

2021 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 200002

參展科別 環境工程

作品名稱 路燈不要變壓器好不好

就讀學校 高雄市立高雄女子高級中學

指導教師 林孝正、吳思達

作者姓名 劉湛湛、李宜家、黃韻筑

關鍵詞 LED、變壓器

作者簡介



我們是高雄女中的劉湛湛、李宜家、黃韵筑。高三的我們對科學充滿嚮往，因此決定著手研究改造 LED 的方法。

感謝基隆海洋大學林泰源教授以及台灣大學陳永芳教授提供我們研究的材料及資訊，讓我們有更多的機會做研究。也特別謝謝我們的指導老師，林孝正老師，一路上給我們指導和協助，因為有他們我們才能在科學的舞台上發光發熱。

壹、摘要

路燈若變壓器損壞，會連同高效率 LED 晶片被丟棄，就像勞斯萊斯的引擎壞了就整台廢棄。本作品思考如何回收 LED 良品，改造成「不需要」變壓器也能發揮高功率路燈 LED 的強光照明並長時間使用。

用 a-IGZO 取代電阻器，從已發表的論文知 a-IGZO 經紫外線或藍光激活後，有超過一天以上的持久性光電流，可讓 LED 有更好的發光效率，路燈 LED 發藍光，且適合放在玄關入口照得到紫外光激活可持續到晚上。LED 需要直流偏壓 3.7V 下工作，用 110V 交流電除了電壓相差太大，也有閃爍問題。我們巧妙利用路燈 LED 是集成晶片，經設計可在交流電變換極性時都有 LED 亮著，再用擴散片(從液晶螢幕拆下)將光弄勻，讓燈看起來是恆亮，材料成本僅需一元(電阻器)。回收再製後，可用在大門入口或走廊下長時間照明，環保愛地球省電省錢。利用 Arduino 設計監測模組並用 wifi 傳回數據，可長時間觀測，證明可行。

Abstract

When the transformer of a street lamp is out of order beyond fixing, it will usually be discarded together with its high-efficiency LED chip, in the same way we dispose of the whole Rolls-Royce engine when it is broken. This test model aims to explore an alternative way to recycle the remaining working LED units by transforming them into high-power, high-efficiency and durable street lights without transformers.

LED units need to work under a DC bias of 3.7V. This not only eliminates the voltage difference when using 110V AC, flickering can also be avoided. With a material cost of only \$1 (cost of resistor), we skillfully make use of the street lamp LED which is an integrated chip designed to emit light when AC polarity is switched, and then use a light diffuser (dismounted from a LCD display screen) to even out the light, so that it appears to be continually illuminated. After the recycling process, these lamps can be placed at gate entrances or corridor as all-day lighting, which is environmentally friendly by saving both electricity and money.

Replace resistors with a-IGZO. From published papers, we know that a-IGZO has a permanent photocurrent that will last more than 24 hours after being activated by ultraviolet or blue light, which can enhance the illuminating efficiency of the LED. Street lamp LEDs emit blue light, and are suitable to be placed at the entrance of hallway to be activated by ultraviolet light that will last until night-time. We utilized Arduino monitoring module and retrieve data via Wi-Fi transmission, which facilitates long-termed observation in order to verify that the feasibility of recycling and transformation process.

貳、研究動機

美中對立，背後可能會夾帶著電子廢棄物處理的問題，過去美國的作法就是把廢棄 LED 運至中國或其它國家。另外，現在兩國就有稀土大戰，而 LED 製作必需要稀土元素。未來若美國重視環保的政黨執政，且隨著美中持續對立和各國環保意識抬頭，因此路燈回收再利用可能會是個很有價值的 issue。

參、研究目的

- 一、**改造路燈**：將原本直流電下使用的 LED，改造成可以在 110V 交流電下使用
- 二、**找出最合適的負載電阻 R**：將實驗一電路圖中的 X，更換不同的負載電阻 R
- 三、**Arduino 設計監測模組**：Arduino 設計監測模組並用 wifi 傳回數據。
- 四、**以 a-IGZO 或光敏電阻取代電阻器**：將電阻器改成 a-IGZO 或光敏電阻，測試 LED 的發光表現
- 五、**a-IGZO 和電阻器 R 比較**：將實驗一電路圖中的 X，改成 a-IGZO，和原本電阻器 R 比較。
- 六、**載子 lifetime 長短對 LED 效率的影響**：檢測出電子電洞的 lifetime 後，為了確定 lifetime 和 LED 效率的關係，我們將 a-IGZO 和 LED 串連，並測量電壓電流，算出效率後，即可確定兩者之間關係。
- 七、**a-IGZO 面積對光電流的影響**：a-IGZO 是接受光能後，電子得到能量，從價帶至傳導帶，故我們猜想是否會因不同的 a-IGZO 面積增加，受光面積增大，而產生更大的光電流，又或者電極兩極距離增加，影響卻不大。
- 八、**光敏電阻和 a-IGZO 的載子 lifetime 之研究**：a-IGZO 差異大，為了快速檢測出適合本實驗的 a-IGZO，因此我們利用遷移率，算出電子電洞的 lifetime，再實際使用 pasco 測量數值是否吻合，未來僅需利用三用電表測量光電流，就可以找到符合要求的 a-IGZO
- 九、**更換不同的 a-IGZO 作比較**：將 a-IGZO 應用在電路中，並與電阻器做比較，觀察實驗結果是否有差異
- 十、**a-IGZO 受紫外線激活後的表現**：研究是否受過紫外線激活下的 a-IGZO 的電壓表現

肆、研究設備及器材



廢棄路燈



電阻



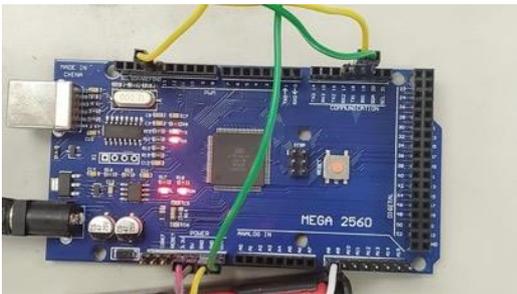
Pasco 電壓電流
感測器



示波器



三用電錶



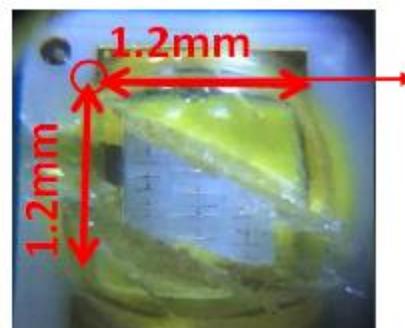
Arduino 板

伍、研究過程或方法

【實驗一】改造路燈的方法：

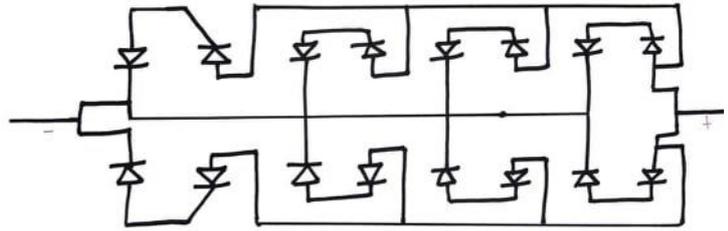
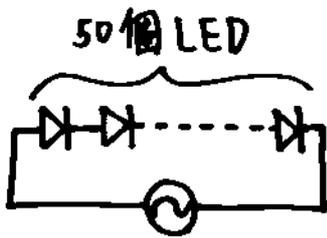
實驗目的：將原本直流電下使用的 LED，改造成可以在 110V 交流電下使用。

一、完整的路燈燈具，有 64 顆 LEDs。



一顆燈泡內部串聯 16 顆 LED。

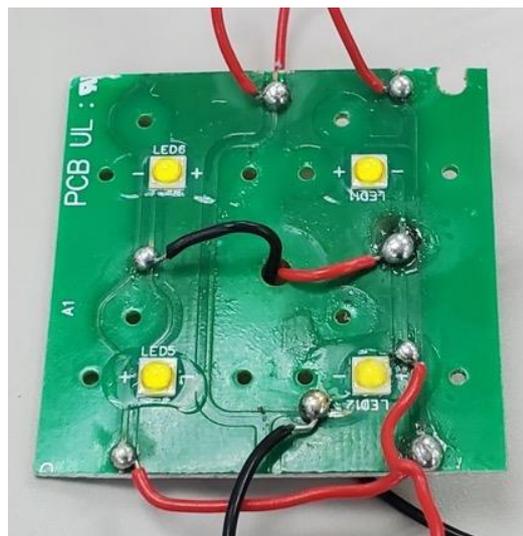
單顆 LED 的導通電壓只有 2~5V，但因為我們選用的集成 LED 有 16 顆 LED 串聯，因此導通電壓為 45V，非常適合應用於本實驗。



