

第十四屆旺宏科學獎

創意說明書

參賽編號：SA14-507

作品名稱：高效率路燈藍光 LED 的再改造之應用

姓名：林秦聿

關鍵字：藍光 LED

壹、摘要

我爸是路燈承包商，家裡有各式的路燈。近年來，行政院逐漸將全國的路燈成 LED，又為了達到高亮度且省電的效果，多是採用 100 lm/W 以上的 A 級貨，這些高亮度的 LED 在出廠的時候，全部都被訂走做路燈，一般市面上買不到，零售的多是 40 lm/W 以下。但路燈只要有一小部分損害就要全部丟棄，真的很浪費。家裡常常有一堆像小山被換下來的良品等著運走丟掉，就很為它們難過。

本實驗嘗試著將路燈 LED 改造成植物生長燈，將路燈上的 Y.A.G. 螢光劑移除後，就是一個高效率的藍光 LED，再塗佈 LED 專用的紅色螢光粉，使之發出植物生長需要的紅藍光，研究搭配不同的濃度或厚度，可發出不同比例的紅藍光。將所有實驗成品送至大學做積分球測量，發現自製植物生長燈電費與白熾燈相比可省下 82%，與市售植物生長燈比較則省了 37%。雖然 LED 專用的螢光粉很貴，但其實每顆所需的量極小，再加上 LED 是回收來的，所以燈的成本很低，同時也省下可觀的電費。

五年前不太有人重視回收手機裡的貴金屬，隨著智慧型手機普及 現在卻可能是個大商機；同樣的，回收路燈再製成植物生長燈，隨著 LED 路燈全世界漸漸普及，回收再製高效率 LED，未來會是個無限商機。我利用手工製作或許成果有限，但希望這個創意能被大家看見。

貳、研究目的

(一)創意的原型，無限的商機

LED 路燈普及化，汰換率也隨之增加，我們希望這件作品的發想可以成為**環保研究**的新方向，帶來**無限商機**。

(二)再製 LED 燈泡為植物生長燈

將回收的 LED 再製成同樣為長時間照明的植物生長燈，並調配不同螢光劑，藉由光譜圖與積分球報告，找出較適合植物生長的濃度與厚度。

(三)節省成本

市售植物生長燈單位價格太高，且電費支出也不便宜，若是大面積種植成本將不容小覷。我們希望以回收路燈製成成本較低的植物生長燈，以節省成本。

參、設備&器材

一、設備

名稱	規格	數量
烙鐵	40W 320°C	1 組
鑽孔儀器		1 組
三用電表		1 台
光譜分析儀	USB650/OCEAN OPTICS	1 組
電子天平		1 台
螺旋測微計		1 台
微量吸管	0.1~1 升	1 根
積分球量測儀		1 台

二、材料

名稱	規格	數量	價格
LED 路燈	符合 CNS15233 規範	1 座	
環氧樹脂	1 公斤	1 罐	220 元
高轉換效率螢光粉	20 公克	1 罐	0.1g 60 元
螢光顏料	紅/粉紅	各 1 罐	210 元
環氧樹脂硬化劑	333 公克	1 罐	160 元

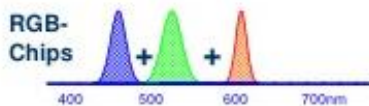
肆、研究過程及方法

一、名詞解釋

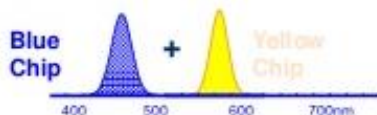
(一) 白光 LED

LED 是單色光源，只能發出藍、綠、黃、紅四種顏色，因此要以互補色原理才可產生白光，目前已知有 4 種方式可以使 LED 發出白光。

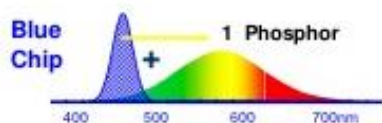
1. 三原色(藍/綠/紅)LED 混合成白光 (成本最高)



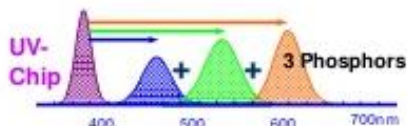
2. 藍光 LED+黃光螢光粉 (成本最低，最常見)



3. 藍光 LED+綠光及紅光螢光粉



4. 紫外線 LED+三原色(藍/綠/紅)螢光粉



(二)植物生長燈

一般葉菜類植物於室內種植時：日本的學者提出以紅、藍混光照明的種植方式是效果最佳

1. 原因

- (1) 幼苗期植物(約 3 週左右)因吸收光轉換的葉面積比較小，所以對於光的需求比較大，此時期使用藍紫光的效果最好。
- (2) 成長期時，採用紅藍混光照明的植物，葉子較大，植物整體生長均衡，相較其餘混光不論生長速度、翠綠度都好很多。

2. 光譜範圍對植物生理的影響

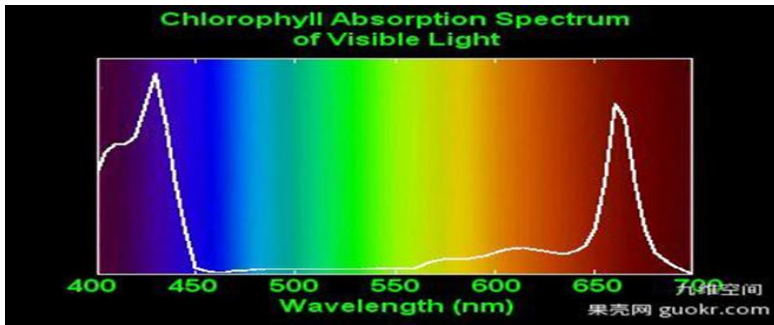
- (1) 280 ~ 315nm 此種波長已屬紫外線光線，對於各類動、植物甚至於菌類生長均有直接壓制性生長的功能，對形態與生理過程的影響極小。
- (2) 315 ~ 400nm 此種光波亦屬遠紫外線光雖無紫外線傷害植物，為對植物生長並無直接作用，葉綠素吸收少，影響光週期效應，阻止莖伸長。
- (3) 400 ~ 520nm 此類波長為藍光，可直接使植物根、莖部位發展於葉綠素與類胡蘿蔔素吸收比例最大，對光合作用影響最大。
- (4) 520 ~ 610nm 此光波為綠光，綠色性植物排斥性推擠，綠色素的吸收率不高。
- (5) 610 ~ 720nm 此光波為紅光，植物的葉綠素吸收率不高，光系統波長對於光合作用與植物生長速度有顯著影響。
- (6) 720 ~ 1000nm 此類波長泛屬紅外線波長，對於植物的吸收率可直接刺激細胞延長，會影響開花與種子發芽。
- (7) > 1000nm 已接近雷射光波長已轉換成為熱量。

