠板閃銀	76.8

將表 17 數據轉換成圖 18

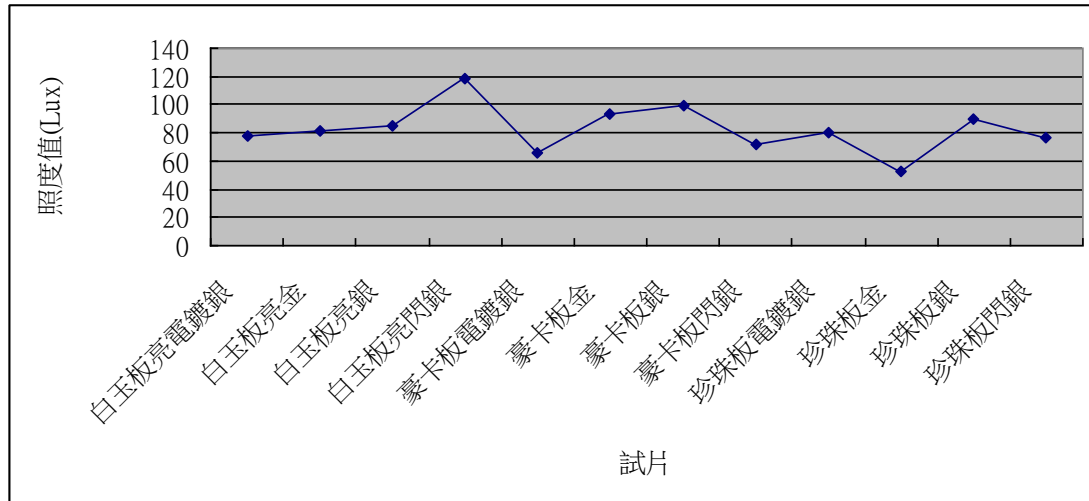


圖 18：不同顏色噴漆對反射性的影響

3.討論：

分析三種試片與四種顏色噴漆的照度值，最大者為白玉板閃銀，其次為豪卡板銀及珍珠板銀。

九、實驗九 不同噴漆對漫射性的影響

1.方法：

選用四種金屬光澤噴漆，分別噴上白玉卡亮、豪卡板及珍珠板的試片進行漫射性實驗。光源來自單槍投影機，投影機前放置起偏片，起偏片角度為 0 度，距離螢幕中心 25cm；照度計分別放在位置 50 度、位置 70 度和位置 90 度的地方，距離螢幕中心皆為 30cm；檢偏片放在照度計前，檢偏片的旋轉角度從-90 到 90 度，每 15 度測量一次照度值。

2.實驗結果：

實驗數值為表 18，為方便進行分析先進行比值轉換，以 50 度為比較基準，經由轉換後，得到表 19 及表 20。

表 18：不同顏色噴漆之漫射性

	-90	-75	-60	-45	-30	-15	0
白玉板亮電鍍銀 50	9.1	13.9	23.6	39.6	56.2	69.9	73.4
白玉板亮電鍍銀 70	7.6	10.8	21.4	35.1	50.0	60.4	68.2