(一)若不連接變壓器，而是以交流電作為電源，則必須克服交流電電壓過高之困難，因此以串連 50 個單顆市售 LED 解決電壓高達 110 之狀況。但串聯 50 顆 LED 之方法不僅在焊接費工耗時且只要其一損壞其餘皆無法正常運作。然而，在研究各種高效能 LED 之後，發現高效能照明型路燈似乎能解決此一問題。

(二)由於高效能照明型 LED 路燈相較於市售 LED 路燈有較高的導通電壓，因此嘗試以此類路燈作為材料，並藉焊接電阻改造電路之方式，使燈泡能直接連接交流電作為電源，同時解決的了電壓過大及昂貴又耗電的變壓器問題。

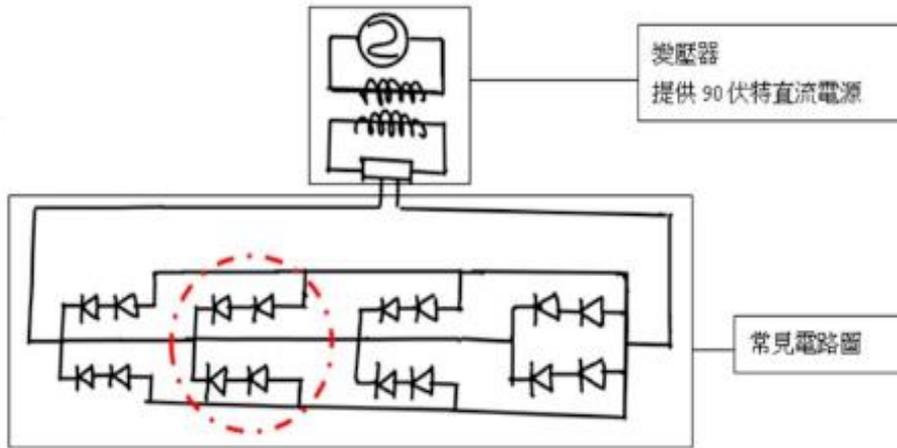
二、取其中四顆即可。



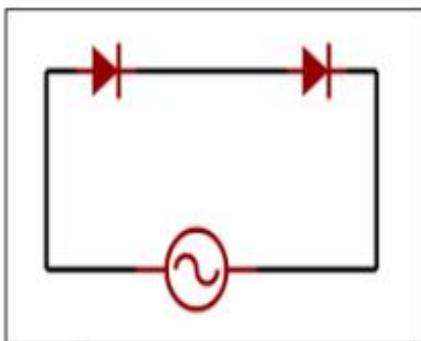
三、

1. 110V

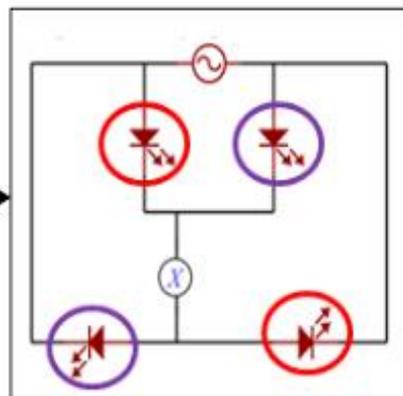
舊型路燈原圖



設計線路



原設計電路：
直接將兩顆燈泡串聯，發現因導通電壓 90(V)，而家用交流電 110(V)，所以馬上燒毀



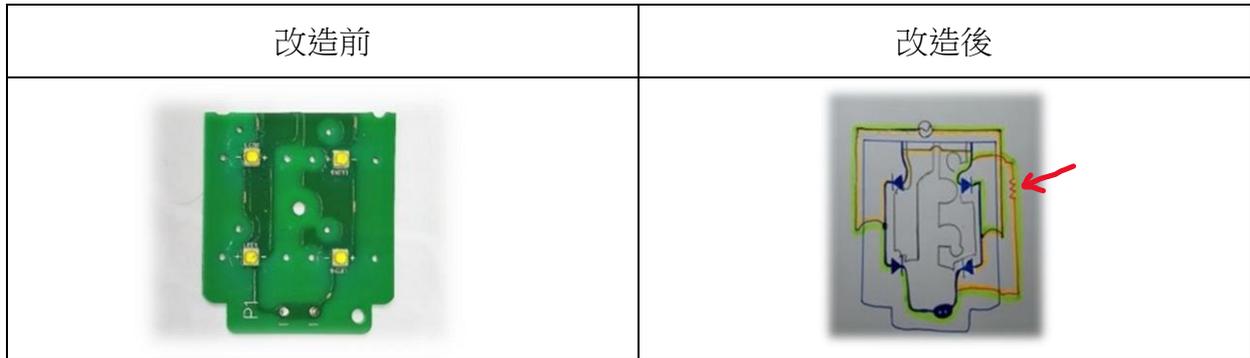
重新設計線路：
以上圖電路改接，中間以電阻處理多於的電壓，並解決了 LED 單向導通的問題，兩組燈泡光源互補，高功率 LED 照明效果良好(實驗)，且因沒有變壓器消耗功率，也相對省電。

【實驗二】找出最合適的負載電阻 R

實驗目的：將實驗一電路圖中的 \otimes ，更換不同的負載電阻 R

一、自製焊接電阻之電路板

不改變 LED 燈炮間原先的連接方式，僅焊接一個電阻(紅色箭頭標示)，使其成為能夠以交流電作為電源的二極體 PCB



二、實驗操作流程

(一)測量 LED 光性：

1. 照度(Illuminance)：每單位面積所接收到的光通量(單位：LUX)

將分別焊接電阻值為 2000Ω 、 1000Ω 、 500Ω 、 250Ω 的二極體 PCB 及光譜儀分別置於距離固定之不透光紙筒兩端，以交流電作為 PCB 輸入電源，在 LED 穩定發光時，以光譜儀接收。讀取光譜儀量測結果後，記錄光性各項數值。

(二)測量 LED 及電阻之電性：

1. 電壓：

將焊接電阻值 R 為 2000Ω 、 1000Ω 、 500Ω 、 250Ω 的二極體 PCB 和電路並聯，以交流電作為 PCB 輸入電源，在 LED 穩定發光時，以示波器接收。讀取其波型圖並記錄數值。

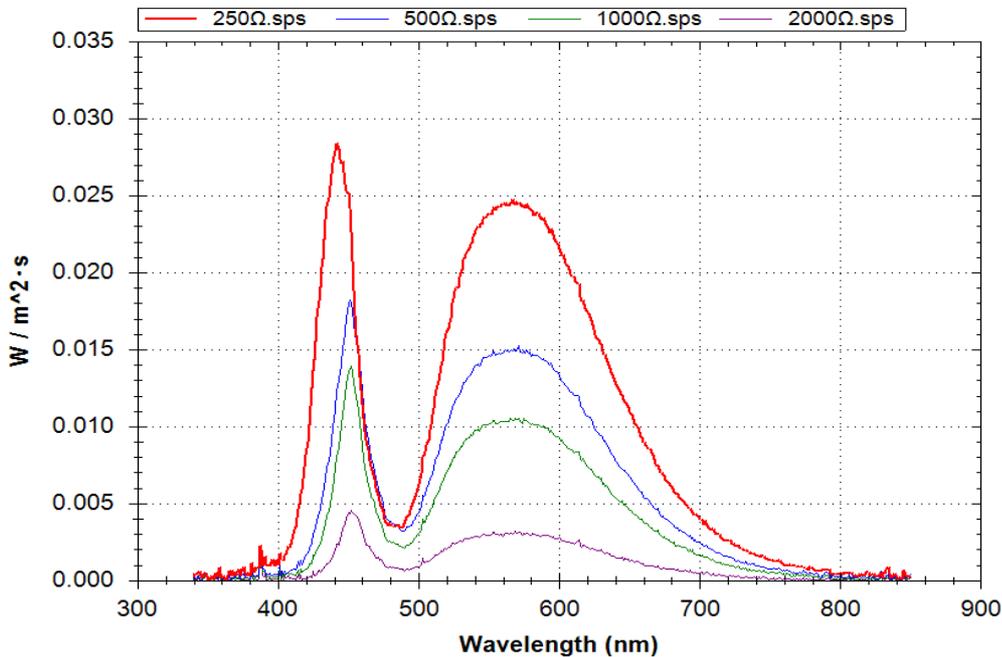
2. 電流：

將焊接電阻值 R 為 2000Ω 、 1000Ω 、 500Ω 、 250Ω 的二極體 PCB 和電路串聯，以交流電作為 PCB 輸入電源，在 LED 穩定發光時，利用 Pasco 電壓電流感測器量測電流。連接電腦讀取其波型圖並記錄數值。

