

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國小組 生活與應用科學(一)科

第三名

082805

別「眩」耀—全方位防眩光燈

學校名稱：桃園市大園區溪海國民小學

作者：	指導老師：
小六 陳宥慈	徐志宇
小六 李佳韻	彭序梅
小六 蕭韻玄	
小六 邱愛媛	
小四 陳芷晴	
小四 陳坤佑	

關鍵詞：眩光、偏光片、亮度

## 摘要

利用兩片偏光片可以調光的特性配合相機與照度計，找出使用相機測量照度與亮度的方法，以此測量「照片」中光源在物體表面反光的眩光程度，並由測試偏光片各角度的透光率、消眩光效果、透光反光材質特性，尋找適合製作防眩燈罩的材質；市售標榜有消眩光（間接眩光）的檯燈（3M 博視燈）有使用方向位置的限制，經由實驗瞭解偏光片的特性，重新設計能 360°無死角且效率高的防眩光燈，經測試，我們設計製作的燈能減少直接眩光與間接眩光，而且成本更低。

## 壹、研究動機

讀書時發現兩本不同紙質的書本封面上反光面積不同，請老師教我們如何測量眩光、消除眩光，恰巧老師有一片偏光片，只要轉一轉就能消除物體表面的反光。就開始研究偏光片和眩光的關係了；每天都要用眼閱讀、收視，如果視野中有眩光，便會大大影響視覺，除了會讓眼睛不舒服，也降低閱讀效率。有些能利用偏光片防眩光的檯燈只有兩側有防眩光效果，我們測試偏光片在不同角度時消除眩光的效果，並研究偏光片的特性、瞭解偏振光經過反射或透過半透明材質時，偏振性的變化；在瞭解偏光片特性與偏振光性質後，重新設計防眩光燈具，期望能改善一般防眩光檯燈僅兩側有防眩效果的缺點。

老師講授「自然與生活科技」科目中相關課程（翰林第四冊，光的世界），指導學生查詢相關知識，學生經由圖書、書報新聞、網路等瞭解眩光對閱讀、視力的影響及眩光可能對眼睛造成的危害，並經由與老師及專家討論發展測量眩光的方法及取得實驗器材，確認實驗器材及方法後開始實驗。

## 貳、研究目的

一、找出以相機測量眩光的方法：找出 RGB 和亮度間的關係，才能用相機測量眩光。

（一）比對「RGB 平均值」與「照度」，得到二者的**相關性**。（實驗一）

（二）測量不同**材質**的眩光。（實驗二）

（三）測量不同光源**入射角**的眩光。（實驗三）

二、測試偏光片消除眩光的效果：使用偏光片消除眩光時，不同偏光片角度、不同入射角度、不同安裝位置、不同偏光片面向，消除眩光的效果是否不同？

（一）測試不同**安裝位置**、不同**偏光片面向**的消眩光效果。（實驗四）

（二）測試不同**偏光角度**的消眩光效果。（實驗五）

（三）測試不同**光源入射角**，偏光片的消眩光效果。（實驗六）

### 三、測試透光、反光材質是否合適製作防眩光燈、透光或反射後的眩光程度：

找出不打散偏振性的透光和反射材質、加上高透光率或反射率、透光後能使光源柔和，符合這三個條件的就是好的燈罩材質。

(一) 測試材質透光率、是否會打散偏振性。(實驗七)

(二) 測試透光材質透光後的眩光程度。(實驗八)

(三) 測試反光材質是否會打散偏振性、反射照度、反射後的眩光程度。(實驗九)

### 四、測試偏光片的光學特性：設計防眩光燈要考慮燈罩材質外，還需瞭解偏光片的特性。

(一) 測試不同光線角度穿過偏光片時、不同偏光角度的透光率。(實驗十)

### 五、考量透光率與消眩光效果，以 360°防眩光為目標，設計及測試防眩光燈。

(一) 設計防眩光燈並試做成品。

(二) 測試成品的防眩效果。(實驗十一)

## 參、研究設備及器材

### 一、器材準備與製作：

(一) 器材準備：相機、照度計、測試光源（燈泡、燈管）、懸臂檯燈、電腦、三腳架、影像軟體（Photocap、Photoshop）。

(二) 反射眩光測試箱：使用黑色瓦楞板減少反光，製作角度可以活動的密閉 V 形箱體，反射中心置入長螺絲為軸心，兩側上方開方孔可置換偏光片，末端作為光源開口及照度計、相機測量孔，縫隙以黑色泡棉板遮蔽。

(三) 材質透光照度測試箱：使用黑色瓦楞板減少反光，方型箱體側面開三個方孔可置換偏光片及透光材質，下方開孔作為光源入口，上方開孔作為照度計、相機測量孔。

(四) 偏光片及受測材質夾板：依「反射眩光測試箱」、「材質透光照度測試箱」方孔尺寸，使用黑色瓦楞板製作夾板。測量透光材質減少直接眩光用的夾板，以間距 1cm 黏貼黑線，製作 1×1cm 方格。

(五) 偏光片透光率測試管：以 0°、15°、30°、45°、60°斜切紙管、斜口黏貼黑色瓦楞板，作為安裝偏光片的平面，噴上黑漆減少反射。

(六) 受測材料：

1. 測量間接眩光：影印紙、影印紙護貝、影印紙列印黑色碳粉（黑底白線）、西卡紙、雪銅紙。

2. 測量透光材質：描圖紙、衛生紙、L 夾、毛玻璃、清玻璃、透明桌墊、PP 耐熱塑膠袋、毛邊紙、護貝膠膜、3C 保護袋、散光膜。

3. 測量反光材質：鏡子、影印紙、雪銅紙、西卡紙、亮面不銹鋼板、霧面不銹鋼板、白色烤漆鋼板。

## 肆、研究過程及方法

### 一、文獻探討

#### (一) 眩光：

1. 定義：眩光 (glare) 即**刺眼**，是因視野內的亮度大幅超過眼睛所適應，會導致**煩擾、不舒服或視力受損**。國際照明委員會(CIE)編輯的《國際照明工程詞彙》中對於眩光作了以下的定義：「眩光是一種視覺條件。這種條件的形成是由於**亮度分布不適當**，或**亮度變化的幅度太大**或**空間、時間上存在著極端的對比**，以致引起不舒適或降低觀察重要物體的能力，或同時產生這兩種現象。

2. 通常來講，眩光分為**直接眩光**與**間接眩光**。

直接眩光：光直射人眼，引起視覺不舒適和降低物體可見度的視覺條件。

間接眩光：間接性反射到人眼的不舒適光線。

(維基百科，眩光，<https://zh.wikipedia.org/wiki/眩光>)

(每日頭條，看懂這幾點，辦公照明沒難點，<https://kknews.cc/zh-tw/home/ogq322q.html>)

心得：眩光是亮度在空間、時間分布或變化幅度超過眼睛所能適應的對比，會導致不舒服或視力受損。

(二) 偏光片：偏光片 (Polarizer) 是指可以使天然光變成偏振光的光學元件叫偏光片 (或稱偏光板、偏光膜)。許多太陽眼鏡也是偏光鏡，消除反光可以保護眼睛。

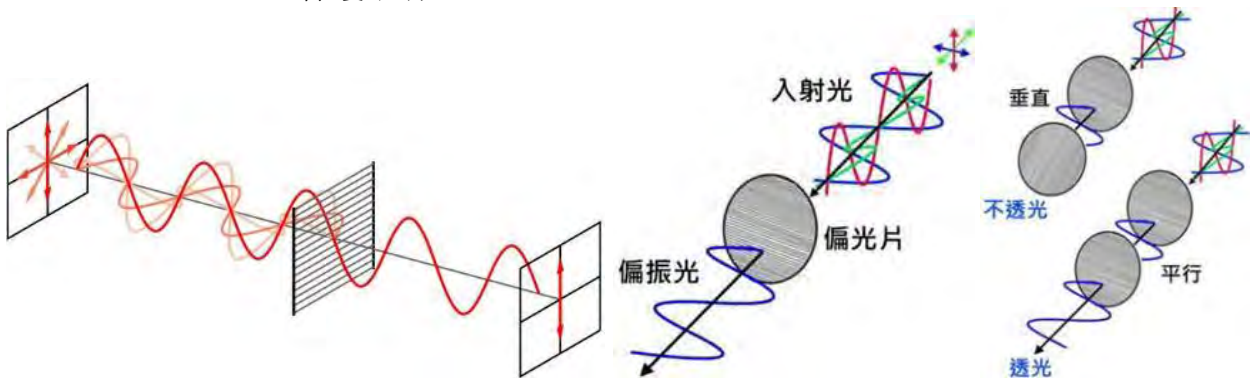


圖 4-1-1 偏光片原理(維基百科)

圖 4-1-2 偏光片原理(NTCU 科學遊戲 lab)

(NTCU 科學遊戲 lab，魔幻變色鏡，<http://scigame.ntcu.edu.tw/light/light-012.html>)

(維基百科，偏光片，<https://zh.wikipedia.org/wiki/偏光片>)

心得：兩片偏光片相疊時，可以利用偏光片的角度調整透光率。

垂直方向的偏光片可以減少反射眩光 (水平面的反射眩光)。

偏光片可以消除非金屬表面的反光。

(三) **亮度**：亮度 (luminance) 是表示人眼對發光體或被照射物體表面的發光或反射光強度實際感受的物理量。當任兩個物體表面在照相時被拍攝出的最終結果是一樣亮、或是眼睛看起來兩個表面一樣亮，它們就是亮度相同。

表 4-1-1 國際光度單位

物理量	計量單位	解釋
光通量	lm	單位時間內由光源所發出或由被照物所吸收的總光能。
亮度(輝度)	cd/m <sup>2</sup>	單位面積光源在給定方向上，在每單位立體角內所發出的總光通量。
照度	lx	物體表面每單位面積所吸收可見光的光通量，用於入射表面的光。

(維基百科，亮度，<https://zh.wikipedia.org/wiki/亮度>)

心得：我們要測的眩光就是亮度(輝度)的對比，用相機拍下要測量的反光，讀出照片中的像素資料 (RGB 值) 就可以得到各區塊的亮度，再比較亮度的對比來評估光源在不同材質表面上眩光的程度。

(四) 反射：反射 (英文：reflection)，是一種物理現象，**反射定律**指出對於鏡面反射，**入射角等於反射角**，即光線射入時與鏡面的夾角與光線反射後與鏡面的夾角相等。反射的表面非常光滑，反射定律如下：

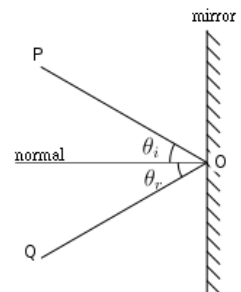


圖 4-1-3 反射定律

- 1.入射光線、反射光線和反射面在反射發生處的法線位於同一個平面。
- 2.入射光線與法線所成的角等於反射光線與同一條法線所成的角。
- 3.反射光線和入射光線處在法線的相對兩邊。

心得：光反射時會遵守反射定律。

(維基百科，反射，[https://zh.wikipedia.org/wiki/反射\\_\(物理學\)](https://zh.wikipedia.org/wiki/反射_(物理學)))

## 二、準備工作：

(一) 相機設定：白平衡設定為「手動」，感光度設為 200，光圈設為 F10。

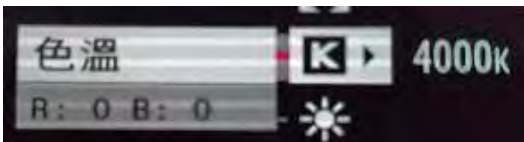


圖 4-2-1 手動設定色溫



圖 4-2-2 感光度 200，光圈 F10

(二) 照度計設定：配合測量照度調整檔位，提高數據的小數位數，39 lx 以下可顯示小數後兩位，399 lx 以下可顯示小數後一位，400 lx 可以顯示至個位。

(三) 反射眩光測試箱兩側箱體作記號方便調整角度，並以黑色泡棉板遮蔽縫隙。

(四) 裁切處理受測材質：

- 1.測量眩光材質：列印或畫出 1 × 1cm 方格，並裁切適當大小。
- 2.測量透光材質：紙類和薄片材質裁成 16cm × 16cm，夾入夾板。玻璃等厚材質可直接插入方孔。

3.測量反光材質：紙類材質列印  $1 \times 1\text{cm}$  或  $1.5 \times 1.5\text{cm}$  方格，不可列印材質以奇異筆畫出方格。



圖 4-2-3 受測眩光材質

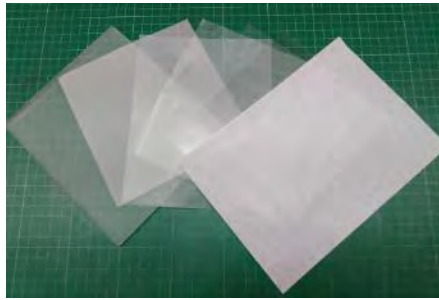


圖 4-2-4 透光材質

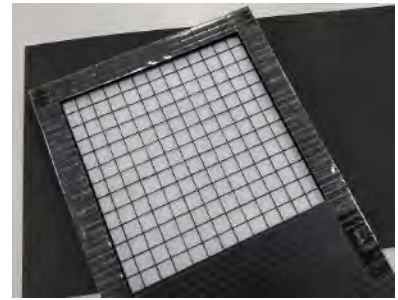


圖 4-2-5 夾板以黑線製作 1cm 網格

(五) 製作夾板：黑色瓦楞板裁成「測試箱方孔」寬度，以測試箱內部尺寸減 1.5cm 開孔，夾入偏光片、透光材質測試；實驗七使用的夾板以黑線製作  $1\text{cm} \times 1\text{cm}$  網格，方便取樣記錄。

(六) 光源準備：以 LED 燈泡為光源，實驗前開啟，待燈泡加熱（1 分鐘）、照度穩定。

三、實驗一、比對「RGB 平均值」與「照度」，得到二者的相關性。

(一) 器材準備及設定：以材質透光照度測試箱為器材，相機前的上方孔插入描圖紙，避免光源直射鏡頭，中孔及下孔置入偏光片。先以照度計測量，利用兩片偏光片不同夾角分別調出 25、50、75、100、125、150、200、250、300、350、400、450、500、550、600 lux 照度。

(二) 實驗操作：相機以快門時間  $1''$ 、 $1/2''$ 、 $1/4''$ 、 $1/8''$ 、 $1/15''$ 、 $1/30''$ 、 $1/60''$ 、 $1/125''$ 、 $1/180''$ 、 $1/250''$ 、 $1/500''$ 、 $1/1000''$ 、 $1/2000''$  拍攝，取可用數據共 142 筆。

(三) 讀取數據及處理：相片檔以 photcap 影像處理軟體批次縮小為單一像素，讀出 RGB 值，計算每張相片「RGB 平均值」；以「照度」乘以「快門時間」得出「進光量」，將對應的「RGB 平均值」、「進光量」繪成散佈圖，加入趨勢線，選擇「多項式」幕次設為「6」，勾選「在圖表上顯示公式」即可得到「RGB 平均值」與「進光量」之關係公式。

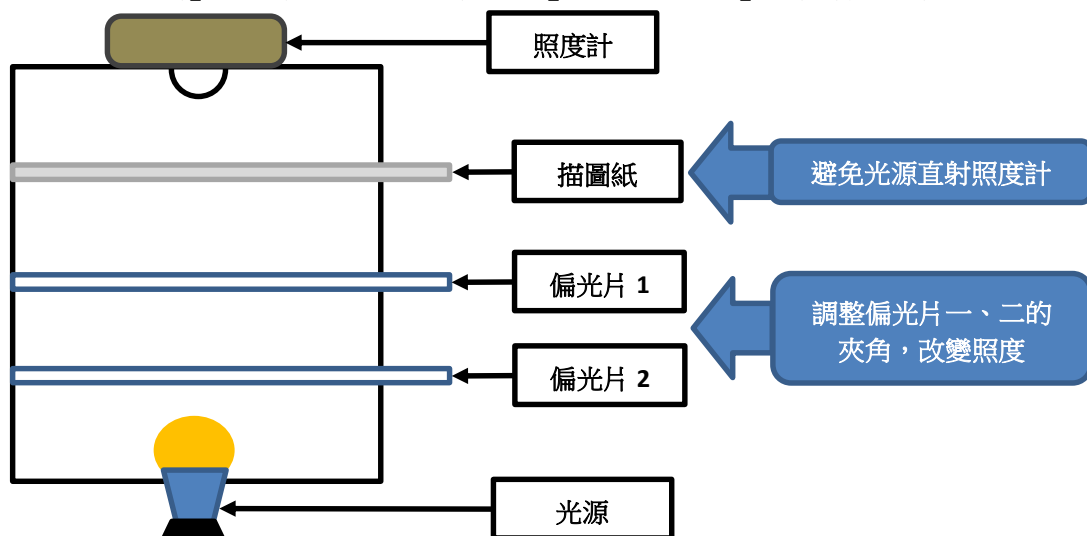


圖 4-3-1 實驗器材配置圖



圖 4-3-2 實驗過程



圖 4-3-3 以偏光片夾角調出 600lx 照度

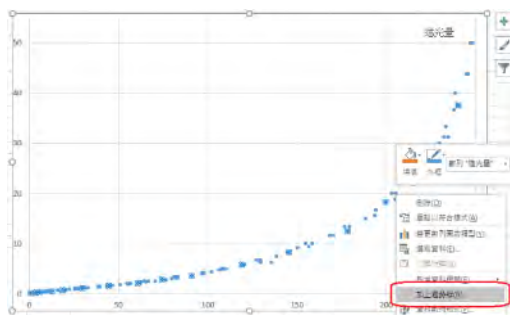


圖 4-3-4 在散佈圖上加上趨勢線



圖 4-3-5 多項式幕次 6

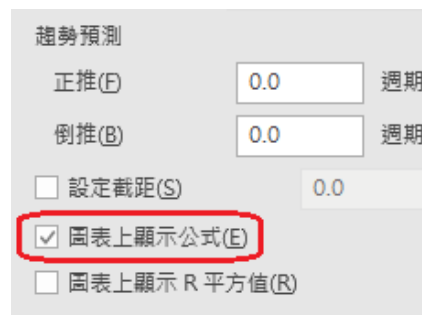
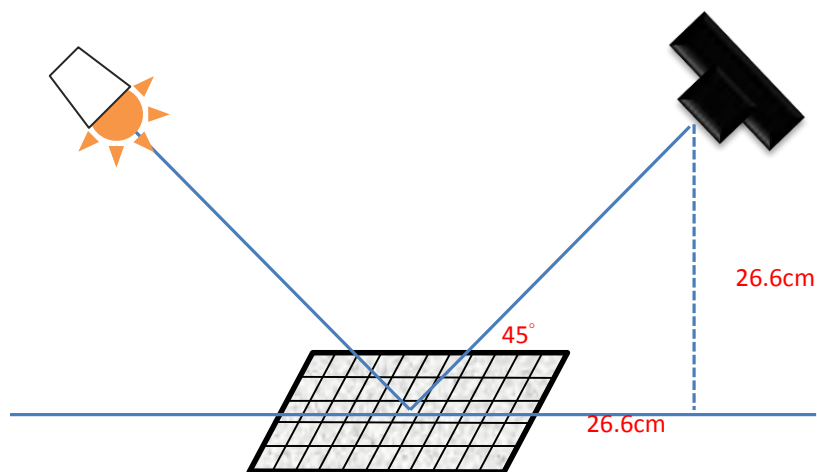


圖 4-3-6 顯示公式

#### 四、實驗二、測量不同材質的眩光。

- (一) 器材準備及設定：以反射眩光測試箱為測試器材，實驗時方孔以黑色泡棉板遮蔽，受測材質先列印「1 × 1 cm 方格」放入測試箱，對齊軸心。
- (二) 實驗操作：調整反射眩光測試箱兩側箱體與底座夾角，每種材質都以光源入射角 45° 拍攝。
- (三) 讀取數據及處理：以 photoshop 影像處理軟體開啟相片檔，使用「滴管工具」，樣本尺寸設定為「11 × 11 平均像素」，點選中央直向及橫向「1 × 1 cm 方格」中心部位，記下 RGB 值。以「實驗一」得到的「RGB 平均值 - 進光量」關係公式換算為「進光量」，以「進光量」代表亮度，經平均、調整比例後繪成折線圖。



1 × 1cm 格子紙

圖 4-4-1 實驗器材配置圖

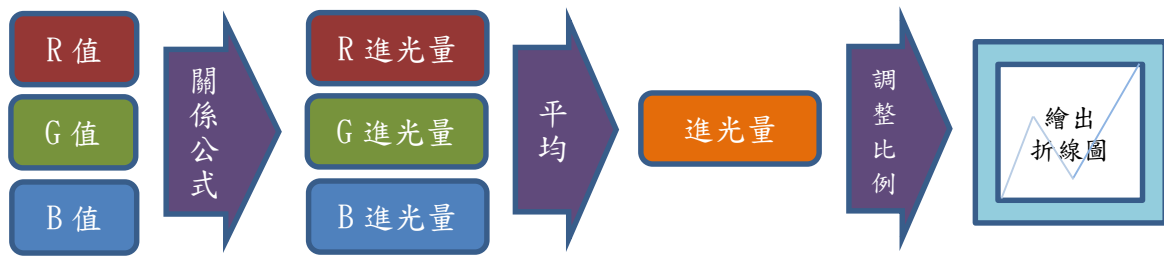


圖 4-4-2 實驗二數據處理流程



圖 4-4-3 影印紙護貝入射角 65°眩光

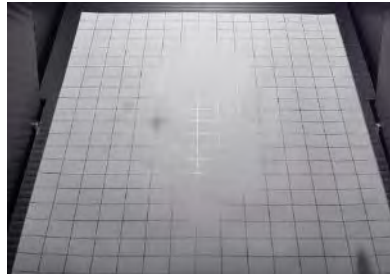


圖 4-4-4 影印紙入射角 55°眩光

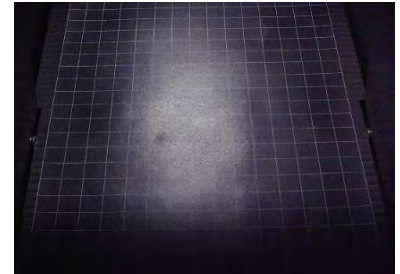


圖 4-4-5 碳粉入射角 45°眩光

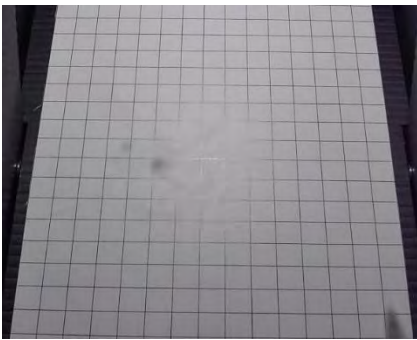


圖 4-4-6 西卡紙入射角 35°眩光



圖 4-4-7 雪銅紙入射角 25 度眩光



圖 4-4-8 調整測試箱傾斜角度



圖 4-4-9 使用「滴管工具」

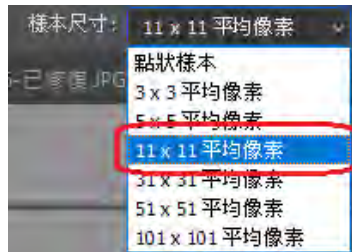


圖 4-4-10 設定為 11 × 11 平均像素



圖 4-4-11 記錄像素 RGB 值

### 五、實驗三、測量不同光源入射角的眩光。

- (一) 器材準備及設定：同實驗二，測試材質為雪銅紙。
- (二) 實驗操作：調整反射眩光測試箱兩側箱體與底座夾角，以光源入射角 25°、35°、45°、55°、65°拍攝雪銅格子紙。
- (三) 讀取數據及處理：同實驗二

### 六、實驗四、測試不同安裝位置、不同偏光片面向的消眩光效果。

- (一) 器材準備及設定：同實驗二，測試材質為雪銅紙。
- (二) 實驗操作：偏光片有保護膜面為 A 面，另一面為 B 面，偏光片安裝於光源及相機側時，分別拍攝測量 A 及 B 面朝向光源時的眩光程度。
- (三) 讀取數據及處理：同實驗二



七、實驗五、測試不同偏光角度的消眩光效果。

(一) 器材準備及設定：同實驗二，偏光片安裝於燈光側。

(二) 實驗操作：光源入射角  $45^\circ$  拍攝雪銅紙，偏光片角度以消除眩光效果最差的方向作為  $0^\circ$ 、效果最佳的方向為  $90^\circ$ ，從  $0^\circ$  到  $90^\circ$  每  $15^\circ$  拍攝一張。