白玉板亮電鍍銀 90	6.6	9.9	17.7	30.1	38.8	45.0	49.7
白玉板亮金 50	8.1	14.3	27.6	39.3	58.4	67.9	73.4
白玉板亮金 70	5.1	13.6	36.8	43.7	63.8	74.8	76.9
白玉板亮金 90	4.6	9.3	23.7	37.1	49.7	56.2	60.6
白玉板亮銀 50	9.5	13.6	23.5	36.9	53.1	63.1	67.8
白玉板亮銀 70	9.3	12.8	22.9	40.5	56.6	67.0	71.8
白玉板亮銀 90	7.6	12.5	22.2	36.3	49.4	58.3	61.9
白玉板亮閃銀 50	11.4	16.8	32.6	53.7	77.6	93.0	101.1
白玉板亮閃銀 70	9.4	15.9	35.4	56.9	80.4	96.3	101.3
白玉板亮閃銀 90	7.1	14.2	30.0	48.9	73.1	82.5	86.2
豪卡板電鍍銀 50	7.6	7.9	16.9	25.3	33.2	36.0	43.0
豪卡板電鍍銀 70	7.6	10.9	17.9	27.3	37.5	44.5	51.6
豪卡板電鍍銀 90	6.1	9.3	14.2	24.9	31.1	37.4	38.4
豪卡板金 50	9.7	15.5	27.8	45.7	64.6	73.3	79.0
豪卡板金 70	7.3	14.4	31.9	52.8	69.3	80.1	85.6
豪卡板金 90	6.0	12.3	24.9	42.6	56.1	65.6	68.3
豪卡板銀 50	9.8	14.9	26.3	39.3	54.9	65.6	69.2
豪卡板銀 70	8.0	13.1	24.7	37.5	58.5	71.8	77.5
豪卡板銀 90	6.1	8.7	13.9	21.4	29.1	33.7	35.5
豪卡板閃銀 50	13.2	16.3	22.5	28.9	37.1	43.8	48.8
豪卡板閃銀 70	11.9	16.3	23.4	32.7	40.6	49.6	52.1
豪卡板閃銀 90	9.8	11.7	16.3	27.2	28.2	35.1	37.1
珍珠板電鍍銀 50	8.7	12.2	18.8	28.9	40.0	52.5	59.0
珍珠板電鍍銀 70	7.2	11.5	18.8	36.2	48.3	56.8	64.1
珍珠板電鍍銀 90	6.1	8.9	13.6	20.9	22.9	32.0	37.2
珍珠板金 50	7.0	8.2	13.4	23.4	27.5	39.3	41.5
珍珠板金 70	5.3	9.2	13.0	20.7	32.9	42.7	46.6
珍珠板金 90	3.8	6.0	13.3	21.6	31.3	36.4	36.5
珍珠板銀 50	9.2	12.1	23.7	36.7	60.6	71.3	78.1
珍珠板銀 70	7.2	11.2	22.2	33.0	58.8	67.0	76.7
珍珠板銀 90	6.0	10.3	20.5	28.1	46.8	59.5	65.5
珍珠板閃銀 50	6.8	8.0	13.7	24.9	30.1	37.5	43.4
珍珠板閃銀 70	6.7	9.5	17.3	27.3	41.2	42.6	53.6
珍珠板閃銀 90	5.8	8.1	14.9	23.0	34.5	43.7	43.1
	15	30	45	60	75	90	
白玉板亮電鍍銀 50	71.3	63.7	44.2	28.0	11.7	10.5	
白玉板亮電鍍銀 70	64.9	53.4	38.2	22.5	11.7	7.4	
白玉板亮電鍍銀 90	43.7	35.9	26.5	17.1	8.6	6.7	

白玉板亮金 50	66.5	55.2	38.8	23.0	10.7	8.4	
白玉板亮金 70	68.4	55.5	34.5	18.2	8.0	6.5	
白玉板亮金 90	58.2	47.0	33.3	18.5	5.6	4.6	
白玉板亮銀 50	64.1	52.9	38.3	22.9	12.4	9.5	
白玉板亮銀 70	66.6	54.3	33.8	18.5	9.8	8.3	
白玉板亮銀 90	57.7	48.5	33.0	18.7	11.0	7.8	
白玉板亮閃銀 50	96.2	79.0	51.4	30.0	15.3	11.6	
白玉板亮閃銀 70	94.3	77.1	51.6	26.4	15.1	9.4	
白玉板亮閃銀 90	76.5	64.1	40.9	24.4	11.8	7.4	
豪卡板電鍍銀 50	38.6	35.3	23.2	14.2	9.6	8.2	
豪卡板電鍍銀 70	49.4	41.1	31.3	19.9	10.1	7.8	
豪卡板電鍍銀 90	36.6	28.8	21.3	12.7	7.5	6.1	
豪卡板金 50	71.1	57.2	36.0	22.0	11.2	9.8	
豪卡板金 70	75.4	60.4	45.5	22.9	11.0	6.9	
豪卡板金 90	63.7	49.9	34.1	19.3	8.2	6.5	
豪卡板銀 50	64.0	58.5	35.6	25.6	10.0	8.3	
豪卡板銀 70	73.2	60.4	41.1	23.8	11.3	8.3	
豪卡板銀 90	33.6	28.6	20.2	12.5	7.5	5.7	
豪卡板閃銀 50	48.1	40.8	31.6	22.5	15.1	13.0	
豪卡板閃銀 70	48.6	42.0	30.8	21.4	12.9	11.7	
豪卡板閃銀 90	34.7	32.4	21.2	16.4	10.7	9.6	
珍珠板電鍍銀 50	56.3	49.6	36.0	22.6	11.2	8.4	
珍珠板電鍍銀 70	61.6	50.1	35.5	22.1	10.7	7.8	
珍珠板電鍍銀 90	32.6	30.2	21.8	12.1	7.9	6.1	
珍珠板金 50	43.0	36.3	26.4	13.1	7.1	5.9	
珍珠板金 70	44.0	35.4	27.2	15.8	7.6	5.7	
珍珠板金 90	36.7	29.1	18.8	13.3	6.1	4.9	
珍珠板銀 50	73.6	63.1	43.7	25.1	13.8	9.4	
珍珠板銀 70	73.0	61.7	42.7	25.0	11.5	7.1	
珍珠板銀 90	57.6	47.5	33.2	18.3	9.1	6.0	
珍珠板閃銀 50	42.9	36.1	28.5	17.1	9.0	6.5	
珍珠板閃銀 70	56.3	46.5	37.3	20.0	10.1	6.4	
珍珠板閃銀 90	41.6	35.1	24.6	14.4	8.8	5.7	

