

第二十屆旺宏科學獎

成果報告書

參賽編號：SA20-083

作品名稱：a-IGZO 取代變壓器之可能性

姓名：黃韻筑

關鍵字：a-IGZO、持久性光電流、變壓器

壹、摘要

現已有研究關於 a-IGZO 持久性光電流(persistent photoconductivity)的特性¹，但很少提及相關的應用，因為這種特性，與主流光電元件必須迅速反應的需求完全相反。然而本作品著重於持久性光電導的應用研究，應用於 LED 電路上整流之可能。

現行變壓器發展已久，技術也已完備成熟，但仍難以避免用到易損壞的電容，因此我們想，若沒有變壓器，利用持久性光電導是否也可以達到整流的效果。從已發表的論文¹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。而經過我們重新設計後的電路若只接一般電阻器，效果就如同橋式整流器，會兩顆兩顆燈泡輪流導通，因而有全暗的瞬間。但接上 a-IGZO 後，由於 a-IGZO 金屬接面的整流與持久性光電流特性，能夠使 LED 有四顆全亮的時間，有效延長導通發光時間，而使照明的效果更好。

長久以來，LED 都需要變壓器，而我們嘗試走一條完全不同的路-不使用變壓器。並非挑戰現有變壓器的設計，而是在沒有變壓器或電容的情況下，也能夠局部整流。雖然交流電是以 60 赫茲的極快速度轉換，肉眼幾乎不易察覺，但經過 a-IGZO 金屬接面整流後，更能夠延長 LED 發光時間，增強照明效果，因此對於非閱讀的場所、及室外照明而言，是可行的。

由文獻¹知，a-IGZO 摻雜石墨烯後的效果更好。本作品為創意發想，而未來若有機會能夠將摻雜石墨烯的 a-IGZO 應用於 LED，將會有更好的照明效果，且使用壽命也比變壓器更久。

再者，a-IGZO 的構造簡單，可以做到如一條導線的大小，能夠以如同 COB(Chip-On-Board) LED 一樣直接在基板上製成。不僅環保，而且 a-IGZO 製造成本低，可以使用簡易的溶液製程製作大面積薄膜，能夠節省可觀的成本及免除變壓器龐大的體積，使電路設計上可有更多的變化，對未來發展具有相當的前瞻性。

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，因此變壓器損壞的 LED 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 $\otimes$ ，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 $\otimes$ ，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，從價帶躍遷至傳導帶，產生可以導電之電子與電洞，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，又或者降低電極兩極距離增加之影響。
- 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



高效率 LED
(120lm/W)



電阻



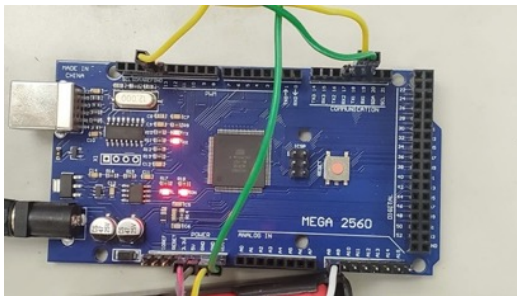
Pasco 電壓電流
感測器



示波器



三用電錶



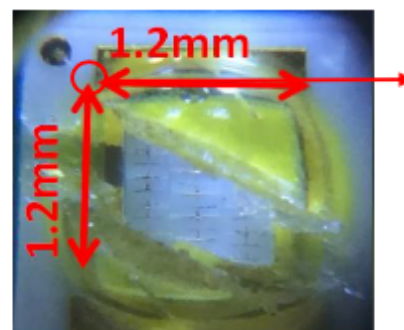
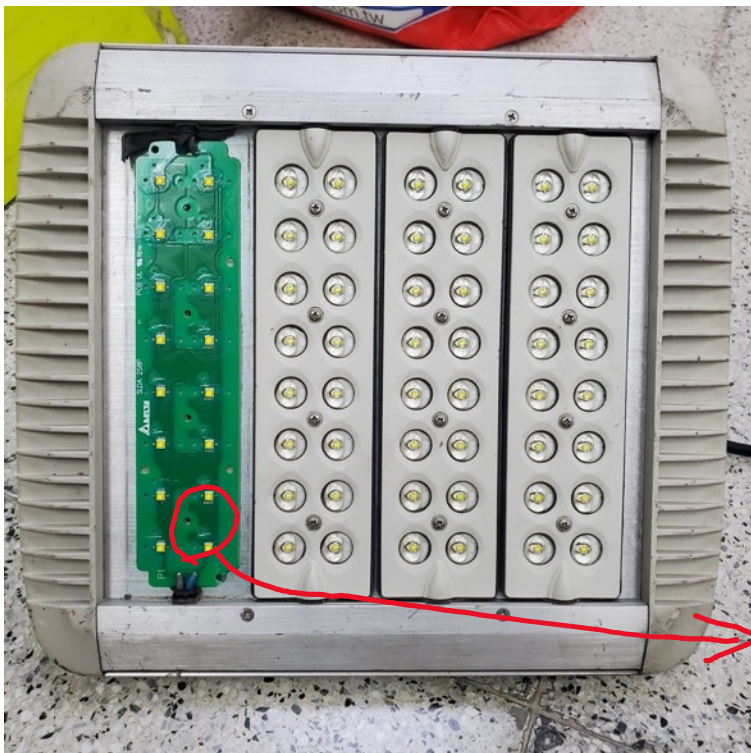
Arduino 板

伍、研究過程或方法

【實驗一】改造高效率 LED 燈的方法：

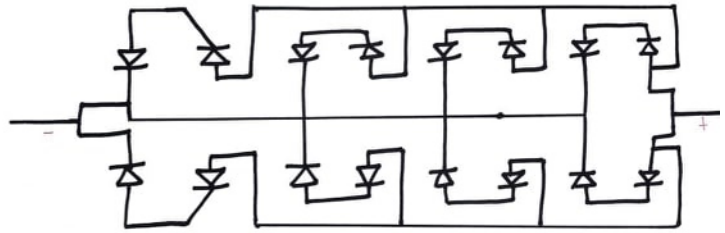
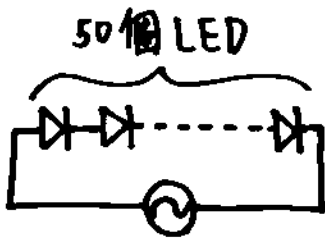
實驗目的：將原本直流電下使用的 LED，改造成可以在 110V 交流電下使用。