3.植物對不同波長的吸收度

(1)植物對不同光譜的吸收也不同，吸收最多的是紅光(波長 625—690nm)，其次是藍紫光(380~440nm)

(2)綠光(510~570nm)及黃光(570~590 nm)會抑制葉綠體的活動，使光合作用速率下降。

(3)由下圖可知，植物對淺藍到綠黃的光都備反射掉了，因此這段的波長對植物的照明並無用途的，而植物對藍紫光和黃光的吸收較佳。



4.紅藍光比例：

一般植物生長燈的紅藍色譜比例在 5：1~10：1 之間為宜，通常可選 7：1~9：1，比例分配採燈珠亮度比為混光依據，而非燈珠數量為混光依據

5. 植物燈擺放位置：

植物生長燈一般置於距離植物葉片 30~50cm 左右的高度即可，避免安置過高，照射面積增大，光照太分散，強度減弱，導致成效不佳；或是安置過低，照射面積縮小，光照太集中，強度增大，植物反而會因此而曬死。

6. 植物燈照射時間：

每天連續照光 10 個小時即可代替陽光，且效果十分顯著，成長速度比一般自然生長之植物快了近乎 3 倍。解決冬季缺乏陽光的困擾，促進植物光合作用中所需要的葉綠素、花青素及胡蘿蔔素，使蔬果提早 20%時間採收，增加 3 至 5 成的產量。

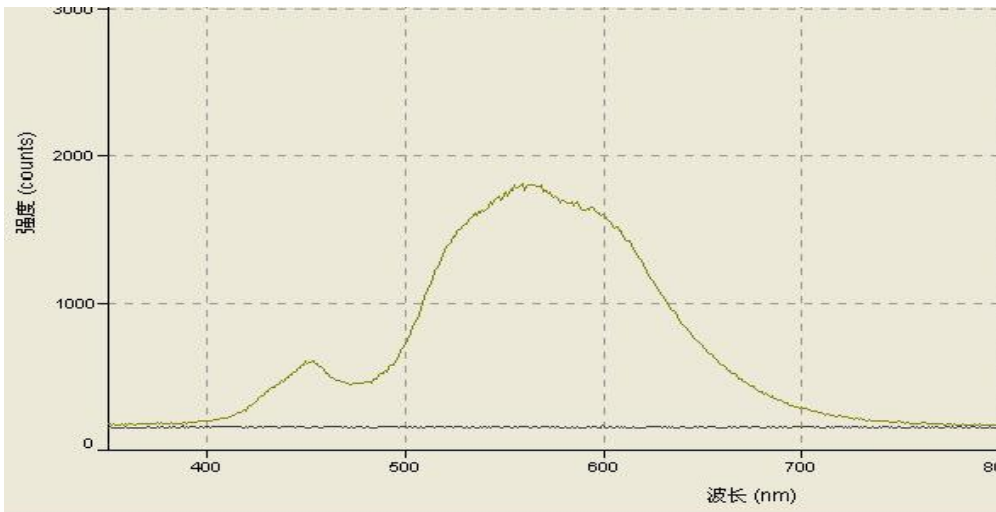
二、前置實驗與事前準備

(一)拆解 LED 燈

1. 檢測廢棄的 LED 燈板上的燈泡將路燈通電，並觀察其發光程度，找出未損壞之燈泡



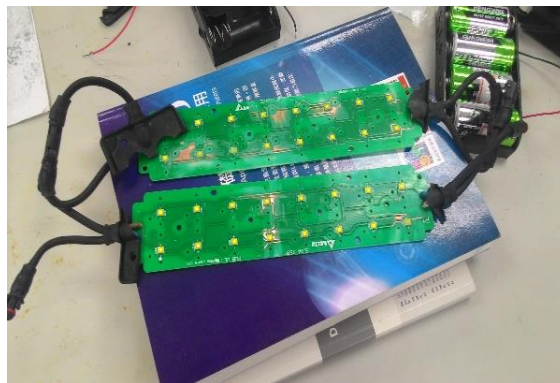
2. 測其光譜圖



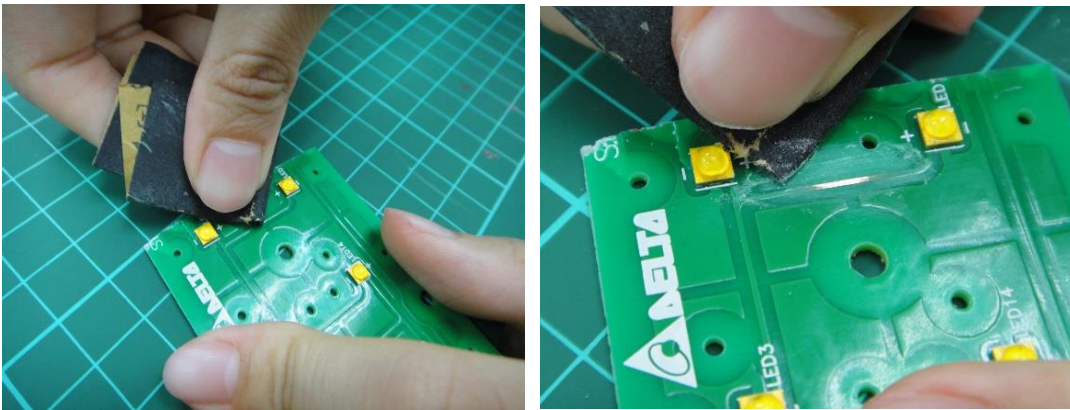
↑ LED 黃光路燈光譜圖，從此光譜可以得知黃光比例較藍光多

3. 拆解 LED 燈板，取出未損壞的燈泡

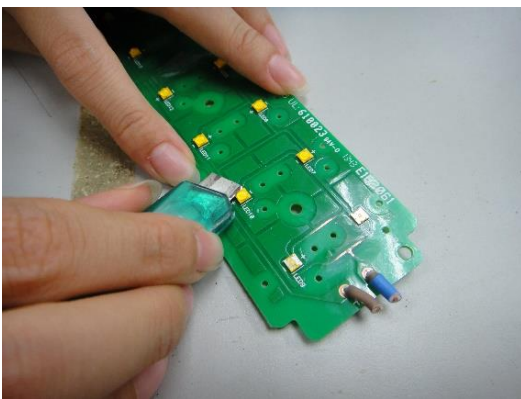
先以螺絲起子將固定燈座的螺絲旋出，剪斷與燈座相連的電線，將 LED 燈板上的陶瓷片拆下後，再將其燈蓋去除，完成後即為下列右圖