表 19：不同顏色噴漆之漫射性的轉換值 1

	-90	-75	-60	-45	-30	-15	0
白玉板亮電鍍銀 70/50	0.84	0.78	0.91	0.89	0.89	0.86	0.93
白玉板亮電鍍銀 90/50	0.73	0.71	0.75	0.76	0.69	0.64	0.68
白玉板亮金 70/50	0.63	0.95	1.33	1.11	1.09	1.10	1.05

白玉板亮金 90/50	0.57	0.65	0.86	0.94	0.85	0.83	0.83
白玉板亮銀 70/50	0.98	0.94	0.97	1.10	1.07	1.06	1.06
白玉板亮銀 90/50	0.62	0.85	0.92	0.91	0.94	0.89	0.85
白玉板亮閃銀 70/50	0.82	0.95	1.09	1.06	1.04	1.04	1.00
白玉板亮閃銀 90/50	0.62	0.85	0.92	0.91	0.94	0.89	0.85
	15	30	45	60	75	90	
白玉板亮電鍍銀 70/50	1.50	1.34	1.47	1.48	1.57	1.60	
白玉板亮電鍍銀 90/50	1.24	1.27	1.59	1.57	1.63	1.65	
白玉板亮白銀 70/50	1.07	0.56	0.56	0.52	0.45	0.44	
白玉板亮白銀 90/50	1.07	0.77	0.60	0.56	0.51	0.54	
白玉板亮金 70/50	1.59	1.67	1.96	1.84	2.08	1.96	
白玉板亮金 90/50	1.20	1.55	2.25	2.12	2.23	2.14	
白玉板亮銀 70/50	1.63	1.21	1.06	0.92	0.98	1.00	
白玉板亮銀 90/50	1.18	1.32	1.35	1.69	1.66	1.69	
白玉板亮閃銀 70/50	1.43	1.40	1.35	1.35	1.37	1.56	
白玉板亮閃銀 90/50	1.18	1.32	1.35	1.69	1.66	1.69	