一、完整的高效率 LED 燈具，有 64 顆 LEDs。



一顆燈泡內部串聯 16 顆 LED。

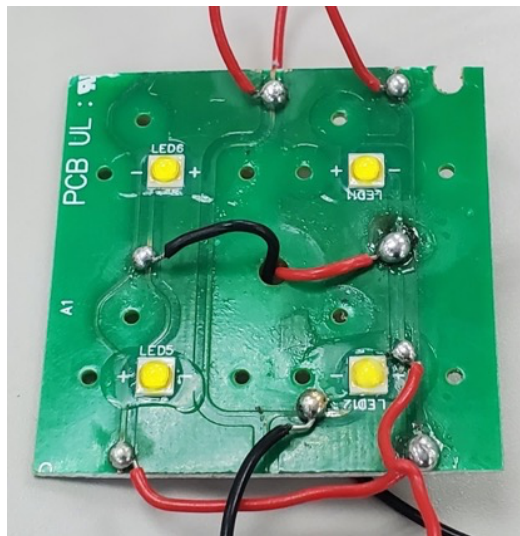
單顆 LED 的導通電壓只有 2~5V，但因為我們選用的集成 LED 有 16 顆 LED 串聯，因此導通電壓為 45V，非常適合應用於本實驗。



(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 LED 似乎能解決此一問題。

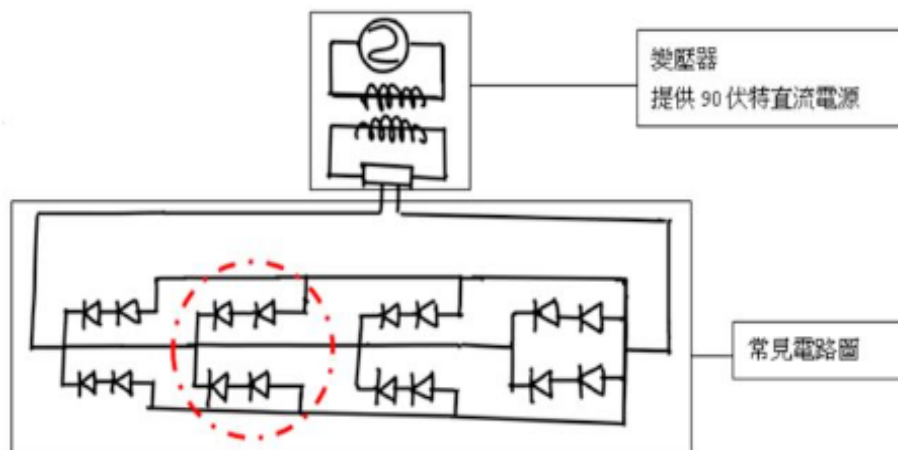
(二)由於高效能照明型 LED 相較於市售 LED 有較高的導通電壓，因此嘗試以此類 LED 作為材料，並藉焊接電阻改造電路之方式，使燈泡能直接連接交流電作為電源，同時解決的了電壓過大及昂貴又耗電的變壓器問題。

二、取其中四顆即可。

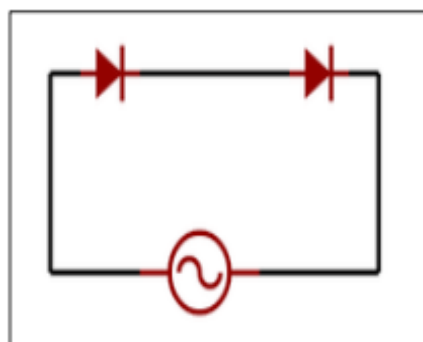


三、

舊型路燈原圖

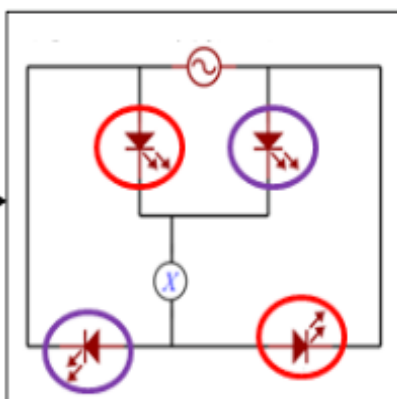


設計線路



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：

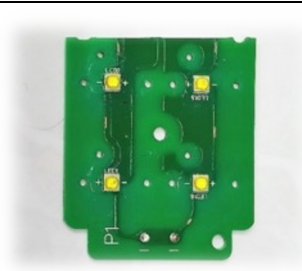
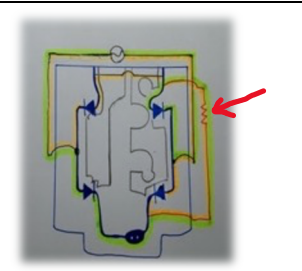
以上圖電路改接，中間以電阻處理多餘的電壓，並解決了 LED 單向導通的問題，兩組燈泡光源互補，高功率 LED 照明效果良好(實驗)，且因沒有變壓器消耗功率，也相對省電。

