

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學科

最佳創意獎

030818

挑燈再戰—LED 燈泡看不見的秘密

學校名稱：高雄市立五福國民中學

作者： 國二 蔡睿文 國二 洪暉博 國二 王 騰	指導老師： 張妃杏
---	------------------

關鍵詞：家用 LED 燈泡、品質與耐用性、演色性

摘要

發光二極體（LED）燈泡已經逐漸普及於日常居家生活中。在賣場上我們可以見到各式各樣的燈泡，如不同瓦數、不同色溫以及不同結構的燈泡等，因此本實驗將探討不同燈泡的差異，以及如何選擇品質較好的燈泡來符合家庭不同環境的照明。本實驗將針對透過對十餘種市售燈泡的散熱性、頻閃及演色性進行實驗分析，歸納出實用的燈泡的選用原則，提出簡易的方法，並透過自製工具，讓一般人可以輕易地選擇所需的燈泡。

壹、研究動機

照明在我們的生活中扮演極重要的角色，而照明所需耗能十分可觀，根據網路上所查到國際能源總署(IEA)資料，2005 年全球照明用電佔總發電量的 19%。在兼顧使用舒適性和環境保護下，LED 照明技術在眾多的照明器具中脫穎而出，不僅擁有元件壽命長、點滅速度快、體積小、散熱佳等優點，更比傳統燈具更環保節能，LED 照明系統可比白熾燈泡省電 80%，比省電燈泡省電 50%，比螢光燈省電 60%，比鹵素燈泡省電 75%，比水銀燈省電 80%，比高壓鈉燈省電 65%，使得 LED 燈泡漸漸取代原本的省電燈泡、白熾燈泡，成為現今照明的主流。

然而，雖然 LED 照明燈具已逐漸走入家庭，但是市面上燈泡的耐用性與品質的差異明顯，一般消費者不易明瞭之間的差異，也不知如何選購，因此，本研究將對將藉由實驗了解 LED 燈泡的差異與特性，且歸納出以簡易的方法建議消費者如何選用合適的 LED 燈泡，避免造成金錢與健康的損失。

貳、研究目的

- 一、 探討不同散熱結構的 LED 燈泡的散熱效能
- 二、 探討不同 LED 燈泡在惡劣環境下老化現象
- 三、 探討 LED 燈泡的閃頻現象
 - （一）以相機拍攝觀察燈泡的頻閃現象
 - （二）示波器觀察燈泡的電壓變化
 - （三）自制光源頻閃計測量燈泡的頻閃現象
- 四、 探討不同 LED 燈泡的演色性表現

參、文獻探討

一、影響 LED 燈泡壽命的原因

根據過去的資料顯示影響 LED 燈泡壽命主要原因有二，高溫與電壓不穩。由於 LED 的工作溫度是由晶片本身在電流通過時所產生的（半導體特性），在電與光轉換的過程中，在相同的電流下晶片本身的溫度愈低，其轉換效率愈高，所以只要能有效的將晶片中的熱能導出，其發光效率就愈高，也就是說，傳統燈泡愈熱但也愈亮，而 LED 是愈熱愈不亮（效率降低），甚至晶片會燒毀，所以燈泡本身的散熱結構將會影響 LED 燈泡的壽命。其次，LED 對電壓變化很敏感，對電流變化不敏感，當供電不穩時，或負載變化時，會造成電壓輸出改變，造成了 LED 過載，壽命就縮短了。

二、頻閃現象

頻閃（flicker）是光源強度隨著時間有明暗變化的現象，而頻閃隨著其明暗變化的振幅大小與變化頻率，對人身體也會有不同程度的影響。一般的使用者可能不會有察覺，但此種看不見的傷害由於容易被忽視，危險程度反而相對更高；長時間觀看閃爍的螢幕時，會造成使用者的疲勞感，近而造成近視加深，或引發黃斑部病變等視力相關疾病。在 IEEE Standard P1789 的報告指出人眼可辨識頻率 70Hz 以下的頻閃，而人生理上對這樣的頻閃可能會有頭痛、眼花、心神不安、或引發癲癇等反應。人體對於高於 70Hz 較無法感知的頻閃，也並非毫無反應，可能引發的生理反應有頭痛、眼睛疲勞、長期使用會影響視力、有些個案會引發心跳加快等等，研究顯示可能需要高於 160Hz 以上，甚至高於 200Hz 方能對生理危害較無疑慮。

根據美國能源局公佈的頻閃說明（U.S Department of Energy 2013），光源的低頻閃爍會觸發癲癇發作，也研究出與頭痛、容易疲勞、視力模糊、視力減弱等人們的不適有關聯。人們時常沒有意識到頻閃其實是某些不適症狀的主因，只要改善照明的品質，一些疲勞的症狀都能減輕，也能大幅提升工作效率。

而頻閃的主因來自於 LED 燈泡內部晶片上電路設計及晶片品質的影響，其晶片的好壞及電路設計影響燈泡品質及壽命十分大。在一般交流電驅動的燈具中，會因電流的波動而產生頻閃，而 LED 燈泡還需經由電路轉換較穩定的直流電輸入，因此電路設計對於頻閃有很大影響。