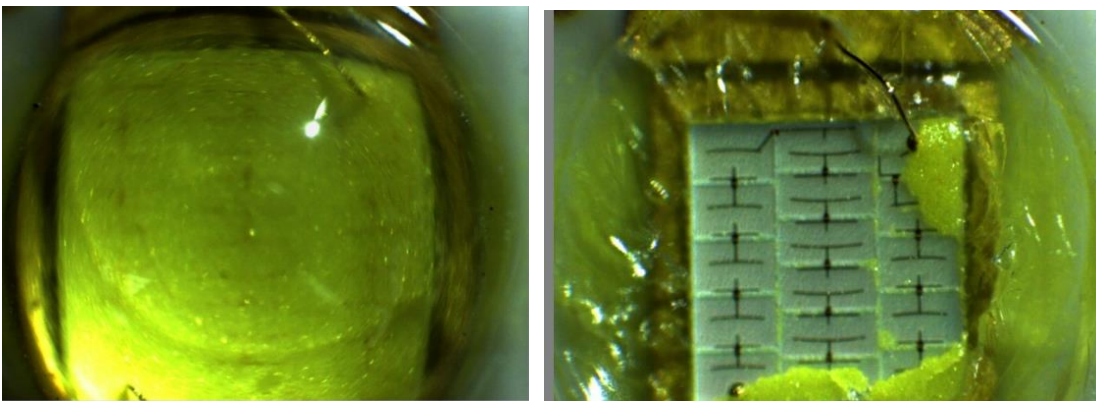
4.找出電路板上的正負極，以 6 個為一組，用砂紙磨掉上面的漆，使正負極露出



5.將 LED 上的螢光膜以美工刀剔除

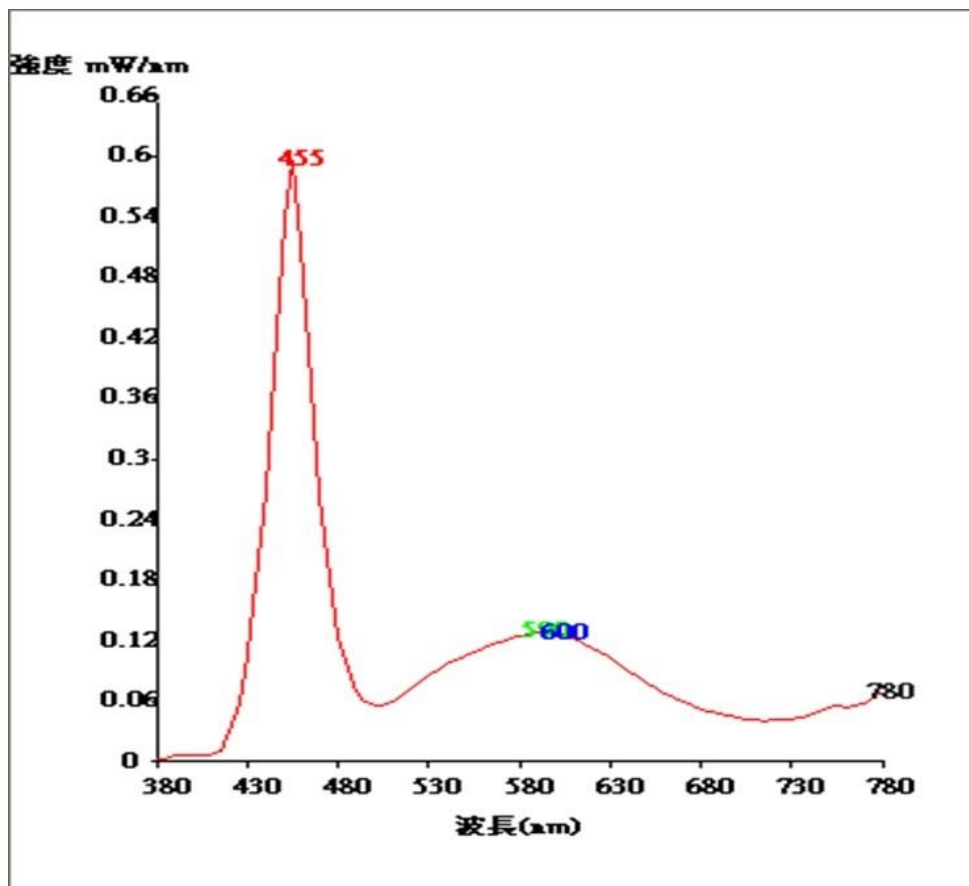
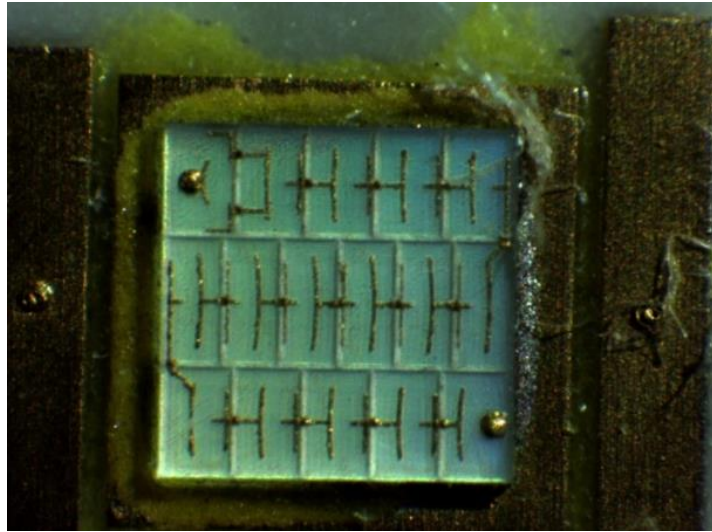