將表 19 數值轉換成圖 19

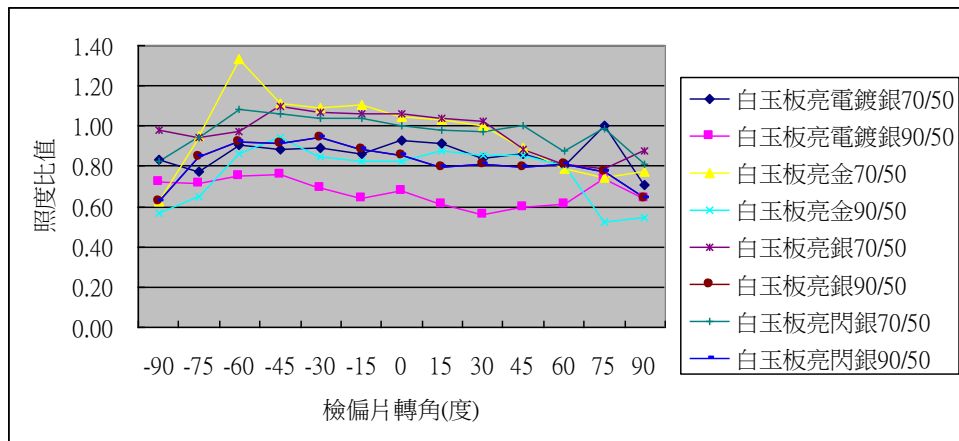


圖 19：不同顏色噴漆之漫射性的轉換值 1

表 20：不同顏色噴漆之漫射性的轉換值 2

	-90	-75	-60	-45	-30	-15	0
豪卡板電鍍銀 70/50	1.00	1.38	1.06	1.08	1.13	1.24	1.20
豪卡板電鍍銀 90/50	0.80	1.18	0.84	0.98	0.94	1.04	0.89
豪卡板金 70/50	0.75	0.93	1.15	1.16	1.07	1.09	1.08
豪卡板金 90/50	0.62	0.79	0.90	0.93	0.87	0.89	0.86
豪卡板銀 70/50	0.82	0.88	0.94	0.95	1.07	1.09	1.12
豪卡板銀 90/50	0.62	0.58	0.53	0.54	0.53	0.51	0.51
豪卡板閃銀 70/50	0.90	1.00	1.04	1.13	1.09	1.13	1.07
豪卡板閃銀 90/50	0.74	0.72	0.72	0.94	0.76	0.80	0.76
	15	30	45	60	75	90	

豪卡板電鍍銀 70/50	0.90	1.00	1.04	1.13	1.09	1.13	
豪卡板電鍍銀 90/50	0.74	0.72	0.72	0.94	0.76	0.80	
豪卡板金 70/50	0.83	0.94	1.00	1.25	1.21	1.08	
豪卡板金 90/50	0.70	0.73	0.72	0.72	0.57	0.61	
豪卡板銀 70/50	0.76	1.12	0.97	0.88	1.20	1.09	
豪卡板銀 90/50	0.54	0.73	0.99	0.92	1.14	0.93	
豪卡板閃銀 70/50	0.78	0.93	0.94	0.90	0.97	0.94	
豪卡板閃銀 90/50	0.65	0.85	0.86	0.77	0.77	0.83	