三、阿瑞尼斯模型

以往的阿瑞尼士模型用於計算反應速率和溫度的關係，由 $k = A e^{-Ea/RT}$ 可推出化學反應時的各種反應關係。而目前各 LED 燈泡大廠為管理燈泡品質，藉由改變方程式的變數，得出方程式（式一）：

$$B(t) = B(0)e^{-t/\tau} \quad (\text{式一})$$

其中的 $B(t)$ 為時間 t 時的照度， B_0 為初始照度而 τ 為時間常數。如以第一天燈泡初始的最大照度為初始亮度，以 72 小時的燈泡最大亮度為代入（式一），可求得為時間常數 τ 如下

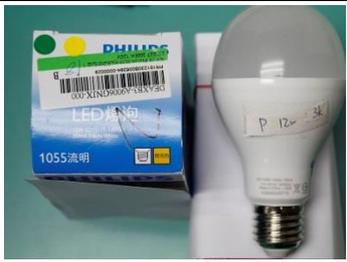
$$\tau = \frac{-72}{\ln\left(\frac{B(72)}{B_0}\right)} \quad (\text{式二})$$

在能源之星(EnergyStar)所定義的 TM-21 國際標準。在估計 LED 燈泡壽命時是以半衰期，也就是照度減為初始值的一半時，作為此一燈泡的壽命，所以我們令 $B(t)$ 等於 $0.5B_0$ 代回（式一），可得預估燈泡壽命為

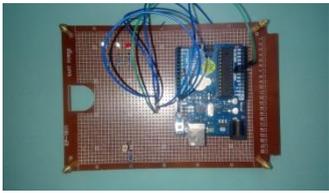
$$t = -\tau \ln(0.5) \quad (\text{式三})$$

肆、研究器材

一、LED 燈泡：共選用 11 個燈泡，明細如下表：

燈泡			
	圖 4-1	圖 4-2	圖 4-3
廠牌/規格	P 牌 /12W，3000K	P 牌 /12W，6500K	E 牌 /10W，3000K
編號	P-12W-Y	P-12W-W	E-10W-Y
燈泡			
	圖 4-4	圖 4-5	圖 4-6
廠牌/規格	E 牌 /10W，6500K	E 牌 /12W，3000K	E 牌 /12W，6500K
編號	E-10W-W	E-12W-Y	E-12W-W
燈泡			
	圖 4-7	圖 4-8	圖 4-9
廠牌/規格	O 牌 /10W，3000K	O 牌 /10W，6000K	O 牌 /12.5W，3000K
編號	O-10W-Y	O-10W-W	O-12.5W-Y
燈泡			
	圖 4-10	圖 4-11	
廠牌/規格	O 牌 /12.5W，6500K	B 牌 /10W，3000K	
編號	O-12.5W-W	B-10W-Y	

二、其他

名稱	廠牌	規格
溫度記錄器	自製	由 Arduino 電路板連接溫度感測器  <p>圖 4-12</p>
烤箱	Terchy	溫度-40 至 100°C 濕度 30% - 95%  <p>圖 4-13</p>
光源頻閃計	自製	 <p>圖 4-14</p>
筆記型電腦	Asus	3, 4GBRam, 500GB SSD
數位照相機	Canon	EOS600D
示波器	Agilent	DSO1012A
白熾燈泡	東亞	20W
LED 檯燈	O 牌	8W
省電燈泡	O 牌	23W

伍、研究工具

我們另外利用 Arduino 套件製作 LED 燈泡的頻閃計來量測不同 LED 燈泡的頻閃現象，提供使用者可以依據量測的結果來選擇合用的燈泡來符合家庭不同環境的照明需要。我們透過對與示波器的量測結果比對來確認自製頻閃計的準確度，結果顯示，我們的作品具有良好的準確度與可靠度，可以輕易判斷光源穩定性與演色性好壞作為消費者選用的參考。

過去量測電子訊號的頻率多用計頻器，但是卻不能用來量測 LED 燈泡光源的穩定性。我們利用光敏電阻與 Arduino 單晶片自製光源頻閃計來量測 LED 燈泡的照度的變動率可以用來評估 LED 燈泡光源的穩定性。光源的穩定性可以由閃動的頻率與照度的變化來討論。首先在我們的研究中發現，每一個 LED 燈泡的閃動頻率約在 120Hz 左右。我們研究 LED 燈泡的內部電路發現，電路的功能在於將家用的交流電轉化為 LED 所需要的直流電，這個電路稱為整流電路，範例如下圖 5-1。利用兩組二極體導通正負兩個半周期的電源，整流後的電源頻率會是原訊號的兩倍，所以 LED 燈泡頻閃的頻率應是 110V/60Hz 市電的兩倍也就是 120Hz。與實驗結果相當。