(三) 讀取數據及處理：同實驗二

八、實驗六、測試不同光源入射角，偏光片的消眩光效果。

(一) 器材準備及設定：同實驗二，偏光片安裝於燈光側。

(二) 實驗操作：偏光片角度  $90^\circ$ ，調整反射眩光測試箱兩側箱體與底座夾角，以光源入射角  $25^\circ$ 、 $35^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $55^\circ$ 、 $65^\circ$  拍攝雪銅格子紙。

(三) 讀取數據及處理：同實驗二

九、實驗七、測試材質透光率、是否會打散偏振性。

(一) 器材準備及設定：

1. 測試材質透光率：以材質透光照度測試箱為器材，相機側方孔插入描圖紙，避免光源直射照度計或鏡頭。

2. 測試材質透光時是否會打散偏振性：以材質透光照度測試箱為器材，相機前的上方孔插入描圖紙（偏光片之上）、偏光片，避免光源直射照度計，中孔置入受測材質，下方孔置入與上方孔同方向或垂直方向偏光片。

(二) 實驗操作：

1. 受測材質透光率：照度計讀取材質置入前後的照度。

2. 受測材質是否會打散偏振性：下孔置入與上孔同方向或垂直方向的偏光片，以照度計測量照度。

(三) 讀取數據及處理：

1. 受測材質透光率：以中方孔「置入受測材質後的照度」除以中孔「置入受測材質前的照度」，得到「受測材質透光率」。

2. 受測材質是否會打散偏振性：照度差比例越高的材質，越不容易打散偏振性。

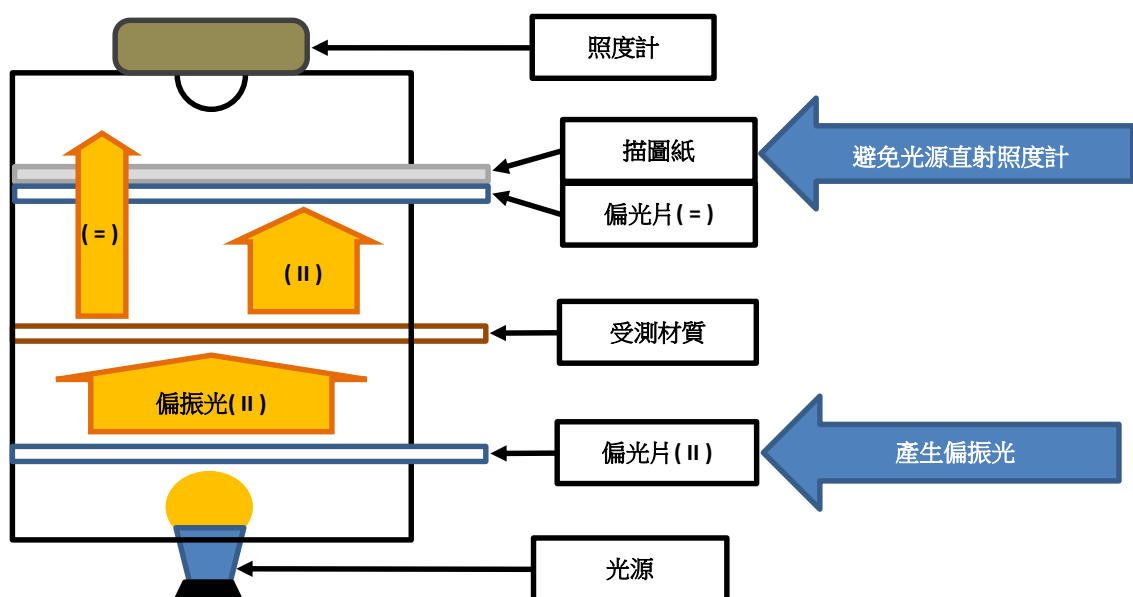


圖 4-9-1 實驗器材配置圖

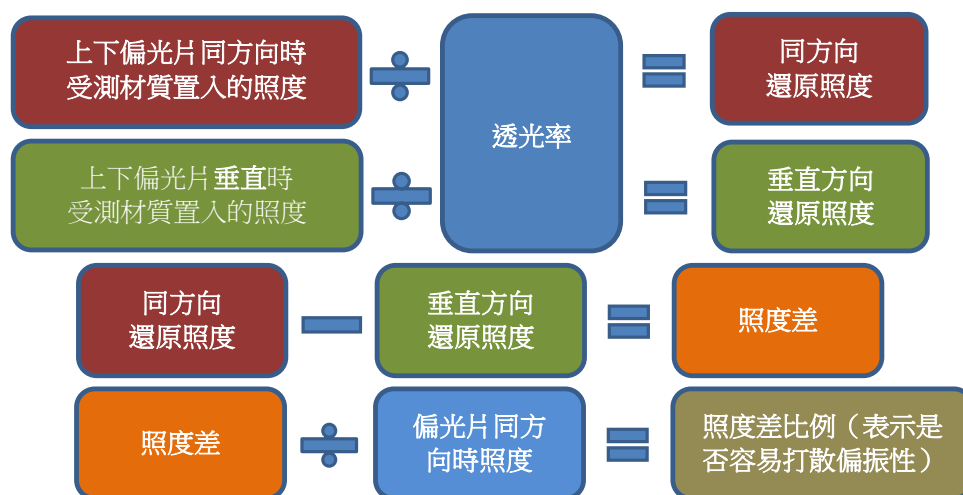


圖 4-9-2 測量材質是否會打散偏振性數據流程圖

#### 十、實驗八、測試材質透光後的眩光程度。

- (一) 器材準備及設定：待測材質夾入網格夾板，置入材質透光照度測試箱中孔。
- (二) 實驗操作：以相機拍攝材質透光網格。
- (三) 讀取數據及處理：同實驗二。

#### 十一、實驗九、測試反光材質是否會打散偏振性、反射照度、吸收光線特性、反射後的眩光程度。

- (一) 器材準備及設定：以反射眩光測試箱為器材，安裝光源。
  1. 受測材質是否會打散偏振性：照度計前方孔置入描圖紙（偏光片之上）及偏光片，底部置入受測材質，光源端方孔置入與照度計前方孔同方向或垂直方向的偏光片。
  2. 受測材質反射照度：照度計前方孔置入描圖紙。
  3. 吸收光線特性：取 30 支溫度計泡在約 25°C 水中，挑出相同讀數的溫度計，再放入約 55°C 水中挑出三支讀數相同的溫度計；白色瓦楞板上以透明膠片黏貼圍欄減少對流，溫度計放在底下，再放上受測材質。
  4. 反射後的眩光程度：同實驗二。
- (二) 實驗操作：
  1. 受測材質是否會打散偏振性：分別測量偏光片同向及垂直時的反射照度。
  2. 受測材質反射照度：受測材質放入反射測試箱，讀取照度。
  3. 吸收光線特性：受測材質於 LED 燈光下曝曬（透過隔熱紙，減少紅外線影響），每五分鐘測量溫度變化，取溫度停止上升時的溫度。
  4. 反射後的眩光程度：同實驗二。
- (三) 讀取數據及處理：
  1. 受測材質是否會打散偏振性：照度差越大，越不容易打散偏振性。
  2. 受測材質反射照度：照度計讀數。

3.吸收光線特性：所有材質溫度上升情況停止後，記錄曝曬前後溫差變化。溫差越小，代表越不容易吸收光線，也就是越容易反射。

4.反射後的眩光程度：同實驗二。



圖 4-11-1 挑選相同的溫度計

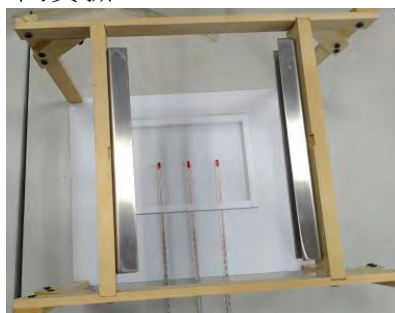


圖 4-11-2 溫度計放在受測材質下



圖 4-11-3 透過隔熱紙曝曬

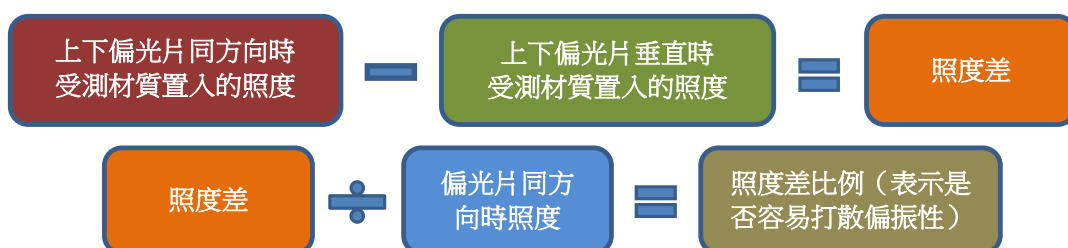


圖 4-11-4 受測材質反射是否會打散偏振性數據處理流程

## 十二、實驗十、測試不同光線角度穿過偏光片時、不同偏光角度的透光率。

(一) 器材準備及設定：以材質透光照度測試箱為器材，箱上蓋板安裝「透光率測試管」再裝上照度計。

(二) 實驗操作：各角度「透光率測試管」分別測量有無偏光片、以及各偏光角度的照度。以偏光片斜面消除水平面眩光效果最好的角度為  $90^\circ$ 。

(三) 讀取數據及處理：各偏光角度測得照度分別除以無偏光片時照度，得到透光率。



圖 4-12-1 安裝「透光率測試管」



圖 4-12-2 調整偏光片角度



圖 4-12-3 試做的防眩光燈罩

## 十三、試做防眩光燈罩、燈管：

(一) 第一代防眩燈罩：偏光片以「 $90^\circ$ 方向」捲成管狀包覆在燈泡外緣方式製作燈罩，光線經過偏光片透出照射在水平面上，便能減少水平面（桌面）的眩光。偏光片以「 $0^\circ$ 方向」製作的防眩光燈罩，可以減少垂直面（牆面）的眩光。

(二) 第二代防眩燈罩：在管狀偏光片外增加一層厚塑膠袋，降低直接眩光。

(三) 第三代防眩燈罩：將散光膜貼在管狀偏光片內，降低直接眩光。

(四) 依第一、三代燈罩順序將偏光片與散光膜包覆在燈管外。

#### 十四、實驗十一、測試成品的防眩光效果

(一) 器材準備及設定：燈泡裝於懸臂檯燈，燈泡及相機高度 40cm、距離 80cm，以雪銅紙列印 1.5 × 1.5cm 方格，中央位置對齊燈泡及相機中點。測試燈管時，燈管直立或橫置，中心裝於高度 40cm、距相機 80cm 處。

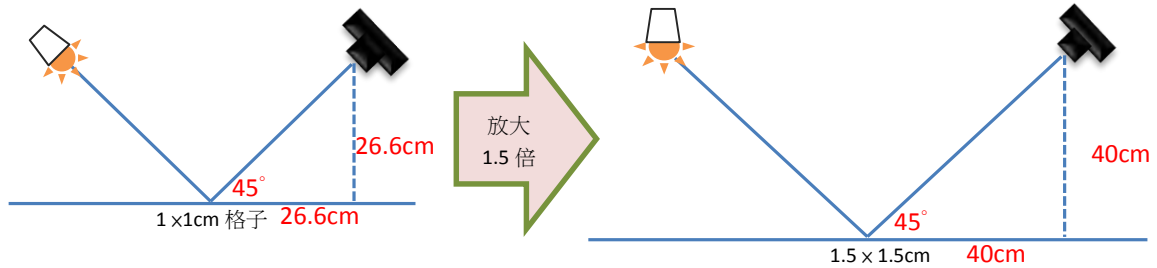


圖 4-14-1 燈罩成品測試時，距離與格子按 1.5 倍比例放大

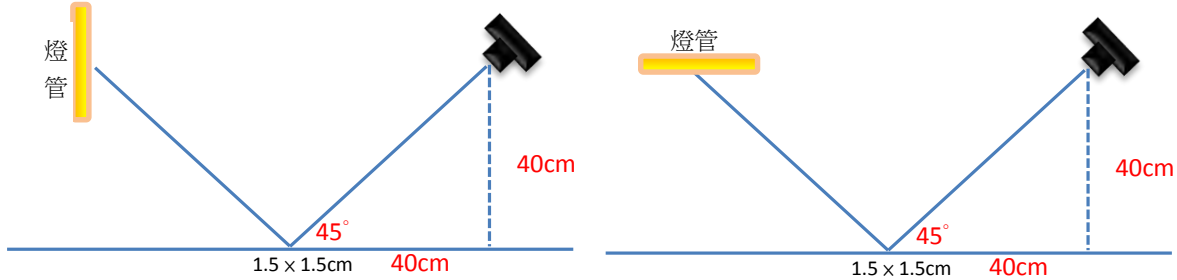


圖 4-14-2 燈管成品測試時，測試燈管橫置與直立兩種情況。

(二) 實驗操作：光源入射角 45°，裝上防眩光燈罩前後、垂直面與水平面各拍攝一張。測量直接眩光拍攝光源時，要避免光源中心像素 RGB 值接近 255。燈管成品測試時，測試燈管橫置與直立兩種情況。

(三) 讀取數據及處理：同實驗二，距離與格子按比例放大，眩光值可與其他實驗比較。以光源亮度除以反射中心照度得到直接眩光。

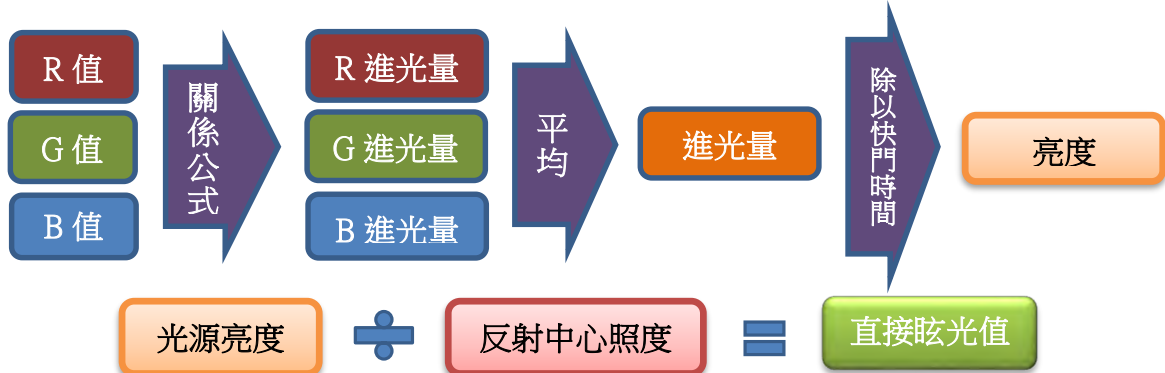


圖 4-14-3 數據處理流程



圖 4-14-4 調整相機角度



圖 4-14-5 測試燈罩水平防眩效果



圖 4-14-6 測試燈罩垂直防眩效果

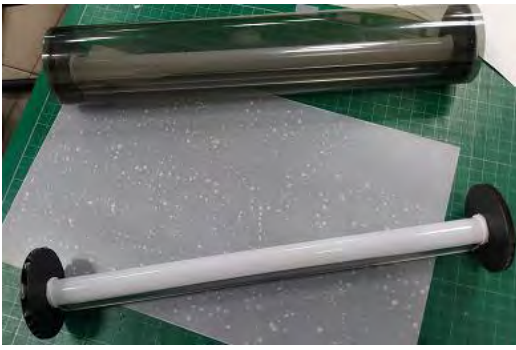


圖 4-14-7 製作防眩燈管

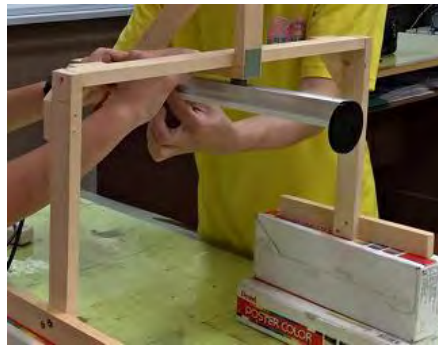


圖 4-14-8 安裝防眩燈管



圖 4-14-9 測試第三代燈罩

## 伍、研究結果

一、實驗一、比對「RGB 平均值」與「照度」，得到二者的相關性。

表 5-1-1 照度 25lux 時，不同快門時間拍的相片資料。

照度 (A)	快門時間 (B)	進光量(C = A × B)	R	G	B	RGB 平均
25	1	25.00	227	230	213	223.33
25	1/2	12.50	183	186	167	178.67
25	1/4	6.25	133	136	139	136.00
25	1/8	3.13	86	88	74	82.67
25	1/15	1.67	47	49	38	44.67
25	1/30	0.83	20	21	16	19.00
25	1/60	0.42	7	7	5	6.33
25	1/125	0.20	2	2	0	1.33

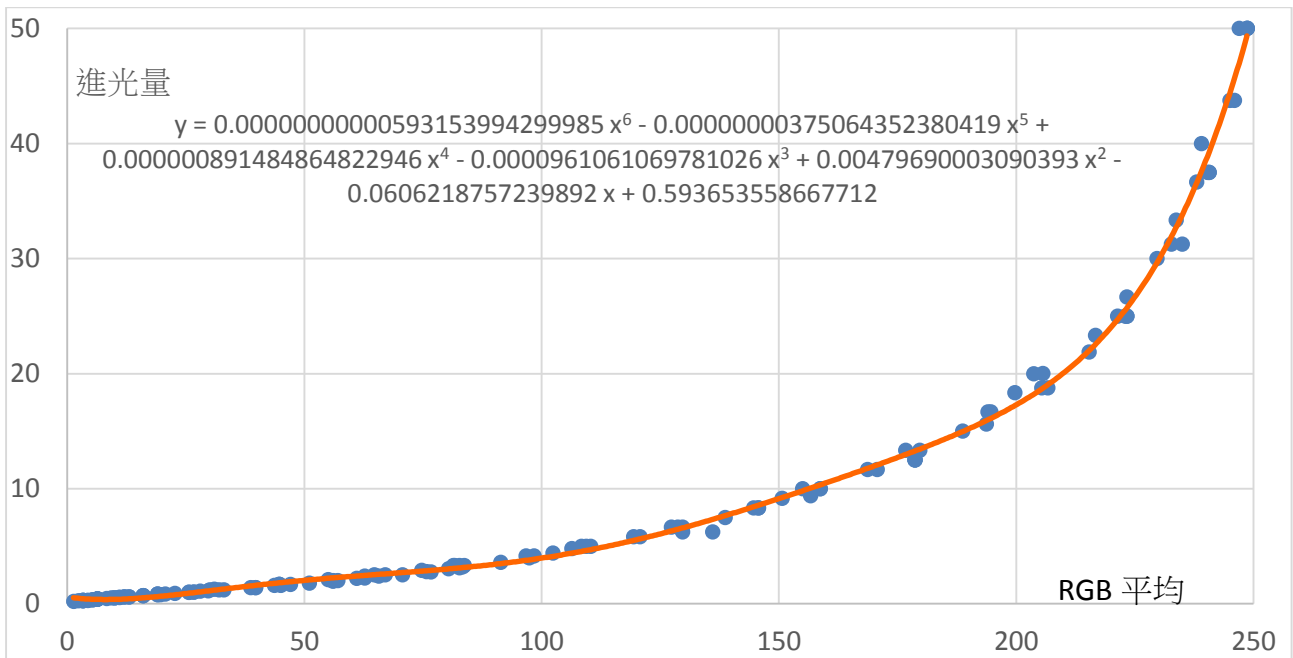


圖 5-1-1 「RGB 平均值-進光量」資料繪成散佈圖、加上趨勢線、顯示公式。

利用 excel 軟體，由實驗數據得到「RGB 平均值-進光量」的關係公式，後續實驗在相片裡各區塊的 RGB 值就可以利用公式轉換成亮度值。

二、實驗二、測量不同材質眩光。

表 5-2-1 雪銅紙在入射角 45°時，各區塊 RGB 值

	L6	L5	L4	L3	L2	L1	C	R1	R2	R3	R4	R5	R6
U10							175 182 175						
U9							174 181 173						
U8							174 179 172						
U7							174 180 171						
U6							175 181 171						
U5							175 181 171						
U4							176 180 170						
U3							175 179 168						
U2							173 176 166						
U1							169 172 162						
C	136	138	143	149	159	164	166	161	153	146	141	138	136
	143	144	149	155	162	167	170	165	158	152	147	145	143
	135	137	140	145	153	157	159	156	149	142	140	138	136
D1							158 162 152						
D2							151 151 145						
D3							144 150 140						
D4							136 142 132						
D5							128 133 125						
D6							122 127 120						
D7							116 122 115						
D8							111 116 110						
D9							105 110 104						
D10							99 105 99						

表 5-2-2 雪銅紙在光源入射角 45°時，橫方向區塊以「RGB 平均值-進光量」公式換算亮度及調整比例。

雪銅紙 45° 橫向區塊	R 值	G 值	B 值	R 亮度	G 亮度	B 亮度	平均	調整比例 (平均 / 12.547)
L6	63	73	63	2.474	2.783	2.474	2.577	0.21
L5	66	76	67	2.567	2.880	2.597	2.681	0.21
L4	70	81	71	2.689	3.054	2.720	2.821	0.22
L3	81	91	80	3.054	3.474	3.018	3.182	0.25
L2	128	130	109	6.400	6.624	4.597	5.874	0.47
L1	170	167	136	11.961	11.522	7.331	10.271	0.82
C	187	183	149	14.660	13.979	9.001	12.547	1.00
R1	171	167	137	12.109	11.522	7.453	10.361	0.83
R2	124	127	105	5.969	6.290	4.300	5.520	0.44
R3	89	98	86	3.381	3.847	3.250	3.492	0.28
R4	77	87	78	2.913	3.292	2.948	3.051	0.24
R5	70	80	71	2.689	3.018	2.720	2.809	0.22
R6	66	76	67	2.567	2.880	2.597	2.681	0.21