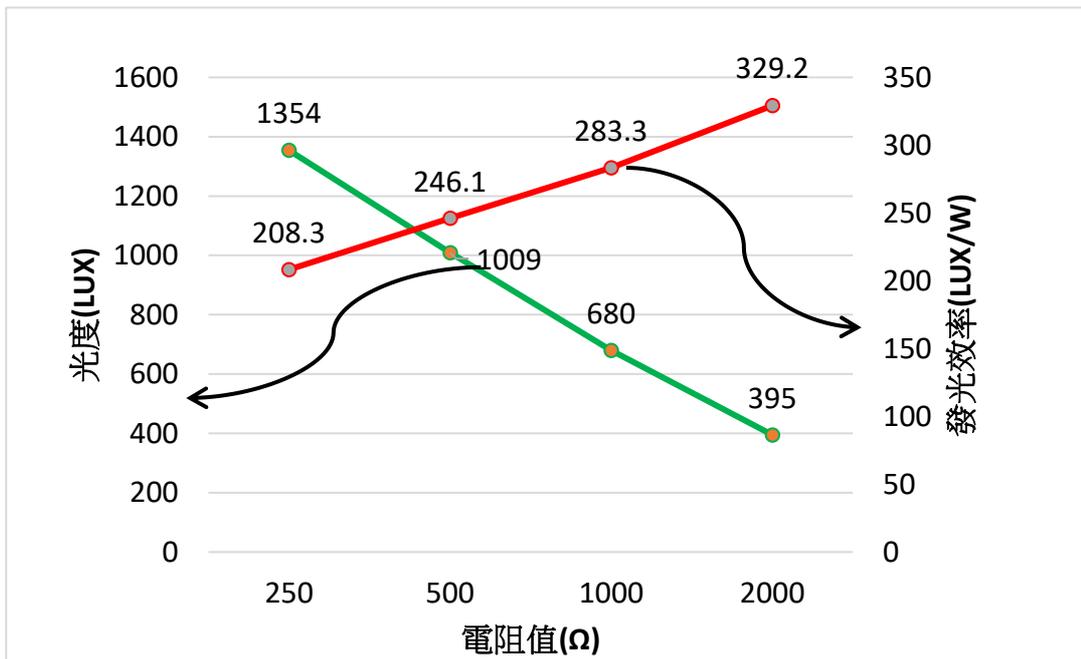
三、實驗結果：

(一)實驗數據：

1.連接不同電阻器下的 LED 之光譜圖



2. 連接不同電阻器下 LED 之效能比較 (兩顆 LEDs 的表現)



(二)討論：

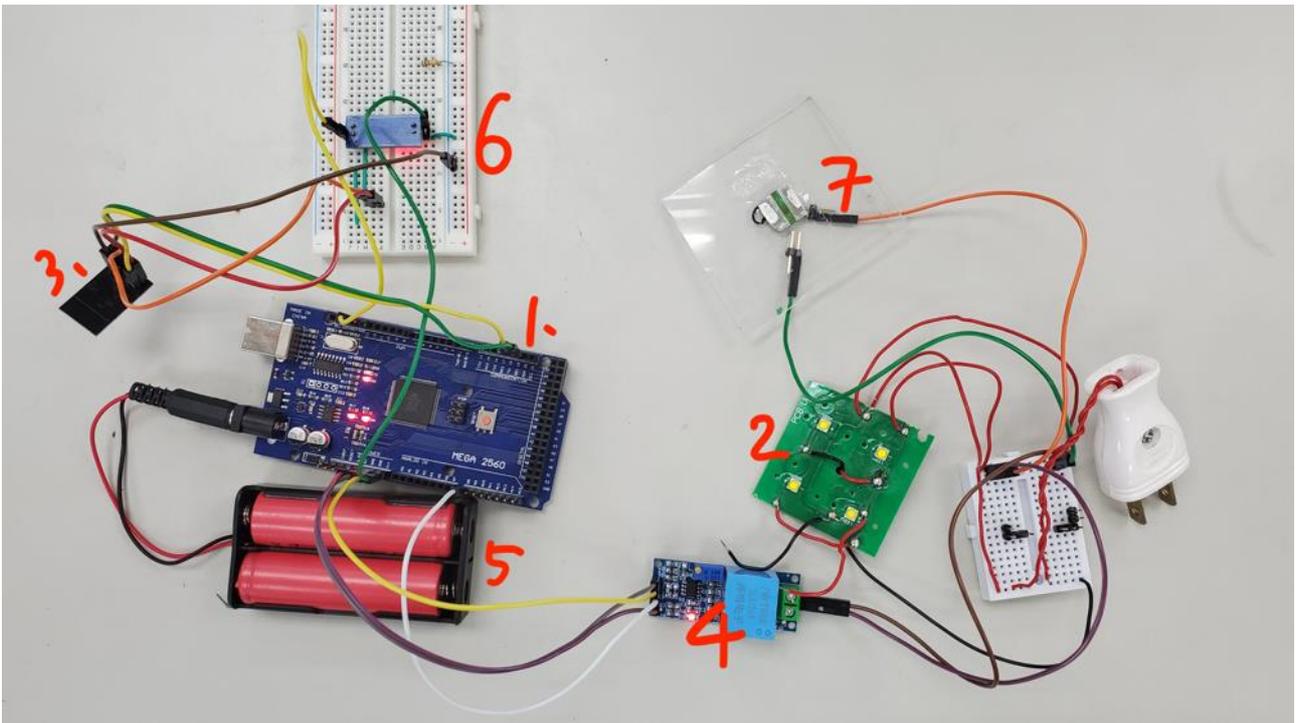
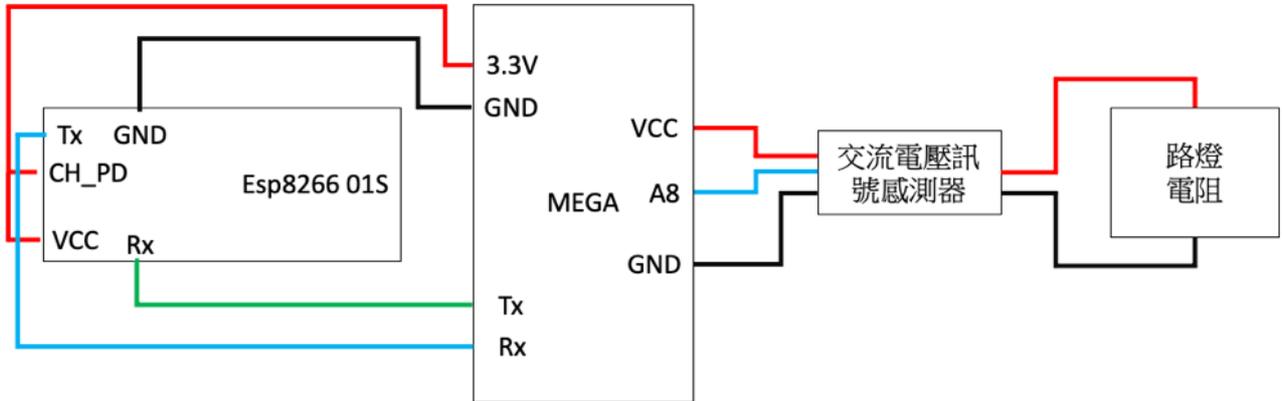
- 1.隨著負載電阻增加，流過各 LED 的電流減少，各個 LED 的光度減少(綠色線)；而各個 LED 的效率增加(紅色線)。
- 2.若要發光強，則會有低的效率(較耗電)；而若想省電(效率高)，則燈較暗。
- 3.此實驗結果可以設計成可變電阻，針對不同需求做不同的選擇。
- 4.以上數據大致呈現線性關係，原本的路燈 LED 原設計下(有變壓器直流電)，光度約在 600LUX，表示經我們改造後，不只省了變壓器，更可用可變電阻調整光度和發光效率。

【實驗三】用 Arduino 設計監測模組

目的：Arduino 設計監測模組並用 wifi 傳回數據。

一、實驗方法：

(一)裝置圖：



1.Arduino 2.改造後的路燈 LEDs 3.WIFI 模組 4.電壓感測器 5.電池 6.穩壓晶片 7.a-IGZO

(二) Arduino 程式碼：

```
void loop()
{
  Blynk.run();
  int V[255];
  for(int n=0;n<=255;n++) V[n]=analogRead(A5);
  int X=0;
  for(int n=0;n<=255;n++) X=X+V[n];
  X=X/255;
  Blynk.virtualWrite(V0,X);
  delay(10000);
}

void setup()
{
  // Debug console
  Serial.begin(9600);

  delay(10);

  // Set ESP8266 baud rate
  EspSerial.begin(ESP8266_BAUD);
  delay(10);

  Blynk.begin(auth, wifi, ssid, pass);
}
```