此為我們必須拆除的螢光膜



我們用顯微鏡照射，發現在剝除螢光膜後，發現用美工刀剝除螢光膜並無法將其剝除乾淨
還會殘留膠質和螢光粉。

所以我們用丙酮將螢光膜去除，從顯微鏡下可清楚看見去除螢光膜後的晶片(晶片大小為 $600\mu\text{m}\times 600\mu\text{m}$)

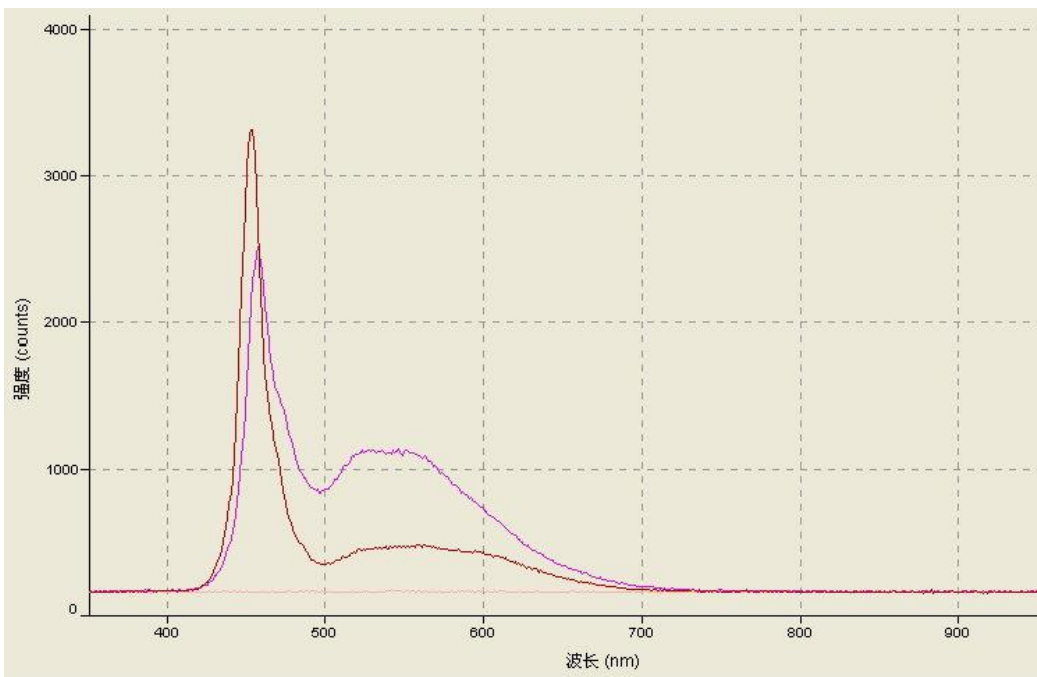
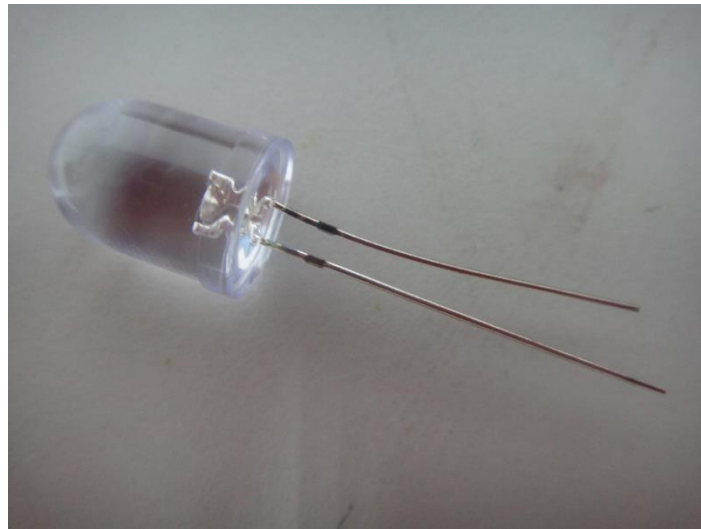


↑剝除黃色螢光膜後 LED 積分球圖(跟第一次光譜圖比較，可知在剝除黃色螢光膜後，黃光的比例明顯降低，400nm~500nm 間的藍光比例明顯增加，此時 LED 燈呈藍紫色)

得知植物排斥的黃綠光峰值明顯降低，將其作為第一代植物生長燈所需的主要光源。

6.與市售 LED 燈做比較

市售白光 LED 燈(每瓦 40 流明以下)



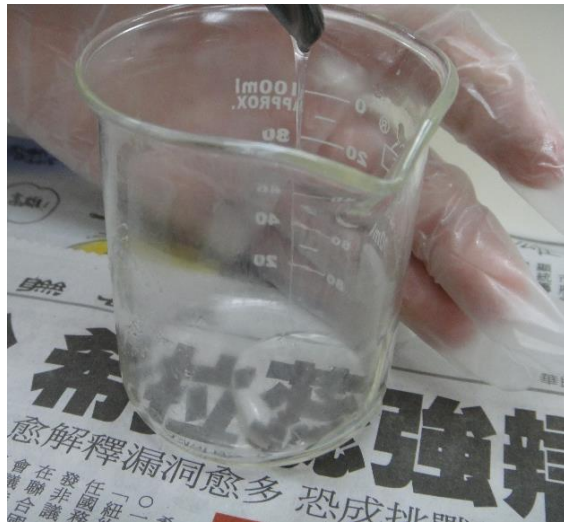
(粉紅色線:市售 LED 燈；紅色線:剝除螢光膜後的 LED 燈)

根據此光譜圖，我們可以知道，市售 LED 燈的藍光強度和亮度和我們的 LED 燈比起來有著明顯的落差，且我們的 LED 可再進行塗佈、封裝，而市售的 LED 卻無法進行加工。

(二)塗佈螢光顏料和高轉換效率螢光粉

以環氧樹脂加上不同顏色(大紅/桃紅)的螢光顏料和高轉換效率螢光粉，調配成可附著於LED燈上的濃稠液體，再將其滴至LED上，並以不同比例的螢光粉配置，測試不同的光強度及波長。

1. 將 3g 的環氧樹脂倒入燒杯中



2. 加入 0.5 克的大紅螢光顏料(桃紅/高轉換效率螢光粉)