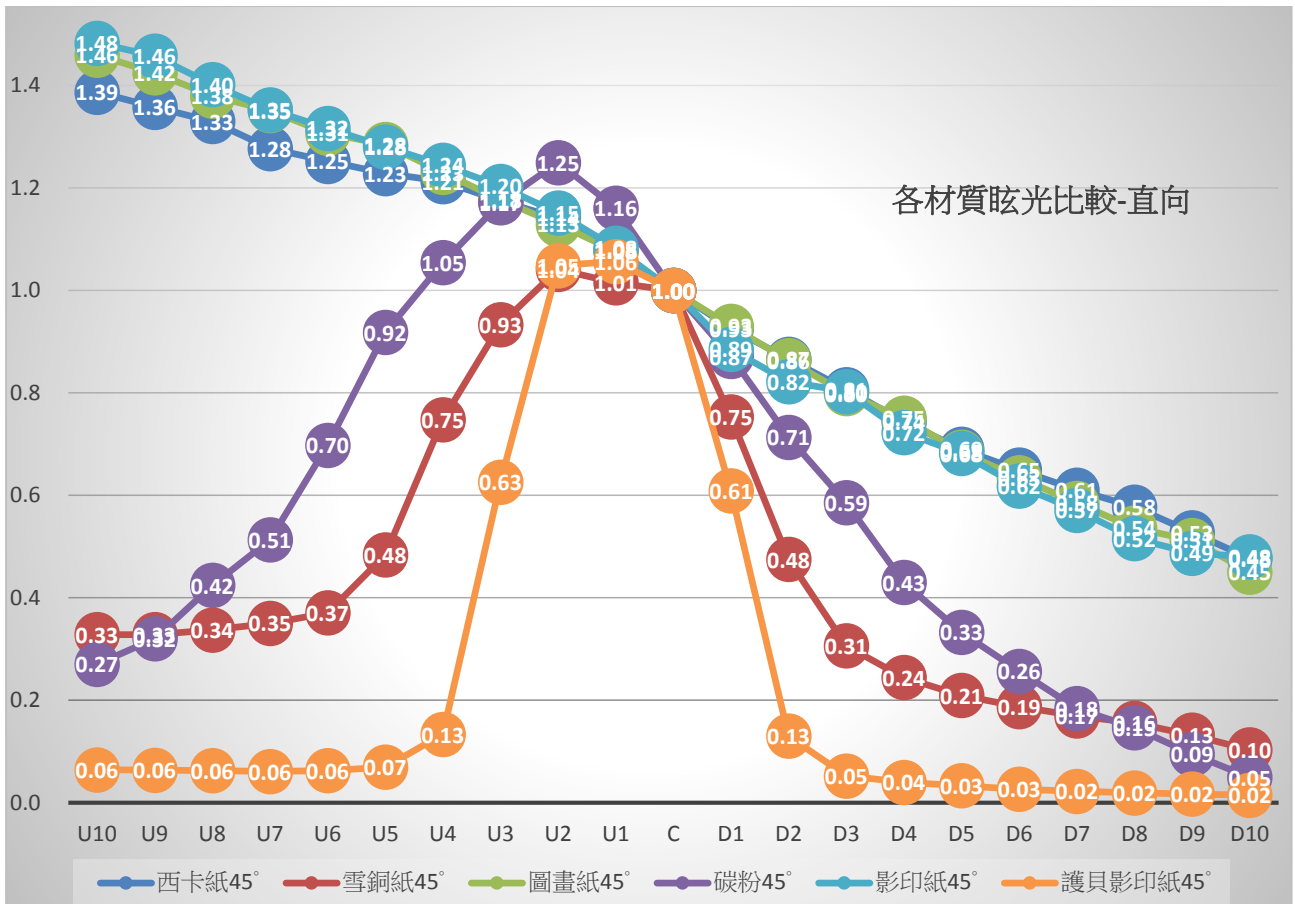


圖 5-2-1 各材質在入射角 45°時，直方向區塊亮度調整比例折線圖。

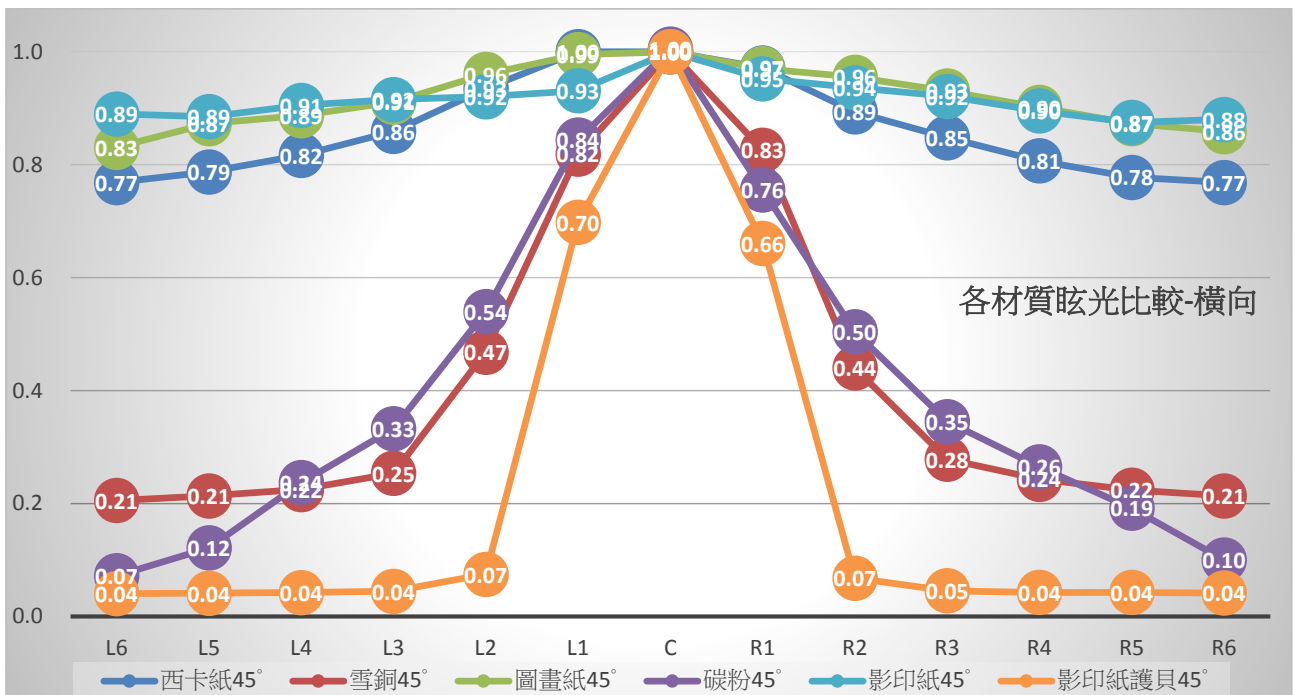


圖 5-2-2 各材質在入射角 45°時，橫方向區塊亮度調整比例折線圖。

表 5-2-3 不同材質的眩光值

	西卡紙 45°	雪銅紙 45°	圖畫紙 45°	碳粉 45°	影印紙 45°	護貝影印紙 45°
L5、L6、R5、R6 平均 (A)	0.78	0.21	0.86	0.12	0.88	0.04
間接眩光值 (1/A)	1.29	4.70	1.16	8.24	1.13	24.12

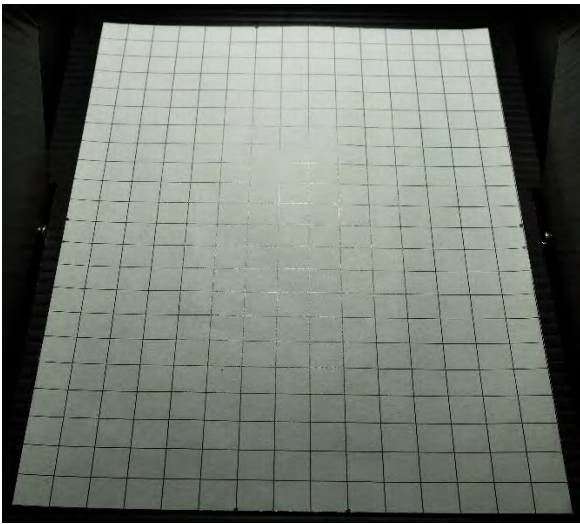


圖 5-2-3 影印紙在入射角 45°的反光情形



圖 5-2-4 月光倒影在遠處較亮

黑色碳粉列印在紙上，照明光在不同紙質和碳粉上都會造成眩光，紙上的反光會影響閱讀，碳粉上的反光也同樣會干擾閱讀；由各材質的橫方向區塊亮度調整比例折線圖，可以看出眩光最嚴重的是「護貝影印紙」，其次是「碳粉」、「雪銅紙」、「西卡紙」，眩光程度最低的是「影印紙」；由各材質的直方向區塊亮度調整比例折線圖，可以發現容易產生眩光的材質中央部區塊的亮度也會出現尖峰現象，但不易產生眩光的材質則有離相機越遠的區塊亮度越大的情形，這種現象和海面的月光倒影類似。

### 三、實驗三、測量不同入射角的眩光。

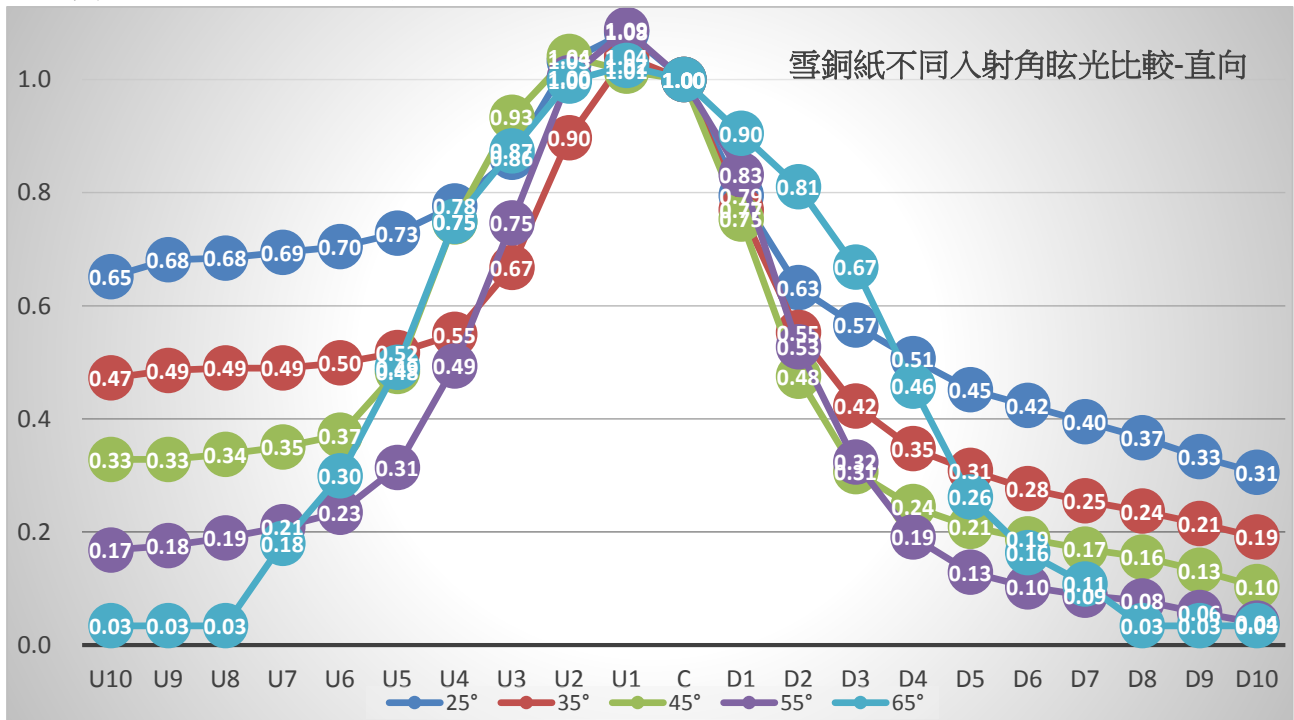


圖 5-3-1 雪銅紙在入射角 25°~65°時，直方向區塊亮度調整比例折線圖。



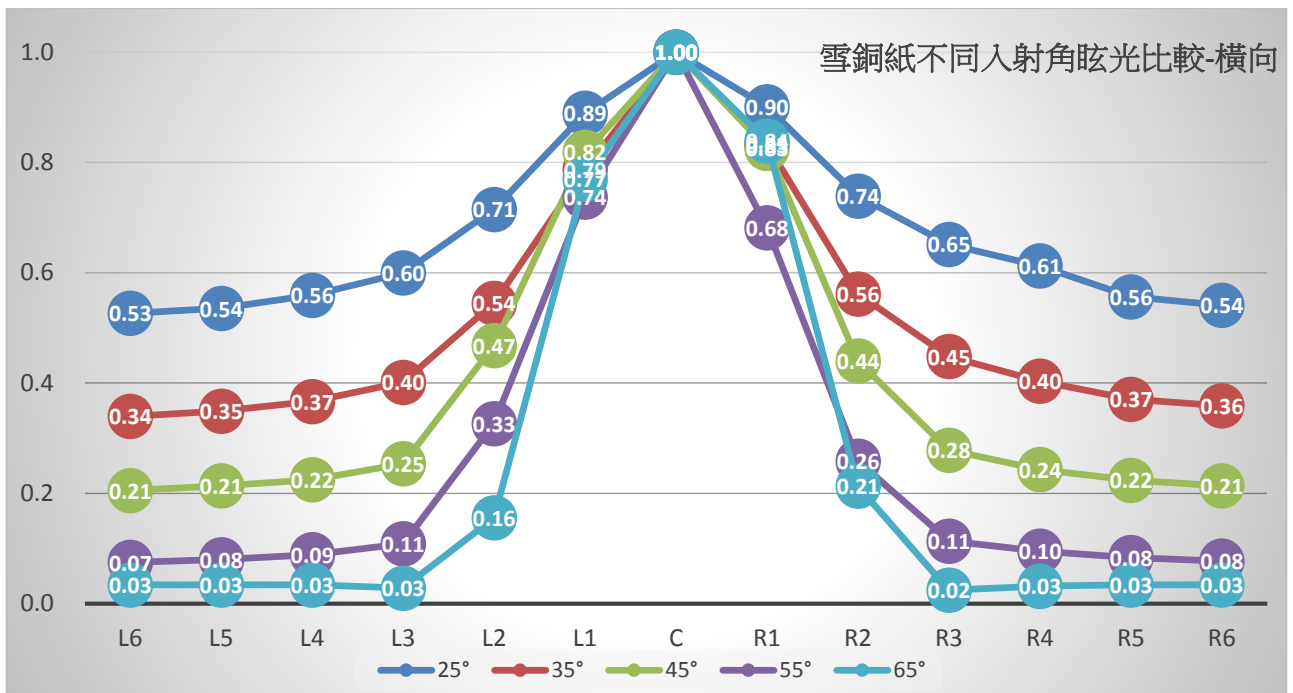


圖 5-3-2 雪銅紙在入射角 25°~65°時，橫方向區塊亮度調整比例折線圖。

表 5-3-1 雪銅紙不同入射角眩光值

	入射角 25°	入射角 35°	入射角 45°	入射角 55°	入射角 65°
L5、L6、R5、R6 平均 (A)	0.54	0.35	0.21	0.08	0.03
間接眩光值 (1/A)	1.85	2.82	4.67	12.66	29.48

在光源入射角 25°到 65°間，入射角越大時，兩側區塊的相對亮度越小，眩光越嚴重。光源入射角越小時，兩側區塊的相對亮度會越大，眩光越輕微。

#### 四、實驗四、測試不同安裝位置、不同偏光片面向的消眩光效果。

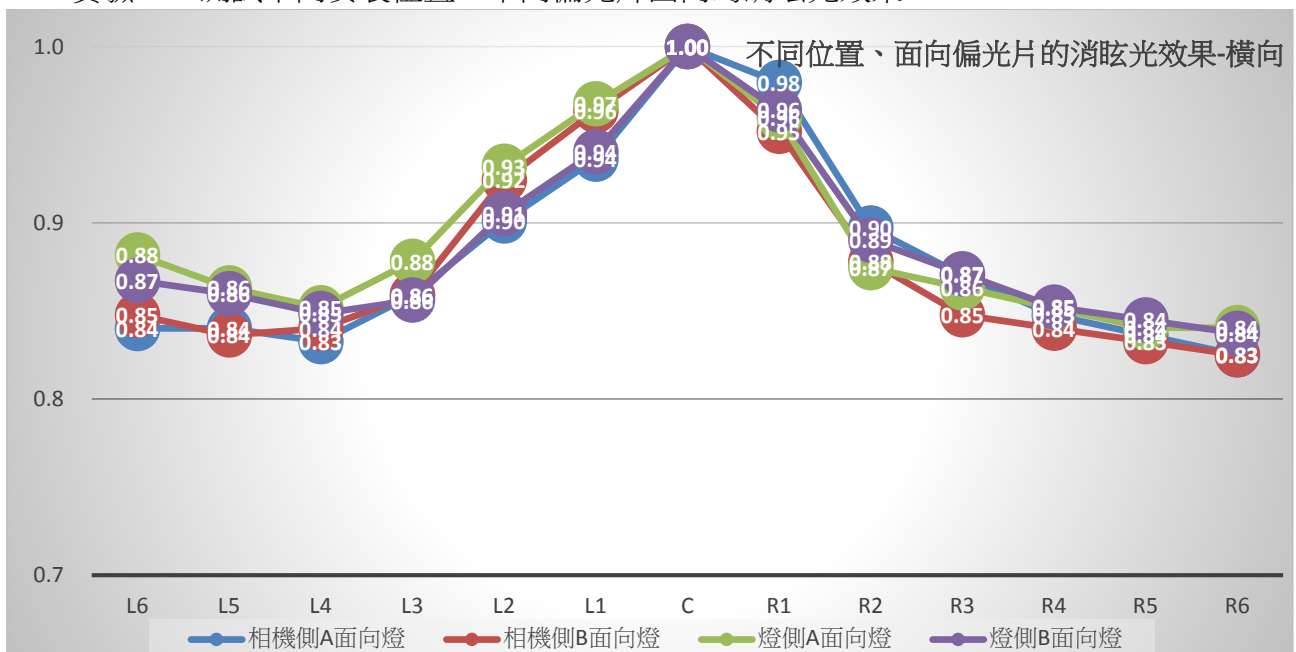


圖 5-4-1 不同位置、面向偏光片的消眩光效果-橫向

表 5-4-1 不同位置、面向偏光片的消眩光效果

	相機側 A 面向燈	相機側 B 面向燈	燈側 A 面向燈	燈側 B 面向燈
L5、L6、R5、R6 平均 (A)	0.835	0.835	0.856	0.852
間接眩光值 (1/A)	1.20	1.20	1.17	1.17

偏光片在相機側時以 A 面或 B 面朝向光源的眩光效果的眩光值都是 1.20，偏光片在燈側時以 A 面或 B 面朝向光源的眩光值都是 1.17，偏光片的面向影響很小；以安裝位置來看，偏光片裝在燈側時眩光值都是 1.17，比偏光片裝在相機側時的 1.20 稍好一些。

五、實驗五、測試不同偏光角度的消眩光效果。

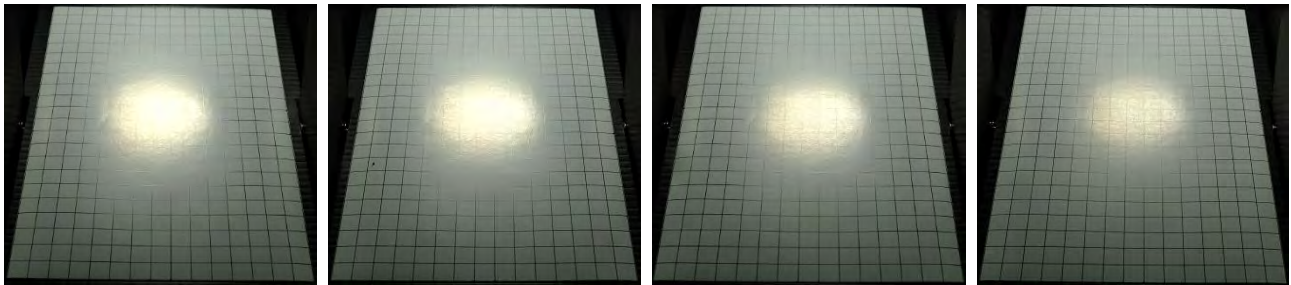


圖 5-5-1 偏光片 0°時眩光 圖 5-5-2 偏光片 15°時眩光 圖 5-5-3 偏光片 30°時眩光 圖 5-5-4 偏光片 45°時眩光

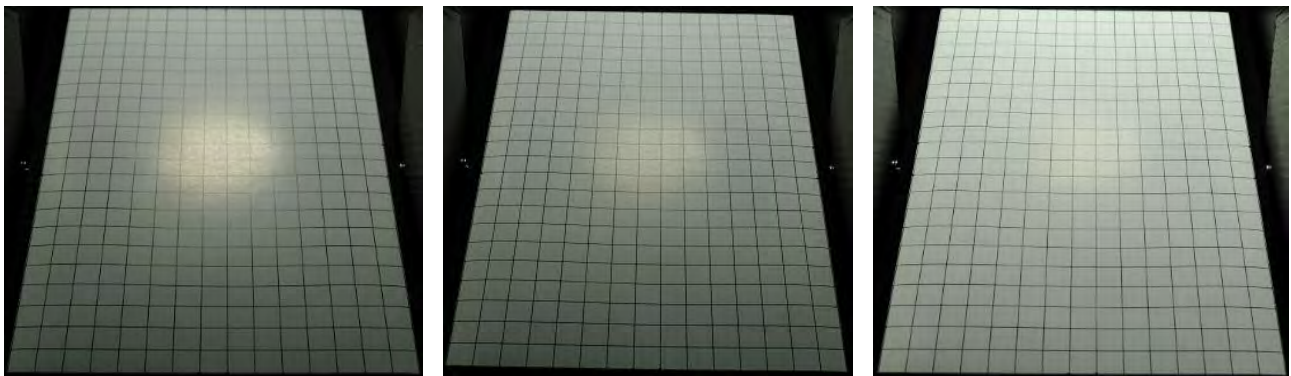


圖 5-5-5 偏光片 60°時眩光

圖 5-5-6 偏光片 75°時眩光

圖 5-5-7 偏光片 90°時眩光

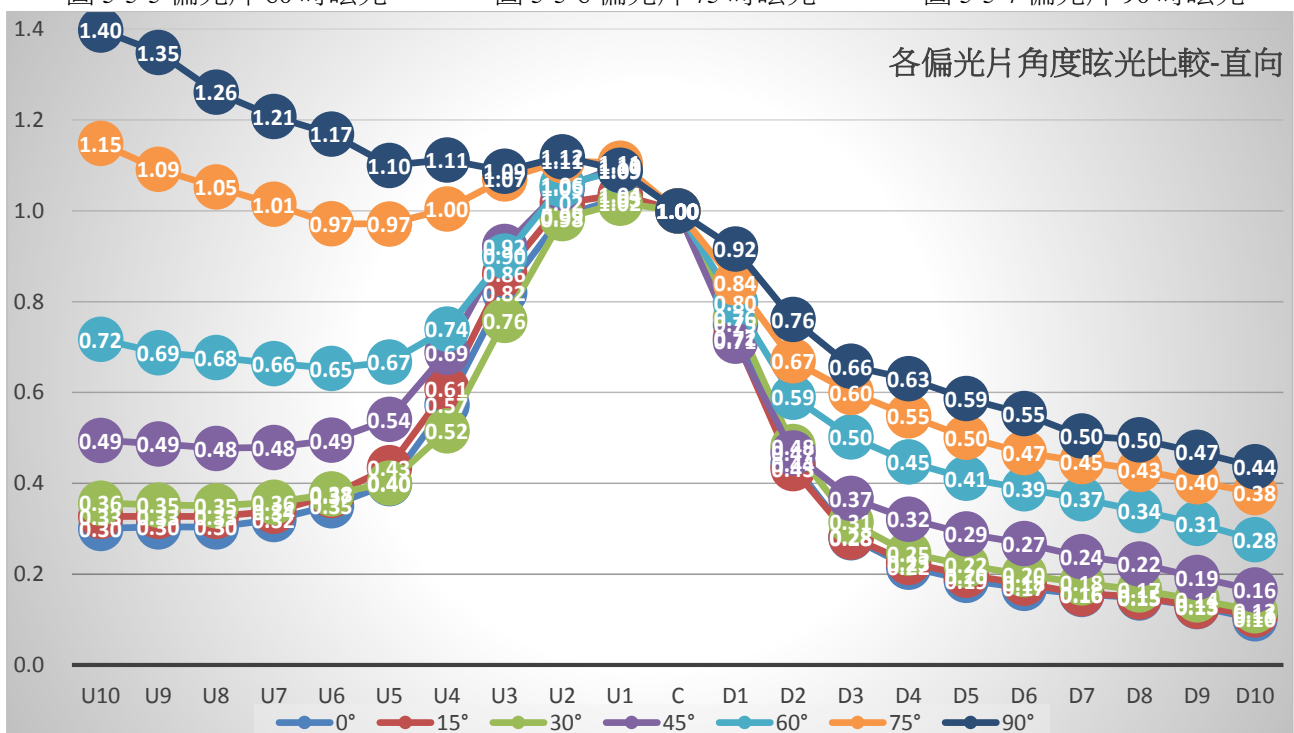


圖 5-5-8 雪銅紙在入射角 45°時，偏光片 0~90°，直方向區塊亮度調整比例折線圖

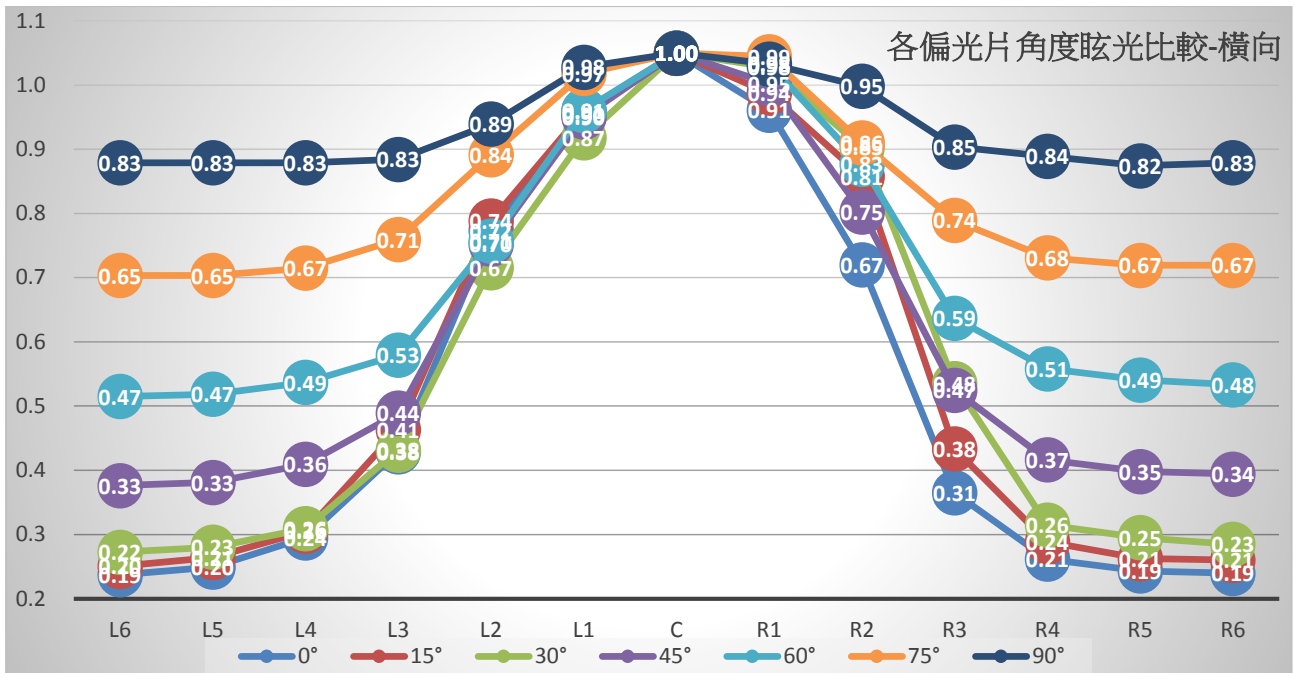


圖 5-5-9 雪銅紙在入射角 45°時，偏光片 0~90°，橫方向區塊亮度調整比例折線圖

表 5-5-1 使用偏光片時，不同偏光角度時的眩光值

	偏光角 0°	偏光角 15°	偏光角 30°	偏光角 45°	偏光角 60°	偏光角 75°	偏光角 90°
L5、L6、R5、R6 平均 (A)	0.19	0.21	0.23	0.34	0.48	0.66	0.83
間接眩光值 (1/A)	5.20	4.78	4.29	2.96	2.10	1.51	1.21