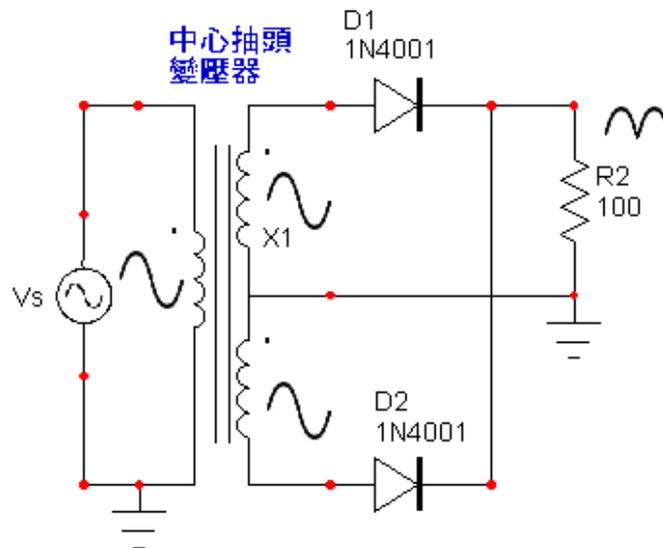


圖 5-1 全波整流電路

http://elect.taivs.tp.edu.tw/course/ch03_3_2a.htm

另一方面，LED 燈泡光源照度的變動率會隨著整流電路產生輸出的穩定性而變動，也會影響燈泡照度的變化。下圖 5-2 所示是我們所設計的光源頻閃計，可以用來評估 LED 燈泡照

度的穩定性。R1 為光敏電阻、R2 為分壓電阻。當照度變動時會改變 R1 的電阻值，進而改變 R2 的分壓 V0。所以 V0 的變化即可代表 LED 燈泡的照度變化。

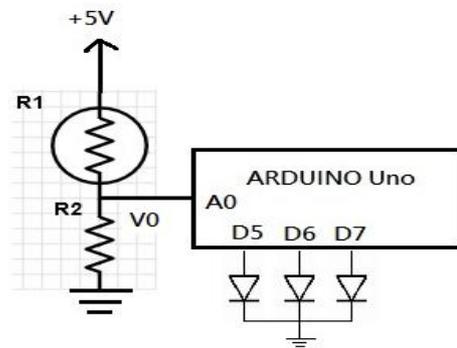


圖 5-2 自製光源頻閃計電路示意圖

因此我們利用光敏電阻將光照度轉換成電壓分壓，並由 Arduino 一秒內連續讀取 LED 燈泡照度約 3000 次後得到照度值，依下列公式計算變動率。

$$\text{變動率} = \frac{\text{最大照度} - \text{最小照度}}{\text{平均值}} \quad (\text{式四})$$

陸、研究方法

一、散熱實驗

實驗步驟

1. 將 Arduino 板透過 USB 線連接電腦，並利用單心線連接溫度感測器。
2. 將待測燈泡固定在溫度感測器上，啟動電腦。
3. 接上電源，每隔 30 秒紀錄一次，直到燈泡溫度趨近不變。
4. 關掉電源，每隔 30 秒紀錄一次，直到燈泡冷卻下降至室溫。

二、老化實驗

實驗步驟

1. 在待測燈泡 1.5 公尺處放置照度計，測量燈泡的初始光照度。
2. 將待測燈泡置於溫度 85°C、濕度 85% 烤箱中點亮，每天同一時間測一次燈泡的光照度，直到呈現 10% 光衰。

三、頻閃實驗

(一) 相機拍攝實驗步驟

1. 將數位相機以腳架固定高度，設為連拍模式。
2. 將待測 LED 燈泡點亮，置於數位相機前 1 公尺處，調整數位相機快門 1/1000 秒（頻率 $F=5\text{Hz}$ ），連拍 20 張。
3. 待測燈泡改為省電燈泡、LED 檯燈與白熾燈泡，重複步驟 2。

(二) 示波器觀察實驗步驟

1. 將燈泡的燈罩取下，並用絕緣電線連接示波器和 LED 燈泡內部整流器。
2. 開啟示波器，調整波段，直到示波器顯示出有規律的波形。
3. 觀察波形，可得到 LED 燈泡輸入電源之變動頻率以及電壓變動率（振幅變化情形）。

(三) 自製光源頻閃計實驗步驟

1. 將自製頻閃計測量口對準光源，架設於各個通電燈泡前。
2. 執行程式，測量 LED 燈泡照度變化約 1 秒後停止程式。
3. 在 Arduino 程式裡記錄 3 個週期中的最大值與最小值，並推算出變動率。

四、演色性實驗

實驗步驟

1. 利用 **photoimpact** 軟體產生紅、藍、綠三種色階圖（每種色階圖內皆含 32 階顏色），並分別列印於 A4 紙上。
2. 將紙上的三種色階圖放置在日光下，利用數位相機拍照。
3. 將紙上的三種色階圖置於暗室中的桌面上，並將待測燈泡距離紙面 1.5 公尺高，利用數位相機拍照。
4. 利用 **photoimpact** 軟體，讀取照片的 32 階紅、藍、綠像素 RGB 值。