將表 20 數值轉換成圖 20

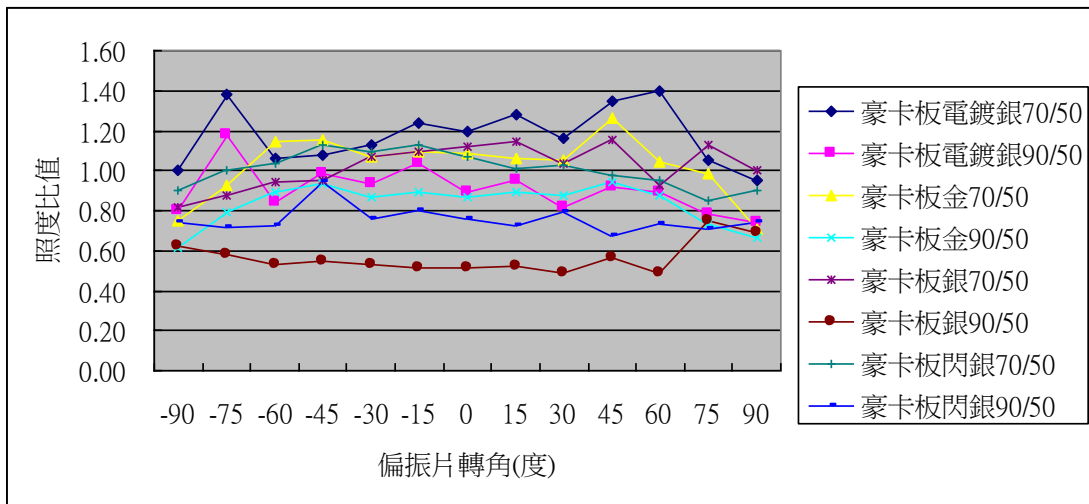


圖 20：不同顏色噴漆之漫射性的轉換值 2

表 21：不同顏色噴漆之漫射性的轉換值 3

	-90	-75	-60	-45	-30	-15	0
珍珠板電鍍銀 70/50	0.83	0.94	1.00	1.25	1.21	1.08	1.09
珍珠板電鍍銀 90/50	0.70	0.73	0.72	0.72	0.57	0.61	0.63
珍珠板金 70/50	0.76	1.12	0.97	0.88	1.20	1.09	1.12
珍珠板金 90/50	0.54	0.73	0.99	0.92	1.14	0.93	0.88
珍珠板銀 70/50	0.78	0.93	0.94	0.90	0.97	0.94	0.98
珍珠板銀 90/50	0.65	0.85	0.86	0.77	0.77	0.83	0.84
珍珠板閃銀 70/50	0.99	1.19	1.26	1.10	1.37	1.14	1.24
珍珠板閃銀 90/50	0.85	1.01	1.09	0.92	1.15	1.17	0.99
	15	30	45	60	75	90	
珍珠板電鍍銀 70/50	0.99	1.19	1.26	1.10	1.37	1.14	
珍珠板電鍍銀 90/50	0.85	1.01	1.09	0.92	1.15	1.17	
珍珠板金 70/50	4.75	2.12	0.98	0.47	0.16	0.12	
珍珠板金 90/50	4.33	1.78	0.85	0.38	0.16	0.08	
珍珠板銀 70/50	1.52	1.54	1.46	1.35	1.24	1.25	
珍珠板銀 90/50	1.57	1.55	1.30	1.06	0.93	0.97	

珍珠板閃銀 70/50	1.10	1.13	1.15	1.24	2.21	2.07	
珍珠板閃銀 90/50	1.14	1.16	1.02	1.00	1.75	1.80	

將表 20 數值轉換成圖 21

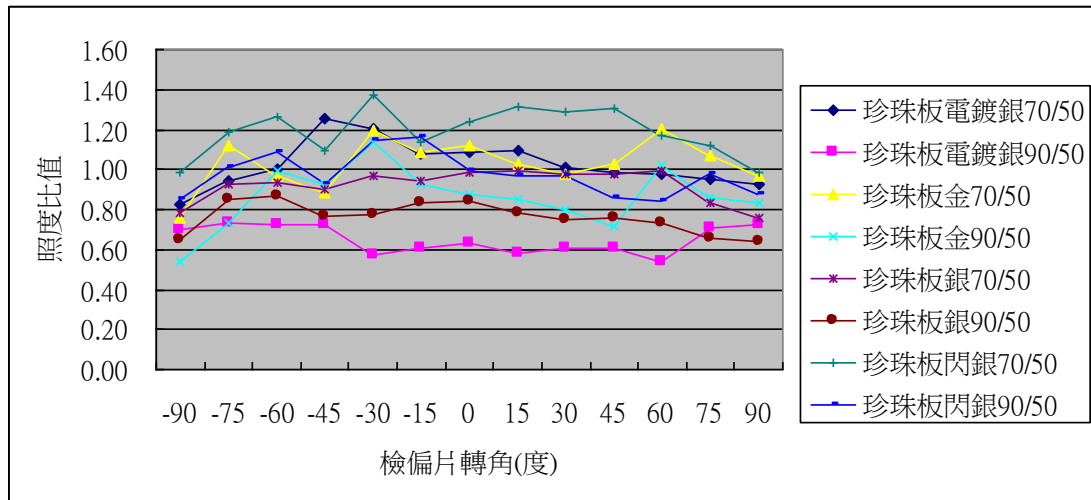


圖 21：不同顏色噴漆之漫射性的轉換值 3

3.討論：

從實驗結果得知，不論是電鍍銀、金、銀、閃銀，當試片噴上漆後，漫射性也顯著提昇，不論試片材質為何，照度比值 1.4-0.5 左右，表示大部分觀眾會見到全部畫面。

4.結論：

從實驗七到實驗九發現：

- (1)噴上電鍍銀、金、銀、閃銀漆，螢幕具有保有入射偏振光的偏振方向特性。
- (2)分析照度值最大為，白玉板閃銀、豪卡板銀及珍珠板銀。
- (3)噴上漆，漫射性佳，照度比值 1.4-0.5 左右。