偏光片在 90°時效果最好，眩光值為 1.21，0°時眩光比不使用偏光片更嚴重，15°、30°時的眩光情形和沒有使用偏光片時接近，眩光值與沒有使用偏光片時的 0.21 接近。

六、實驗六、測試不同入射角時偏光片的消眩光效果。

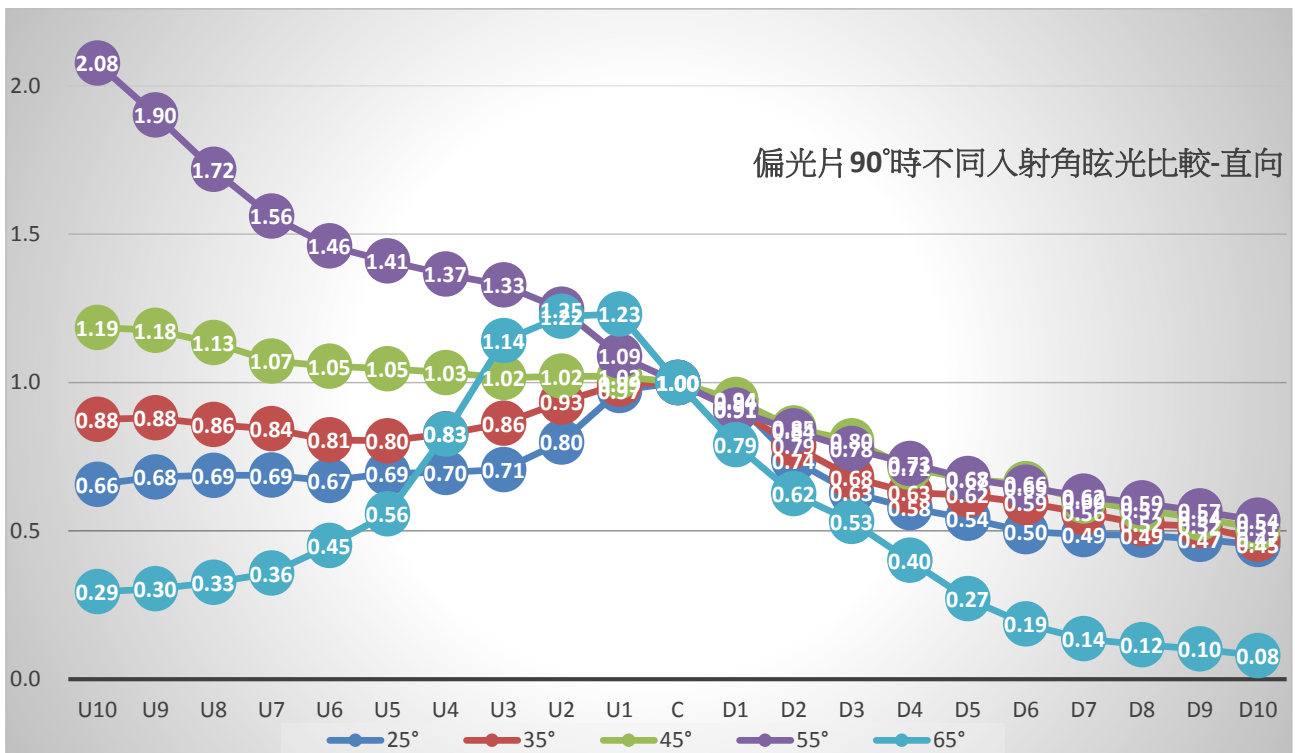


圖 5-6-1 安裝 90°偏光片時，雪銅紙在不同入射角直方向區塊亮度調整比例折線圖

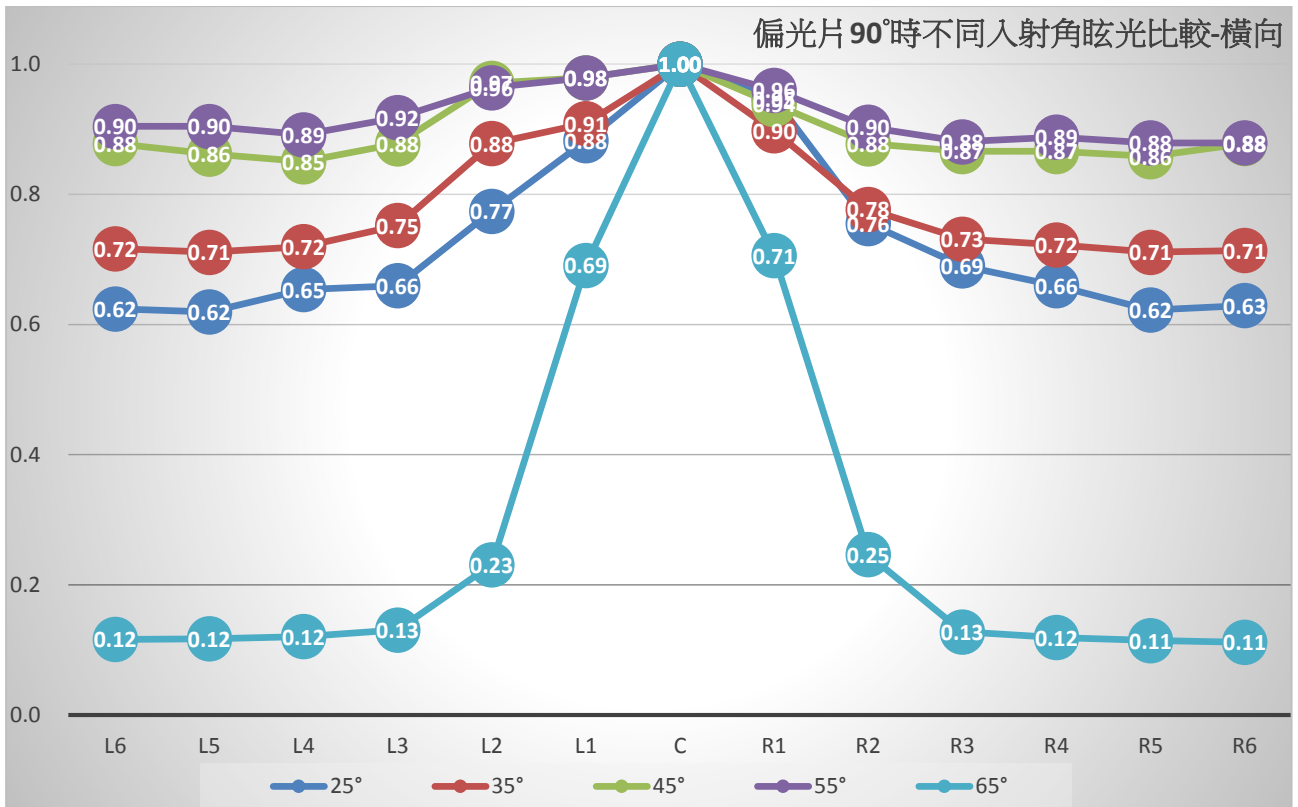


圖 5-6-2 安裝 90°偏光片時，雪銅紙在不同入射角橫方向區塊亮度調整比例折線圖

表 5-6-1 各入射角，有無使用偏光片亮度差

	使用 90°偏光片 (A)					無偏光片 (B)					亮度差 (A-B)				
	25°	35°	45°	55°	65°	25°	35°	45°	55°	65°	25°	35°	45°	55°	65°
L6	0.62	0.72	0.88	0.90	0.12	0.53	0.34	0.21	0.07	0.03	0.10	0.38	0.67	0.83	0.08
L5	0.62	0.71	0.86	0.90	0.12	0.54	0.35	0.21	0.08	0.03	0.08	0.36	0.65	0.82	0.08
L4	0.65	0.72	0.85	0.89	0.12	0.56	0.37	0.22	0.09	0.03	0.09	0.35	0.63	0.80	0.09
L3	0.66	0.75	0.88	0.92	0.13	0.60	0.40	0.25	0.11	0.03	0.06	0.35	0.62	0.81	0.10
L2	0.77	0.88	0.97	0.96	0.23	0.71	0.54	0.47	0.33	0.16	0.06	0.33	0.50	0.64	0.08
L1	0.88	0.91	0.98	0.98	0.69	0.89	0.79	0.82	0.74	0.77	-0.01	0.12	0.16	0.24	-0.08
C	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
R1	0.95	0.90	0.94	0.96	0.71	0.90	0.83	0.83	0.68	0.84	0.05	0.07	0.11	0.28	-0.13
R2	0.76	0.78	0.88	0.90	0.25	0.74	0.56	0.44	0.26	0.21	0.02	0.22	0.44	0.64	0.03
R3	0.69	0.73	0.87	0.88	0.13	0.65	0.45	0.28	0.11	0.02	0.04	0.28	0.59	0.77	0.10
R4	0.66	0.72	0.87	0.89	0.12	0.61	0.40	0.24	0.10	0.03	0.05	0.32	0.62	0.79	0.09
R5	0.62	0.71	0.86	0.88	0.11	0.56	0.37	0.22	0.08	0.03	0.07	0.34	0.63	0.80	0.08
R6	0.63	0.71	0.88	0.88	0.11	0.54	0.36	0.21	0.08	0.03	0.09	0.35	0.66	0.80	0.08

表 5-6-2 各入射角，有無使用偏光片眩光值

	25°	35°	45°	55°	65°
使用 90°偏光片時 L5、L6、R5、R6 平均 (A)	0.624	0.713	0.869	0.892	0.115
使用 90°偏光片時間接眩光值 (1/A)	1.60	1.40	1.15	1.12	8.70
無偏光片時 L5、L6、R5、R6 平均 (B)	0.540	0.355	0.214	0.079	0.034
無偏光片時間接眩光值 (1/B)	1.85	2.82	4.67	12.66	29.48

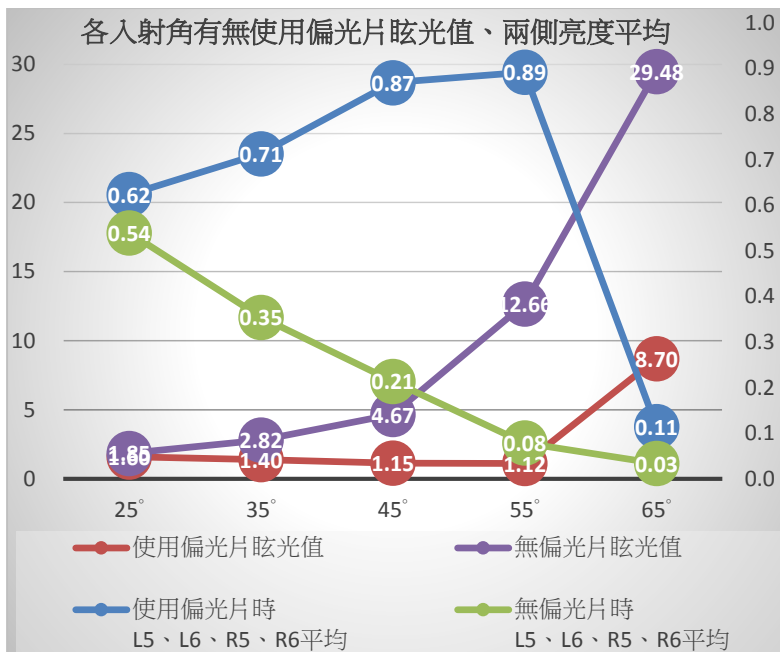


圖 5-6-3 各入射角有無使用偏光片眩光值



圖 5-6-4 「3M 博視燈」廣告圖片

使用 90°偏光片時，在入射角 55°眩光值最低（1.12），接近 3M 博視燈廣告所說的（閱讀角）58°時防眩效果最好；另外入射角 55°時，L5、L6、R5、R6 平均值差異也最大，表示偏光片在 55°時，拉近中間與兩側區塊亮度的效果也最大。

### 七、實驗七、測試材質透光率、是否會打散偏振性。

表 5-7-1 材質透光率、是否會打散偏振性（以照度差比例表示，越大表示越不易打散偏振性）

	清玻璃	L 夾	薄 塑膠袋	厚 塑膠袋	桌墊	護貝 膠膜	毛玻璃	描圖紙	衛生紙	毛邊紙	3C 保護袋	散光膜
偏光同方向照度 (A)	614	615	615	625	615	622	625	631	629	620	631	620
同方向放入照度 (B)	560	530	532	524	538	390.1	414	194.6	176.8	141.2	404	193.7
垂直方向放入照度 (C)	1.17	21.23	5.58	12.27	1.83	140.8	16.34	188.5	100.2	103.7	33.72	86.4
偏光垂直方向照度 (D)	1.15	1.19	1.2	1.17	1.19	1.2	1.21	1.24	1.24	1.21	1.31	1.27
照度 (E)	1664	1666	1668	1663	1664	1669	1664	1672	1663	1666	1675	1773
放入時照度 (F)	1519	1493	1474	1469	1462	1458	1176	1048	769	681	1212	812
<b>透光率 (%)</b> (G = F / E)	<b>91.29</b>	<b>89.62</b>	<b>88.37</b>	<b>88.33</b>	<b>87.86</b>	<b>87.36</b>	<b>70.67</b>	<b>62.68</b>	<b>46.24</b>	<b>40.88</b>	<b>72.36</b>	<b>45.80</b>
同方向放入還原照度 (H = B / G)	613.5	591.4	602.0	593.2	612.3	446.6	585.8	310.5	382.3	345.4	558.3	422.9
垂直方向放入還原照度 (I = C / G)	1.3	23.7	6.3	13.9	2.1	161.2	23.1	300.7	216.7	253.7	46.6	188.7
照度差 (J = H - I)	612.2	567.7	595.7	579.3	610.3	285.4	562.7	9.7	165.7	91.7	511.7	234.3
<b>照度差比例 (%)</b> (K = J / (A - D))	<b>99.89</b>	<b>92.49</b>	<b>97.05</b>	<b>92.86</b>	<b>99.42</b>	<b>45.97</b>	<b>90.20</b>	<b>1.55</b>	<b>26.39</b>	<b>14.83</b>	<b>81.27</b>	<b>37.87</b>

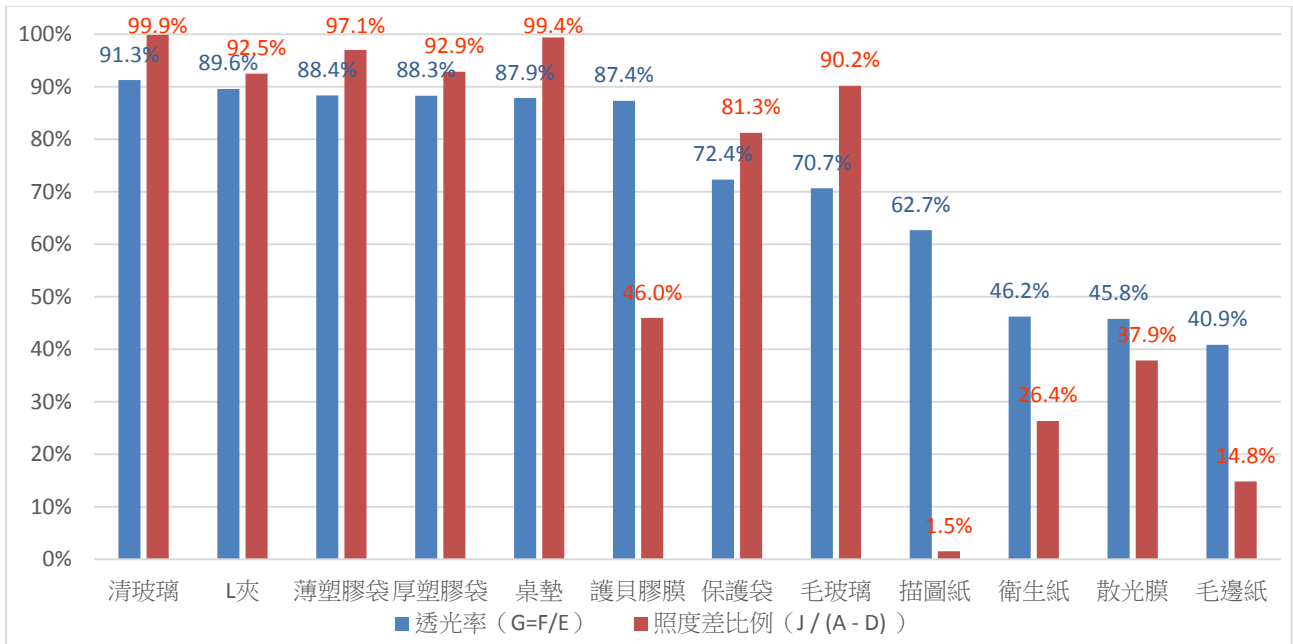


圖 5-7-1 材質透光率、照度差比例長條圖

為了減少直接眩光，光源外要加裝一層可使光線柔和（降低直接眩光）的材質且面積要大，考量製作成本（偏光片很貴），所以偏光片要裝在內層，所以要挑選不易打散偏振性的透光材質，而且要符合高透光率和可降低直接眩光兩個條件。

#### 八、實驗八、測試透光材質透光後的眩光程度

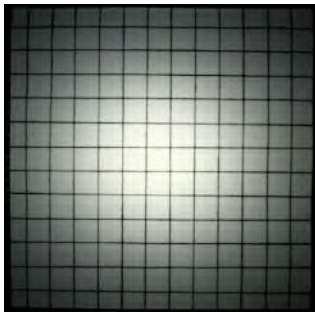


圖 5-8-1 描圖紙

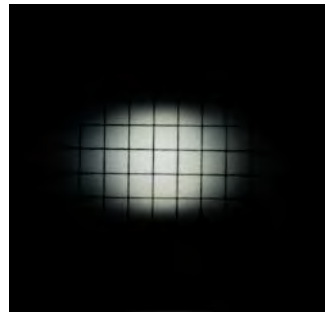


圖 5-8-2 薄塑膠袋



圖 5-8-3 厚塑膠袋

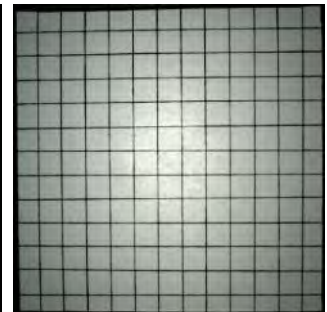


圖 5-8-4 毛邊紙

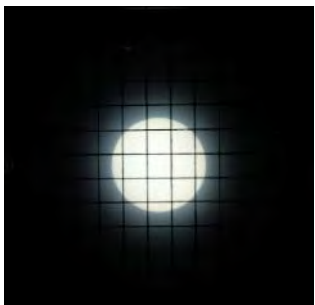


圖 5-8-5 L 夾

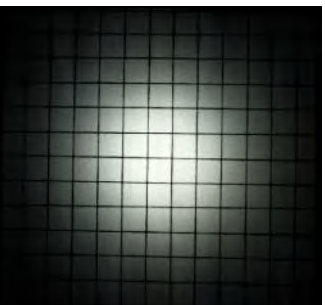


圖 5-8-6 毛玻璃



圖 5-8-7 3C 保護袋

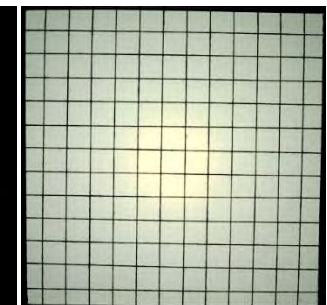


圖 5-8-8 散光膜

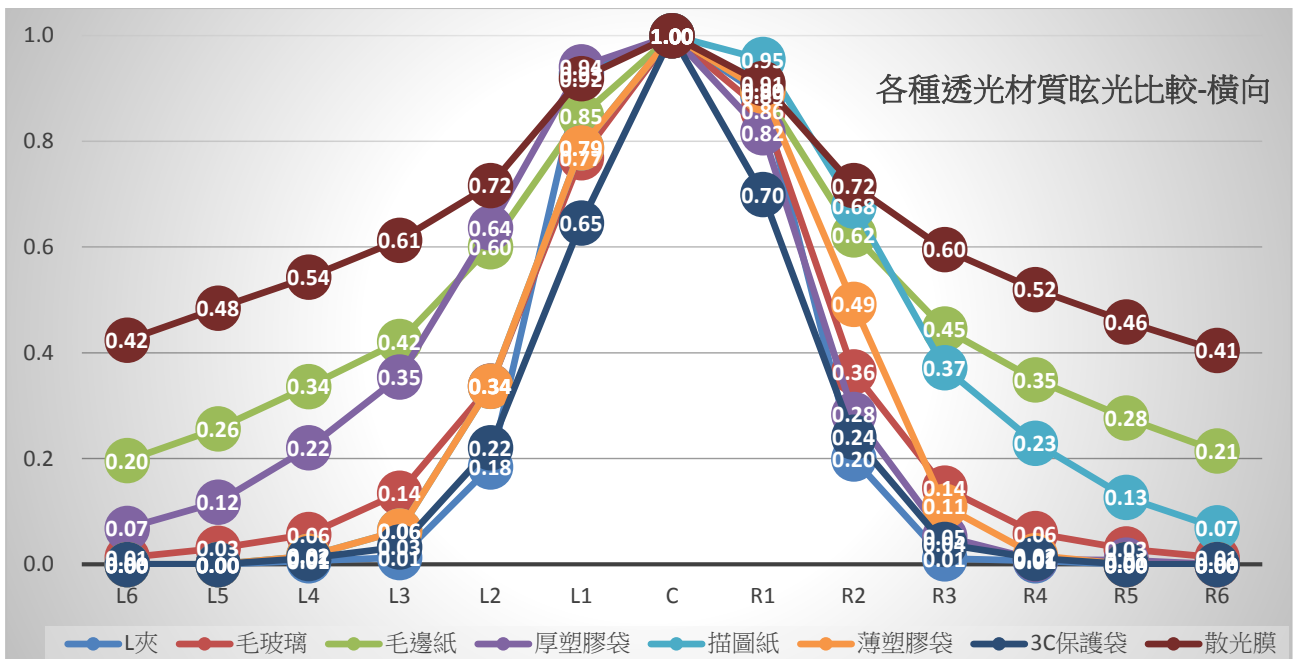


圖 5-8-9 各種透光材質眩光比較區塊亮度折線圖 (橫向)

表 5-8-1 各種透光材質的眩光值 (選用的周邊區塊與其他實驗不同, 眩光值與其他實驗不能比較)

	L夾	毛玻璃	毛邊紙	厚塑膠袋	描圖紙	薄塑膠袋	3C 保護袋	散光膜
U3、U4、D3、D4 平均 (A)	0.016	0.101	0.467	0.040	0.231	0.003	0.087	0.558
直向眩光值 (1/A)	63.14	9.92	2.14	25.27	4.34	354.84	11.53	1.79
L3、L4、R3、R4 平均 (B)	0.009	0.099	0.388	0.159	0.170	0.052	0.024	0.568
橫向眩光值 (1/B)	105.64	10.12	2.58	6.27	5.87	19.35	42.33	1.76
眩光值平均	<b>84.39</b>	<b>10.02</b>	<b>2.36</b>	<b>15.77</b>	<b>5.11</b>	<b>187.09</b>	<b>26.93</b>	<b>1.78</b>
透光率 (%)	<b>89.62</b>	<b>70.67</b>	40.88	<b>88.33</b>	62.68	<b>88.37</b>	72.36	45.80
照度差比例 (%)	<b>92.49</b>	<b>90.20</b>	14.83	<b>92.86</b>	1.55	<b>97.05</b>	81.27	37.87