柒、研究結果

一、散熱實驗

(一) 待測燈泡通電與斷電後的溫度變化

1. 11 個待測 LED 燈泡通電與斷電後的溫度變化曲線圖如下圖 7-1。

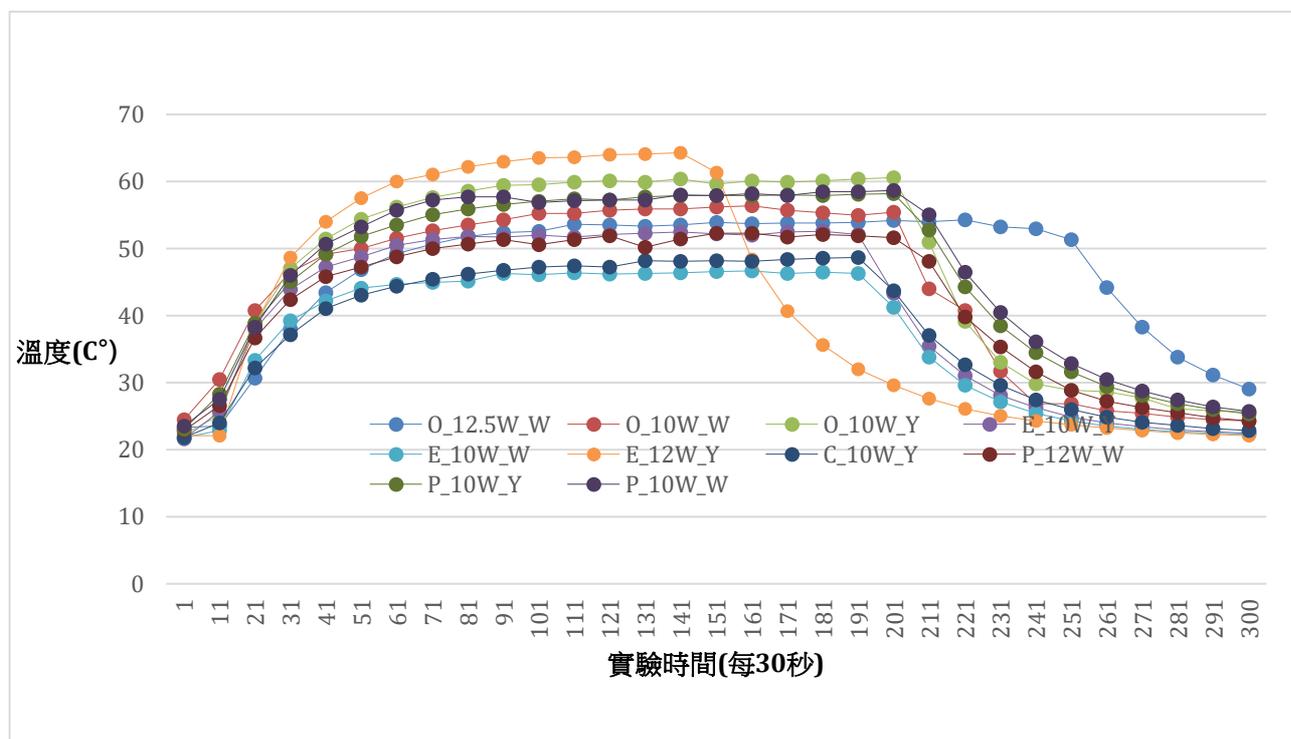


圖 7-1 燈泡的溫度與時間關係圖

2. 由圖 7-1 可發現燈泡通電後，溫度會上升至一個穩定的工作溫度（高溫）。燈泡斷電後會逐漸下降至室溫。
3. 由圖 7-1 中可看出，不同燈泡的工作溫度有頗大的差異，以我們收集的燈泡來看，最高溫可達到 64°C，最高溫僅有 47°C。

(二) 待測燈泡的結構與散熱的關係

1. 可觀察到待測燈泡的結構不盡相同，可分為平面塑膠外裝、平面塑膠外裝內含金屬導熱片、鰭片散熱外裝、有孔鰭片散熱外裝。
2. 由實驗中可知冷卻速度以 O-12.5W-W 最差，我們以它為基準值來比較其他燈泡的冷卻速度，我們定義燈泡的冷卻速度為每分鐘下降的溫度，如式五，也定義燈泡相對於基準值的改善率，如式六。其結果列於表 7-1。

$$\text{冷卻速度} = \frac{\text{工作溫度} - \text{室溫}}{\text{所花費時間}} \quad (\text{式五})$$

$$\text{改善率} = \frac{\text{燈泡冷卻速度} - \text{基準值}}{\text{基準值}} \times 100\% \quad (\text{式六})$$

表 7-1 燈泡的冷卻速度與改善率

燈泡編號	高溫 (°C)	低溫 (°C)	降溫時 間(min)	冷卻速度 (°C/min)	燈泡散熱方式	改善率
P-10W-Y	58	23.8	3120	0.658	內含金屬片	57%
P-10W-W	57.8	24.4	2910	0.689	內含金屬片	64%
P-12W-W	51.5	22.8	3660	0.471	平面塑膠外裝	12%
O-10W-W	55.8	23.1	2820	0.695	無孔鰭片	65%
O-12.5W-W	53.7	22.2	4500	0.42	平面塑膠外裝	基準值
E-12W-Y	63.7	21.4	4050	0.626	無孔鰭片	49%
B-10W-Y	48.1	22.2	2880	0.54	有孔鰭片	29%