(三)實驗步驟：

- 1.利用電壓感測器測得電壓，利用 wifi 上傳雲端接收數據。
- 2.用上述得到數據除以電阻值可得電流，以電源電壓減電阻的電壓，便可得 LED 電壓。
- 3.將 LED 的電流×電壓可得其功率(單顆 LED 的表現)

R(歐姆)	二極體電壓(V)	二極體電流(A)	二極體功率(P)
500	42.718	0.049	1.810
1000	40.019	0.030	1.043
2000	39.218	0.016	0.540

(四)討論：

此實驗方法較容易測得長時間累積的數據，並符合前述利用示波器測得的結果。

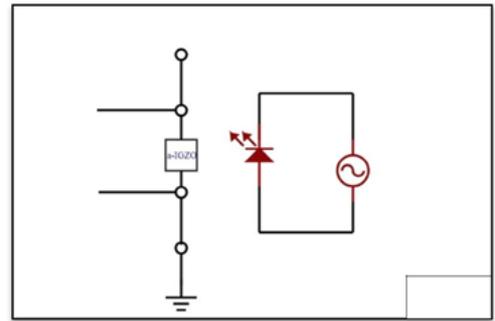
【實驗四】以 a-IGZO 或光敏電阻取代電阻器

一、實驗目的：將電阻器改成 a-IGZO 或光敏電阻，測試 LED 的發光表現

二、實驗過程：a-IGZO、光敏電阻對頻率 60Hz 之 LED 的光響應靈敏度

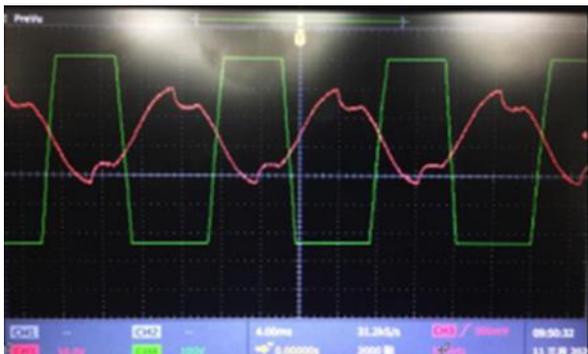
(一)實驗方法：

1. 單顆 LED、a-IGZO、光敏電阻、兩台三用電表、電線、杜邦線、交流電源供應器、直流電供應器、麵包板、遮光布、示波器。
2. 設計線路圖(圖五)，並利用麵包板連接各項儀器。
3. 固定光源位置，最後加上遮光布(阻擋外在光源)。
4. 交流電頻率調至 60 赫茲(與家用電同)。
5. 觀察並記錄示波器波型。



(二)實驗結果：

(1)a-IGZO 對 LED 光響應的靈敏度



(2)光敏電阻對光響應的靈敏度



三、討論：由這兩張圖可以發現，在家用交流電頻率 60HZ，光敏電阻便無法跟上 LED 的頻率，但 a-IGZO 能夠切合 LED 的頻率，且光敏電阻僅能在受光後改變電阻值，與本實驗目的不符，無法應用在 LED 的線路。

【實驗五】a-IGZO 和電阻器 R 比較

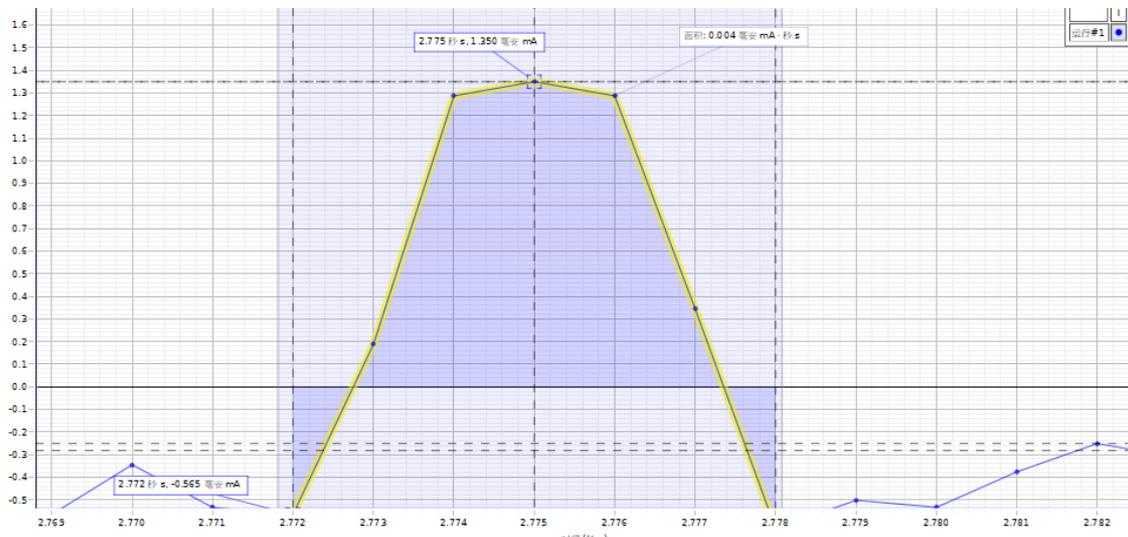
一、實驗目的：將實驗一電路圖中的⊗，改成 a-IGZO，和原本電阻器 R 比較。

二、實驗結果：

(一) ⊗ 為電阻器時，其電流對時間圖。



(二) ⊗ 為 a-IGZO 時(經紫外線激活)，其電流對時間圖。



三、討論：

(一) 輸入電源為正弦波交流電，而⊗ 為電阻器時無整流功能，且二極體單向導通，故其電流為正弦波的半週波。

(二) 而⊗ 為 a-IGZO 時，因 a-IGZO 具有持久性光電流，經紫外線激活後，其波形較接近方波，具有局部整流功能，可使 LED 有更好的發光表現。

【實驗六】載子 lifetime 長短對 LED 效率的影響

一、實驗目的：檢測出電子電洞的 lifetime 後，為了確定 lifetime 和 LED 效率的關係，我們將 a-IGZO 和 LED 串連，並測量電壓電流，算出效率後，即可確定兩者之間關係。

二、實驗變因：不同的 a-IGZO 樣品

三、實驗步驟：

(一) 單顆 LED、兩台三用電表、三塊 a-IGZO(分別為編號 7、9、10)、電線、杜邦線、直流電源供應器、交流電源供應器、麵包板、遮光布、光譜儀。

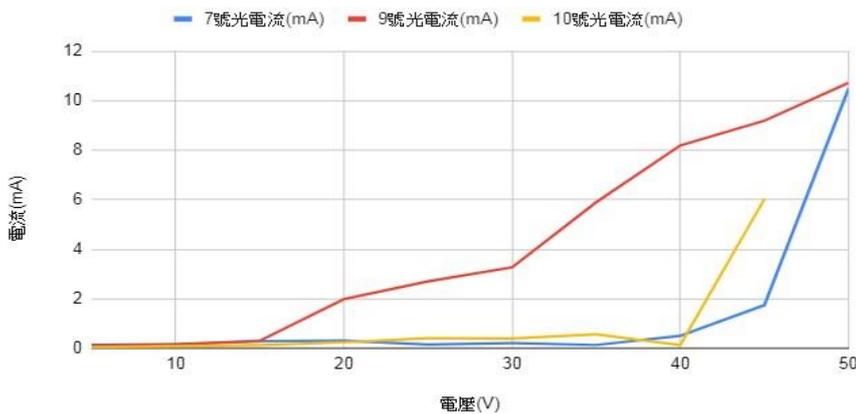
(二) 設計線路圖，並利用麵包板連接各項儀器。

(三) 接直流偏壓，改變電壓，測量電流。

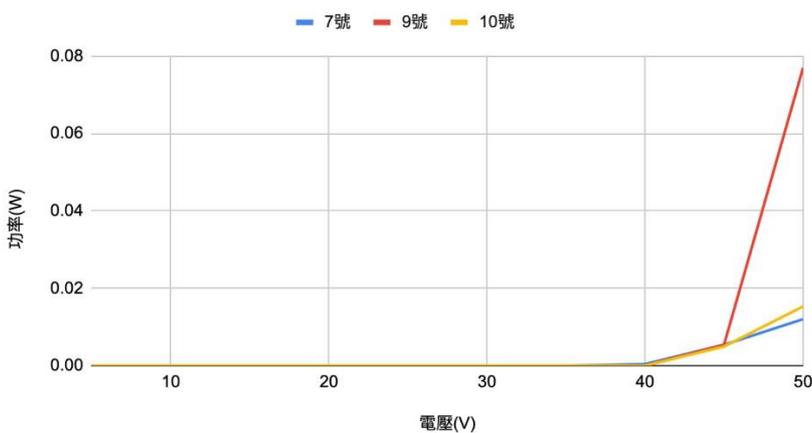
(四) 重複三次取平均，觀察並紀錄實驗結果。

四、實驗結果：

不同a-IGZO光電流比較



LED串連不同a-IGZO的功率比較



五、討論：由實驗結果可以看出，9 號的光電流最大，激發的載子較多，lifetime 較長，串連後的 LED 效率也為最高，可以推知載子 lifetime 和 LED 功率的關係為正相關。載子 lifetime 越長，LED 效率越好。