依圖 5-7-1 所呈現的材質透光率、照度差比例, 「透光率」與「照度差比例」最佳的是清玻璃, 但另外考量透光後能否使光線柔和, 厚塑膠袋、毛玻璃和散光膜是較佳的透光燈罩材質, 另外發現耐熱塑膠袋透光時, 透光區形狀會和塑膠袋上的髮絲紋路有關, 透光區會往髮絲紋的垂直方向延伸。

### 九、實驗九、測試反光材質是否會打散偏振性、反射照度、反射後的眩光程度。

表 5-9-1 材質反射照度、反射後是否會打散偏振性 (以照度差表示, 越大表示越不易打散偏振性)

	鏡子	白烤漆 鋼板	鐵片	霧面 不銹鋼	亮面 不銹鋼	影印紙	雪銅紙	西卡紙
同方向照度 (A)	63.2	8.59	13.14	25.83	44.3	6.94	6.87	7.77
垂直方向照度 (B)	0.27	2.72	0.53	0.65	0.22	4.07	3.83	4.24
反射照度 (C)	170.5	24.06	31.45	59.9	104.3	27.52	25.98	29.72
照度差 (D = A - B)	<b>62.93</b>	<b>5.87</b>	<b>12.61</b>	<b>25.18</b>	<b>44.08</b>	<b>2.87</b>	<b>3.04</b>	<b>3.53</b>
照度差比例 (D/C)	<b>36.9%</b>	<b>24.4%</b>	<b>40.1%</b>	<b>42.0%</b>	<b>42.3%</b>	<b>10.4%</b>	<b>11.7%</b>	<b>11.9%</b>

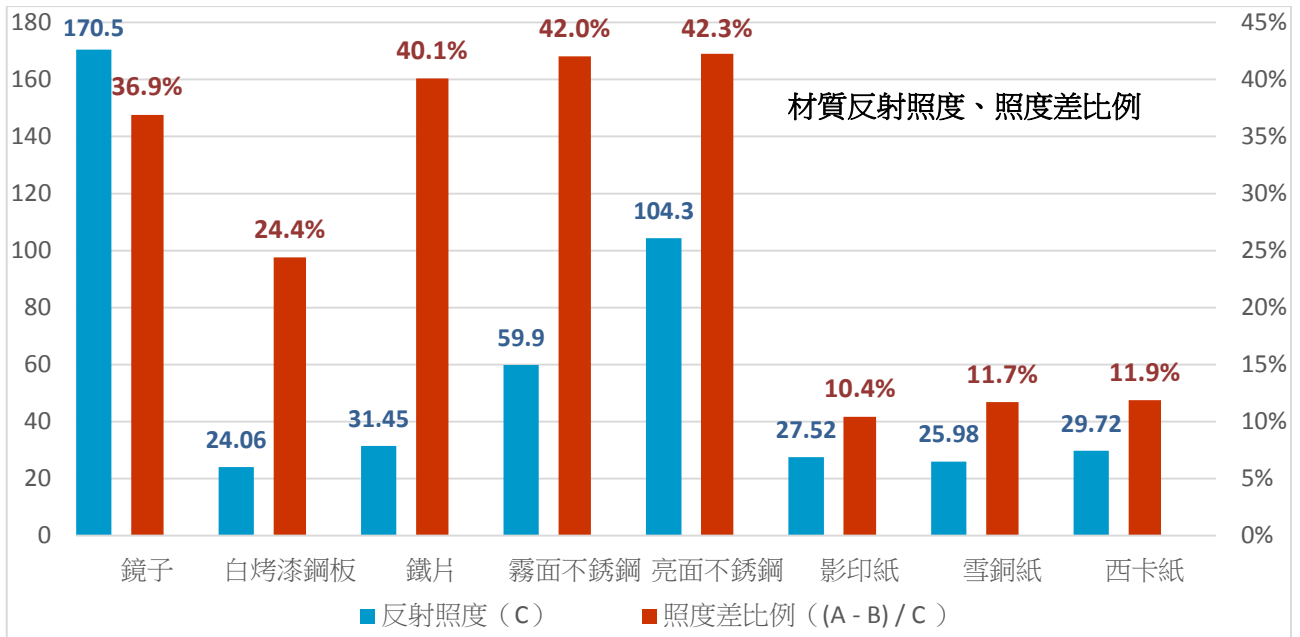


圖 5-9-1 材質反射照度、照度差比例長條圖

表 5-9-2 各種材質以曝曬溫度及反射後的眩光程度

	鏡子	西卡紙	雪銅紙	圖畫紙	影印紙	霧面不銹鋼
最高溫度 (°C)	28.43	29.53	30.10	30.50	30.03	31.77
上升溫度 (°C)	2.23	3.33	3.90	4.30	3.83	5.57
L5、L6、R5、R6 平均 (A)		0.78	0.21	0.86	0.88	0.03
間接眩光值 (1/A)		1.29	4.67	1.16	1.13	32.03

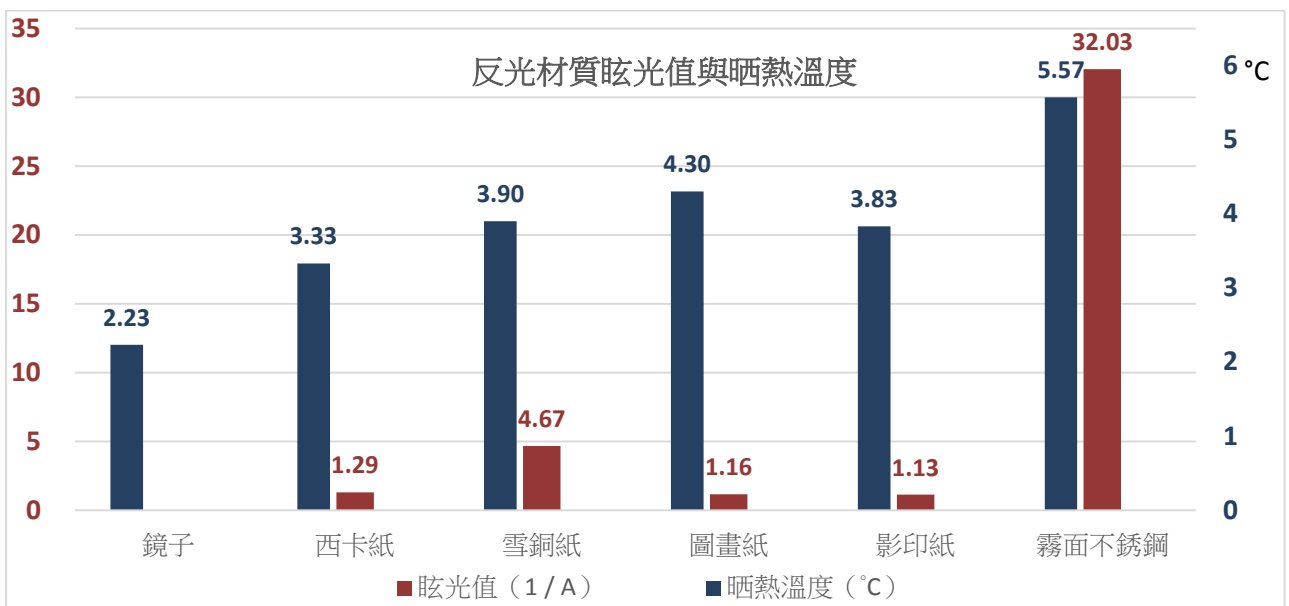


圖 5-9-2 材質反射眩光值、晒熱溫度長條圖

反射率測量不易，須使用積光球等儀器，測量反射照度作參考，另外利用燈光曝曬方式測量各材質溫度上升情況，越容易吸光的材質溫度越高，也就是反射率越低；鏡子及亮面不銹鋼無法使反射光線變柔和，霧面不銹鋼是較好的材質，但堅硬材質不易加工，紙類材質容易打散偏振性。希望能多試試其他材質，看看有沒有適合製作反射燈罩的材質，或是改變反



射材質在防眩光燈設計上的位置，達成降低直接眩光與間接眩光的要求。將反射率較高的材質貼在燈罩內側，可以提高照度。

十、實驗十、測試不同光線角度穿過偏光片時、不同偏光角度的透光率。

表 5-10-1 不同傾斜角度及偏光片角度的透光率

偏光角度	傾斜角度									
	0°		15°		30°		45°		60°	
	照度(lx)	透光率	照度(lx)	透光率	照度(lx)	透光率	照度(lx)	透光率	照度(lx)	透光率
無偏光片	3194		3166		3095		3071		3121	
0°偏光片	1360	42.6%	1306	41.3%	1268	41.0%	1186	38.6%	1067	34.2%
15°偏光片	1361	42.6%	1312	41.4%	1286	41.6%	1219	39.7%	1099	35.2%
30°偏光片	1358	42.5%	1317	41.6%	1295	41.8%	1257	40.9%	1146	36.7%
45°偏光片	1367	42.8%	1320	41.7%	1305	42.2%	1289	42.0%	1196	38.3%
60°偏光片	1361	42.6%	1327	41.9%	1314	42.5%	1307	42.6%	1255	40.2%
75°偏光片	1362	42.6%	1338	42.3%	1323	42.7%	1322	43.0%	1321	42.3%
90°偏光片	1365	42.7%	1356	42.8%	1329	42.9%	1334	43.4%	1379	44.2%
平均		42.6%		41.9%		42.1%		41.5%		38.7%

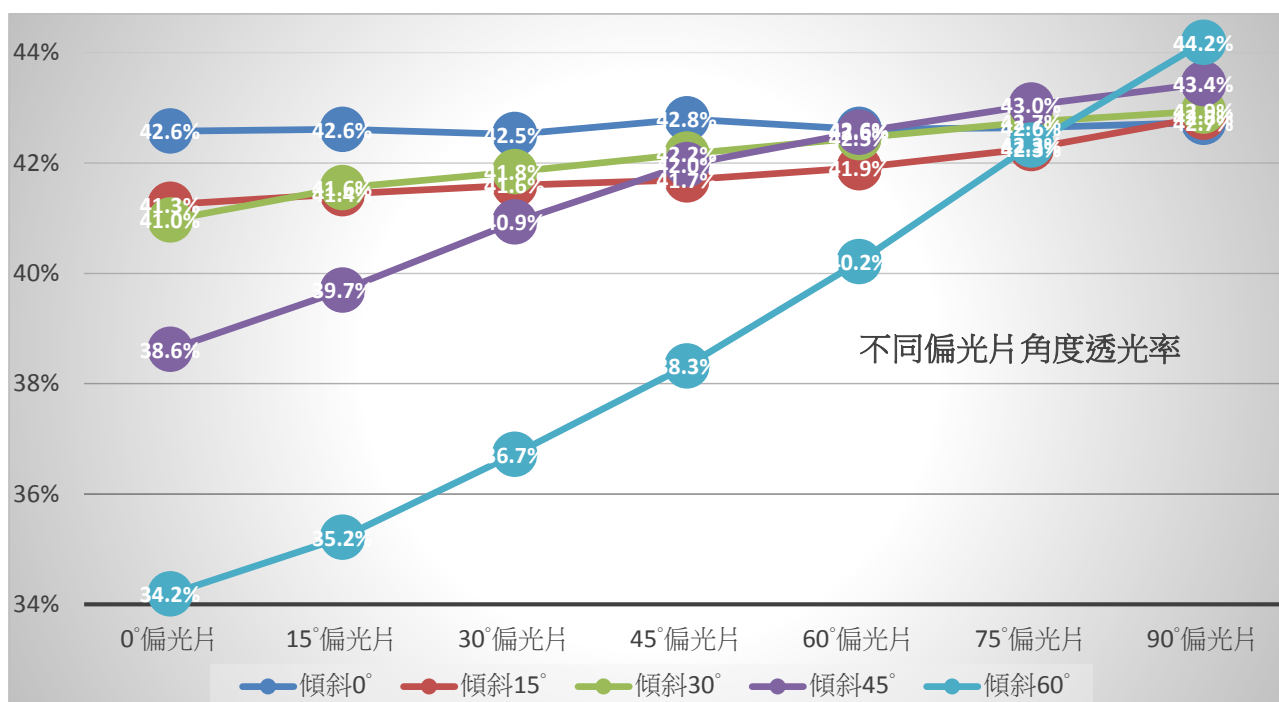


圖 5-10-1 不同傾斜角度在不同偏光片角度的透光率折線圖

偏光片傾斜角度越大透光率越低，且偏光片角度對透光率的影響也越大，偏光片角度 0° 到 90°之間，角度越大透光率也越高，所以將偏光片以 90°裝在光源之外時，除了消除水平面眩光效果最好之外，還有透光率高的好處。

十一、實驗十一、測試成品的防眩光效果  
(一) 第一代防眩光燈罩

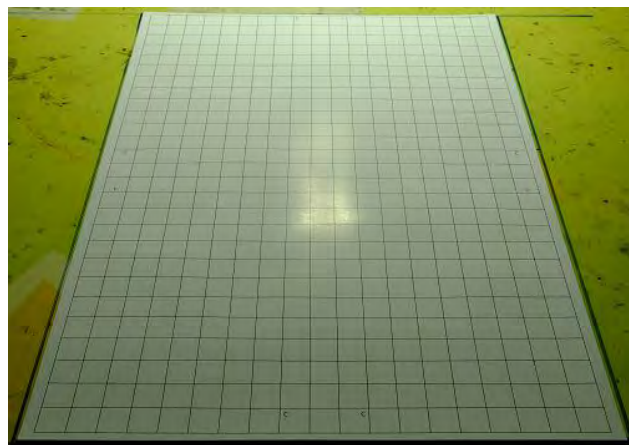
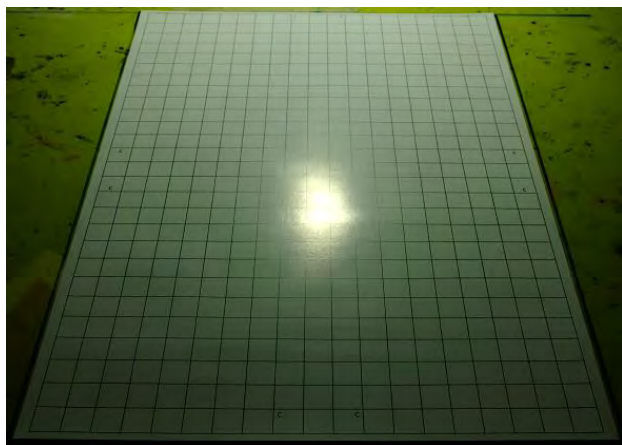


圖 5-11-1 未加防眩光燈罩時雪銅紙的眩光（水平）

圖 5-11-2 加防眩光燈罩時雪銅紙的眩光（水平）

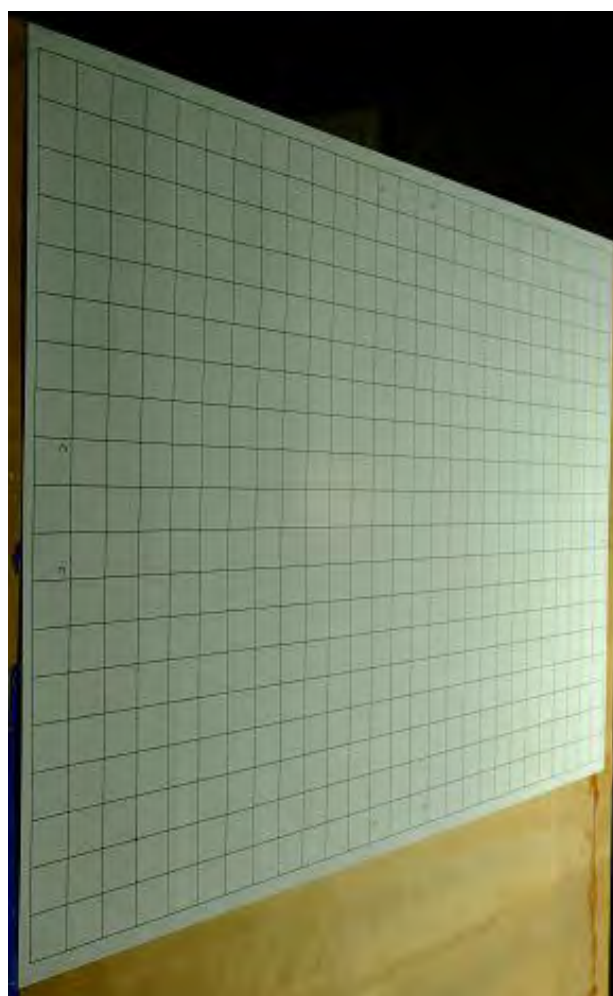


圖 5-11-3 未加防眩光燈罩時雪銅紙的眩光（垂直）

圖 5-11-4 加防眩光燈罩時雪銅紙的眩光（垂直）

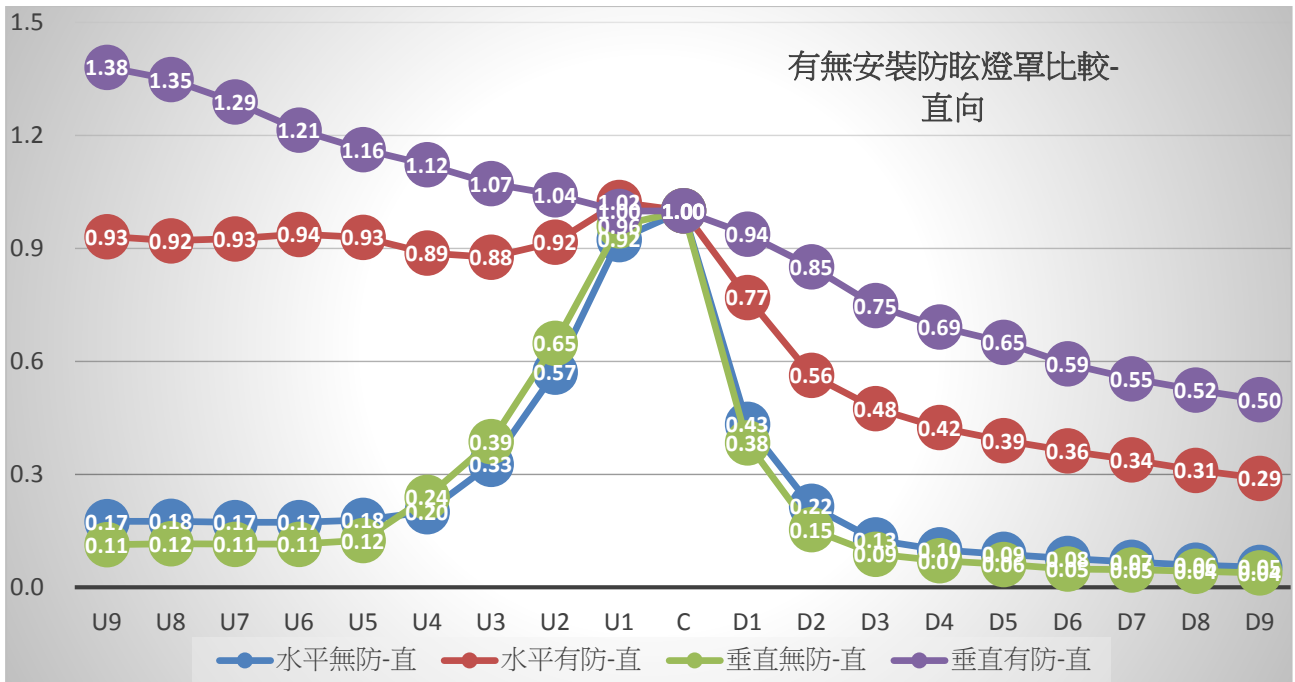


圖 5-11-5 垂直面有無安裝防眩燈罩直向區塊亮度調整比例折線圖

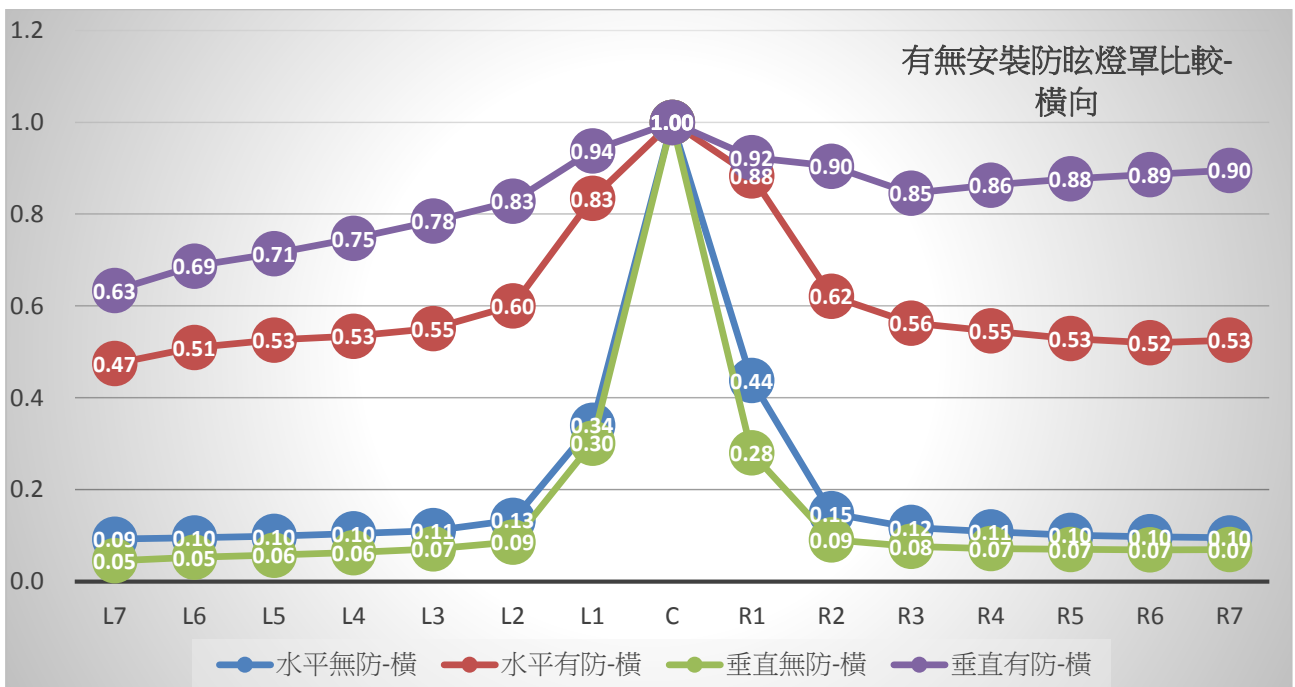


圖 5-11-6 水平面有無安裝防眩燈罩橫向區塊亮度調整比例折線圖

表 5-11-1 垂直面與水平面有無使用偏光片眩光值比較

	水平無防-橫	水平有防-橫	垂直無防-橫	垂直有防-橫
L5、L6、R5、R6 平均 (A)	0.098	0.521	0.062	0.791
間接眩光值 (1/A)	10.21	1.92	16.04	1.26
反射中心照度(百分比)	352.5	184.4(52.3%)	193.3	85.3(44.1%)

安裝第一代防眩光燈罩後，水平面及垂直面雪銅格子紙的眩光程度明顯減少，水平面眩光值由 10.21 降到 1.92，垂直面眩光值由 16.04 降低 1.26，且因為燈罩是管狀包圍在燈泡外，可以達到 360°的水平面防眩光或 360°垂直面防眩光的效果。