二、老化實驗

(一) 燈泡通電後照度衰減結果

1. 10 個待測 LED 燈泡在高溫、高濕環境下通電，其照度變化如下表 7-2。

表 7-2 燈泡照度變化表

量測日期/燭光	P-12WY	P-12W-W	Y-10W-Y	Y-12W-W	Y-12W-Y	Y-10W-W	P-10W-W	O-10W-W	B-10W-Y	L-7W-W	
2016/1/5 (初始值)	最小值	203	224	60	53	60	75	158	97	8.111	88
	最大值	276	261	148	160	196	174	202	161	182	95
2016/1/6	最小值	204	223	58	55	60	74	158	94	7.7	88
	最大值	271	260	147	150	190	172	200	157	180	94
2016/1/7	最小值	203	211	55	損壞	60	72	154	94	7.13	83
	最大值	271	252	140	損壞	185	169	197	154	177	91
2016/1/8	最小值	201	201	52	損壞	損壞	70	148	92	6.8	80
	最大值	272	242	138	損壞	損壞	157	195	150	175	90

2. 表 7-2 中，Y-12W-W 與 Y-12W-Y 燈泡第三日便燒毀，探究其原因可能是燈泡的散熱

孔隙防水性不佳導致水氣進入燈泡內部致使燈泡燒毀。

3. 我們定義燈泡的光衰量，如式七。

由表 7-2 計算燈泡的光衰率，

$$\text{光衰率} = \frac{\text{燈泡照度} - \text{平均值}}{\text{平均}} \times 100\% \quad (\text{式七})$$

結果可得表 7-3。

表 7-3 燈泡的光衰率變化表

日期/光衰率(%)		P-12W-Y	P-12W-W	E-10W-Y	E-12W-W	E-12W-Y	E-10W-W	P-10W-W	O-10W-W	B-10W-Y	L-7W-W
2016/1/5 (初始值)	最小值	203	224	60	53	60	75	158	97	8.111	88
	最大值	276	261	148	160	196	174	202	161	182	95
2016/1/6	最小值	0.5%	-0.4%	-3.3%	3.8%	0.0%	-1.3%	0.0%	-3.1%	-5.1%	0.0%
	最大值	-1.8%	-0.4%	-0.7%	-6.3%	-3.1%	-1.1%	-1.0%	-2.5%	-1.1%	-1.1%
2016/1/7	最小值	0.0%	-5.8%	-8.3%	損壞	0.0%	-4.0%	-2.5%	-3.1%	-12.1%	-5.7%
	最大值	-1.8%	-3.4%	-5.4%	損壞	-5.6%	-2.9%	-2.5%	-4.3%	-2.7%	-4.2%
2016/1/8	最小值	-1.0%	-10.3%	-13.3%	損壞	損壞	-6.7%	-6.3%	-5.2%	-16.2%	-9.1%
	最大值	-1.4%	-7.3%	-6.8%	損壞	損壞	-9.8%	-3.5%	-6.8%	-3.8%	-5.3%

4. 由表 7-3 發現各燈泡在高溫、高濕的環境下的耐用性有很大的差異。部分燈泡的照度衰減速率較小，推測其原因為燈泡的防水、防濕性較好，因而不容易損壞。

5. 由表 7-3 發現在高溫下且工作溫度高的燈泡在高溫、高濕環境中，照度衰減速比較快。

(二) 預估燈泡的壽命

1. 以燈泡新購時的初始照度為基準，設定照度衰減為初始照度的 50% 時為 LED 燈泡壽命，依據阿瑞尼斯模型，預估燈泡的壽命如下表 7-4。

表 7-4 高溫高濕(攝氏 85 度、濕度 85%)環境下的 LED 燈泡預測壽命

燈泡編號	P-12W-Y	P-12W-W	E-10W-Y	E-12W-W	E-12W-Y	E-10W-W	O-10W-Y	O-10W-W	O-12W-Y	O-12W-W	B-10W-Y
預估壽命 (小時)	3468	710	763	N/A	N/A	535	1464	755	1122	1971	1322

三、頻閃實驗

(一) 以相機拍攝觀察燈泡頻閃現象

1. 觀察 LED 燈泡、省電燈泡、LED 檯燈與白熾燈泡的頻閃現象，結果如下表 7-5。

表 7-5 各種燈泡的頻閃現象

LED 燈泡								
								
省電燈泡								
								
LED 檯燈								
								
白熾燈								
								

2. 由上表可由肉眼看出 LED 燈泡照片的亮度變化最明顯，其次是白熾燈泡，省電燈泡與 LED 檯燈則不易察覺。

(二) 以示波器觀察 LED 燈泡的電壓變化

1. 我們知道 LED 是直流電驅動，所以 LED 燈泡中的電路會將家用交流電轉成直流電，為了確認 LED 燈泡的頻閃現象，因此我們試著利用示波器來測量 LED 燈泡的工作電壓，來確認 LED 燈泡的頻閃現象是否因為 LED 的直流電壓不穩所引起。我們測量到 LED 燈泡內的直流電壓，示波器所量到的電壓波形如下圖 7-3。