大紅螢光顏料



桃紅螢光顏料



高轉換效率螢光粉



加入顏料

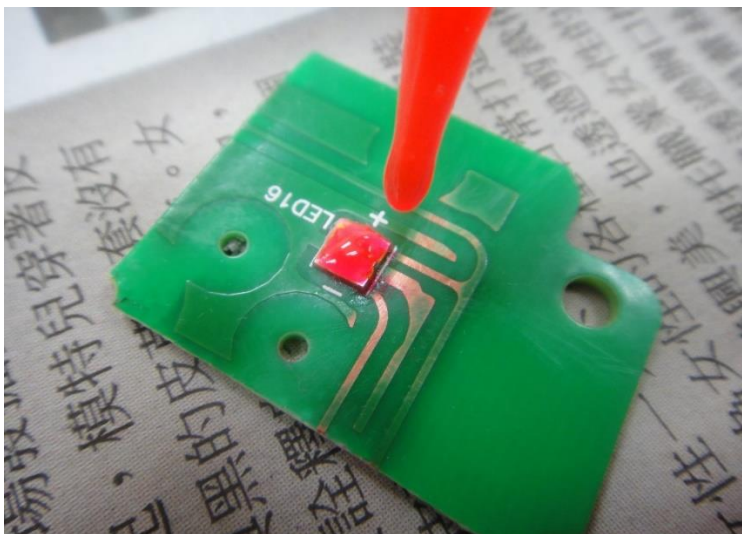
3. 以玻璃棒將其攪拌均勻



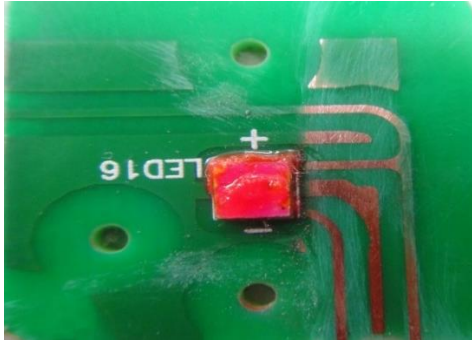
4. 再加入環氧樹脂硬化劑 1g 攪拌至稍微固化即可



5. 以微量吸管沾其膠，均勻輕點 LED 燈晶片表面

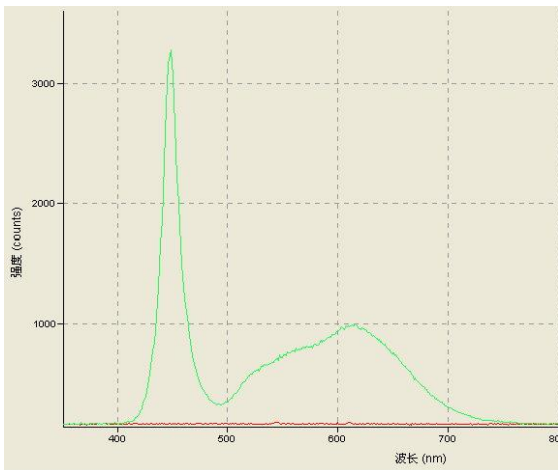


6. 完成



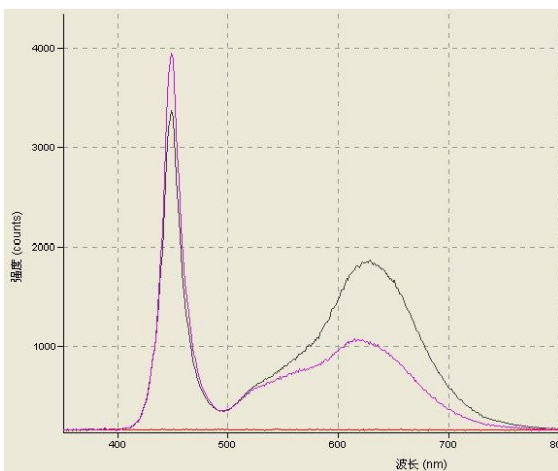
其餘不同重量百分濃度(4% 5% 7% 8% 9% 10% 11%)的螢光顏料和不同顏色(桃紅／高轉換效率螢光粉)的螢光顏料皆與上述步驟相同

滴上重量百分濃度 11%桃紅色螢光顏料的光譜圖:



仍不符合植物所需的紅藍光比

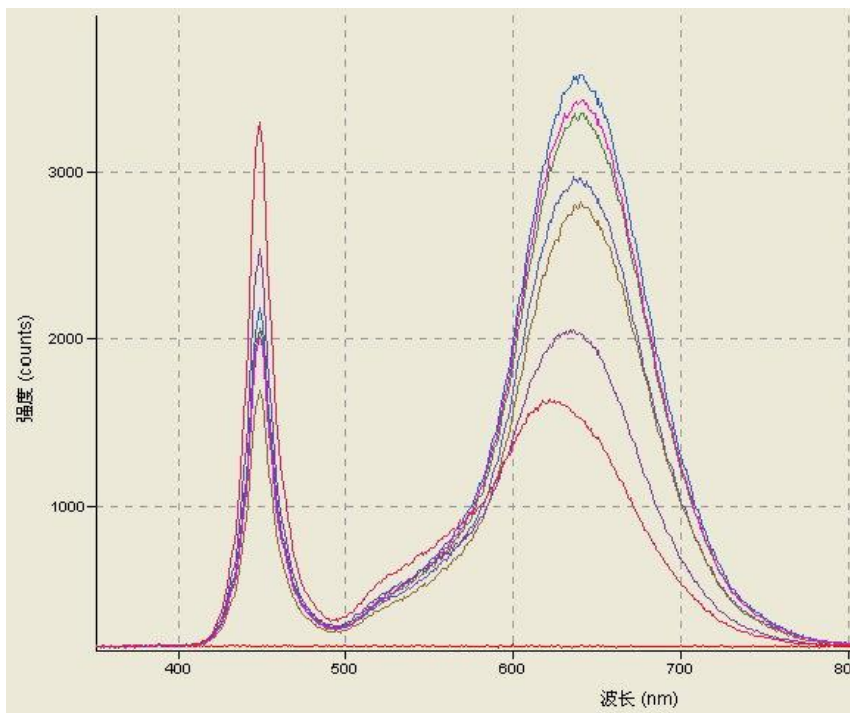
滴上不同重量百分濃度(10% 11%)大紅螢光顏料的光譜圖:



濃度 10%時，紅藍光比不符合

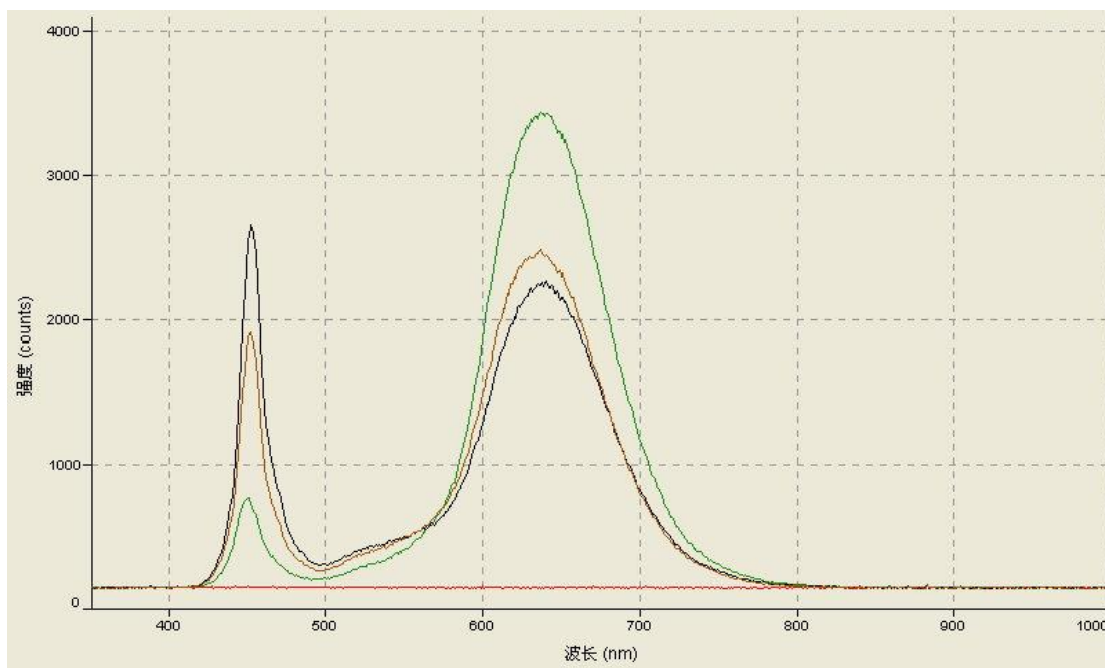
濃度 11%時，符合植物所需紅藍光比，以此做為第二代植物生長燈光源

滴上不同重量百分濃度(4% 5% 7% 8% 9% 10% 11%)的高轉換效率螢光粉光譜圖:

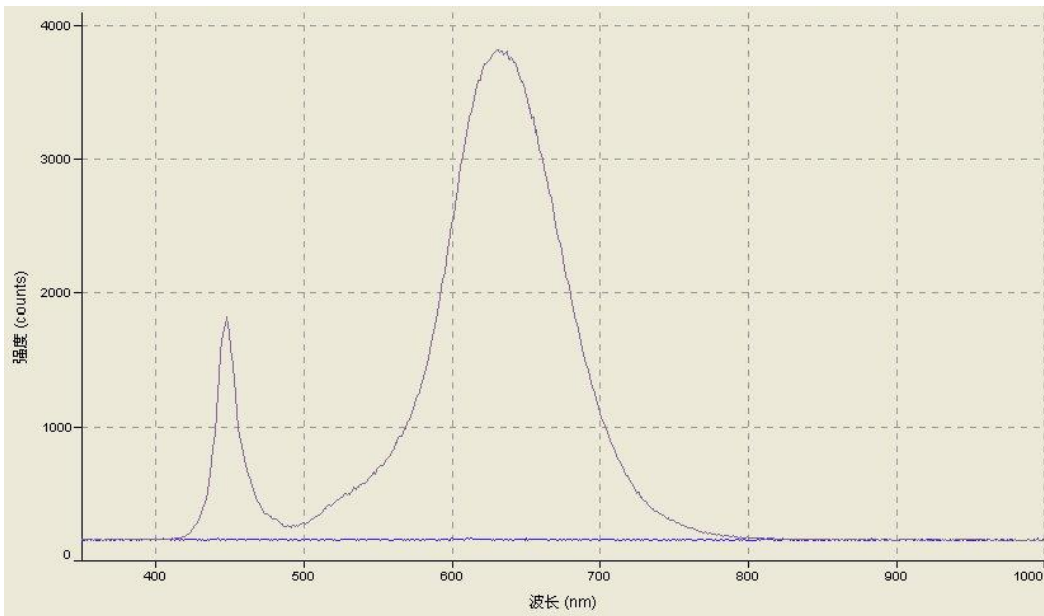


由此圖知，高轉換效率螢光粉的轉換效率更好，但是不同濃度的高轉換效率螢光粉所條配出的螢光劑，紅藍光比例差不多，所以我們選取 7%重量百分濃度再做厚度比較。

滴上 7%重量百分濃度，不同厚度(0.15mm 0.25mm 0.35mm)的高轉換效率螢光粉



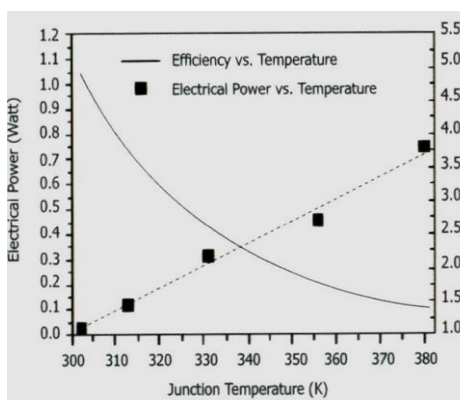
重量百分濃度 7%高轉換效率螢光粉溶液，以厚度 0.25mm 塗佈 LED 的光譜圖