【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

改造前	改造後
	

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。

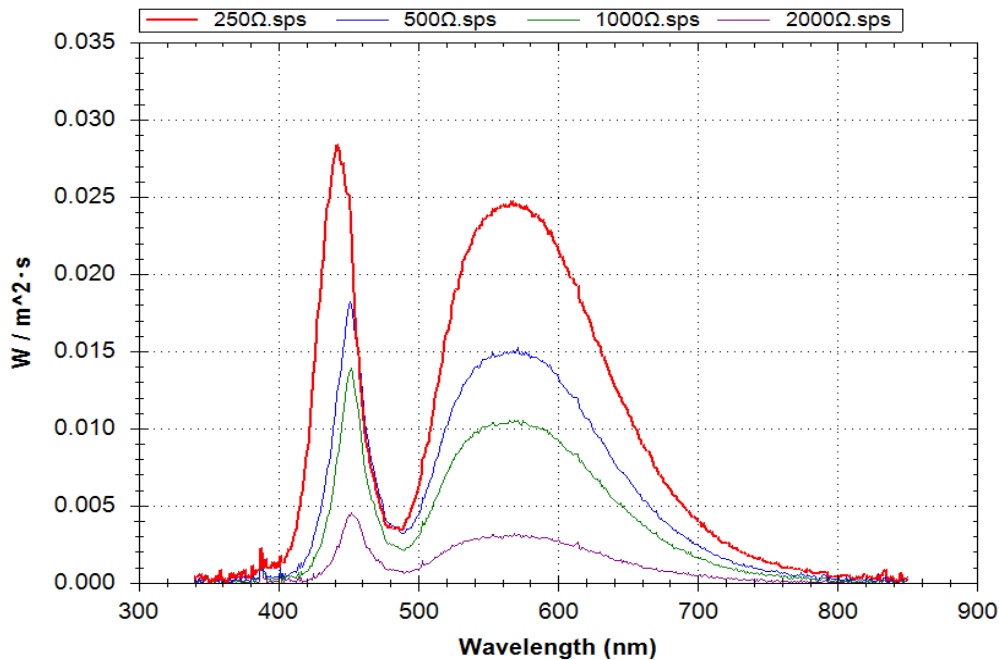
2. 電流：

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。

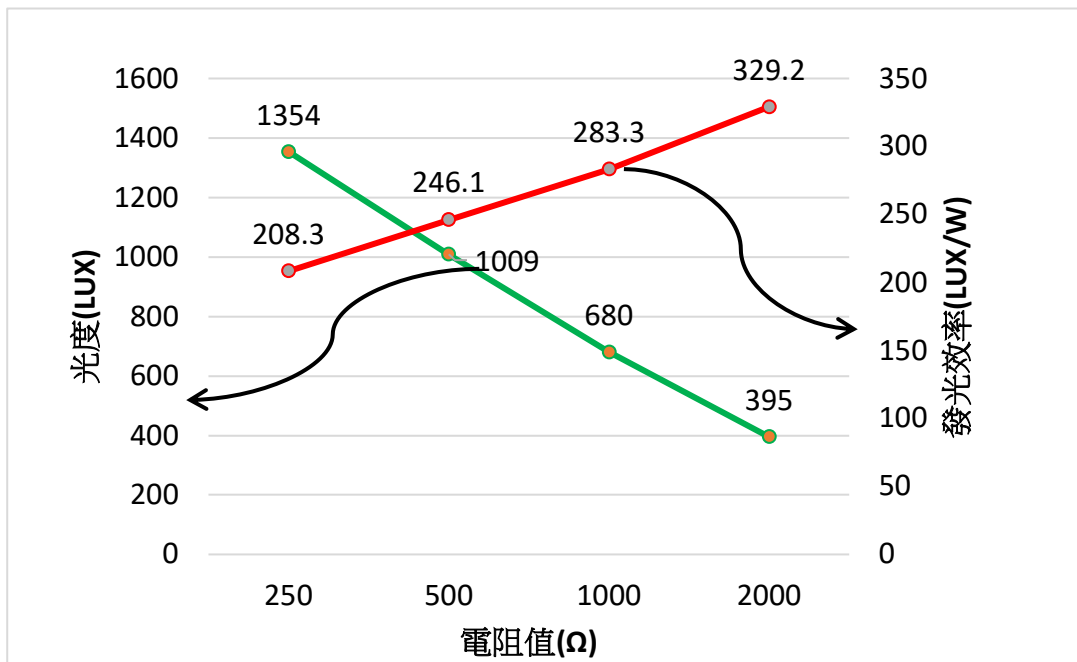
三、實驗結果：

(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：

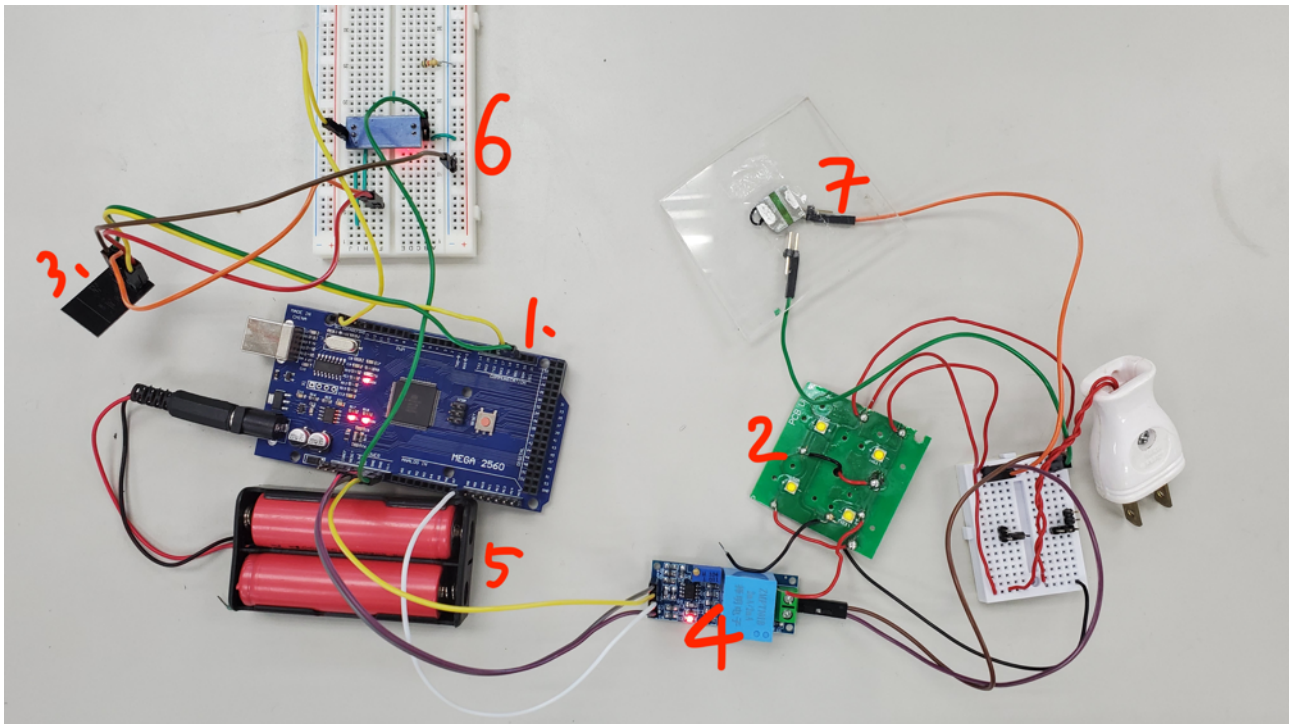
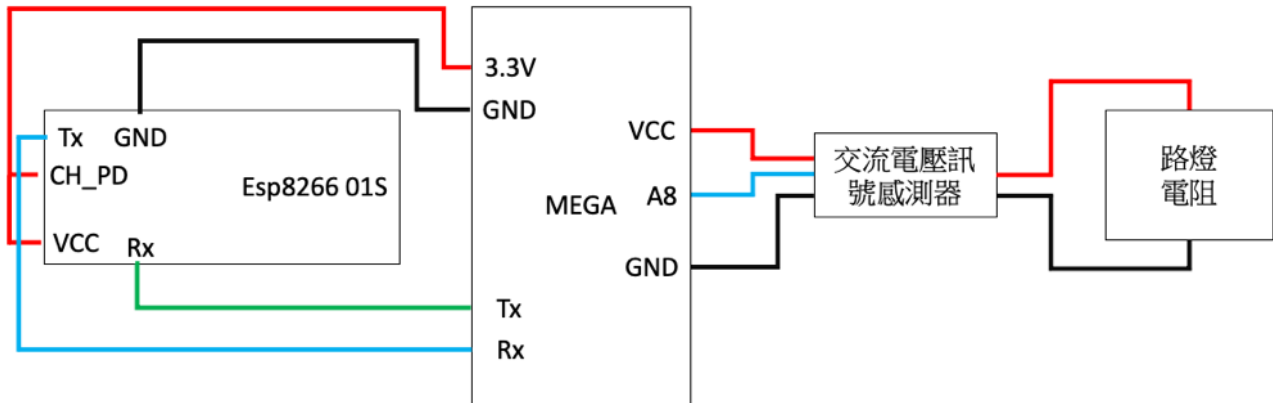
- 1.隨著負載電阻增加，流過各 LED 的電流減少，各個 LED 的光度減少(綠色線)；而各個 LED 的效率增加(紅色線)。
- 2.若要發光強，則會較耗電；而若想省電，則燈照明效果較差。
- 3.此實驗結果可以設計成可變電阻，針對不同需求做不同的選擇。
- 4.以上數據大致呈現線性關係，原本的高效率 LED 原設計下(有變壓器直流電)，光度約在 600LUX，表示經我們改造後，不只省了變壓器，更可用可變電阻調整光度和發光效率。