依據結論，將以白玉板閃銀、豪卡板銀及珍珠板銀，製作偏光螢幕，配合 3D 影像製作實際觀察。

柒、偏光 3D 影像製作

實驗步驟:

- 一、景物要有兩個，排列前後，拍照時位移量 6 公分，高度最好為水平，如圖 22 為左眼看到影像、圖 23 為右眼看到影像。
- 二、拍照後，輸入電腦，經由單槍投影機放映。
- 三、放在投影機時，須將多餘光線遮住，避免偏振光與普通光線混合。
- 四、偏振片須放在投影機光線行經路徑，以投射出偏振光。
- 五、左右兩片偏振光需垂直，投影位置調整需找尋一個標的物做為基準。
- 六、載上偏光眼鏡，藉由視差，在腦中形成立體影像。



圖 22：左眼影像



圖 23：右眼影像

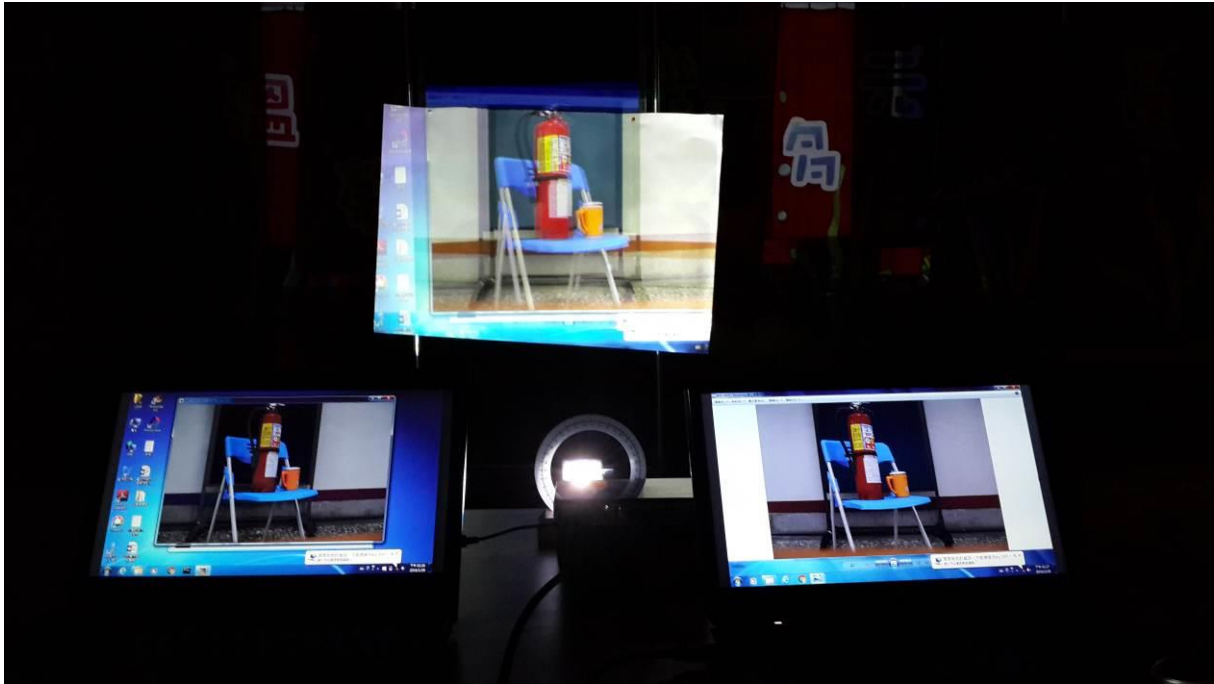


圖 24：偏光 3D 操作圖

依據實際觀察，發現立體效果最好的為螢幕材質為白玉板閃銀、其次珍珠板銀、豪卡板銀。

捌、結論

一、不同材質的影響：

- (一)偏振保留性：當以 10 種不同材質當作螢幕，由照度計檢驗數值以圖形顯現，當分佈呈現凸形時，偏振保留性的特性就會出現，當凸形集中程度越高時，偏振保留性就越好。以此原則進行分析，可知其中 8 種材質的螢幕在保留入射光偏振方向上並不明顯，所以 3 個位置的照度值變化不大，圖形呈現水平狀。另銀箔紙及銀色希得紙圖形呈現凸形，有顯著保留入射光偏振方向。分析兩者，可得出當表面有金屬光澤時，入射光偏振保留性越佳。
- (二)反射性：從實驗結果得知，材質改變，照度值也會跟著變動。分析實驗數據與表面反光程度加以比對，銀箔紙表面光亮，反射的照度值較高。其餘試片表面較無光澤，反射的照度較低。
- (三)漫射性：當照度比值越趨近於 1，此時漫射效果越佳。從材質不同對漫射性的影響實驗得知，除銀箔紙在 90 度照度比值超過 3，會出現在某特定位置的觀眾會見到局部畫面，

因此時兩位置照度差距過大，其餘變化介於 0.5~1.5 間，呈現漫射效果較好，觀察銀色希得紙表面，發現有沙面、霧面現象。

(四)金屬片偏振保留性的圖形無更集中的現象，另外反射性及漫射性也未更突出，加上金屬片價格高，裁切不易，因此以噴漆繼續後續探討。

(五)小結：從上述(一)到(四)發現，偏光自製螢幕製作考慮以下幾點因素：

- 1.螢幕表面是銀色時，偏振光的偏振方向特性保留較佳。