【實驗七】a-IGZO 面積對光電流的影響

一、實驗目的：a-IGZO 是接受光能後，電子得到能量，從價帶至傳導帶，故我們猜想是否會因不同的 a-IGZO 面積增加，受光面積增大，而產生更大的光電流，又或者電極兩極距離增加，影響卻不大。

二、實驗變因：a-IGZO 的面積

三、實驗方法：

(一) 準備不同面積的 a-IGZO

(二) 以遮光布包覆，置於暗室一天

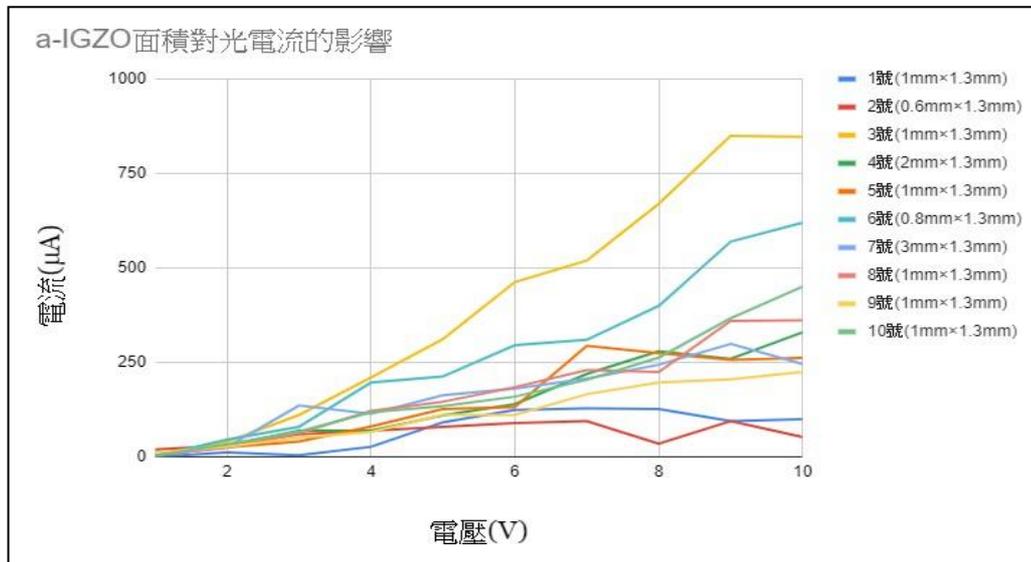
(三) 加直流偏壓，驅動載子，測量 a-IGZO 的暗電流，重複三次取平均

(四) 照光 10 分鐘，確定光電流達飽和後開始測量亮電流，重複三次取平均

(五) 以遮光布蓋住一半的面積，照光 10 分鐘，確定光電流達飽和後開始測量亮電流，重複三次取平均

(六) 統計數據並整理

四、實驗結果：

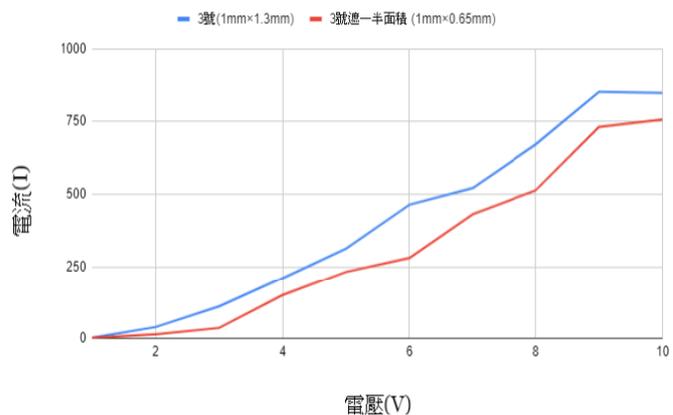


五、討論：

(一) 三號（面積 $1\text{mm}\times 1.3\text{mm}$ ）的光電流最大，但五號、八號、十號都是 $1\text{mm}\times 1.3\text{mm}$ ，光電流卻不如預期，所以我們推論光電流和不同a-IGZO的面積較無關係，有可能與製程時製作的defect有關。

(二) 將同一塊a-IGZO改變其受光面積作比較：同一塊a-IGZO所產生的光電流和受光面積呈現正相關，面積越大產生的光電流也就越大。

同一塊a-IGZO受光面積對光電流的影響

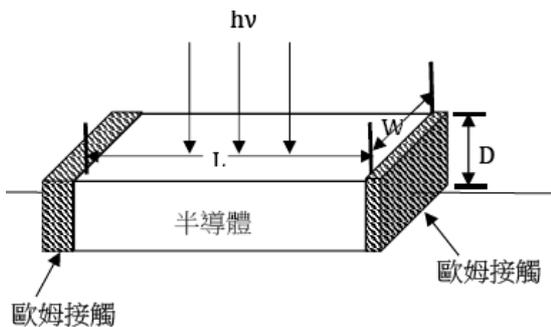


【實驗八】光敏電阻和 a-IGZO 的載子 lifetime 之研究

一、實驗目的：a-IGZO 差異大，為了快速檢測出適合本實驗的 a-IGZO，因此我們利用遷移率，算出電子電洞的 lifetime，再實際使用 pasco 測量數值是否吻合，未來僅需利用三用電表測量光電流，就可以找到符合要求的 a-IGZO

二、理論說明：光敏電導(photoconductor)，或稱光敏電阻，就是由一個半導體加上兩邊的歐姆接觸而成，如圖所示。光照射到光敏導體後，經由不同的機理，可以產生電子電洞對，這些電子電洞對，這些電子電洞對可以增加半導體的電導率(conductivity)，因而可以用來作為光偵測器。電子電洞對的產生，或者是經由從價帶激發到導帶的本徵(intrinsic)方式，或者是把適當的雜質摻入半導體，然後經由能隙中雜質能位和能帶邊之間的激發而產生，這後一種叫做外加或摻雜(extrinsic)方式。

半導體的電導率 σ 為 $\sigma = nq\mu_n + pq\mu_p$ 其中 電子濃度 n 、電洞濃度 p 、遷移率 μ 、電量 q 當光入射於一個本徵式的光敏電導體時，如果光子的能量足夠激發電子電洞對，就會增加相同數量的電子和電洞，而由光入射而增加的電導 $\Delta\sigma$ ，因而是 $\Delta\sigma = q(\mu_n + \mu_p)\Delta p$ 由於是本徵式半導體，因此 $\Delta n = \Delta p$ 。如果是摻雜的半導體，則只會產生一種自由載子。



從物理觀念來看，當光子產生一個電子電洞對後，電子由於速度較快，很快就由陽極吸收。留下的電洞，由於帶正電，可以從陰極再吸引一個電子，這個電子也會加速到達陽極，這個過程在電洞到達陰極或與電子再復合之前，會繼續的重複。

在外界的作用下，很可能使得電子濃度 n 和電洞濃度 p 偏移平衡值。 $\Delta n = n - n_0$ ， $\Delta p = p - p_0$ ，代表超出熱平衡的多餘載流子，稱之為非平衡載流子。 $(n_0、p_0$ 下標0為平衡態)。

非平衡載流子受外力產生後，導帶電子落回價帶，電子與電洞結合。這種由非平衡回到平衡的自發過程叫做復合。一般熱平衡是由電子與電洞不斷產生與消滅的平衡。當有非平衡載流子存在時，這種動態平衡就被破壞了。非平衡載流子的復合率可以寫成 $\Delta n/\tau$ ，在撤去光照後，

將滿足下列方程式 $\frac{d\Delta n}{dt} = -\frac{\Delta n}{\tau}$ ，其解為 $\Delta n = (\Delta n)_0 e^{-t/\tau}$ 。(下標0為平衡態)