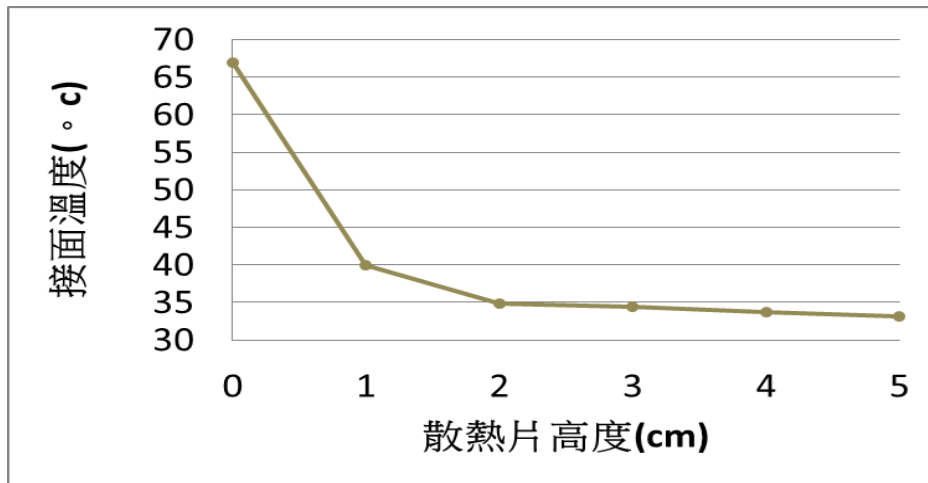
此曲線為重量百分濃度 7% 的高轉換效率螢光粉溶液激發 430nm 藍光 LED 所產生之光譜，由圖可知紅光與藍光比例約為 9:1 且此種螢光粉的轉換效率明顯比第二代植物生長燈所使用的螢光顏料好很多，因此用此方法製造第三代植物生長燈。

(三)散熱片製作

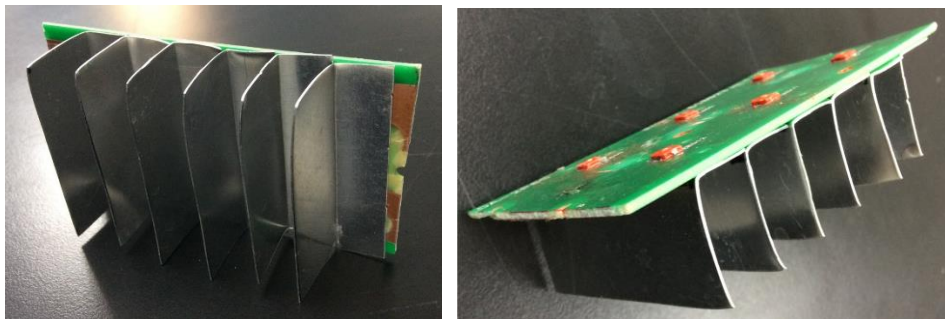
LED 晶片面積小於 1mm^2 ，因此高效率 LED 單位面積發熱量很高，統計數據顯示:LED 元件溫度每上升 2°C ，元件可靠度下降 10%。LED 約有 90% 的熱由晶片背面以熱傳導方式傳出，高電流強度作用時，LED 晶片接面溫度大幅升高，因此拆解路燈鋁製散熱板，再製成散熱鰭片，以增加散熱面積。



由圖可知:
LED 接面溫度上升 10°C ，發光效率下降 2.5% 電功率與接面溫度成正相關



散熱片高度超過 2cm，接面溫度曲線趨於平緩，因此自製散熱片高度為 2cm

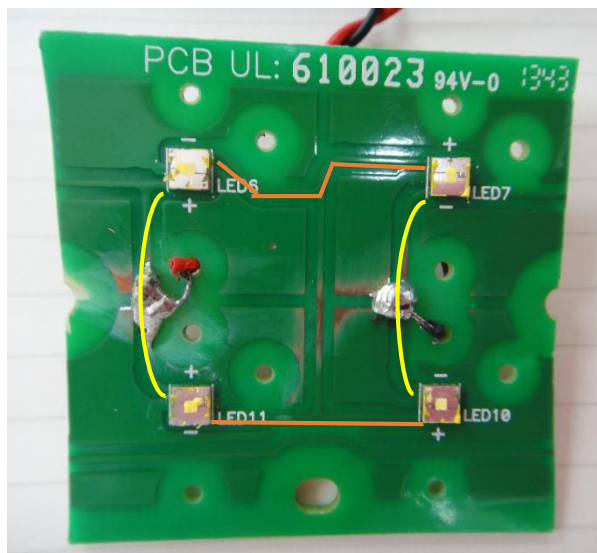


散熱鰭片(高度 2cm)高度小於 2cm

六、作品建置

(一) 第一代：以長:38cm 寬:27cm 高:13.5cm 的盆栽為基底，以 30cm 的竹竿支撐四顆藍光 LED

1.先確認 4 顆燈泡的串並聯情形，再於正負極上焊上電線



(紅:串聯；黃:並聯)

2.將 4 顆 L E D 燈上黏在竹竿高約 25 公分上並使其發光。

3.將黏好 L E D 的竹竿插在盆栽中，以此照射幼苗。

(二) 第二代：以長:38cm 寬:27cm 高:13.5cm 的盆栽為基底，壓克力板製成堅固的支撐器，其上夾著 6 顆塗有紅色螢光顏料的藍光 L E D 燈，將其貼附在盆栽旁。

1. 用壓克力板作為平面，在其上鑽洞並加上鐵桿，做成一個支架。

2. 將 2 倍的紅色螢光顏料所塗抹之 6 顆 L E D 燈並黏在壓克力板上，使其發光。

3. 將植物生長燈架在盆栽旁，並以此照射幼苗。

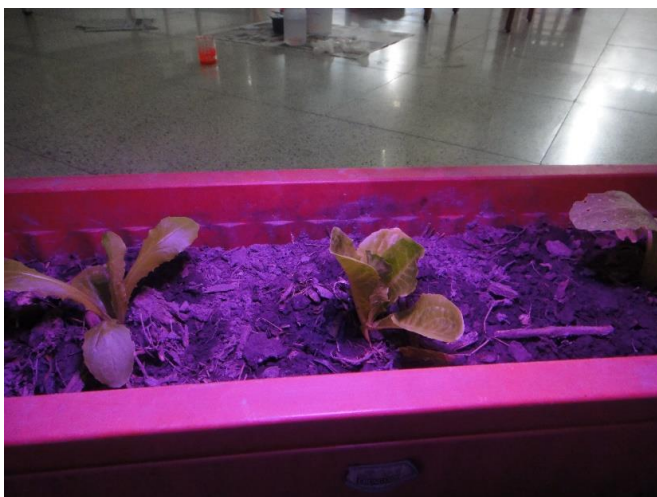


(三) 第三代：以長:38cm 寬:27cm 高:13.5cm 的盆栽為基底，在自製支架上卡著 6 顆塗有高轉換效率螢光粉的 L E D 燈，完成後把架子罩在盆栽上。