【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.改造後的高效率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。

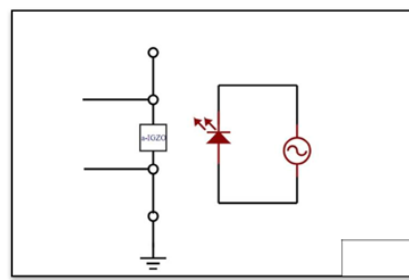
【實驗四】以 a-IGZO 或光敏電阻取代電阻器

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

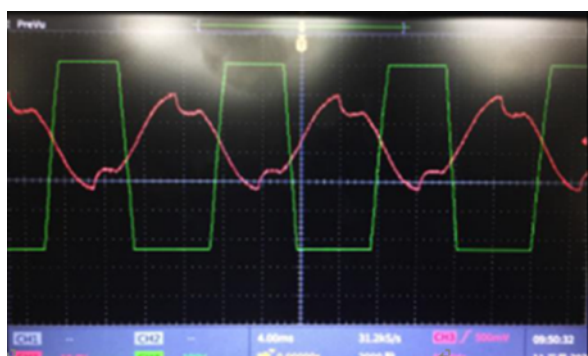
(一)實驗方法：

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



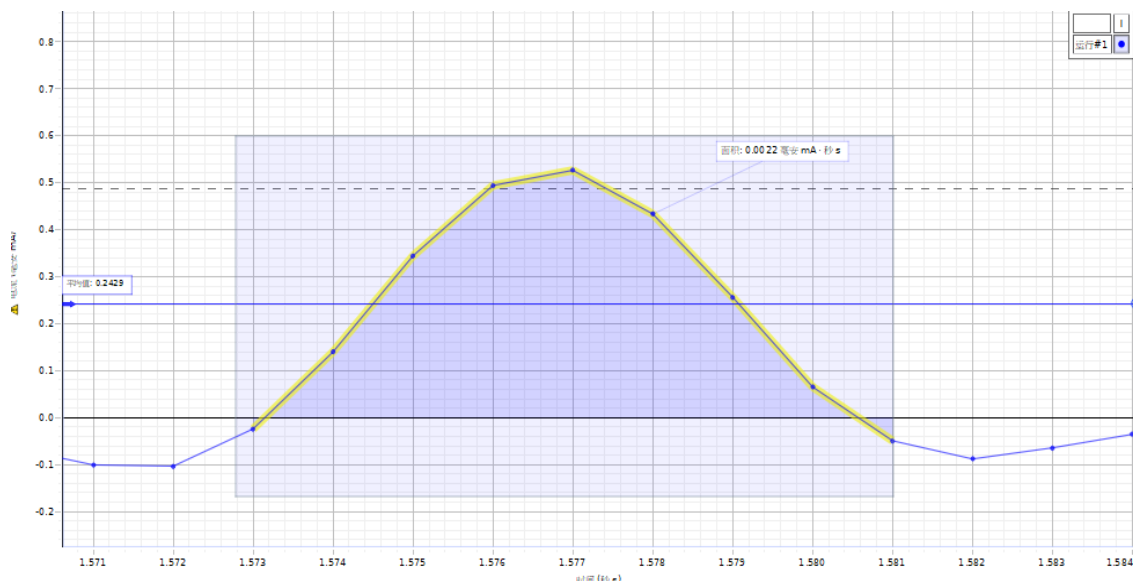
二、討論：由這兩張圖可以發現，在家用交流電頻率 60HZ，**光敏電阻便無法跟上 LED 的頻率**，但 **a-IGZO 能夠切合 LED 的頻率**，且光敏電阻僅能在受光後改變電阻值，與本實驗目的不符，無法應用在 LED 的線路。

【實驗五】a-IGZO 和電阻器 R 比較

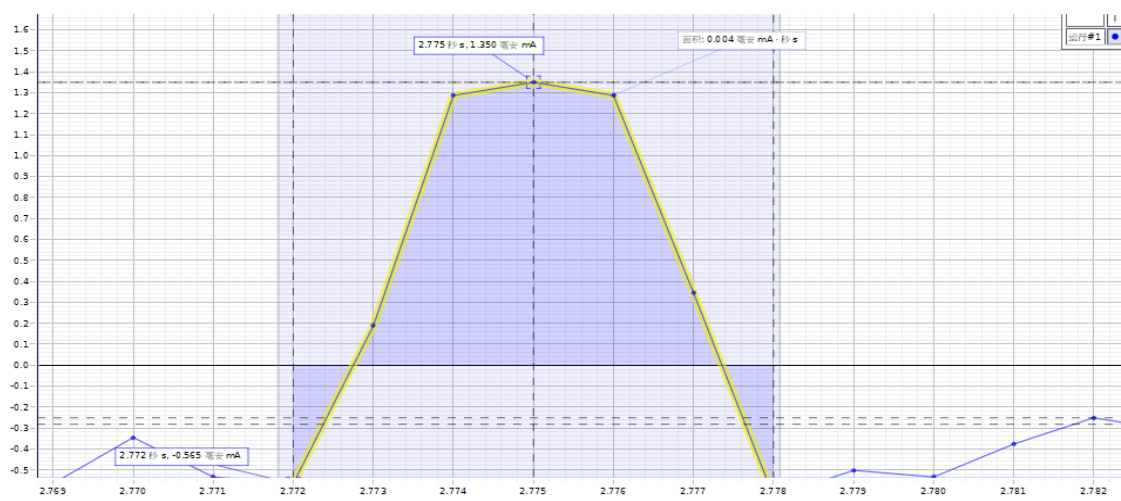
一、實驗目的：將實驗一電路圖中的ⓧ，改成 a-IGZO，和原本電阻器 R 比較。