- 2.表現呈現亮面，反射後照度值較高。
- 3.物體是霧面，漫射情形會較好。

二、噴漆的影響：

(一)偏振保留性：對 8 種不具偏振保留性試片進行電鍍銀噴漆，發現偏振保留性有顯著改善，且曲線趨勢幾乎一致，表示入射光偏振性經由電鍍銀漆反射後，偏振性會保留。

(二)反射性：與原先照度值進行對照，當噴上電鍍銀漆，反射照度值會分三組，表面最粗糙的木板，亮度值 90 勒克斯(Lux)，第二組大約 120 勒克斯(Lux)，另一組照度值為 160 勒克斯(Lux)，其中珍珠板提高 140 勒克斯(Lux)，最為顯著。從中解析可知，表面有噴上電鍍銀漆時，反射光的照度值會以 90 勒克斯(Lux)為基準起點，加上表面是光滑時，會增加反射照度值。

(三)漫射性：當試片噴上電鍍銀漆後，漫射性也顯著提昇，不論試片材質為何，照度比值 1.2-0.5 左右，表示大部分觀眾會見到全部畫面。

(四)小結：

- 1.螢幕噴上電鍍銀漆，會保有入射偏振光的偏振特性。
- 2.提高反射照度的兩個面向，首先是電鍍銀漆，再來是表面光滑。
- 3.漆上電鍍銀漆，表面呈現霧面、沙面，漫射性佳。

三、不同顏色噴漆的影響：

(一)偏振保留性：3 種試片，噴上不同顏色噴漆後，發現偏振保留性趨勢幾乎一致，表示不同顏色噴漆在偏振保留性趨勢一致，四種噴漆沒有顯著差異。

(二)反射性：分析三種試片與四顏色噴漆的照度值，豪卡板及珍珠板兩者銀色照度值最大，白玉板則為閃銀。

(三)漫射性：從實驗結果得知，不論是電鍍銀、金、銀、閃銀，當試片噴上漆後，漫射性也顯著提昇，不論試片材質為何，照度比值 1.4-0.5 左右，表示大部分觀眾會見到全部畫面。

四、經由實作，3D 效果最佳的是白玉板閃銀、其次珍珠板銀、最後豪卡板銀。

玖、參考文獻

[1]周鑑恆(2005)。輕鬆學物理的第一本書。如何，203-209。

[2]紀慶隆、李義評(2015)。色視差眼鏡的 3D 影像成像原理。中華民國第 55 屆國中小學科學展覽會國小組物理科。

[3]紀慶隆、李義評(2012)。2D 變 3D-立體影像形成原理與製作。中華民國第 52 屆國中小學科學展覽會國小組物理科。

【評語】 080833

1. 將偏光 3D 螢幕依偏光保留性、反射性、漫射性作定量分析，值得鼓勵。
2. 建議偏光保留性、反射性、漫射性雖有量化的量測，但是宜就 3D 顯示的功用，探討適用的規格。