(二) 第二、三代防眩光燈罩

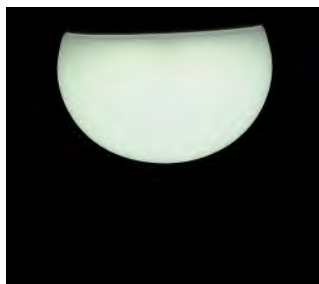


圖 5-11-7 無燈罩

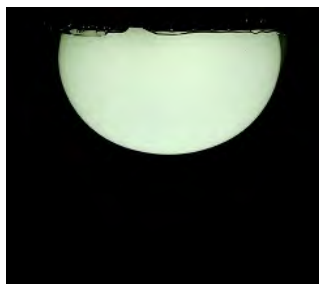


圖 5-11-8 第一代燈罩

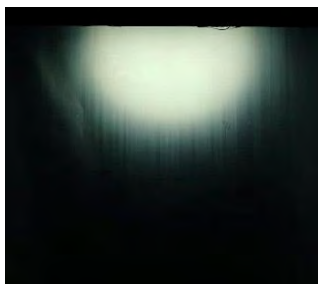


圖 5-11-9 厚塑膠袋燈罩

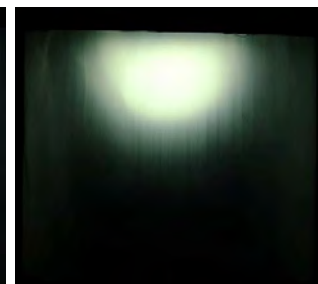


圖 5-11-10 第二代燈罩



圖 5-11-11 第三代燈罩

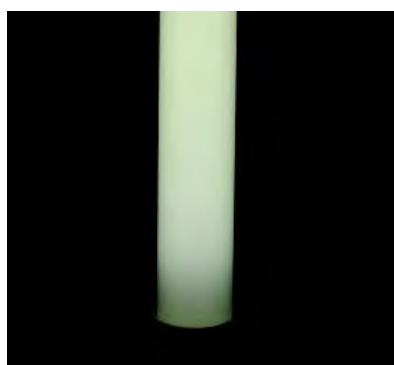


圖 5-11-12 第一代燈管



圖 5-11-13 第三代燈管

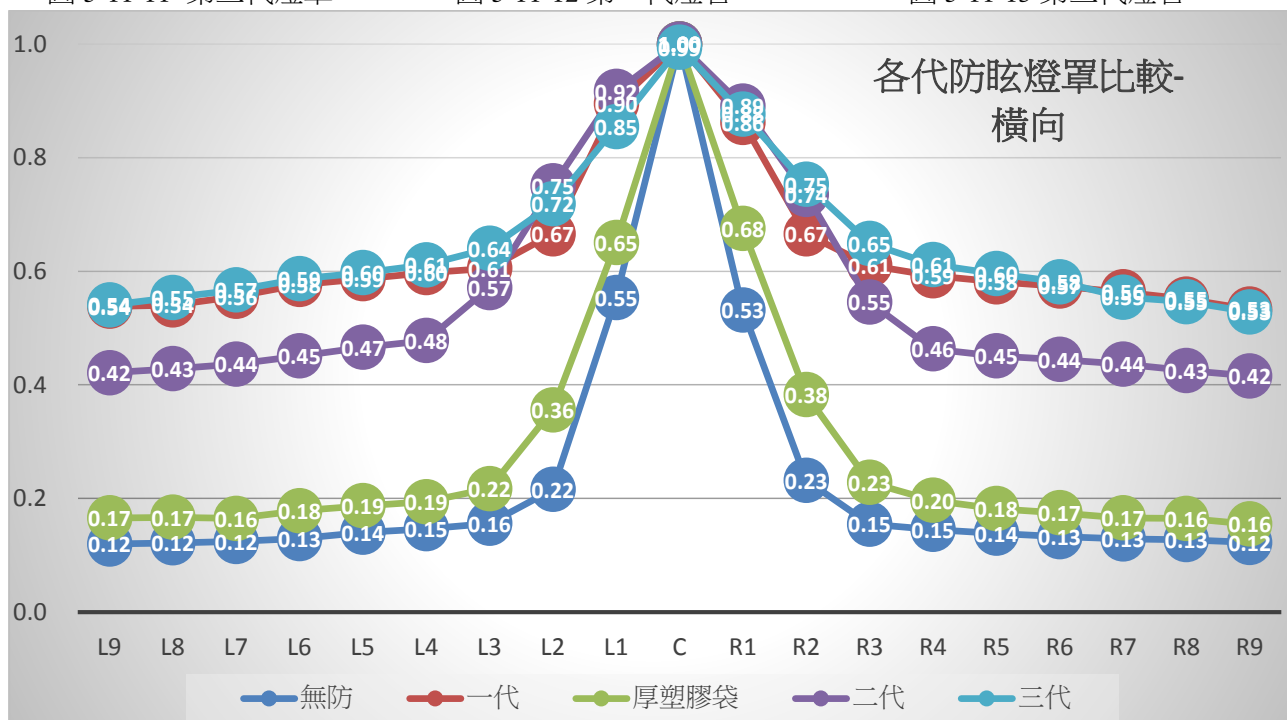


圖 5-11-14 防眩燈罩水平面橫向區塊亮度調整比例折線圖

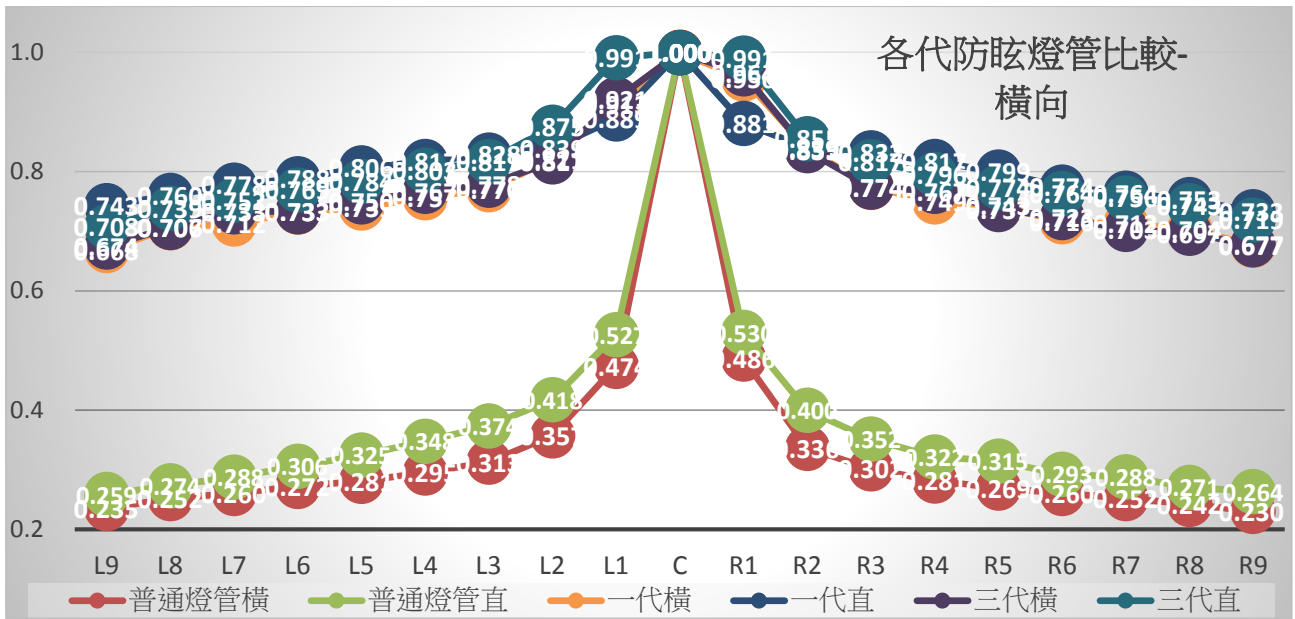


圖 5-11-15 防眩燈管水平面橫向區塊亮度調整比例折線圖

表 5-11-2 水平面使用第一、二、三代防眩燈罩及燈管間接、直接眩光值比較

	一般燈泡		防眩燈泡			一般燈管		防眩燈管			
	一般燈泡	加厚塑膠袋	第一代	第二代	第三代	燈管-橫	燈管-直	一代-橫	一代-直	三代-橫	三代-直
L5、L6、R5、R6 平均 (A)	0.135	0.181	0.580	0.453	0.590	0.271	0.310	0.733	0.792	0.736	0.773
間接眩光值 (1/A)	7.39	5.54	1.73	2.21	1.69	3.694	3.231	1.365	1.262	1.359	1.294
反射中心照度 (B) (照度比例)	357.2	274.2 (76.8%)	167.3 (46.8%)	121.3 (34.0%)	67.2 (18.8%)	101.9	105.5	42.1 (41.3%)	44.8 (42.5%)	22.5 (22.1%)	24.9 (23.6%)
換算亮度 (C)	23.06	13.76	11.94	21.91	18.28		15.40		9.65		31.87
快門時間 (D)	1/1000	1/500	1/1000	1/180	1/30		1/250		1/125		1/15
光源亮度 (E = C/D)	23063.4	6878.2	11936.8	3943.9	548.4		3849.1		1205.8		478.1
直接眩光值 (E/B)	64.6	25.1	71.3	32.5	8.2		36.5		26.9		19.2
成本估算	-	20.6	20.6	33.9	48.3	-	-	42.0	42.0	71.2	71.2

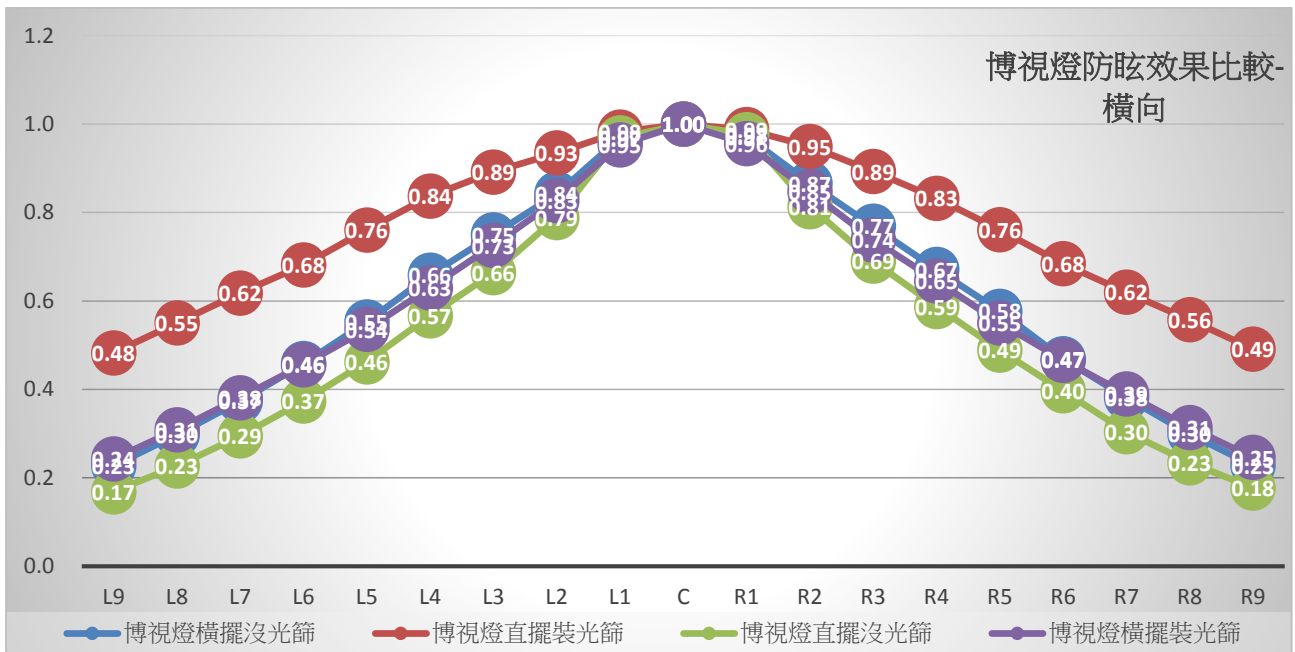


圖 5-11-16 防眩燈管水平面橫向區塊亮度調整比例折線圖

表 5-11-3 水平面使用第一、二、三代防眩燈罩及燈管間接眩光值比較

	防眩燈泡			防眩燈管		博視燈	
	第一代	第二代	第三代	一代-直	三代-直	直擺	橫擺
間接眩光值 (1/A)	1.73	2.21	1.69	1.262	1.294	1.385	1.992
反射中心照度 (B) (照度比例)	167.3 (46.8%)	121.3 (34.0%)	67.2 (18.8%)	44.8 (42.5%)	24.9 (23.6%)	212.7 (47.1%)	176.4 (34.4%)

燈泡直接照射時間接眩光為 7.39、直接眩光值為 64.6，加裝厚塑膠袋燈罩時降為 5.54、25.1，表示不使用偏光片時，好的透光材質也能降低直接眩光和間接眩光；第二代防眩燈罩的間接眩光值較第一代燈罩高，應該是厚塑膠袋稍稍打散偏振性的影響，但直接眩光值從第一代的 71.3 降到 32.5，第三代燈罩將偏光片裝在最外側，間接眩光 1.69，直接眩光 8.2，防眩效果最好，但有照度下降的缺點。（3M 博視燈的濾光篩透光率約 42.6%）

以防眩燈罩概念製作防眩燈管，燈管有安裝方向的差別，只有直立安裝時才有 360°防眩光的效果，橫向安裝只在特定方向有防眩效果，其中效果最好的是第三代直立安裝時。

## 陸、結論

### 一、研究結果：

- （一）得到「RGB 值」與「照度」關係公式，而能用相機這種方便的器材測量眩光，測得了常見紙質、碳粉與不同角度時的眩光程度。
- （二）瞭解如何使用偏光片消除眩光、不同角度時的效果及透光率。
- （三）測試多種透光與反光材質的透光率、反射特性，是否會打散偏振性，以及透光或反射後的眩光情況，並運用在防眩光燈。
- （四）以研究所得設計 360°防眩光燈，並測試防眩效果。

### 二、自製防眩光燈的特色：

- （一）具有 360°全方位的防眩效果。
- （二）可設計成針對水平面或垂直面的防眩光燈。
- （三）材料容易取得，製作容易，且成本低廉。
- （四）可以依需求製作合適的防眩光燈。

與市售「3M 博視燈」，比較「自製防眩光燈」有成本低廉、製作容易、360°防眩光、可設計成水平面或垂直面防眩光…等優點，因使用的透光材質透光率較低，相較於「3M 博視燈」的「濾光篩」（有偏光與光線柔和功能）照度比例 34.4~47.1%，有照度降低的缺點。反射材質用在燈罩內部，用來增加照度。

### 三、未來展望

- （一）利用簡易且創新的方法測量透光、反射材料是否會打散偏振性，繼續尋找更好的防眩光燈材料。
- （二）參考市售燈具的設計，加入研究所得設計更實用、效果更好的防眩光燈。

## 柒、參考資料及其他

### 一、參考資料

3M 官方旗艦店，3M 58°博視燈，<https://shop.3m.com.tw/SalePage/Index/5280828>

NTCU 科學遊戲 lab，魔幻變色鏡，<http://scigame.ntcu.edu.tw/light/light-012.html>

維基百科，眩光，<https://zh.wikipedia.org/wiki/眩光>

維基百科，偏光片，<https://zh.wikipedia.org/wiki/偏光片>

維基百科，亮度，<https://zh.wikipedia.org/wiki/亮度>

維基百科，反射，[https://zh.wikipedia.org/wiki/反射\\_\(物理學\)](https://zh.wikipedia.org/wiki/反射_(物理學))

每日頭條，看懂這幾點，辦公照明沒難點，<https://kknews.cc/zh-tw/home/ogq322q.html>

臺灣網路科教館，破解『防眩光板』的奧秘，<https://www.ntsec.edu.tw/FileAtt.ashx?id=1355>

## 【評語】 082805

1. 此作品目標在設計 360 度無死角的防眩光燈，主題具實用價值。
2. 作者運用現有一般相機找出測量亮度與照度的方法，建立簡單的「RGB 平均值-進光量」公式，再以此測量後續各項實驗中光線反射的眩光程度，不倚賴專業儀器，具備小小科學家應有科研精神，值得鼓勵。
3. 建議在圖表及資料解說方面可以更詳細明確、更方便閱讀。



## 摘要

利用兩片偏光片可以調光的特性配合相機與照度計，找出使用相機測量照度與亮度的方法，以此測量「照片」中光源在物體表面反光的眩光程度，並由測試偏光片各角度的透光率、消眩光效果、透光反光材質特性，尋找適合製作防眩燈罩的材質；市售標榜有消眩光（間接眩光）的檯燈（3M 博視燈）有使用方向位置的限制，經由實驗瞭解偏光片的特性，重新設計能 360°無死角且效率高的防眩光燈，經測試，我們設計製作的燈能減少直接眩光與間接眩光，而且成本更低。

關鍵字：眩光、偏光片、亮度

## 壹、研究動機

讀書時發現兩本不同紙質的書本封面上反光面積不同，請老師教我們如何測量眩光、消除眩光，恰巧老師有一片偏光片，只要轉一轉就能消除物體表面的反光。我們開始研究偏光片和眩光的關係了；每天都要用眼閱讀、收視，如果視野中有眩光，便會大大影響視覺，除了會讓眼睛不舒服，也降低閱讀效率。有些能利用偏光片防眩光的檯燈只有兩側有防眩光效果，我們測試偏光片在不同角度時消除眩光的效果，並研究偏光片的特性、瞭解偏振光經過反射或透過半透明材質時，偏振性的變化；在瞭解偏光片特性與偏振光性質後，重新設計防眩光燈具，期望能改善一般防眩光檯燈僅兩側有防眩效果的缺點。

## 貳、研究目的

- 一、找出以相機測量眩光的方法、測量材質眩光
- 二、測試偏光片消除眩光的效果
- 三、測試透光、反光材質是否合適製作防眩光燈
- 四、測試偏光片的光學特性
- 五、設計及測試防眩光燈。

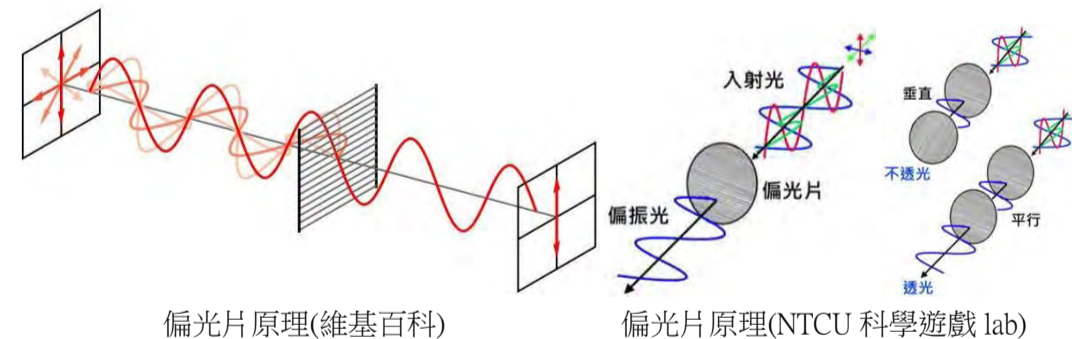
## 參、研究設備及器材

### 一、器材準備與製作：

- （一）器材準備：相機、照度計、測試光源（燈泡、燈管）、懸臂檯燈、電腦、三腳架、影像軟體（Photocap、Photoshop）。
- （二）製作「反射眩光測試箱」、「材質透光照度測試箱」、「偏光片及受測材質夾板」、「偏光片透光率測試管」。
- （三）受測材料：
  - 1.測量間接眩光：影印紙、影印紙護貝、影印紙列印黑色碳粉（黑底白線）、西卡紙、雪銅紙。
  - 2.測量透光材質：描圖紙、衛生紙、L 夾、毛玻璃、清玻璃、透明桌墊、PP 耐熱塑膠袋、毛邊紙、護貝膠膜、3C 保護袋、散光膜。
  3. 測量反光材質：鏡子、影印紙、雪銅紙、西卡紙、亮面不銹鋼板、霧面不銹鋼板、白色烤漆鋼板。

## 肆、研究過程及方法

### 一、文獻探討（略）



偏光片原理(維基百科)

偏光片原理(NTCU 科學遊戲 lab)

### 二、準備工作項目：

- （一）相機設定：白平衡設定為「手動」，感光度 200，光圈 F10。

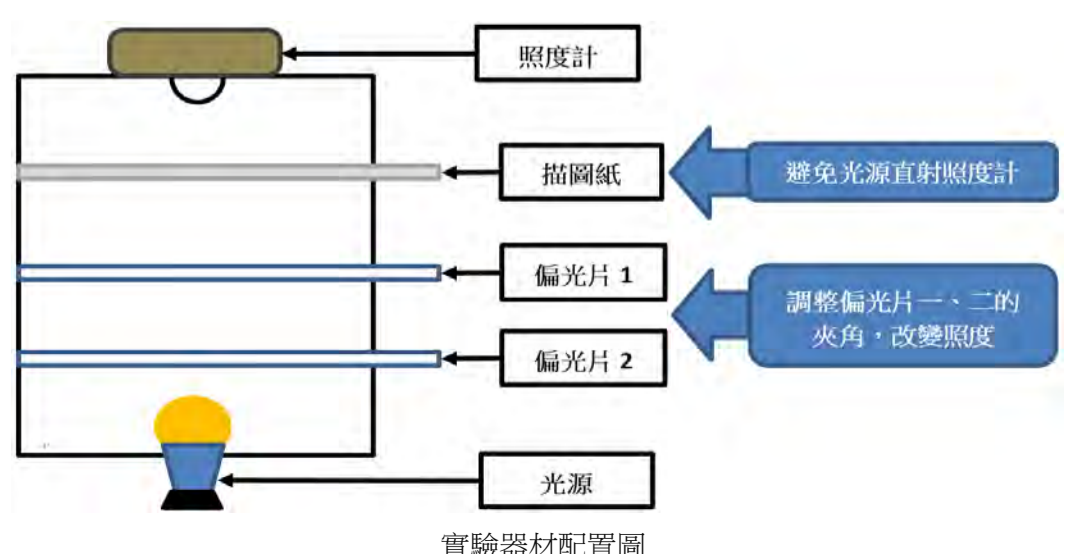


手動設定色溫

感光度 200，光圈 F10

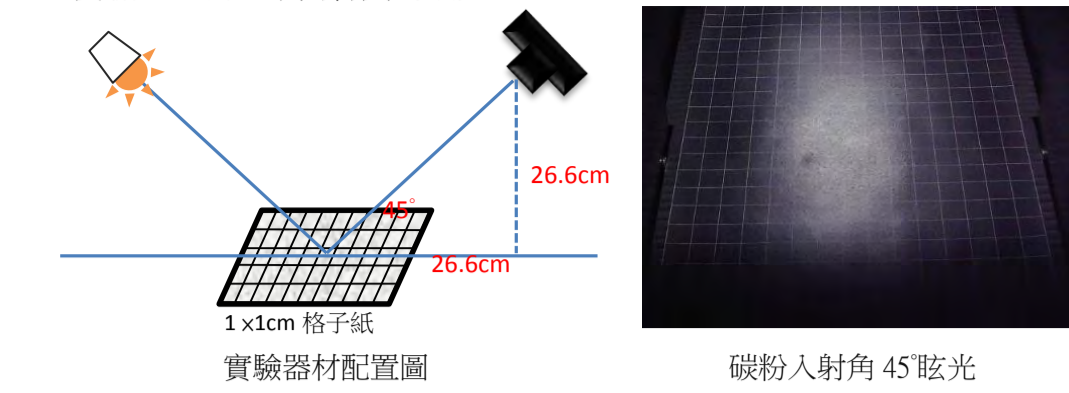
- （二）處理受測材質：列印或畫出 1 × 1cm 或 1.5 × 1.5 cm 方格，並裁切適當大小。
- （三）製作夾板：黑色塑浪板裁「測試箱方孔」寬度，夾入偏光片、透光材質測試；實驗七使用的夾板以黑線製作 1.0cm × 1.0cm 網格，方便取樣記錄。