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。

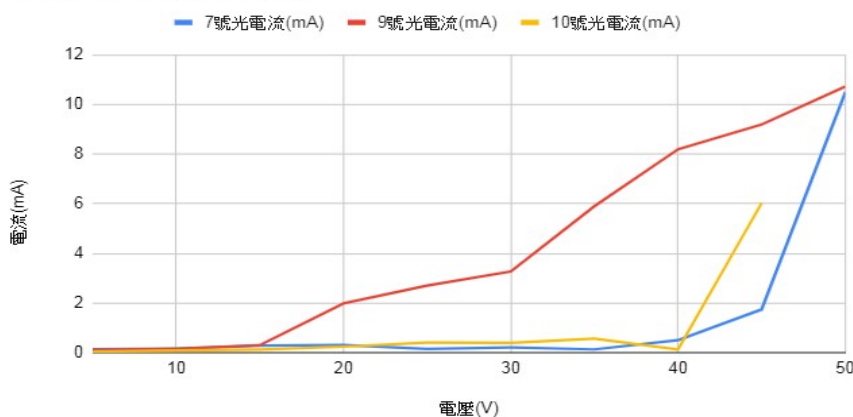
三、實驗變因：不同的 a-IGZO 樣品

四、實驗步驟：

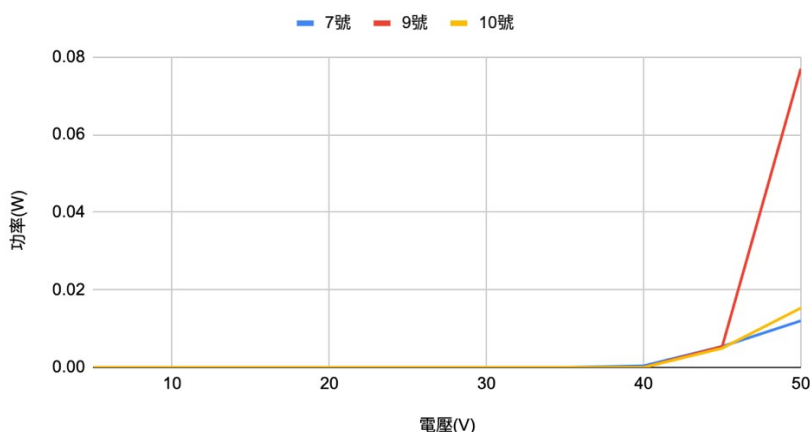
- (一) 單顆 LED、兩台三用電表、三塊 a-IGZO(分別為編號 7、9、10)、電線、杜邦線、直流電源供應器、交流電源供應器、麵包板、遮光布、光譜儀。
- (二) 設計線路圖，並利用麵包板連接各項儀器。
- (三) 接直流偏壓，改變電壓，測量電流。
- (四) 重複三次取平均，觀察並紀錄實驗結果。

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

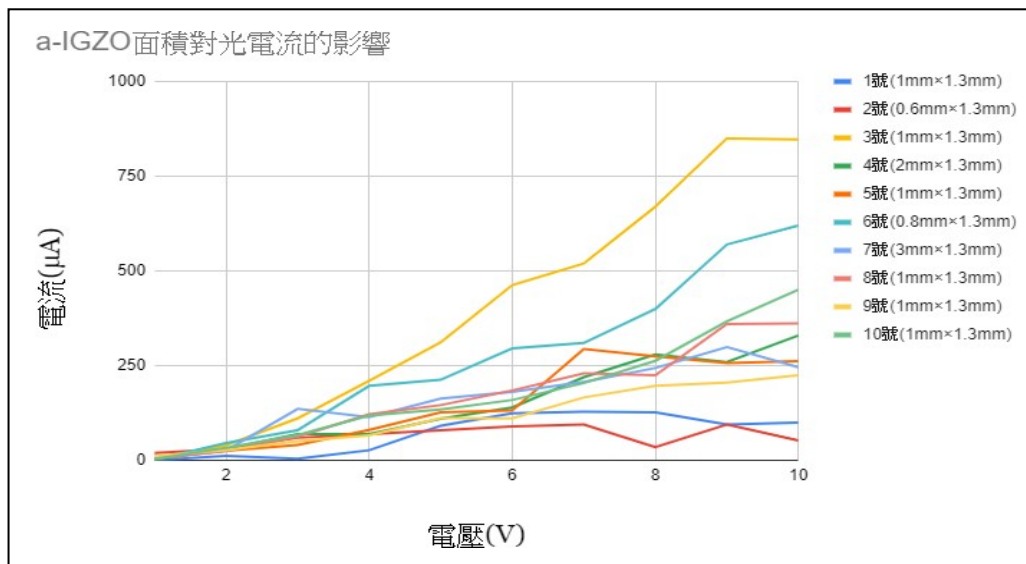
(三)加直流偏壓，驅動載子，測量 a-IGZO 的暗電流，重複三次取平均

(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

五、實驗結果：

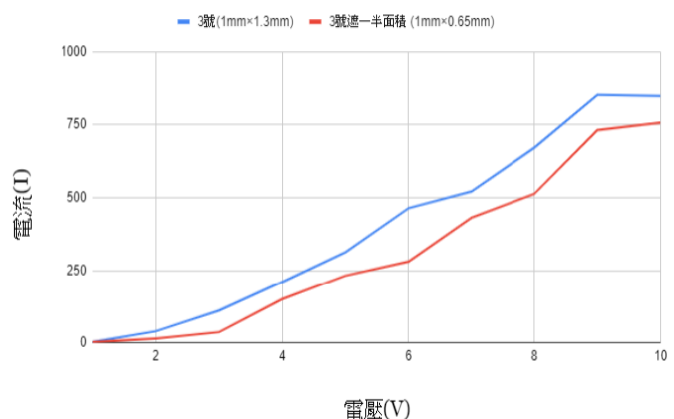


六、討論：

(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

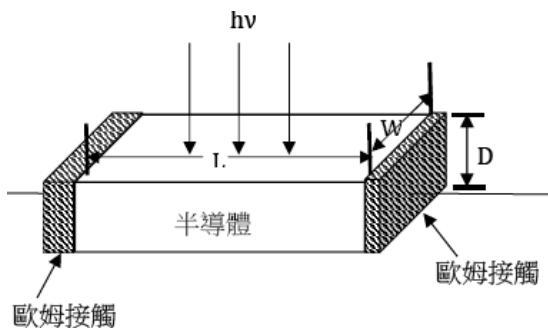


【實驗八】光敏電阻和 a-IGZO 的載子 lifetime 之研究

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(instinsic)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)。