圖 7-3 示波器上所呈現的 LED 燈泡工作電壓

- 由示波器測量電壓結果可知，LED 晶片所需的直流電壓並不穩定，約在 38.4V 和 46.8V 間變動，最大電壓可達 47.6V，變動周期約為 8.24ms（換算成頻率為 121Hz）。
- 推算電壓變動比例為 19.7%，難怪數位相機可以拍到明顯的頻閃現象。

（三）以自製光源頻閃計測量 LED 燈泡的頻閃情形

- Arduino 程式裡記錄每個燈泡 3 個週期中照度的最大值與最小值，結果如表 7-6。

表 7-6 自製頻閃計量測結果

燈泡	O-10W-Y	O-10W-W	B-8W-Y	M-10W-Y	M-10W-W	P-10W-Y	P-10W-W	P-12W-Y	P-12W-W
最大值	537	553	568	580	527	469	502	484	506
最小值	489	512	483	562	548	447	481	455	492
平均變動率(%)	9.36	7.7	16.18	3.15	3.91	4.8	4.27	6.18	2.81
燈泡	P-11W-Y	P-11W-W	G-10W-Y	G-10W-W	E-10W-Y	E-9.5W-Y	E-9.5W-W	省電燈泡	白熾燈泡
最大值	470	488	576	526	585	564	574		602
最小值	443	474	552	503	528	497	506		611
平均變動率(%)	5.91	2.91	4.26	4.47	10.24	12.63	12.59	<1	1.48

- 由表 7-6 可看出各個 LED 燈泡頻閃情況差異很大，平均變動率最低的僅有 2.91%，最高的則有 16.81%，白熾燈泡、省電燈泡頻閃情況則不明顯。
- 由表 7-6 可看出廠牌相同的 LED 燈泡照度變動率相近，與瓦數、色溫無關。

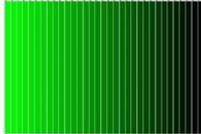
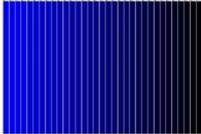
四、演色性實驗

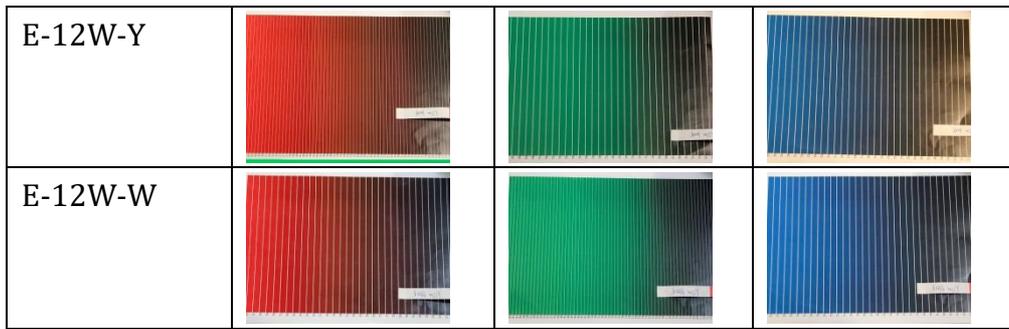
（一）利用不同光源拍攝色階圖

- 在理想光源上，假設色階圖、數位相機皆為理想狀態時，所攝得的色階圖應可正確辨識出 32 階不同的顏色。但受限於彩色印表機與數位相機的實際限制。並不能確保可完全辨識三種色彩的 32 階度。在本實驗中，我們利用理想光源-日光下的色階圖照片作為比較基準。

2. 在日光、不同 LED 燈泡光源下所得拍攝得到的色階圖照片，如下表 7-7。

表 7-7 不同光源下拍攝色階圖的照片

光源	紅色階圖	綠色階圖	藍色階圖
原始圖			
日光			
白熾燈			
Y-10W-Y			
O-10W-Y			
Y-10W-W			
O-12.5W-W			
P-10W-W			
P-10W-Y			
B-10W-Y			



(二) 用 Photoimpact 軟體檢視不同 LED 光源下的色階圖

1. 利用 Photoimpact 軟體開啟上表所列的色階圖照片，逐一檢視在不同 LED 光源下，三種色階圖中 32 階色條中的紅、綠、藍三種像素值，來評估不同 LED 光源對於紅、藍、綠三種色階圖的色彩表現。
2. 不同 LED 燈泡對紅色階圖的紅色表現、對綠色階圖的綠色表現以及對藍色階圖的藍色表現如下圖 7-3、圖 7-4、圖 7-5。