1. 用壓克力板作為平面，在其上鑽洞並加上鐵桿，做成一個支架。

2. 將 6 顆 L E D 燈黏在壓克力板上，使其發光。

3. 將植物生長燈架在盆栽上，並以此照射幼苗。



伍、研究結果

- 一、 我們成功以塗佈紅色螢光粉之藍光 LED、壓克力支架、鋁片散熱板及盆栽，自製一個高照度的植物生長燈，可以有效達到散熱效果且可直接發出溫和的混合光，讓植物在照射下正常成長；也大大降低了製造成本。
- 二、 我們找出最適合製作植物生長燈的膠比例封裝膠為 3:1，高透度環氧樹脂為 3 公克；高透度環氧樹脂硬化劑為 1 公克，高轉換效率螢光粉為 0.3 公克，依此比例做出來的植物生長燈紅藍光比例恰符合植物需要，從而算出 1 顆 LED 只需要 0.0013g 的高透度環氧樹脂、0.0004g 的高透度環氧樹脂硬化劑、0.0001g 的高轉換效率螢光粉，故知塗佈 1 顆 LED 成本約為 0.06 元。

陸、討論

一、探討自製植物生長燈第一代到第三代，各代之間的發展過程及優缺點

（一）第一代：

1. 僅使用藍光照射植物，雖然植物順利發芽，但缺少紅光照射，光系統的反應中心色素未吸收到紅光波長，而不能有效產生光反應。
2. 裝置的 L E D 燈角度受限，無法照到每株作物，導致發芽速率不均，且部分區域光太強，曬死植物，雖然每日手動調整可改善此問題，但卻不符合最初研究時所講求的便利性。

（二）第二代：

1. 以 0.5 公克紅色螢光顏料調配，恰達到藍光比紅光為 1 : 4，符合已知資料顯示之比例範圍。
2. 螢光顏料的轉換效率差，易產生遮光性，使高效率 LED 無法發揮最大效能。

（三）第三代：

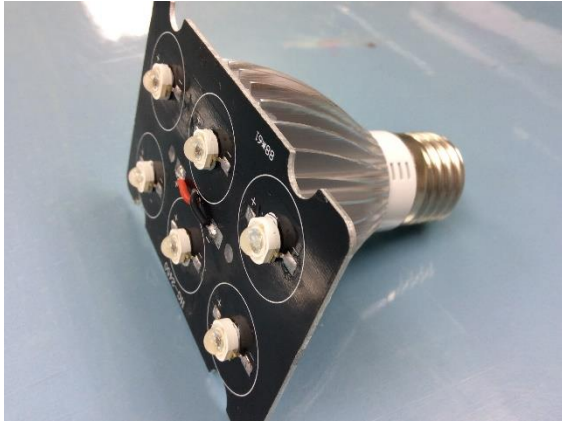
1. 第三代 LED 為最符合標準之植物生長燈，我們決定以此來當作室內種植所需的主要光源。
2. 螢光粉的轉換效率最好，由藍光轉換成的紅光範圍 610~720nm，符合各種植物所需的紅光波長。
3. 與市售植物生長燈相比，我們所自製的植物生長燈更加便宜。

二、探討如何支撐燈泡

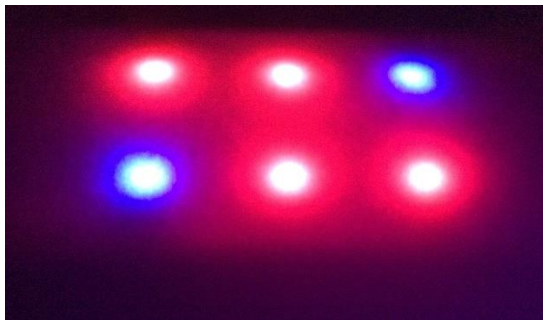
由於我們要把 L E D 燈泡裝在距離盆栽一定的高度，如何架設是個問題，討論過後，我們決定以堅固的壓克力板及四根鐵桿製作成燈架，再裝在盆栽上，距離盆栽 30 公分左右，此距離恰好不會因為燈光太強而曬死植物，也不會因為距離太遠而光源耗損，使植物缺乏照明。

三、 自製植物生長燈與市售植物生長燈的比較討論

↓市售植物生長燈



(一) 市售植物生長燈因為色光非均勻混合，所以需要將燈放在較高處，才能使紅光與藍光可較均勻的照在每株植物，但自製的植物生長燈因為混合光可以低照，所以減少了光的耗損量，也有利於這每個小空間都得加以運用的環境。



紅藍分光

(二)由於市售植物生長燈的紅藍光為分開的燈泡，不像我們自製的為紅藍混光，依據照射角度的不同，每株植物接收到的光紅藍比例不均勻，可能影響植物開花與種子發芽。



↑ 市售植物生長燈照射出來紅藍光不均勻



↑由此圖可知，植物接收到的光紅藍比例不均勻，某些部分藍光比例較高，可能影響植物生長



↑自製植物生長燈為紅藍混光，不會有照射不均的問題

柒、結論

- 1.發光效率 103 流明/瓦的白光 LED 路燈移除 Y.A.G 後，再製成同為長時間照明植物生長燈。
- 2.以重量百分比濃度約為 7%的溶液，厚度 0.25mm 塗佈在高效率藍光 LED 上，成本約為 0.06 元，與市售單顆紅光 LED+藍光 LED 的 14 元，相差甚大。
- 3.自製植物生長燈電費與白熾燈相比可省下 82%，與市售植物生長燈比較則省 37%。
- 4.自製植物生長燈為均勻紅藍混光，呈洋紅色，可均勻照射植物。
- 5.不同 LED 最佳工作電流不盡相同，但我們只使用單一顆 LED，不像市售植物生長燈為兩種燈泡，配電成本較高。
- 6.可調各種植物所需的紅藍光比例，不同於市售植物生長燈須受紅藍光 LED 燈數量限定。
- 7.自製散熱鰭片高度為 2cm，可增加散熱面積，有效降溫約 48%
- 8.將高效率的路燈 LED 回收再製，省下了不少的材料成本，這是個創意的原想，網路或書上皆未查到類似的做法。我們都知道，使用 LED 長時間照明，可以很省電；但經我們的研究得知，還可以再更省，且是省了可觀的電費。過去 LED 路燈未普及化，數量不多且不易取得，但隨著未來使用數量增加，這將是個環保、又兼具商機的研究主題。

捌、參考文獻

- 1.<http://info.ledp.hc360.com/2013/08/160914104046.shtml>
- 2.<http://www.ledinside.com.tw/>
- 3.維基百科 <http://zh.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:%E9%A6%96%E9%A1%B5>