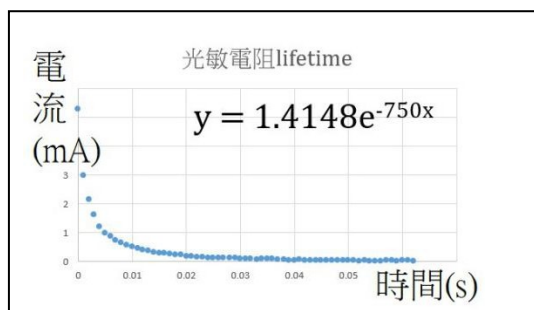
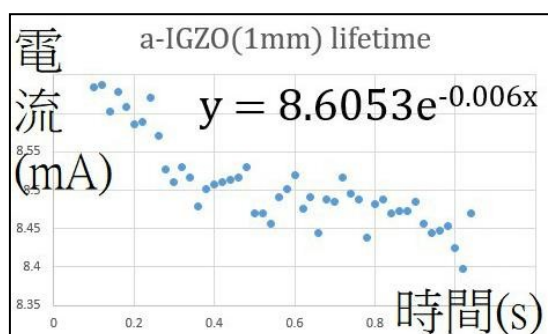
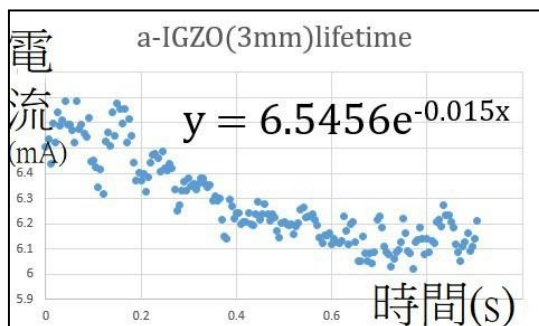
三、實驗變因：

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：

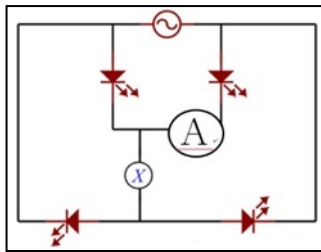
(一) 連接電路。

(二) a-IGZO 先以遮光布包覆，放置在暗室一天。

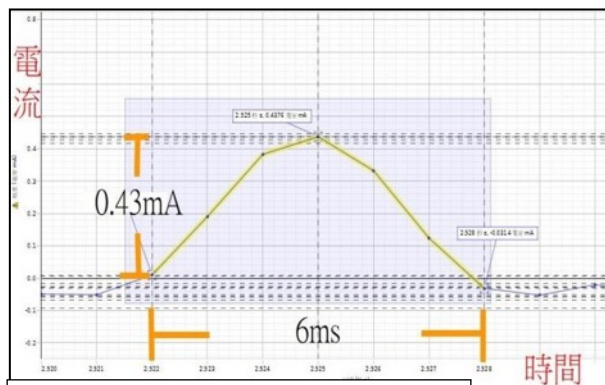
(三) 在線路中 X 位置連接電阻器/無照光的 a-IGZO 串聯 Pasco 記錄 LED 波型。