### 三、實驗一、比對「RGB 平均值」與「照度」，得到二者的相關性。



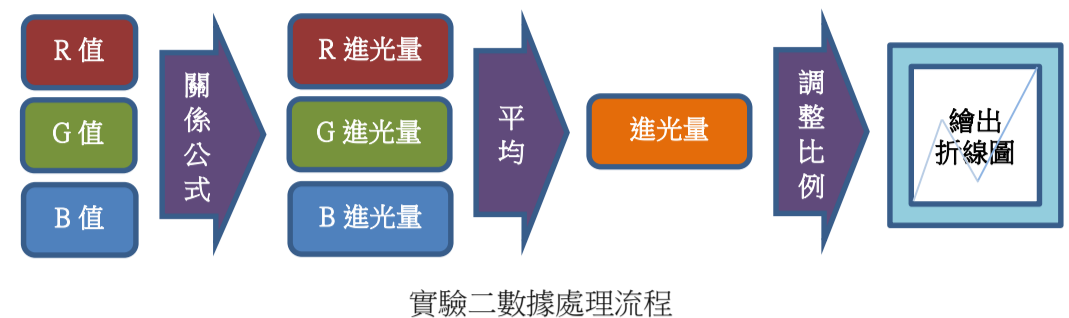
實驗器材配置圖

### 四、實驗二、測量不同材質的眩光。



實驗器材配置圖

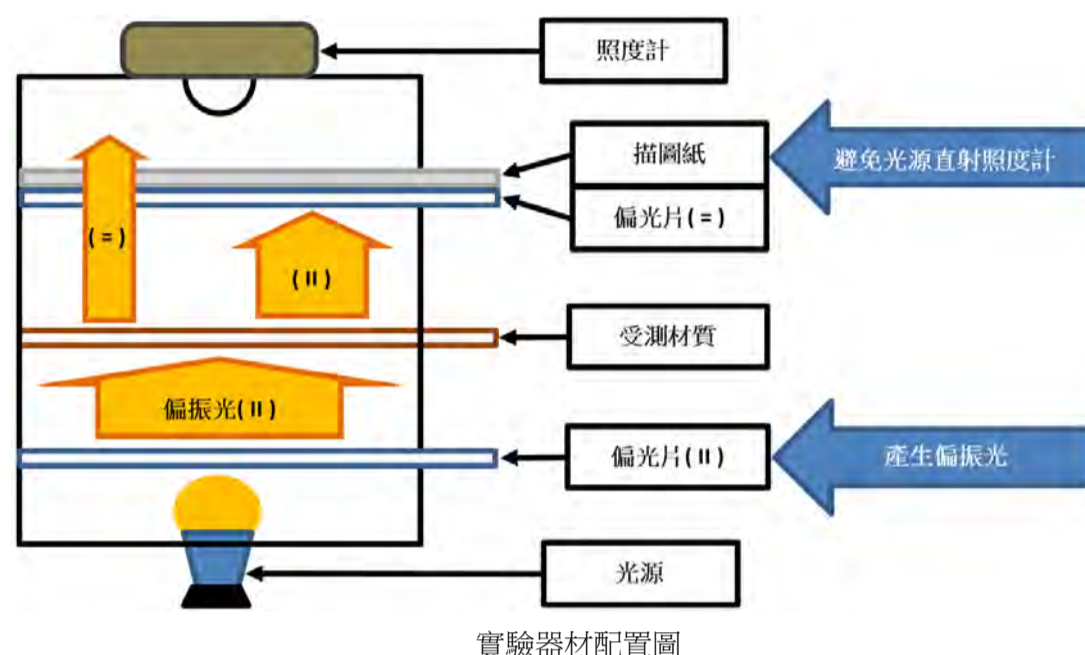
碳粉入射角 45°眩光



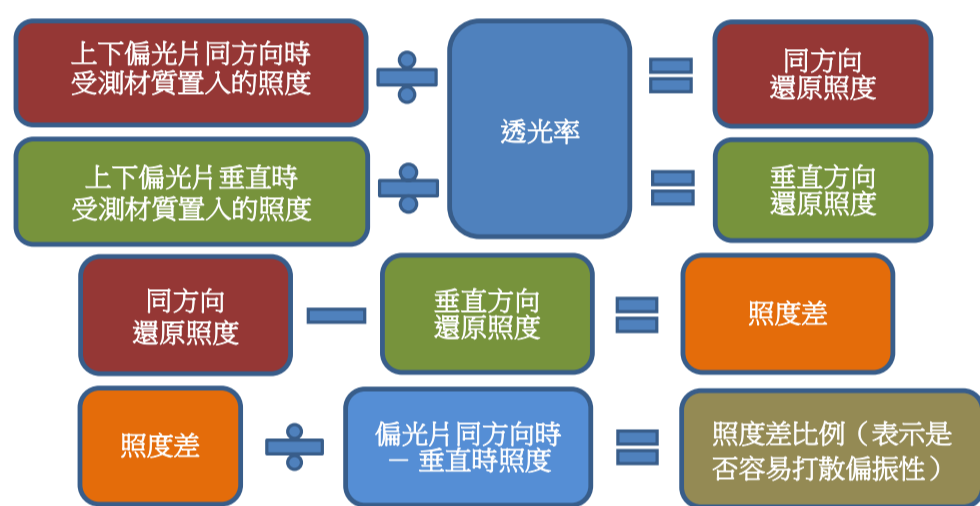
實驗二數據處理流程

### 五、實驗三～六（略）

### 六、實驗七、測試材質透光率、是否會打散偏振性。



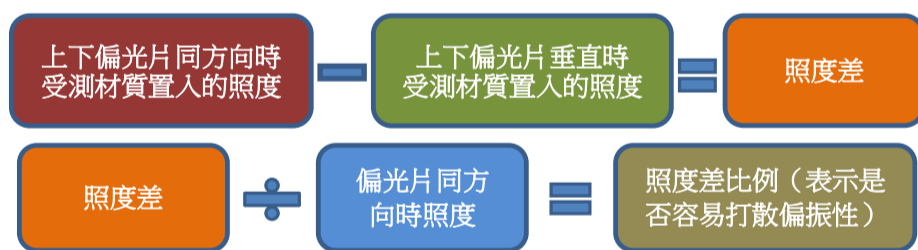
實驗器材配置圖



測量材質是否會打散偏振性數據處理流程圖

### 七、實驗八、測試材質透光後的眩光程度：以相機拍攝材質透光網格，比較亮度。

### 八、實驗九、測試材質反射後是否會打散偏振性、反射特性、反射後的眩光程度。



受測材質反射是否會打散偏振性數據處理流程



挑選相同的溫度計

溫度計放在受測材質下

透過隔熱紙曝曬

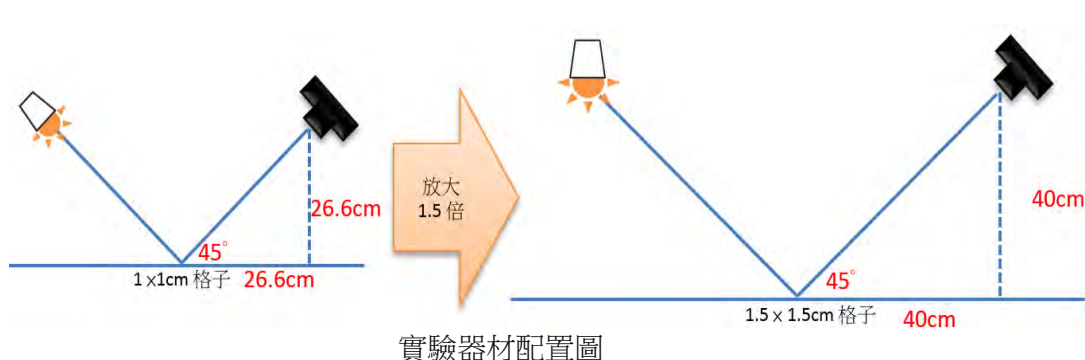
### 九、實驗十：測試不同光線角度穿過偏光片時、不同偏光角度的透光率。

各角度「透光率測試管」分別測量有無偏光片、及各偏光角度的照度。各偏光角度測得照度除以無偏光片時照度，得到透光率。

### 十、試做防眩光燈罩、燈管：

- （一）第一代防眩燈罩：偏光片「90°方向」管狀包覆在燈泡外緣，光線經偏光片透出照射在水平面，能減少水平面（桌面）的眩光。以「0°方向」製作的防眩光燈罩，可以減少垂直面（牆面）的眩光。
- （二）第二代防眩燈罩：管狀偏光片外增加一層厚塑膠袋，降低直接眩光。
- （三）第三代防眩燈罩：將散光膜貼在管狀偏光片內，降低直接眩光。
- （四）依第一、三代燈罩順序將偏光片與散光膜包覆在燈管外。

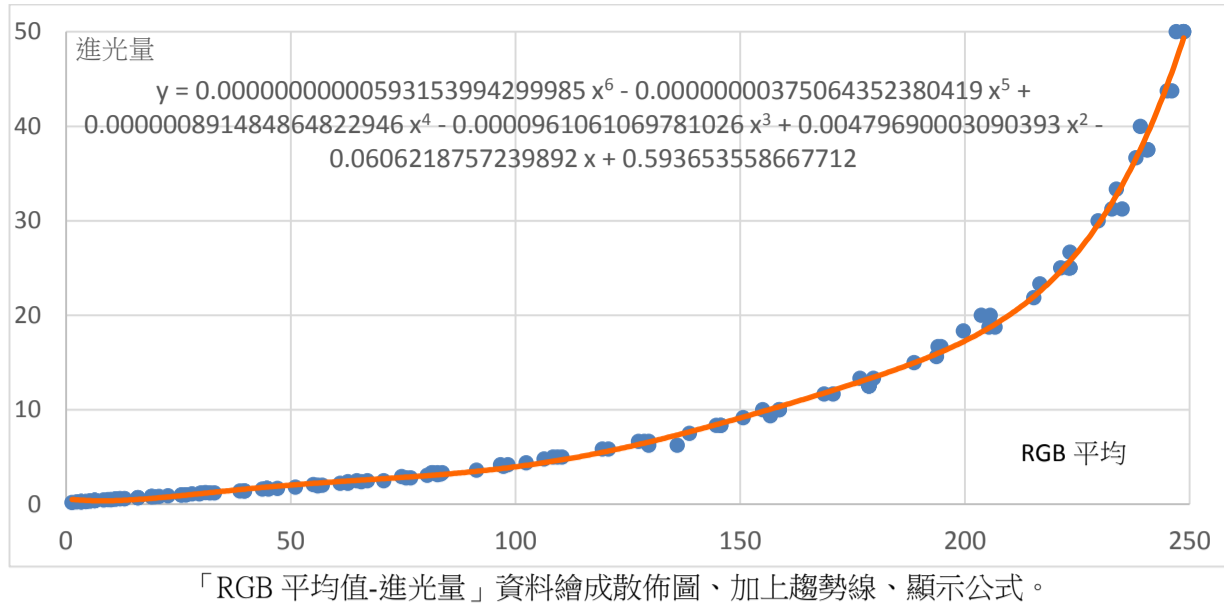
### 十一、實驗十一、測試成品的防眩光效果



實驗器材配置圖

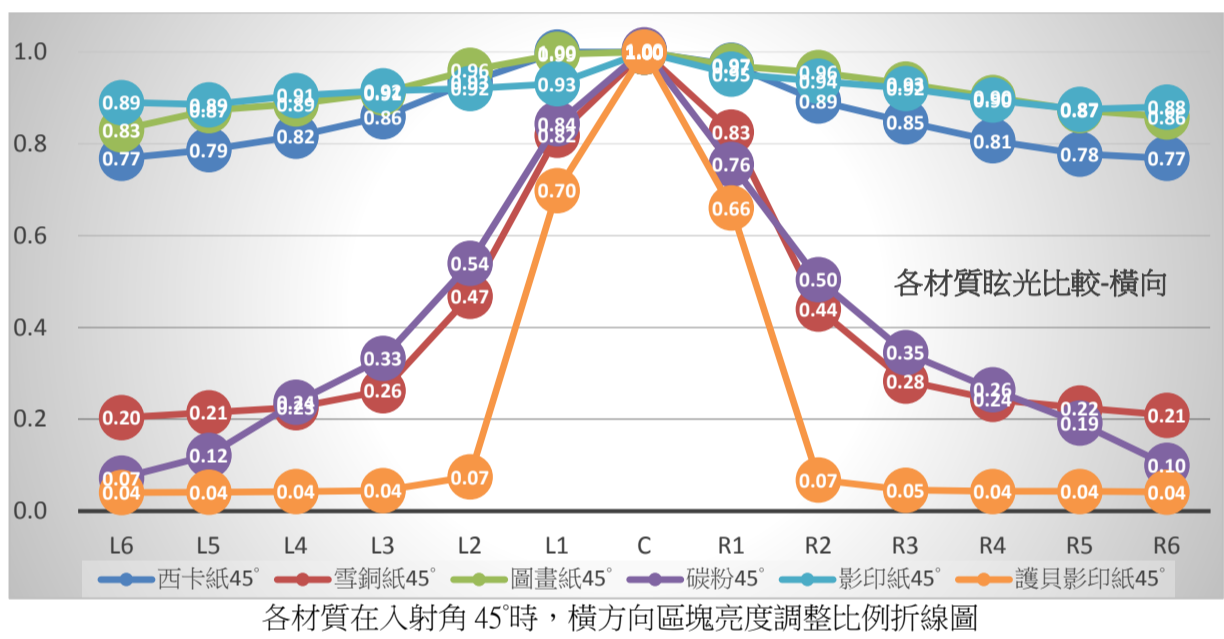
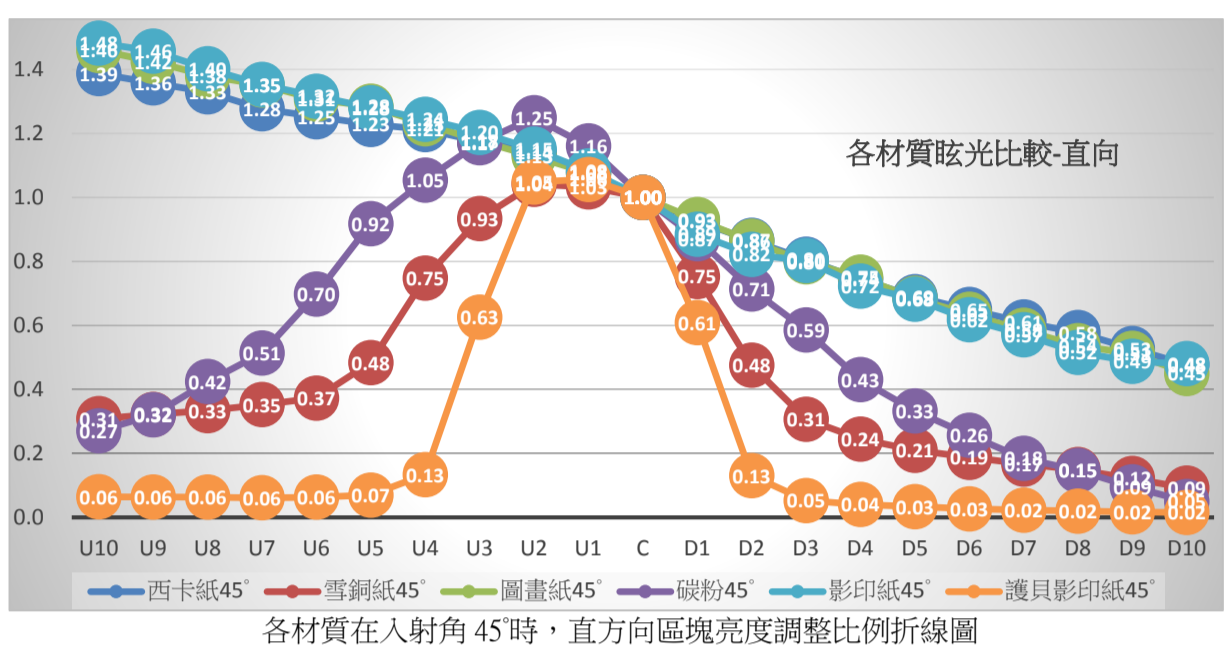
## 伍、研究結果

一、實驗一：比對「RGB 平均值」與「照度」，得到二者的相關性。



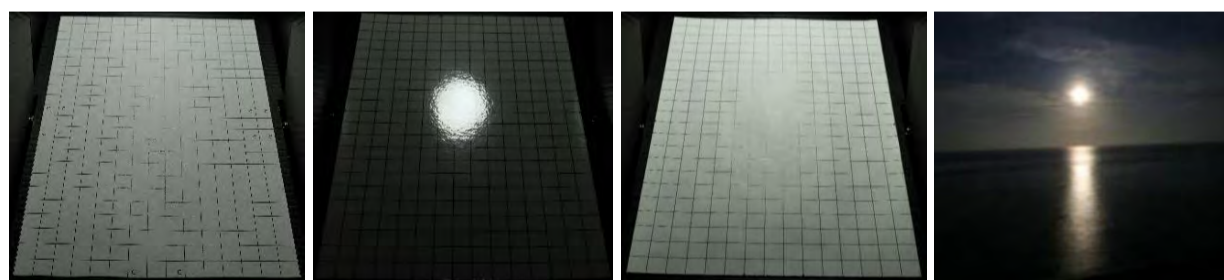
利用 excel 軟體，由得實驗數據得到「RGB 平均值-進光量」的關係公式，後續實驗在相片裡各區塊的 RGB 值就可以利用公式轉換成亮度值。

二、實驗二、測量不同材質眩光。



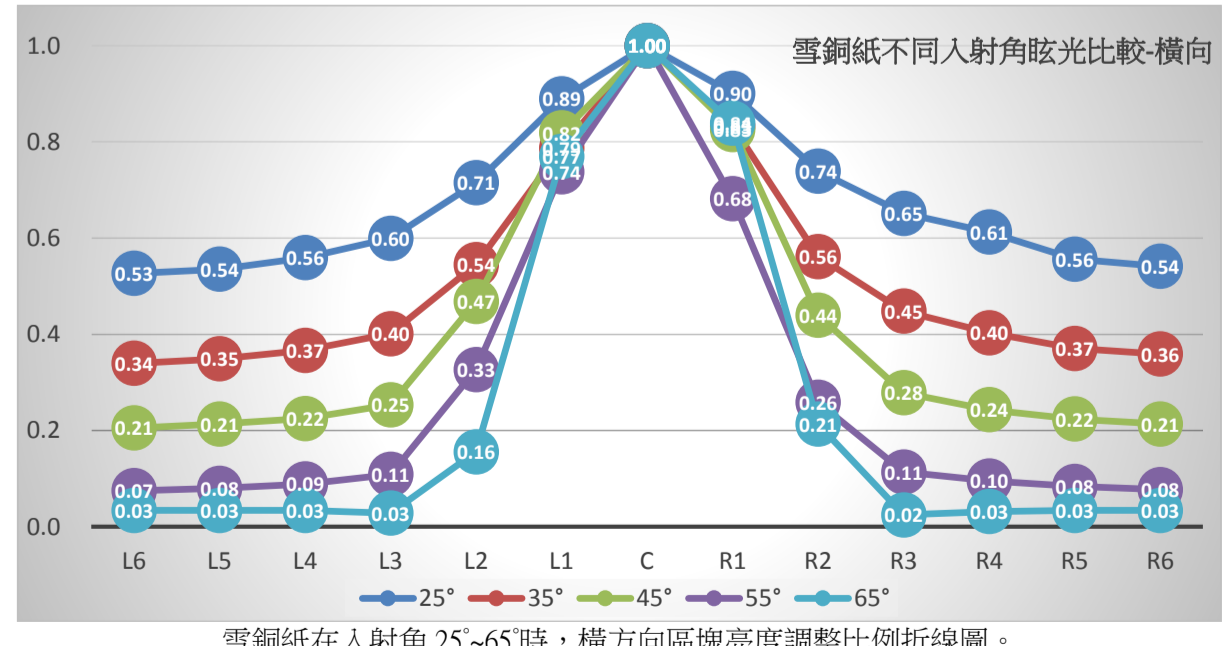
不同材質的眩光值

	西卡紙 45°	雪銅紙 45°	圖畫紙 45°	碳粉 45°	影印紙 45°	護貝影印紙 45°
L5、L6、R5、R6 平均 (A)	0.78	0.21	0.86	0.12	0.88	0.04
眩光值 (1/A)	1.29	4.70	1.16	8.24	1.13	24.12



黑色碳粉列印在紙上，照明光在不同紙質和碳粉上都會造成眩光，紙上的反光會影響閱讀，碳粉上的反光也同樣會干擾閱讀；由各材質的橫方向區塊亮度調整比例折線圖，可以看出眩光最嚴重的是「護貝影印紙」，其次是「碳粉」、「雪銅紙」、「西卡紙」，眩光程度最低的是「影印紙」；各材質的直方向區塊亮度調整比例折線圖，發現容易產生眩光的材質中央部區塊的亮度也會出現尖峰現象，但不易產生眩光的材質則有離相機越遠的區塊亮度越大的情形，這種現象和海面的月光倒影類似。

三、實驗三、測量不同入射角的眩光。



雪銅紙不同入射角眩光值

	入射角 25°	入射角 35°	入射角 45°	入射角 55°	入射角 65°
L5、L6、R5、R6 平均 (A)	0.54	0.35	0.21	0.08	0.03
眩光值 (1/A)	1.85	2.82	4.67	12.66	29.48

在光源入射角 25° 到 65° 之間，光源入射角越大時，兩側區塊的相對亮度會越小，眩光越嚴重。光源入射角越小時，兩側區塊的相對亮度會越大，眩光越輕微。

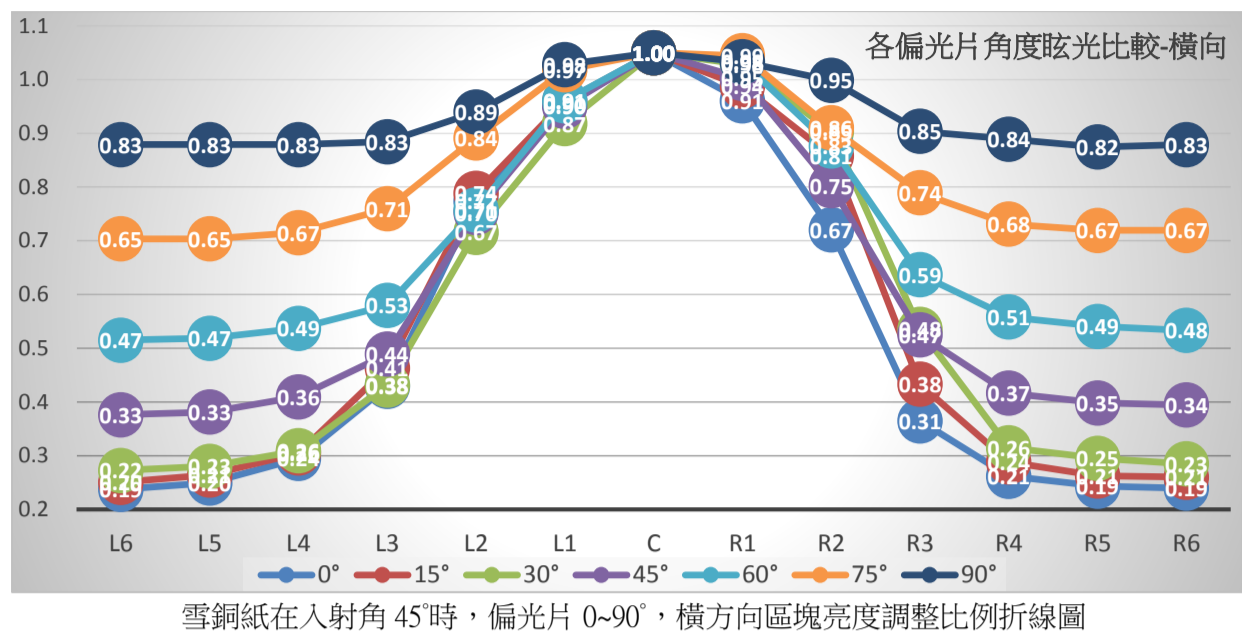
四、實驗四、測試不同安裝位置、不同偏光片面向的消眩光效果。

不同位置、面向偏光片的消眩光效果眩光值

	相機側 A 面向燈	相機側 B 面向燈	燈側 A 面向燈	燈側 B 面向燈
L5、L6、R5、R6 平均 (A)	0.835	0.835	0.856	0.852
眩光值 (1/A)	1.20	1.20	1.17	1.17

偏光片在相機側時以 A 面或 B 面朝向光源的消眩光效果的眩光值都是 1.20，裝在燈側時以 A 面或 B 面朝向光源的眩光值都是 1.17，所以偏光片的面向影響很小；以安裝位置來看，偏光片裝在燈側時眩光值都是 1.17，比偏光片裝在相機側時的 1.20 稍好一些。