故在光撤去後，非平衡載流子的濃度是隨時間成指數衰減，其中 τ 描述了非平衡載流子的生命期(lifetime)。 τ 的大小和所含的雜質與缺陷有關，所以同種材料，製成若不同， τ 可以有很大的差別，這是因為導電帶的電子在回去價帶的過程中，若有深能階雜質造成能階，則電子會稍微停留，然後再回到價帶。這些深能階雜質有時是決定電子與電洞是否會復合的條件，也是決定 τ 的因素，故稱為復合中心(recombination)。

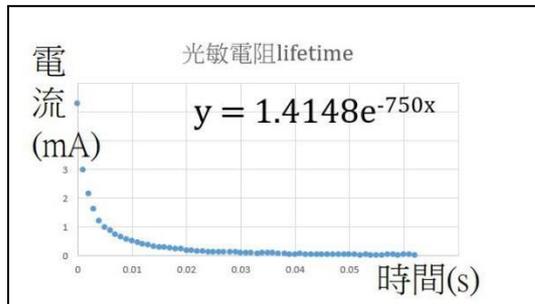
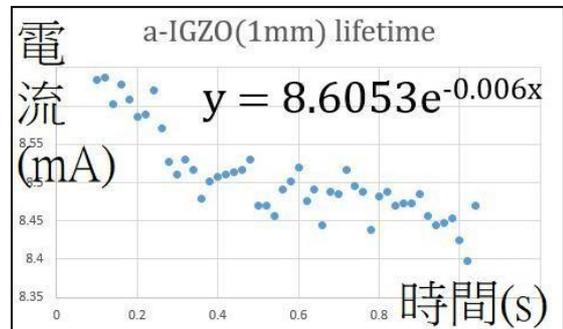
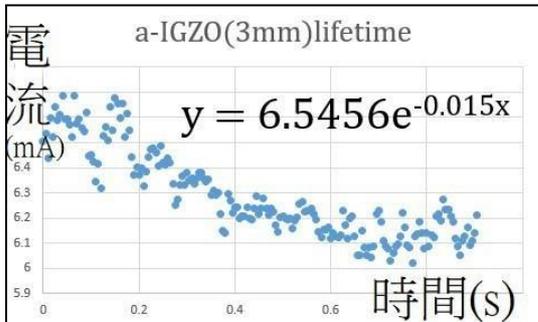
三、實驗變因：

光敏電阻、1mm 寬的 a-IGZO、3mm 寬的 a-IGZO

四、實驗步驟：

將光敏電阻或 a-IGZO 以藍光照射，除去光源後，用 pasco 測量電流對時間的變化

五、實驗結果：



由前一頁的式子 $\Delta n = (\Delta n)_0 e^{-t/\tau}$
可求得載子的 lifetime

	光敏電阻	3mm 寬的 a-IGZO	1mm 寬的 a-IGZO
載子的 lifetime	1.3ms	6.6×10^4 ms	16×10^5 ms

六、討論

- (一)據擬合可以發現,以 3mm 的 a-IGZO 為基準時,1mm a-IGZO 載子的 lifetime 為 2.5 倍,光敏電阻載子 lifetime 為 1/5000 倍,遠小於 a-IGZO,因此 a-IGZO 的持續性光電流表現遠優於光敏電阻。
- (二)光敏電阻在除去光照後,電流急速下降,因此無持續性光電流。
- (三)3mm 寬 a-IGZO 和 1mm 寬 a-IGZO 相比,較寬的 a-IGZO 因路徑長,載子在移動過程中較多機會被缺陷補捉而消失,因此 3mm 寬 a-IGZO 的 lifetime 比 1mm 寬 a-IGZO 的短。

【實驗九】更換不同的 a-IGZO 作比較

一、實驗目的：將 a-IGZO 應用在電路中，並與電阻器做比較，觀察實驗結果是否有差異

二、實驗方法：

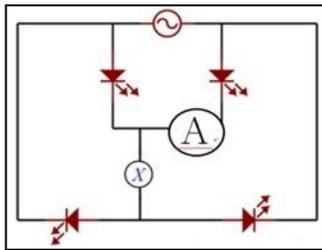
(一) 連接電路。

(二) a-IGZO 先以遮光布包覆，放置在暗室一天。

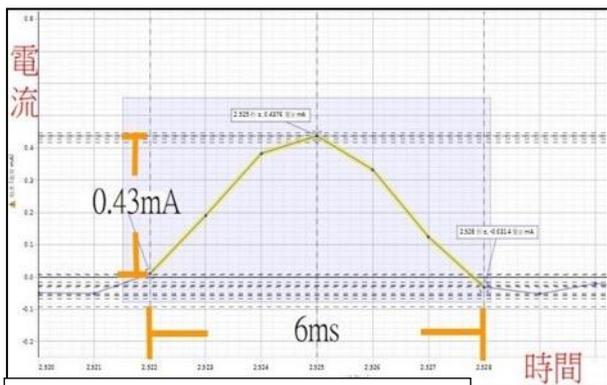
(三) 在線路中 X 位置連接電阻器/無照光的 a-IGZO 串聯 Pasco 記錄 LED 波型。

(四) 照射藍光(四顆)/紫外光(先重複實驗 2 的步驟) 達飽和後，與 LED 連接，並用 Pasco 記錄電流—時間圖型。

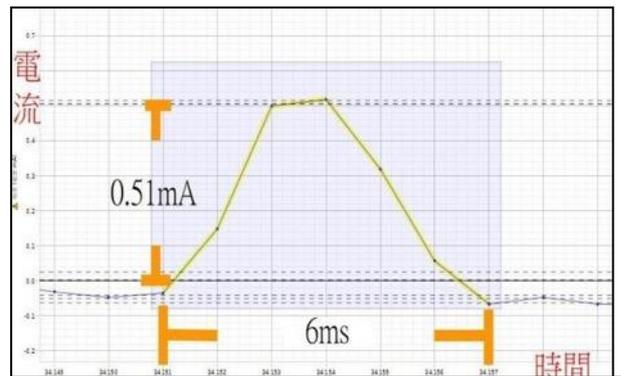
(五) 統計數據並整理



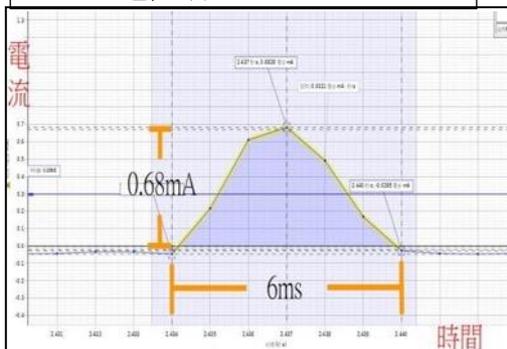
三、實驗結果：



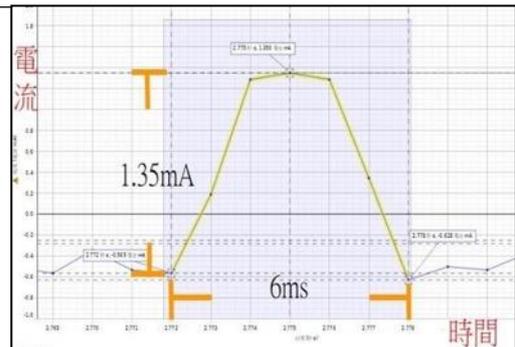
LED接電阻器的電流—時間圖



LED接 a-IGZO 在無光照下的電流—時間



LED接 a-IGZO 在藍光下的電流—時間



LED接 a-IGZO 照紫外光下的電流—時間

四、討論：

LED 接電阻器時，電流僅能填補方波的 50%，但接上 a-IGZO 並分別在無照光、照藍光以及照紫外光的情況下，面積比分別為 53%、63%和 74%。可知 a-IGZO 能有效使電流下降的時間縮短，可使 LED 發光的時間更多，發光表現更好。

