

中華民國第 60 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

082801

面面俱到-雙面太陽能電池

學校名稱：桃園市大溪區福安國民小學

作者： 小五 江品宸 小五 廖子嫻 小五 何語宸	指導老師： 陳其茂 張大昌
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：太陽能發電、追日、鏡面反射

摘要

本研究主要探討如何增加太陽能電池的效能，我們研究如何讓陽光同時照射上下兩片太陽能板並且能夠自動轉向太陽的裝置。一般的太陽能電池為單面受光，我們設計了雙面受光的太陽能板，上下兩面太陽能板皆能照射到光，如此可以節省成本及增加效能。

為要達到最佳的光電轉換的效能，實驗透過兩組光敏二極體測量四個方位的光照值，透過程式的計算並命令伺服馬達轉到目標角度，使太陽能電池板面始終保持垂直面對太陽的狀況。

由實驗結果得知，太陽能電池藉著自動轉向機構確實比固定角度的機構更能得到好的光電轉換效能，並且藉著鏡面的反射，背面的太陽能板亦能得到太陽光的照射，因此，實驗結果達到我們預期的效果。

壹、研究動機

根據文獻資料得知，太陽能板之面板與太陽光的入射角將影響太陽能板吸收光線的效率有直接關係，例如中午時，太陽的高度角 90 度且與太陽能板面板呈垂直時，發電效能最佳，但因為太陽運行的軌跡不斷改變，而太陽能板固定角度時，就會無法持續產生最佳的效能，另外，裝設太陽能板需要較大的空間，因此，如何設計有效發電及節省成本及空間的機構，是值得我們研究的方向。

目前實際應用的太陽能板多為固定角度的設計，亦有少數是自動調整式的機構，也有根據四季的太陽高度角設定其轉向角度，綜合各種設計的優缺點，我們認為，能自動偵測天空中最亮的方向而轉向的設計更具研究性及實用性。

另一個議題是，一般設計的太陽能板發電機構為單面受光，背面因背向太陽而無法感光，所以只有單面向著太陽接受光線，若能設計雙面受光的太陽能板，且效能兩面太陽能板都能發電的機構，將可會節省空間及增加效能。

綜合以上所述，我們想研究設計一組正反面受光發電並能隨著太陽方位及高度角而轉向的太陽能發電機構是我們主要的研究動機。

貳、研究目的

我們想要設計雙面的太陽能板，希望能夠達到降低成本、提升發電效能的目標。本研究依據研究主題設計實驗步驟，設計並製作最佳的機構及參數。

- 一、研究並設計太陽能板轉向單元的構造及製作方法，使機構能正常轉動。
- 二、研究如何應用程式控制太陽能板受光時，面板轉到正確的角度，以達最大受光量。
- 三、研究雙面受光太陽能板的結構以達預期的發電效能。
- 四、測試雙面發電並自動轉向的太陽能發電機構的定位及發電效能。

參、研究設備及器材

- | | |
|-------------------|----------------|
| 1. 3D 列印機及 PLA 材料 | 2. 太陽能電池基座 |
| 3. 電腦及程式軟體 | 4. 反射鏡片 |
| 5. Arduino 開發板 | 6. 反射鏡片固定架 |
| 7. 轉向伺服機(0~180 度) | 8. 探照燈 (模擬太陽光) |
| 9. 麵包板 | 10. 雷射筆 |
| 11. 杜邦線 | 12. 光敏二極體模組 |
| 13. 三用電表 | 14. 二極體 |
| 15. 電阻(220 Ohms) | 16. 自製反射鏡參數量測器 |

肆、研究過程或方法

一. 研究流程

我們的研究過程分為 1. 設計雙面太陽能電池的支撐結構，使用電腦繪製組件並使用 3D 列印機列後組裝；2. 裝設反射鏡及研究最佳受光角度；3. 使用 Arduino 開發板控制太陽能電池的轉動方向；4. 測試雙面太陽能電池的光電轉換效果。