五、實驗五、測試不同偏光角度的消眩光效果。

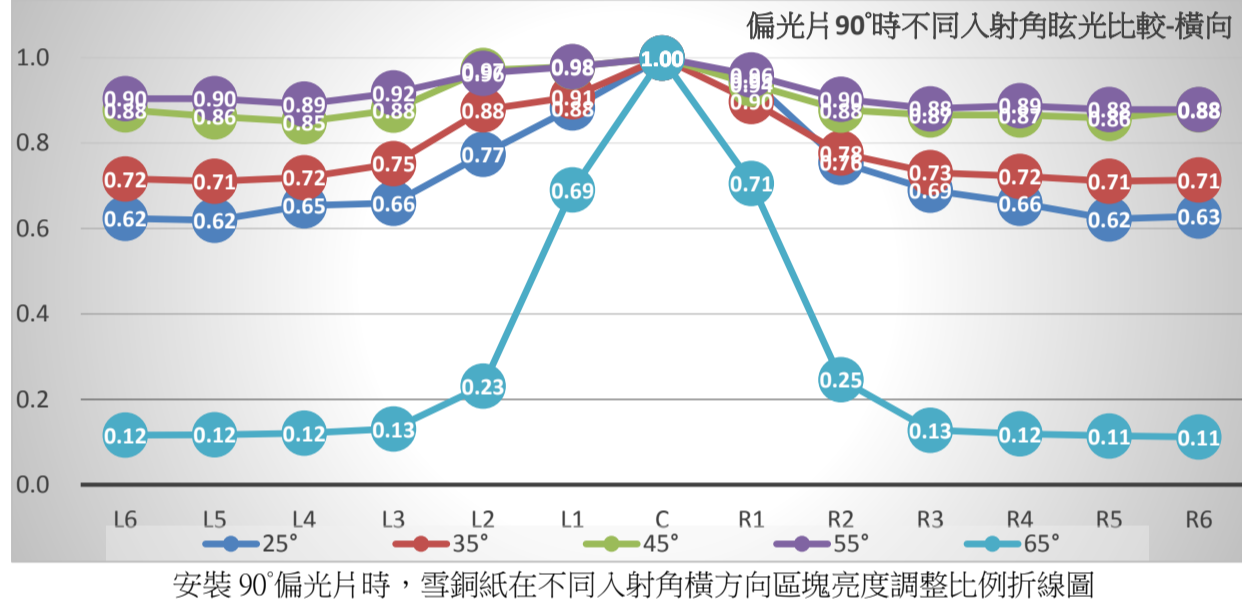


使用偏光片時，不同偏光角度時的眩光值

	偏光角 0°	偏光角 15°	偏光角 30°	偏光角 45°	偏光角 60°	偏光角 75°	偏光角 90°
L5、L6、R5、R6 平均 (A)	0.19	0.21	0.23	0.34	0.48	0.66	0.83
眩光值 (1/A)	5.20	4.78	4.29	2.96	2.10	1.51	1.21

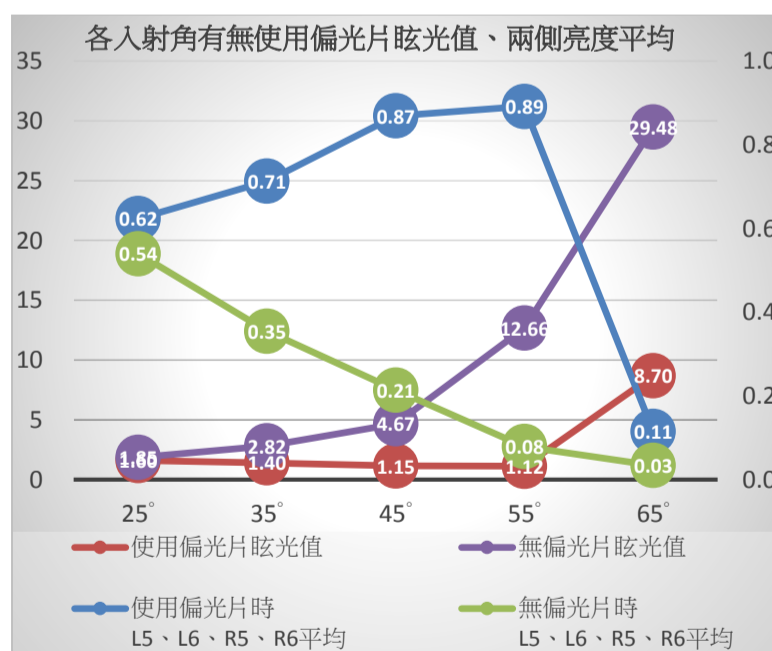
偏光片在 90° 時效果最好，眩光值為 1.21，0° 時眩光比不使用偏光片更嚴重，15°、30° 時的眩光情形和沒有使用偏光片時接近，眩光值與沒有使用偏光片時的 0.21 接近。

六、實驗六、測試不同入射角時偏光片的消眩光效果。



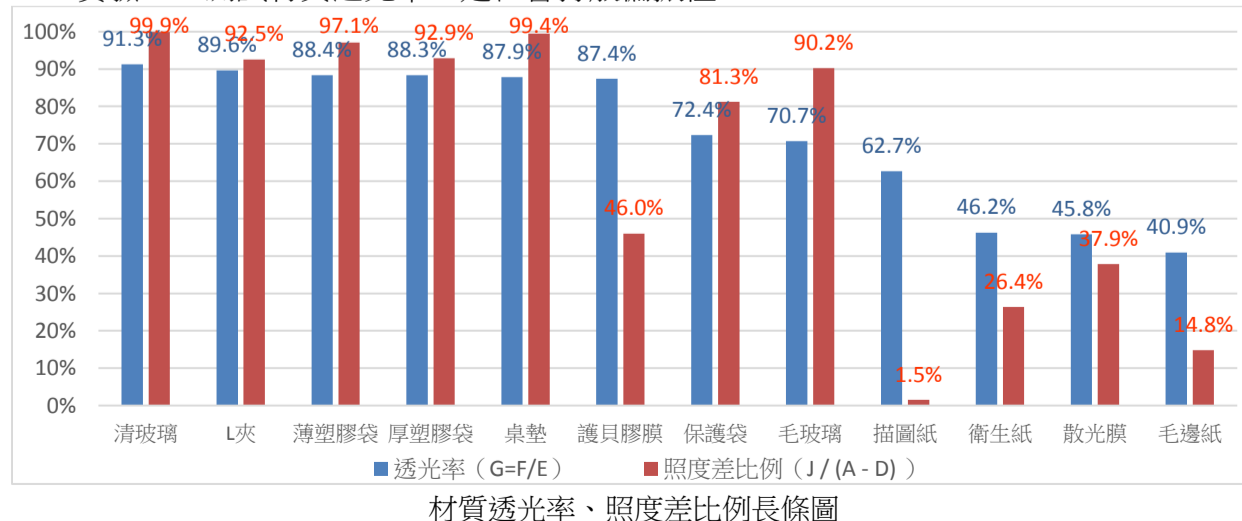
各入射角，有無使用偏光片眩光值

	25°	35°	45°	55°	65°
使用 90° 偏光片時 L5、L6、R5、R6 平均 (A)	0.624	0.713	0.869	0.892	0.115
使用 90° 偏光片時眩光值 (1/A)	1.60	1.40	1.15	1.12	8.70
無偏光片時 L5、L6、R5、R6 平均 (A)	0.540	0.355	0.214	0.079	0.034
無偏光片時眩光值 (1/A)	1.85	2.82	4.67	12.66	29.48



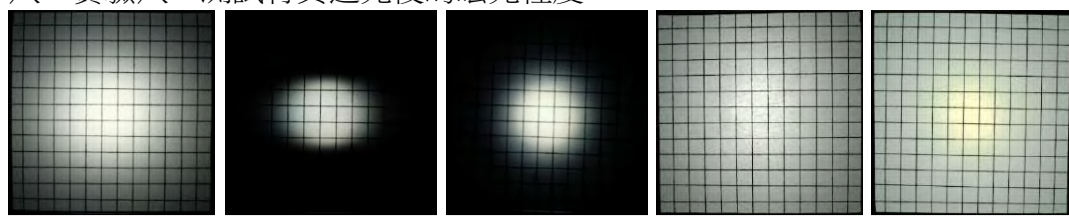
使用 90° 偏光片時，在入射角 55° 眩光值最低 (1.12)，接近 3M 博識燈廣告所說的 (閱讀角) 58° 時防眩效果最好；另外入射角 55° 時，L5、L6、R5、R6 平均值差異也最大，表示偏光片在 55° 時，拉近中間與兩側區塊亮度的效果也最大。

七、實驗七：測試材質透光率、是否會打散偏振性。



為了減少直接眩光，光源外要加裝一層可使光線柔和 (降低直接眩光) 的材質且面積要大，考量製作成本 (偏光片很貴)，所以偏光片要裝在內層，所以要挑選不易打散偏振性的透光材質，而且要符合高透光率和可降低直接眩光兩個條件。

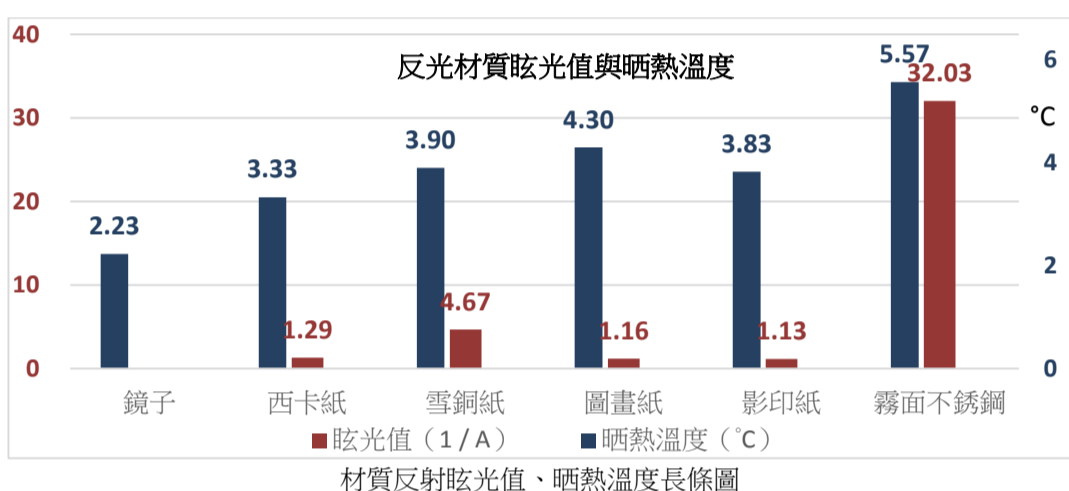
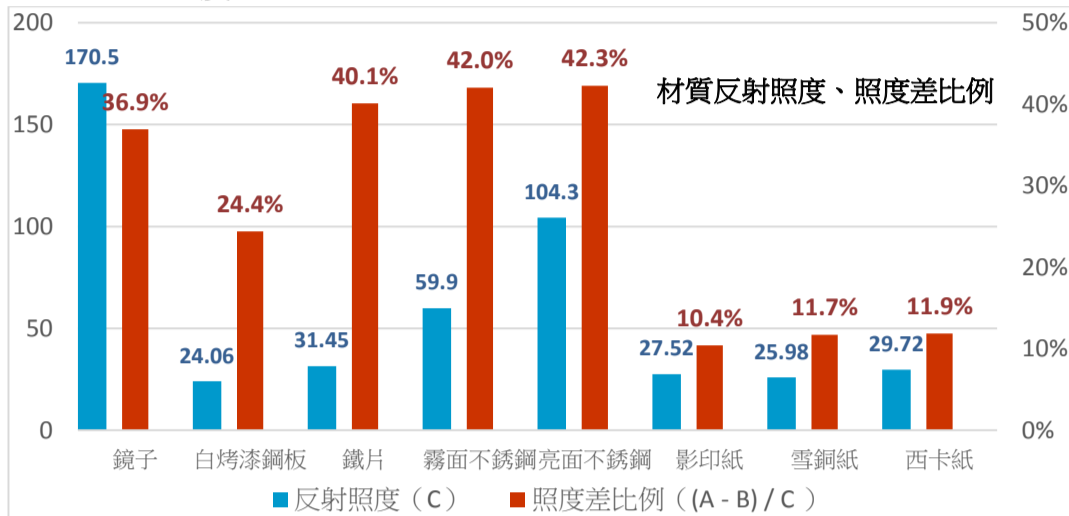
## 八、實驗八、測試材質透光後的眩光程度



各種材質的眩光值 (選用周邊區塊與其他實驗不同, 眩光值與其他實驗不能比較)	L 夾	毛玻璃	毛邊紙	厚塑膠袋	描圖紙	薄塑膠袋	3C 保護袋	散光膜
眩光值平均	84.39	10.02	2.36	15.77	5.11	187.09	26.93	1.78
透光率 (%)	89.62	70.67	40.88	88.33	62.68	88.37	72.36	45.80
照度差比例 (%)	92.49	90.20	14.83	92.86	1.55	97.05	81.27	37.87

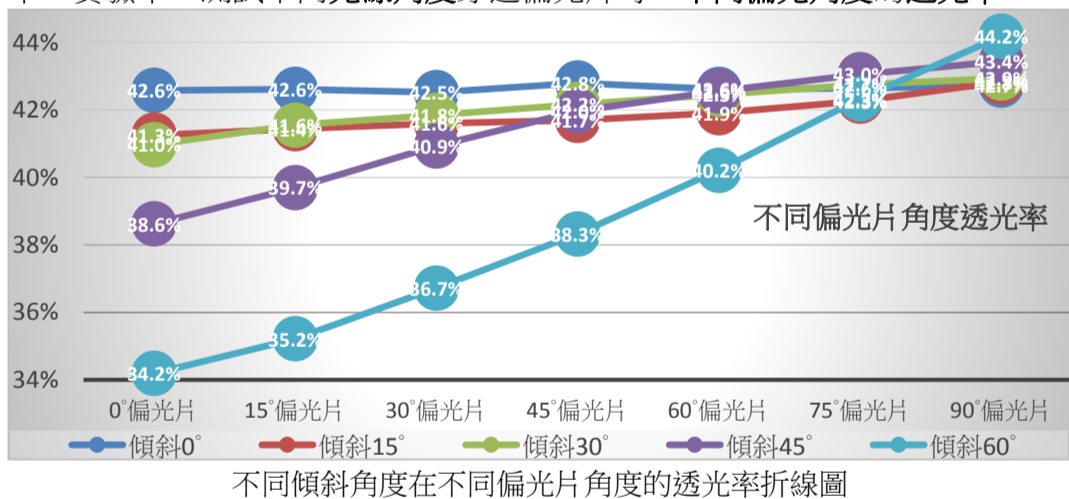
「透光率」與「照度差比例」最佳的是清玻璃, 但另外考量透光後能否使光線柔和, 厚塑膠袋和毛玻璃可能是較佳的透光燈罩材質, 另外發現耐熱塑膠袋透光時, 透光區形狀會和塑膠袋上的髮絲紋路有關, 透光區會往髮絲紋的垂直方向延伸。

## 九、實驗九：測試反光材質是否會打散偏振性、反射特性、反射後的眩光程度。



利用燈光曝曬方式測量各材質溫度上升情況, 越易吸光的材質溫度越高, 也就是反射率越低; 鏡子及亮面不銹鋼無法使反射光線變柔和, 霧面不銹鋼是較好的材質, 但不易加工, 紙類材質容易打散偏振性。希望能多試試其他材質, 看看有沒有適合製作反射燈罩的材質, 或是改變反射材質在防眩光燈設計上的位置, 達成降低直接眩光與間接眩光的要求。(將反射率較光的材質貼在燈罩內側, 可以提高照度)

## 十、實驗十：測試不同光線角度穿過偏光片時、不同偏光角度的透光率。



## 水平面使用第各代防眩燈罩、燈管及博視燈燈管間接、直接眩光值與成本比較

	一般燈泡		防眩燈泡			一般燈管		防眩燈管				博視燈	
	無防燈泡	加厚塑膠袋	第一代	第二代	第三代	燈管-橫	燈管-直	一代-橫	一代-直	三代-橫	三代-直	直擺	橫擺
間接眩光值	7.39	5.54	1.73	2.21	1.69	3.694	3.231	1.365	1.262	1.359	1.294	1.385	1.992
反射中心照度	357.2	274.2 (76.8%)	167.3 (46.8%)	121.3 (34.0%)	67.2 (18.8%)	101.9	105.5	42.1 (41.3%)	44.8 (42.5%)	22.5 (22.1%)	24.9 (23.6%)	212.7 (47.1%)	176.4 (34.4%)
直接眩光值	64.6	25.1	71.3	32.5	8.2		36.5		26.9		19.2		
成本估算 (元)	-	3.92	20.63	21.98	47.91	-	-	42.29	42.29	64.69	64.69	1980~3490	
圖片													

## 陸、結論

### 一、研究結果：

- 得到「RGB 值」與「照度」關係公式, 而能用相機這種方便的器材測量眩光, 測得了常見紙質、碳粉與不同角度時的眩光程度。
- 瞭解如何使用偏光片消除眩光、不同角度時的效果及透光率。
- 測試多種透光與反光材質的透光率、反射特性, 是否會打散偏振性, 以及透光或反射後的眩光情況, 並運用在防眩光燈。
- 以研究所得設計 360°防眩光燈, 並測試防眩效果。

### 二、自製防眩光燈的特色：

- 具有 360°全方位的防眩效果。
- 可設計成針對水平面或垂直面的防眩光燈。
- 材料容易取得, 製作容易, 且成本低廉。

偏光片傾斜角度越大時透光率越低, 且偏光片角度對透光率的影響也越大, 偏光片角度 0°到 90°之間, 角度越大透光率也越高, 所以將偏光片以 90°裝在光源之外時, 除了消除水平面眩光效果最好之外, 還有透光率高的好處。

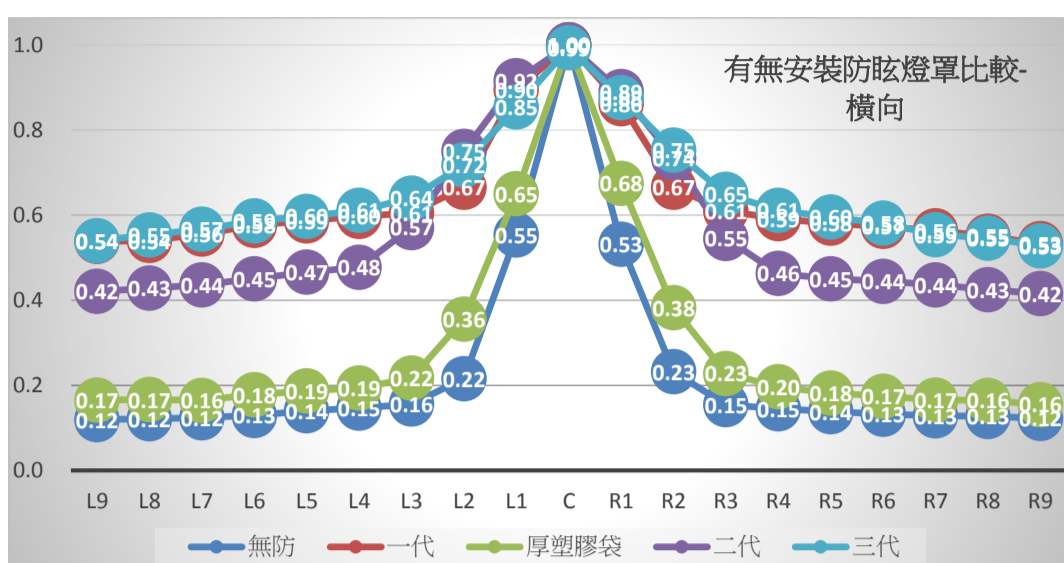
## 十一、實驗十一：測試成品的防眩光效果

### (一) 第一代防眩光燈罩

#### 垂直面與水平面有無使用偏光罩眩光值比較

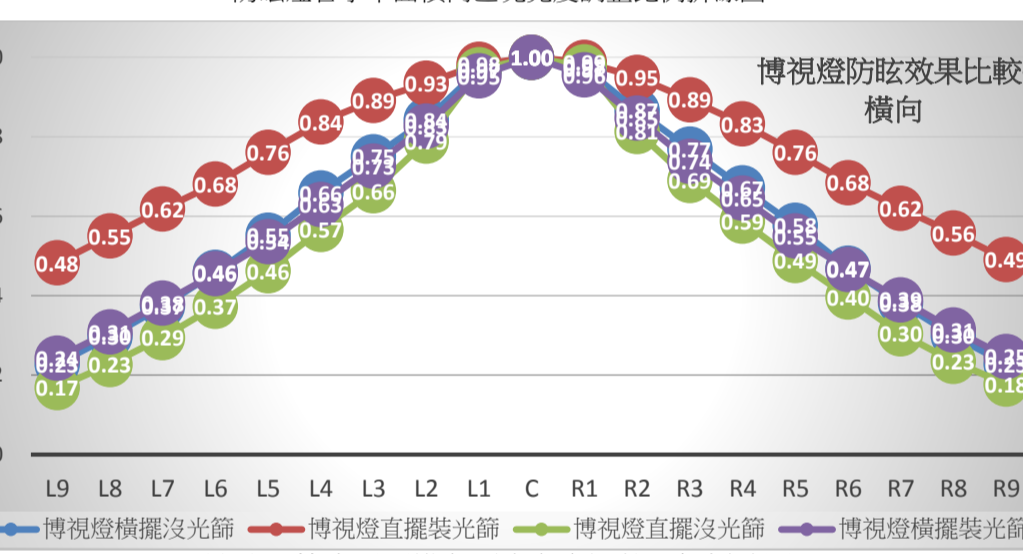
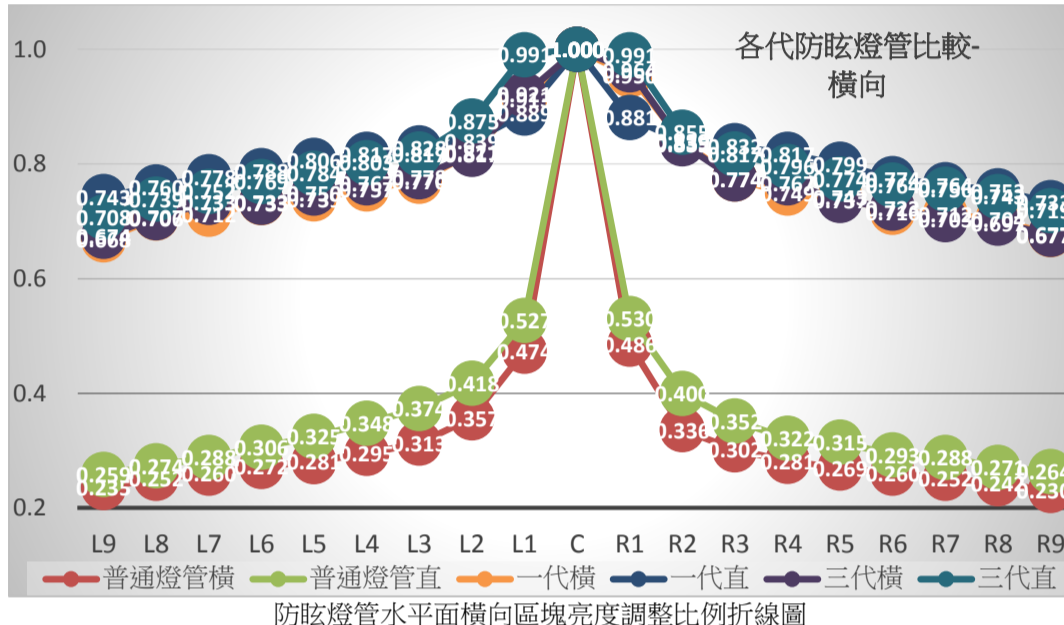
	水平無防-橫	水平有防-橫	垂直無防-橫	垂直有防-橫
L5、L6、R5、R6 平均 (A)	0.098	0.521	0.062	0.791
間接眩光值 (1/A)	10.21	1.92	16.04	1.26
反射中心照度(百分比)	352.5	184.4(52.3%)	193.3	85.3(44.1%)

### (二) 第二、三代防眩光燈罩



#### 水平面第一二代防眩燈罩橫向區塊亮度調整比例折線圖

### (三) 一、三代防眩光燈管



加裝厚塑膠袋燈罩時直接、間接眩光都會下降, 表示不使用偏光片時, 好的透光材質也能降低直接眩光和間接眩光; 第二代防眩燈罩的間接眩光值較第一代燈罩高, 應該是厚塑膠袋稍稍打散偏振性的影響, 但直接眩光值從第一代的 71.3 降到 32.5, 第三代燈罩將偏光片裝在最外側, 間接眩光 1.69, 直接眩光 8.2, 防眩效果最好, 但有照度下降的缺點。(3M 博視燈的濾光節透光率約 42.6%)

### 三、未來展望

- 利用簡易且創新方法測量透光、反射材料是否會打散偏振性, 繼續尋找更好的防眩光燈材料。
- 參考市售燈具的設計, 加入研究所得設計更實用、效果更好的防眩光燈。

(四) 可以依需求製作合適的防眩光燈。

與市售「3M 博視燈」, 比較「自製防眩光燈」有成本低廉、製作容易、360°防眩光、可設計成水平面或垂直面防眩光...等優點, 因使用的透光材質透光率較低, 相較於「3M 博視燈」的「濾光節」(有偏光與光線柔和功能) 照度比例 34.4~47.1%, 有照度降低的缺點。反射材質用在燈罩內部, 用來增加照度。