【實驗十】a-IGZO 受紫外線激活後的表現

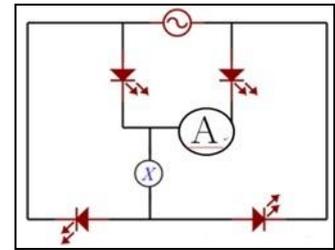
一、實驗目的：研究是否受過紫外線激活下的 a-IGZO 的電壓表現

二、實驗步驟：

(一)重複實驗三，使用 Arduino 測量電壓對時間的變化

(二)將原來圖中的⊗電阻器改成 a-IGZO

(三) a-IGZO 白天受紫外線照射，和未受紫外線照射，兩者在晚上的電壓表現

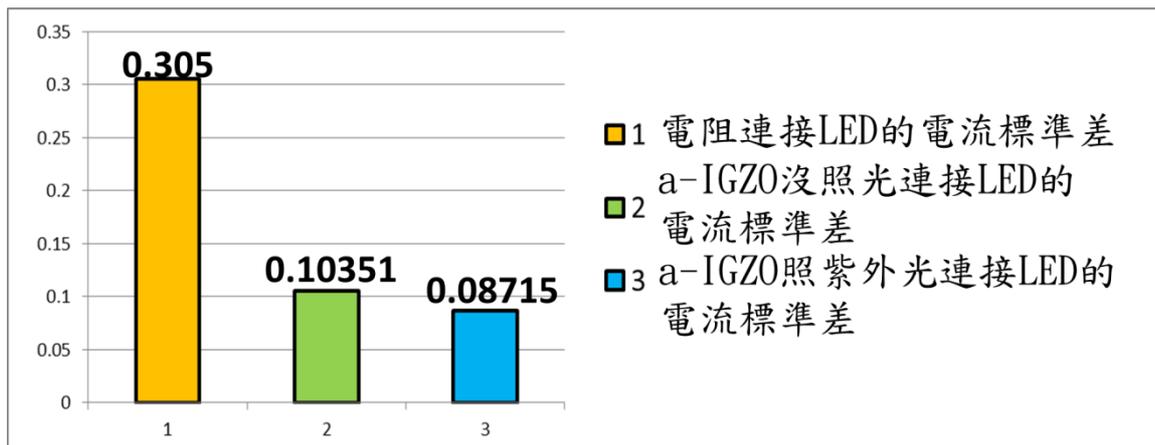


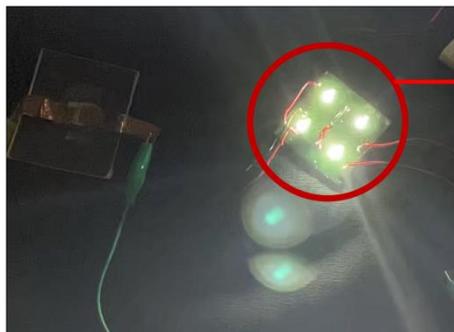
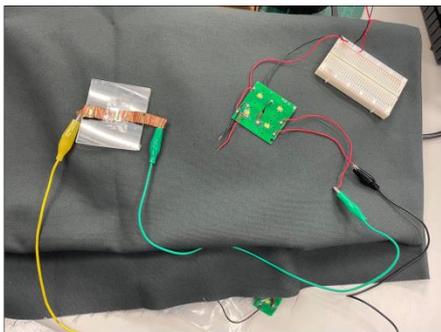
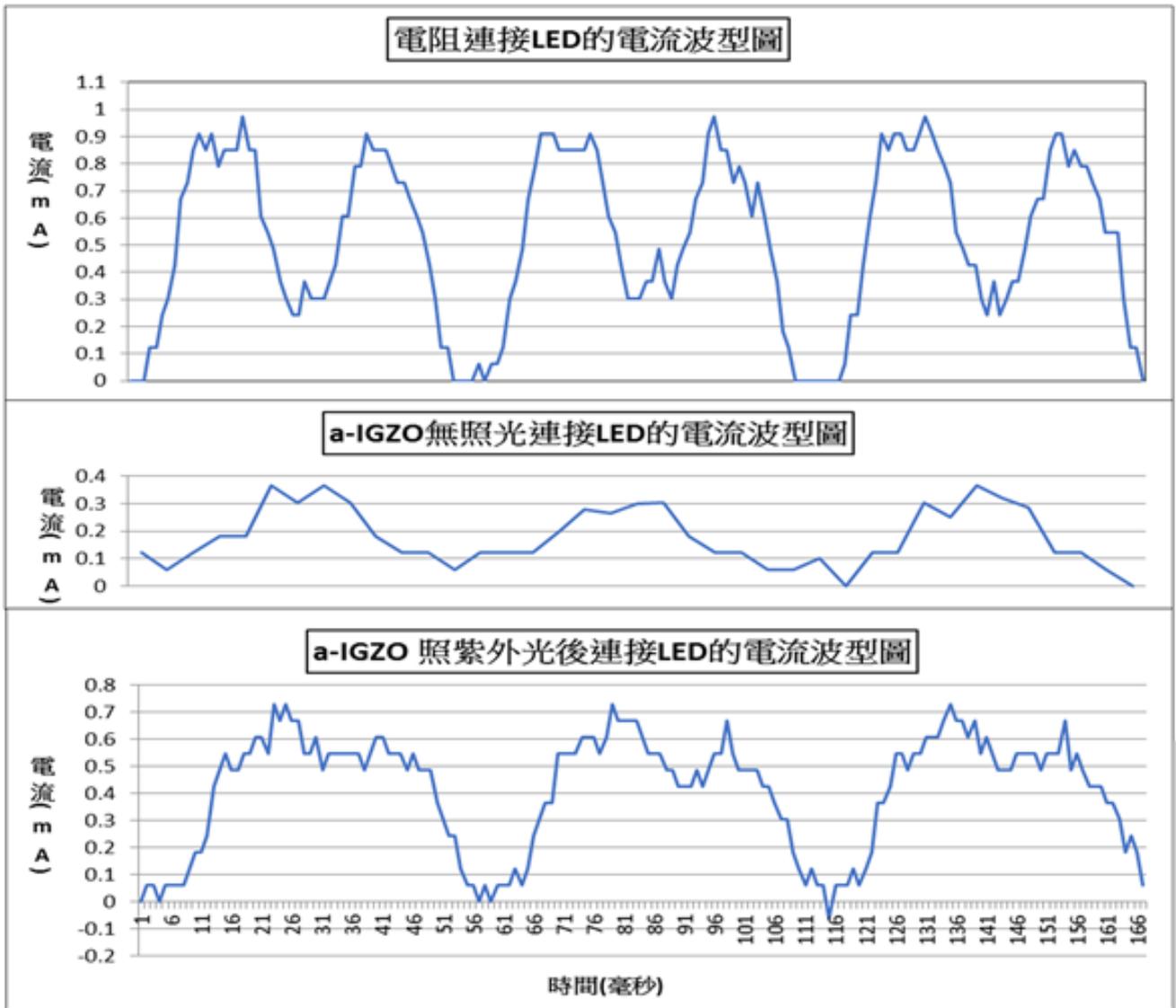
三、實驗結果：

(一)即使 a-IGZO 未受紫外線照射，僅受自身藍光 LEDs 照射，仍具有局部整流功能。

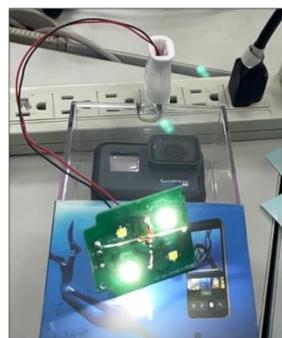
(二)由文獻知 a-IGZO 受紫外線激活後，可具有一天以上的持續性光電流。實際白天受紫外線照射，紫外線將缺陷(defect)裡的電子打出，形成更多電洞-自由電子載子，而使得其電阻值下降，因此端電壓變小。