1. 研究流程圖

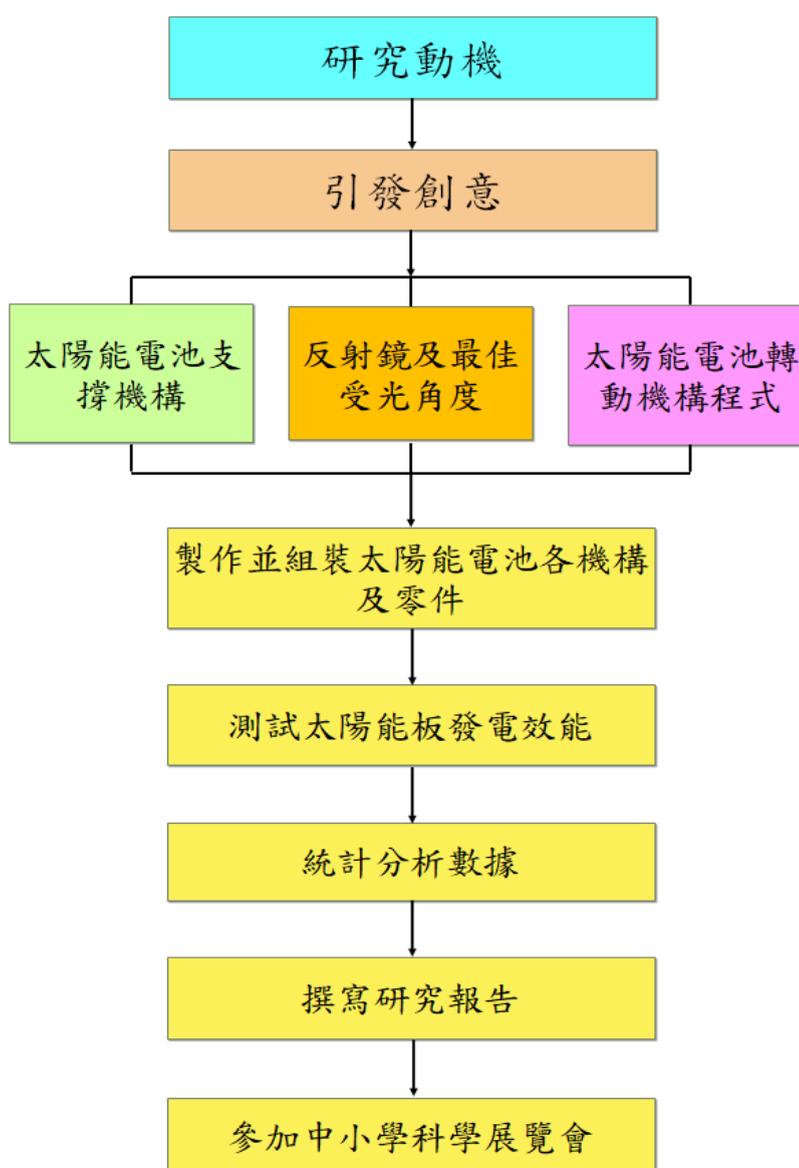


圖 1. 研究流程圖

二、設計雙面太陽能電池的結構

本次實驗的基本結構包含兩片太陽能板、四面反射鏡片、兩臺伺服馬達、四個光敏二極體及支撐主體的基座。

1. 設計雙面太陽能電池支撐結構(第一代)

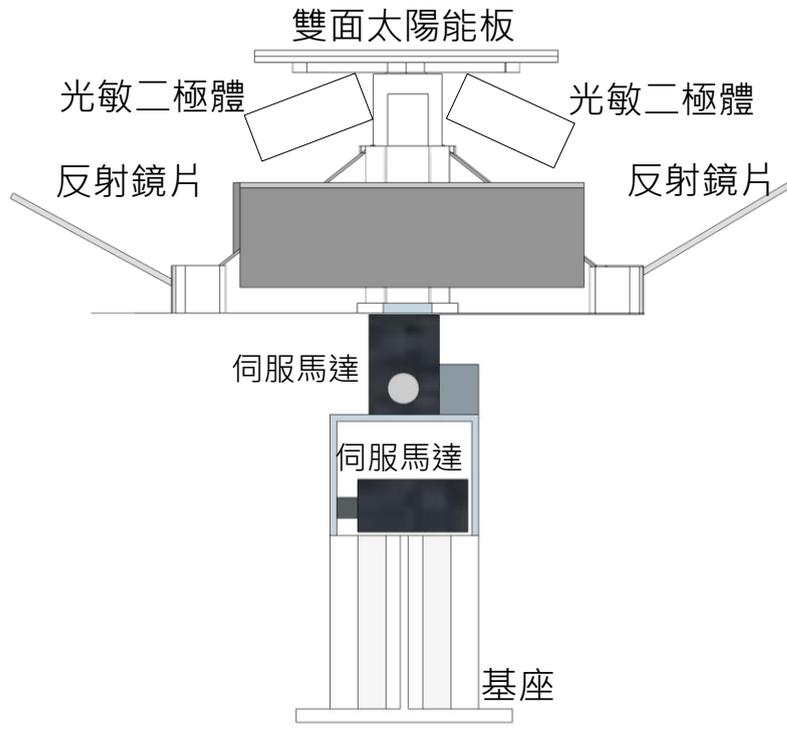
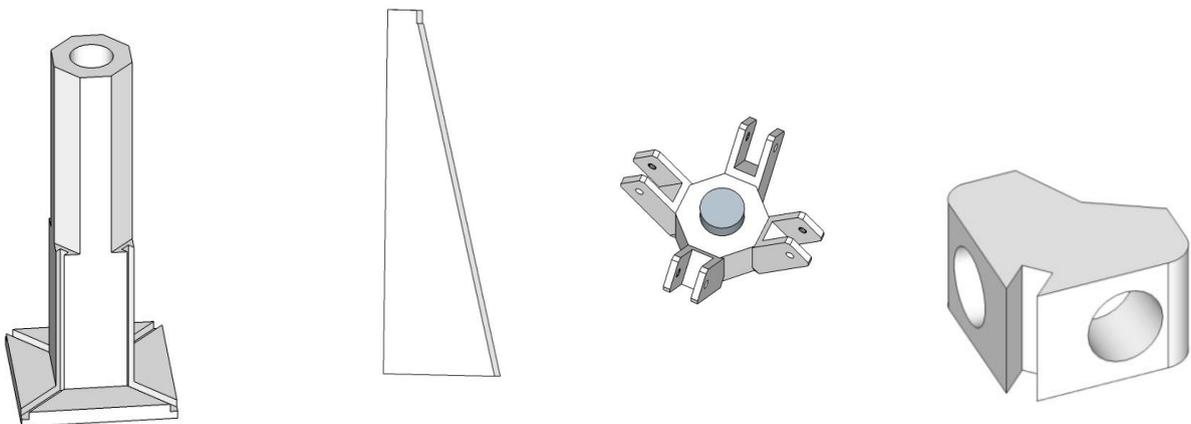