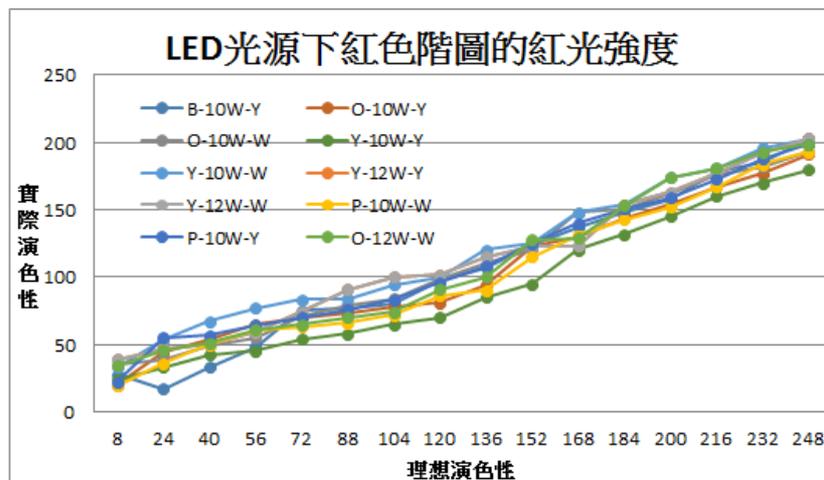


圖 7-3 LED 光源下紅色階圖的紅光強度

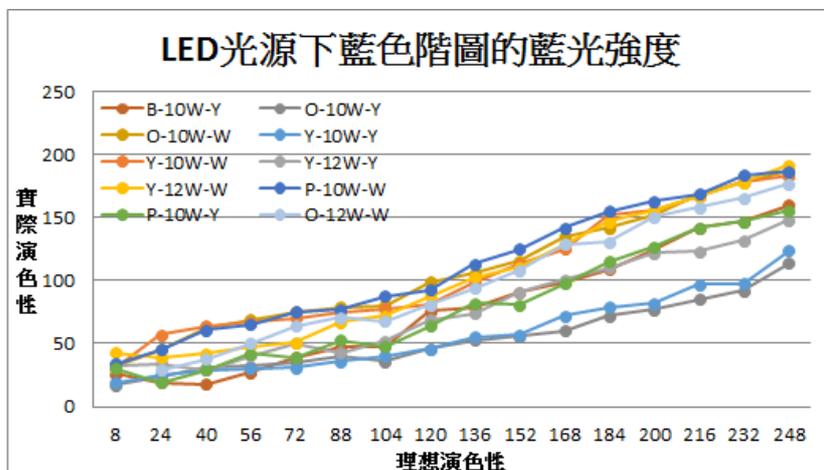


圖 7-4 LED 光源下綠色階圖的綠光強度

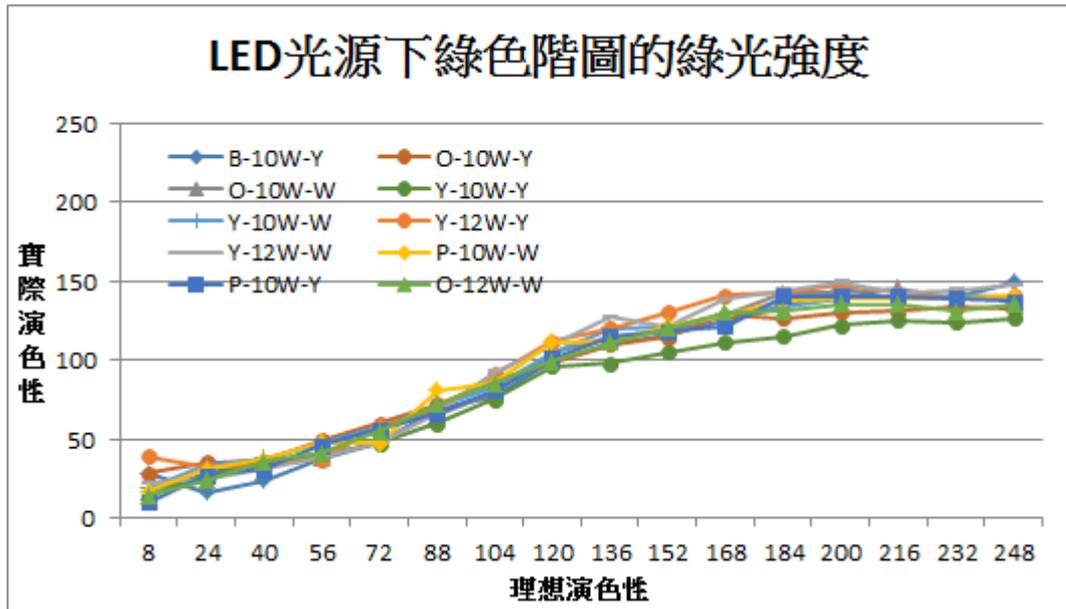


圖 7-5 LED 光源下藍色階圖的藍光強度

3. 圖 7-3 是紅色階照片中的紅色強度，明顯可以看出各 LED 燈泡對紅色的表現較佳。
4. 圖 7-4 是綠色階照片中的綠色強度，明顯可以看出各 LED 燈泡對綠色的表現較差。
5. 圖 7-5 是藍色階照片中的藍色強度，明顯可以看出各 LED 燈泡對藍色的表現是高色溫的較佳，低色溫的較差。