(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。

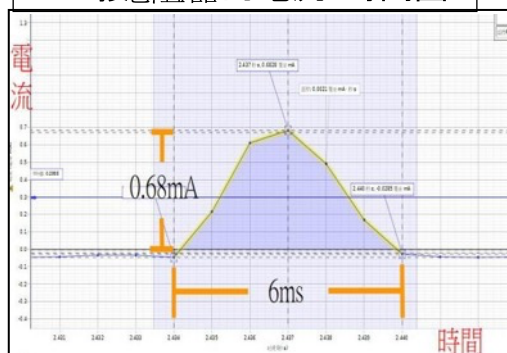
(五) 統計數據並整理



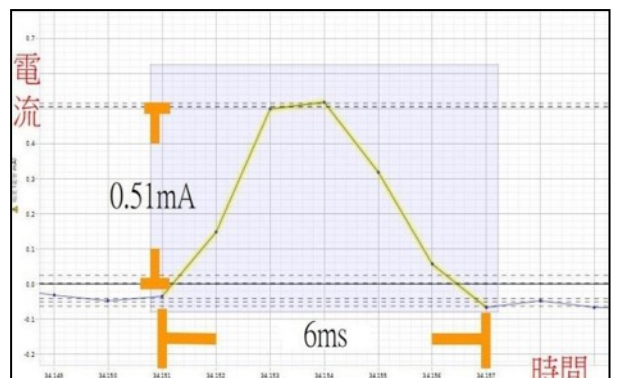
三、實驗結果：



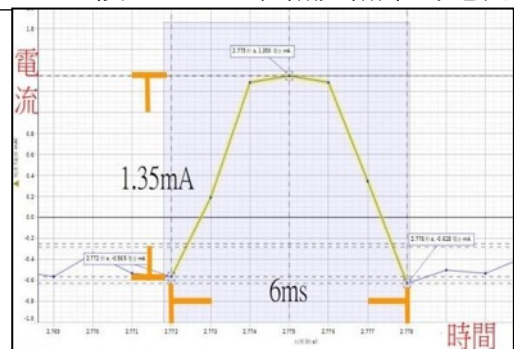
LED接電阻器的電流—時間圖



LED 接 a-IGZO 在藍光下的電流—時間



LED 接 a-IGZO 在無光照下的電流—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

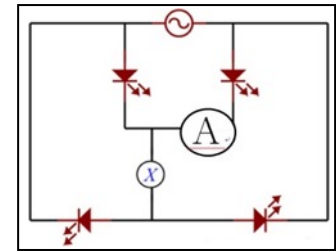
一、實驗目的：研究是否受過紫外線激活下的 a-IGZO 的電壓表現

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

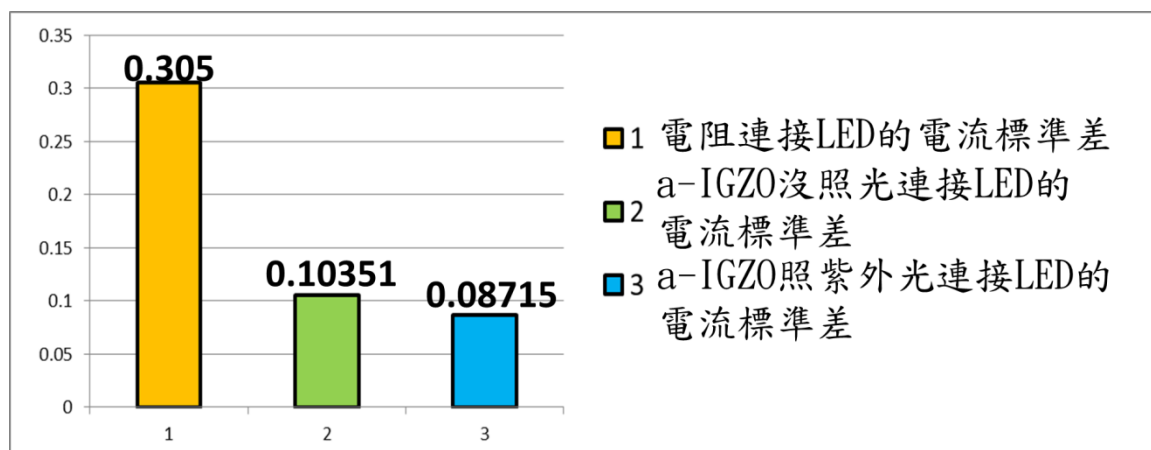


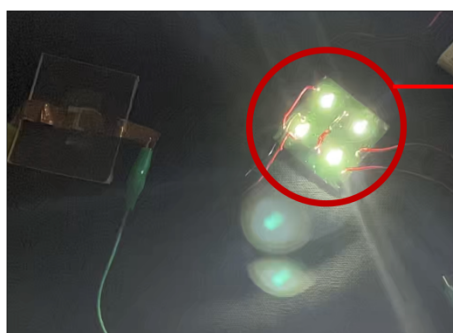
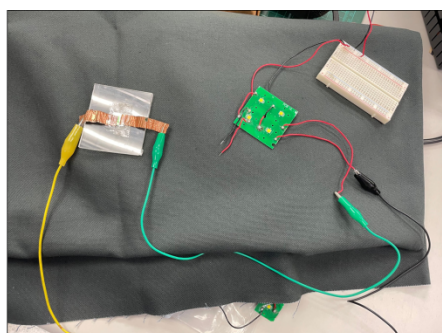
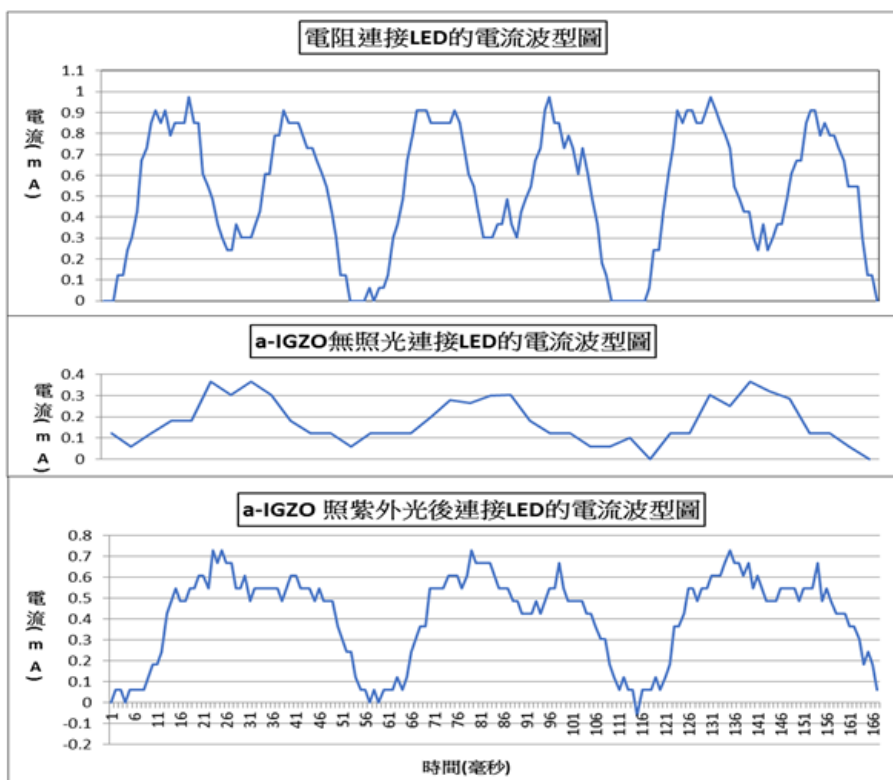
三、實驗結果：

(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。

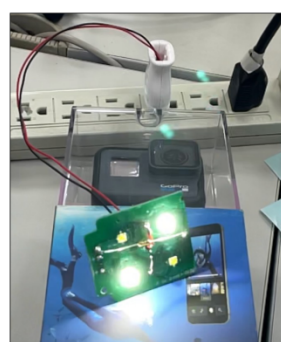
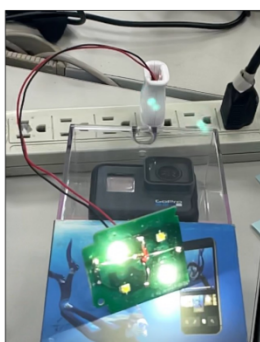
(二)由文獻知 a-IGZO 受紫外線激活後，可具有一天以上的持續性光電流。實際白天受紫外線照射，紫外線將缺陷(defect)裡的電子打出，形成更多電洞-自由電子載子，而使得其電阻值下降，因此端電壓變小。