圖 2. 雙面太陽能電池設計圖

支撐結構零件圖



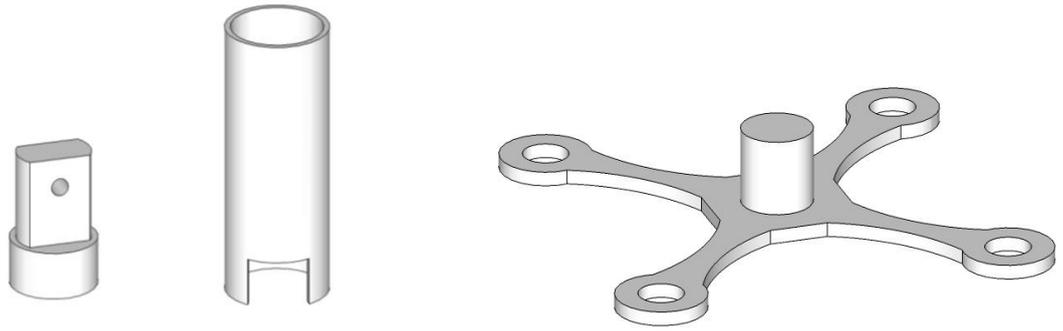


圖 3. 第一代雙面太陽能電池設計圖

2. 雙面太陽能電池結構設計(第二代)

為改善底面太陽能板受光問題及減輕機構重量，再次設計太陽能電池支撐結構。我們為了讓鏡子的反射光不受阻擋，而使背光面的太陽能板的受光密度能達到更高的光電轉換效能，將中柱去除，改成對角支撐，以減少遮光物。