捌、討論

一、散熱實驗

- (一) 由散熱實驗中可發現平面塑膠外裝的 LED 燈泡因為缺乏良好的導熱與散熱結構，因而散熱效果最差；附有鱗片與內含金屬片的 LED 燈泡有相當的散熱效果；附有鱗片但無孔洞的 LED 燈泡則對於散熱效果影響較少。因此 LED 燈泡如能結合散熱鱗片與金屬導熱片，將能同時加強導熱與散熱效果，成為最佳散熱的結構。
- (二) 市售 LED 燈泡主要是依靠散熱片與空氣對流達到散熱的目的，部分 LED 燈泡甚至利用孔隙來加強對流，讓燈泡散熱效果更佳。
- (三) 由實驗中可以知道，在濕度或溫度偏高的居家環境中，如浴室、廚房等將造成燈泡容易損壞。

二、老化實驗

- (一) 在老化實驗中發現在 72 小時的實驗後，多數燈泡已出現 3% 以上的光衰現象，甚至達到 16% 的照度減弱，因此高溫環境的確會減少 LED 燈泡的壽命。因此，選用低工作溫度、導熱性高的 LED 燈泡應有較佳的耐用性。

三、頻閃實驗

- (一) 由實驗中拍攝各種燈源的相片中發現 LED 檯燈光源有良好的穩定性；而 LED 燈泡或許受限於電路成本考量，電壓整流效率欠佳，以至於影響 LED 燈泡品質。
- (二) 由實驗照片來看，LED 燈泡確實出現亮度不穩定的現象，透過示波器測量 LED 晶片的直流工作電壓，的確發現有約 17% 的電壓變動，變動頻率約在 121Hz，這樣的頻閃對於人眼在閱讀時恐有不利影響。
- (三) 在自製頻閃計實驗中，以自製頻閃計進行頻閃實驗時，務必將測量口貼緊燈泡，以免外界光源影響實驗。
- (四) 在自製頻閃計實驗中，取照度最大值與照度最小值時，不取最後一個週期的讀值，因為此數據可能在停止測量時受到影響。

(五) 由示波器實驗可以確認 LED 燈泡的頻閃頻率約為 121Hz，即每秒 121 個週期，因此在自製頻閃計實驗中，我們測量 LED 燈泡照度變化 1 秒便可獲得足夠的實驗數據。

四、演色性實驗

(一) 傳統演色性的量測需透過精密儀器的量測，而我們以日光作為標準，利用自製色階圖來比較不同光源與日光的差異，作為判斷演色性優劣的依據。

(二) 實驗中發現不同 LED 燈泡的演色性在紅色物體與綠色物體表現上差異不大、但在藍色物體的表現上則有明顯不同。

(三) 多數 LED 燈泡在紅色物體的演色性最佳，在綠色表現最差。

玖、結論

- 一、 LED 燈泡如能結合散熱鰭片與金屬導熱片，將能同時加強導熱與散熱效果，成為最佳散熱的結構。附有鰭片但無孔洞的 LED 燈泡則對於散熱效果影響較少。
- 二、 在居家環境中，濕度過高如浴室、廚房等將造成燈泡容易損壞，此時應該選用低工作溫度、導熱性高的 LED 燈泡應有較佳的耐用性。
- 三、 LED 燈泡確實出現頻閃現象，透過我們研發的工具我們可以在購買 LED 燈泡時，利用頻閃計來判斷燈泡的頻閃現象。
- 四、 根據實驗結果，我們設計三組燈號來表示 LED 燈泡照度變動率的優劣，我們將變動率分為三個範圍：
 1. 變動率小於 3%，代表此燈泡照度穩定性良好，亮藍燈。
 2. 變動率介於 3%-8%，代表此燈泡照度穩定性尚可，亮黃燈。
 3. 變動率大於 8%，代表此燈泡照度穩定性欠佳，亮紅燈。
- 五、 各個 LED 燈泡頻閃情況差異很大，選購時可使用我們自製的頻閃計進行測試。
- 六、 LED 燈泡的頻閃情況與廠牌較有關，與瓦數、色溫較無關聯。
- 七、 多數 LED 燈泡在紅色物體的演色性最佳，在綠色表現最差。

拾、參考資料

- 一、朱慕道，(2012)，**LED 創新技術之挑戰**，工研院電光所。
- 二、林川發，(2009)，**發光二極體的照明應用科學發展**，科學發展，435 期。
- 三、吳肇欣，(2012)，**LED:引領新世代的終極燈泡**，臺大電機科普系列。
- 四、許世杰，(2014)，**節能照明技術—淺談發光二極體**，科學月刊。
- 五、康智傑，(2013)，**點亮未來—LED 照明**，科學發展，483 期。
- 六、陳勇全、鄭名山，(2011)，**LED 照明技術發展趨勢**，能源報導。
- 七、楊立昌，(2011)，**LED 照明技術與應用**，聚積科技股份有限公司。
- 八、鍾寬仁，(2013)，**LED 照明市場商機**，新世紀光電。
- 九、(2012)，**LED 照明節能應用技術手冊**，經濟部能源局財團法人台灣綠色生產力基金會。
- 十、(2014)，聯合國環境規劃署，**ENERGY EFFICIENCY ACCELERATOR**。

【評語】 030818

1. 有解決問題的精神，表達概念流暢。
2. 符號表達最好一致，以利判讀。
3. 演色性座標最好標清楚。
4. 藉由簡單工具檢測，具創意性。