(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。

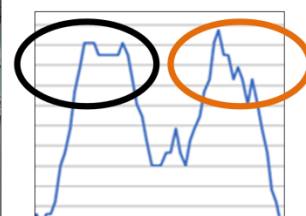




LED接a-IGZO可以
四顆全亮



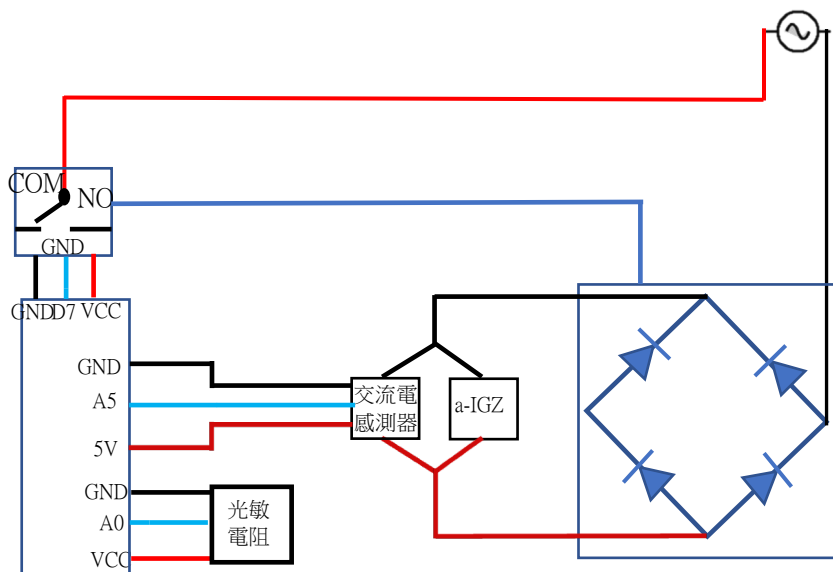
LED接電阻會
輪流亮



【實驗十一】：感測光線自動開關燈

目的：利用 arduino 使路燈能自動感測周遭明亮度並開關燈

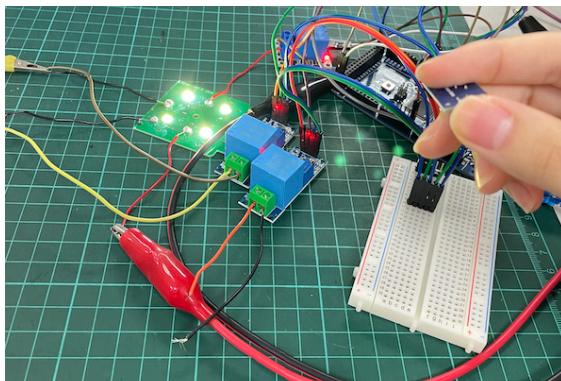
一、裝置圖：



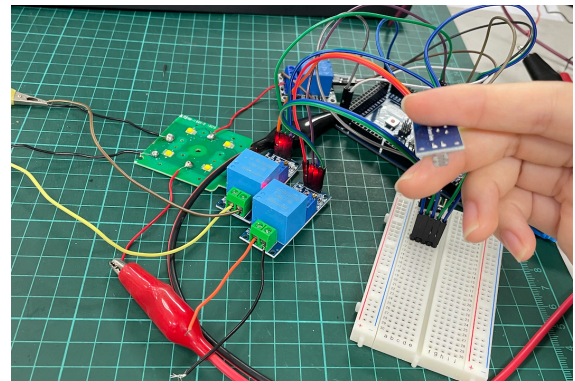
二、實驗步驟：

1. 利用 arduino、電壓感測器寫程式碼。
2. 記錄並實測是否感測得光線明暗。

三、實驗結果：



遮住光敏電阻後燈亮起



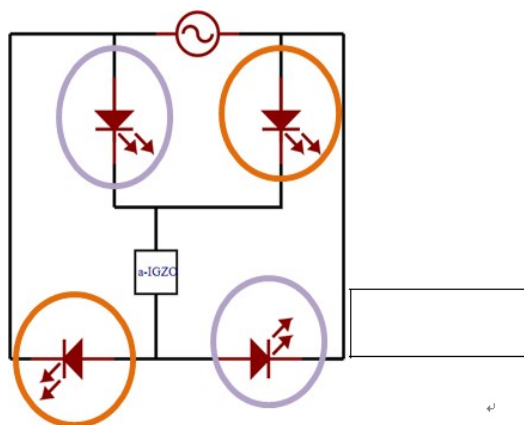
放開光敏電阻後燈熄滅

四、程式碼：

```
int light,aIGZO,aIGZO2; void loop() {
unsigned long time;      light=analogRead(A0);
void setup() {           aIGZO=analogRead(A4); if(light>200)
Serial.begin(115200);    aIGZO2=analogRead(A5); digitalWrite(7, HIGH);
pinMode(7, OUTPUT);      time=millis(); else
digitalWrite(7, LOW);    Serial.print(time); digitalWrite(7, LOW);
                          Serial.print(",");
                          Serial.println(aIGZO2);
}
```

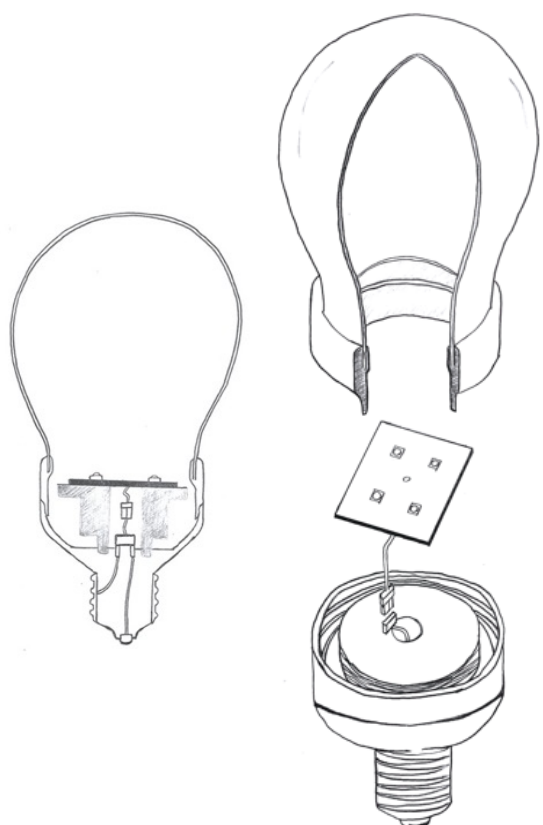

陸、結論

- 一、本實驗設計給交流電直接使用，不需使用變壓器（含電容），具有使用性方便、成本降低、減少受限於變壓器故障因素等，可延長 LED 燈的壽命
- 二、以 a-IGZO 而非電容整流，在電壓極性轉換時，用 a-IGZO 的持久性光電流延長 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敏電阻。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，維持最大照度的時間增長，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，紫外線將數量較多之價電帶電子激發至傳導帶，形成更多自由電洞-及電子載子，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，若可結合變壓器損壞的 LED 改造做成可拆式更換 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。

十二、增加感光設計，藉由感應外部環境光源之變化來調變驅動電流值。在白天，外部環境光源較為充足，可以調降驅動電流，使 LED 元件維持在低亮度操作範圍；反之在晚上，外部環境光源較弱，可以增加驅動電流，使 LED 元件可以提供較足夠之照明亮度。

柒、應用

一、延長 LED 壽命。

二、a-IGZO 只有 1mm，可以直接與 LED 基板一起製成。

三、LED 常宣稱可使用數萬小時以上(超過 10 年)但往往因變壓器壽命而 3~5 年就整組報廢，回收路燈後，改造成不用變壓器的 LED，降低成本，且路燈是高功率 LED，照明效果良好，對未來相當具有前瞻性。

四、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。

五、全台路燈若更新為 LED，一年電費約可省下 15 億；

若再省去變壓器的耗電量，一年可省 1.6 億元

捌、參考文獻

一、Multifunctionality of Giant and Long-Lasting PersistentPhotoconductivity: 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](#)

玖、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。其實與本實驗的 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。