(三)由數據知，a-IGZO 若有受過紫外線照射，則電壓變化較小，電壓相對穩定，具有更好的局部整流效果。





LED接a-IGZO可以四顆全亮

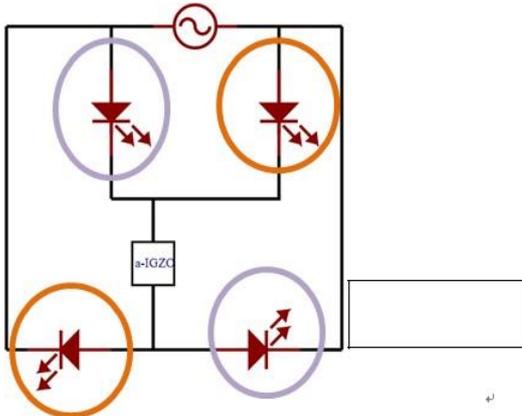


LED接電阻會輪流亮



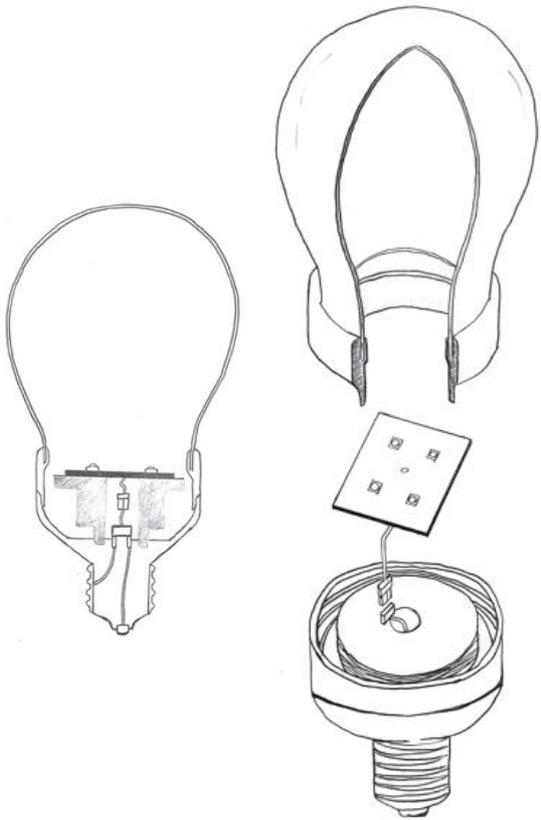
陸、結論

- 一、本實驗設計給交流電直接使用，不需易壞的變壓器及電容，大幅降低損壞可能，延長 LED 壽命。
- 二、以 a-IGZO 而非電容整流，在電壓極性轉換時，用 a-IGZO 的光電流延長 LED 最大照度的時間。(變壓器損壞的大部分原因是電容)
- 三、連接 LEDs 的電阻器若越小，則發光強，則會有低的效率(較耗電)；而若想省電(效率高)，電阻器若越大，則燈較暗。可以設計成可變電阻，針對不同需求做不同的選擇。
- 四、利用 Arduino 設計監測模組並用 wifi 傳回數據，本來需要一大台示波器和 pasco 主機，改成用 Arduino 測量，移動不同位置做測量時，方便很多。
- 五、a-IGZO 照紫外光或藍光後，載子變多則電阻下降，因此常被誤以為功用等同光阻電阻。實際用市售光敏電阻作實驗，發現市售光敏電阻跟不上家用電 110Hz(實驗四)。
- 六、a-IGZO 在照光後，使 LED 電流圖更接近方波，維持最大照度的時間增長。a-IGZO 相較於光敏電阻對光響應有更好的靈敏度，能跟上家用電頻率外，光電流也能提供給 LED。
- 七、測量 a-IGZO 和光敏電阻的 lifetime，發現 a-IGZO 的載子 lifetime 遠大於光敏電阻，因此 a-IGZO 有較長的持久性光電流優於光敏電阻。
- 八、即使 a-IGZO 未受紫外線照射，僅受自身藍光 LEDs 照射，仍具有局部整流功能效果。由文獻知 a-IGZO 受紫外線激活後，可具有一天以上的持續性光電流。實際白天受紫外線照射，紫外線將缺陷(defect)裡的電子打出，形成更多電洞-自由電子載子，而使得其電阻值下降，因此端電壓變小。
- 九、由實驗十知，a-IGZO 若有受過紫外線照射，則電壓變化較小，電壓相對穩定，具有更好的局部整流效果。
- 十、交流電下 a-IGZO 之光電流大於其在直流電下的光電流。



圖中，橘線圈起來的兩顆燈泡在交流電電壓右邊是正的時候會同時發光，若電壓極性轉換時紫色圈起來的燈泡會亮而互補，達成整流的功能，且因串聯(一顆 LED 導通電壓為 45V)的兩顆 LED 導通電壓共為 90V，整組線路中就不再需要變壓器。本實驗設計的電路就是為交流電設計，沒有電路中易損壞的電阻、電容，就可以降低損壞率，可延長 LED 的壽命，且 a-IGZO 只有 1mm，可以直接與 LED 基板一起製成。本實驗的一個燈泡能用上 20 年，又是高功率 LED，照明效果良好，對未來相當具有前瞻性。

十一、以此科展研究成果，我們構思了一個設計圖，很多 LED 因變壓器損壞而全部丟棄很可惜，若可結合廢棄改造路燈做成可拆式更換 LED，達到環保的目的。



←圖中正方型做成可更換式，即本實驗的改造路燈。

柒、參考文獻

一、 Multifunctionality of Giant and Long-Lasting Persistent Photoconductivity: Semiconductor
<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsp Photonics.5b00084>

二、 Dual functional photo-response for p-Si/SiO₂/n-InGaZnO graphene nanocomposites photodiodes
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30256765>

三、 固態電子學 李雅明 五南出版社。

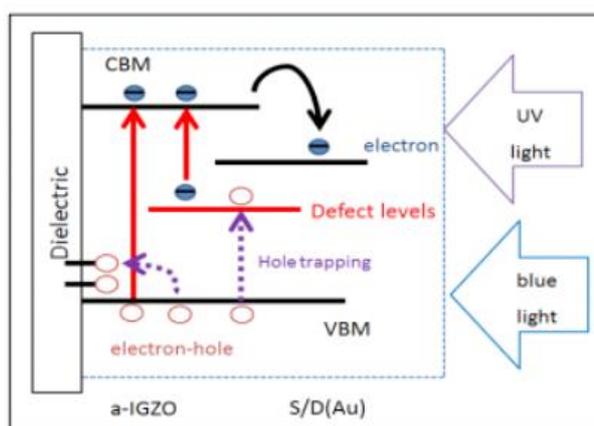
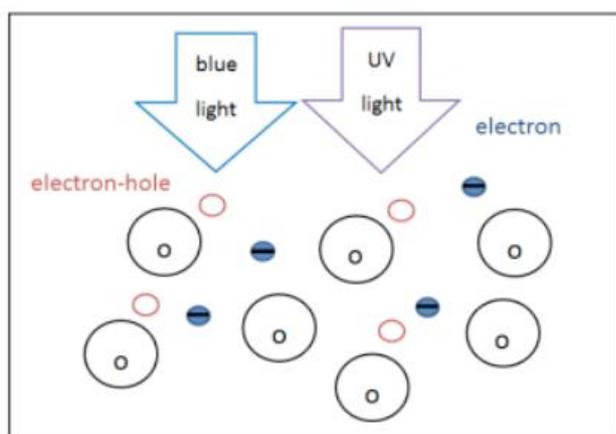
四、 唐笠馨 2016 年台灣國際科展 環境工程組 [高效率藍光 LED 路燈的再改造及應用](#)

捌、附錄

a-IGZO 光電流之應用

由於交流電電壓會隨時間改變，導致 LED 電流不穩定，LED 接上電阻的波形是 sine wave，照度會受電壓與電流影響。根據文獻參考，我們發現 a-IGZO 是個合適的材料，因為其照光後會有光電流，能驅動較多載子，使 LED 電流圖接近方波，照度提升且最大照度維持較久、電流下降時間較短。電阻器接 LED 測得的波形面積僅占方波面積的 50%，且達最高點後電流快速下降，與 a-IGZO 無光照時(53%)相差不遠。但 a-IGZO 照藍光後，面積比達 64%，電流上升至最高點的前後下降幅度趨緩。而紫外光光子能量大，能夠激發更多的載子，使面積比上升至 74%。論文也指出，紫外光激發的光電流在有偏壓的情況下能維持數天，若運用在路燈上，早上接收陽光的光電流能持續到晚上供照明使用。其實本實驗的 a-IGZO 與一般用在液晶顯示器上的 IGZO 特性相違背，因其光電流持續甚久，與液晶需快速切換的需求不符，但在這裡卻為 LED 的線路帶來相當大的效益。

光電流原理: 能量需要超過能隙的大小，才能激發價帶的電子至傳導帶。由圖可以發現，載子吸收能量有三種方式:從價帶的最大值到傳導帶的最小值、從 defect level 跳到傳導帶、從價帶到 defect level。而研究發現，基板中的 SiO₂ 有較多 defect，這些 defect 都是帶正電，有可能會接收價帶的電子。紫色箭頭為 hole trapping(電洞捕捉)，Trap 一般是指電子被 defect 捕捉，會產生電洞，defect level 電子掉到價帶而被捕捉。電子跳到較低能階放出的能量通常是以熱能的形式釋出，和晶格碰撞而消耗掉。照 UV light 之後光電流在有電壓驅動的情況下能持續數天:電子吸收能量後轉換成熱能和動能，激發至傳導帶，電壓驅動後，電子就會向另外一個電極移動。



【評語】 200002

本研究以廢棄的路燈為出發點，將廢棄的 LED 回收，設計後使其在 110 V 交流電下使用，並以 a-IGZO(非晶相)取代電阻器，增加 LED 的發光效率。在實驗室的規模中，可看得到好的效率與結果，然而，在大規模的使用上，仍需考慮實際的需求與安全規格。另外，建議對於 a-IGZO 也應做相關的分析與了解，並探討其可能影響電流之原因，增加本研究之科學意義以及工程應用的價值。