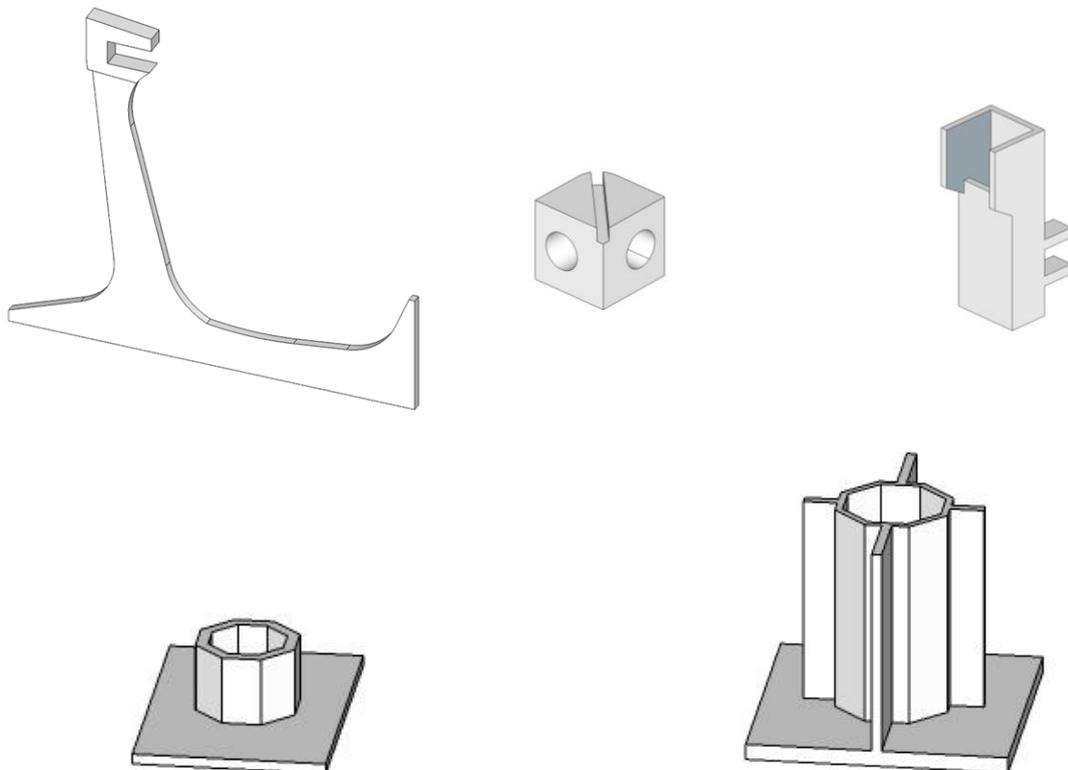


圖 4. 第二代雙面太陽能電池設計圖

3. 設計雙面太陽能電池的支撐結構，使用電腦繪製組件並使用 3D 列印機列印。

運用學校電腦課所學的 3D 繪圖及列印技巧，繪製雙面太陽能電池支撐底座及相關零件，並列印出來。



三、設計雙面太陽能板反射鏡結構及參數研究

1. 雙面太陽能電池反射鏡角度

實驗利用鏡子反射的原理的概念來自於課程所學之光反射原理，以及參考網路上許多關於鏡子反射的應用，因此，我們使用多面鏡子反射太陽光照射到太陽能電池底面的板面而產生光電轉換。

(1) 光的反射原理

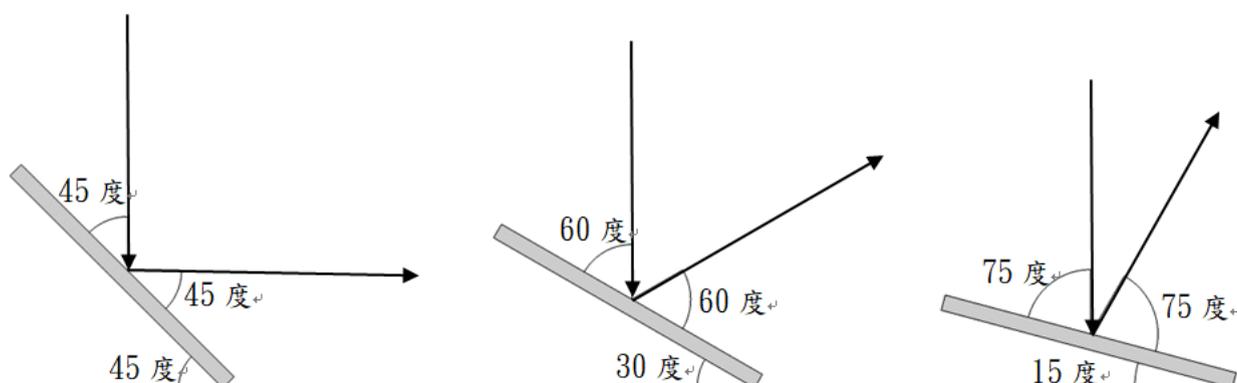


圖 5. 鏡面反射角度

(2) 反射鏡鏡面角度依據

太陽距離地球很遠，可將太陽光視為與地表面垂直的直射光。我們根據太陽能板與鏡面的距離測試鏡面的固定角度。我們自製一臺反射鏡量測器，為求穩定光源，在實驗室中以高亮度攝影燈做為光源，為量測反射鏡的角度、反射鏡與太陽能板的距離以及反射鏡與太陽能板中心的距離，為要得到最佳參數亦即下方(背面)太陽能板最佳受光參數。



四、設計雙面太陽能板自動轉向機構

實驗的設計理念是，利用四個光敏偵測器蒐集東、西、南、北方位的感光值，經過 Arduino 程式運算後，命令兩臺伺服馬達轉到設定的角度。

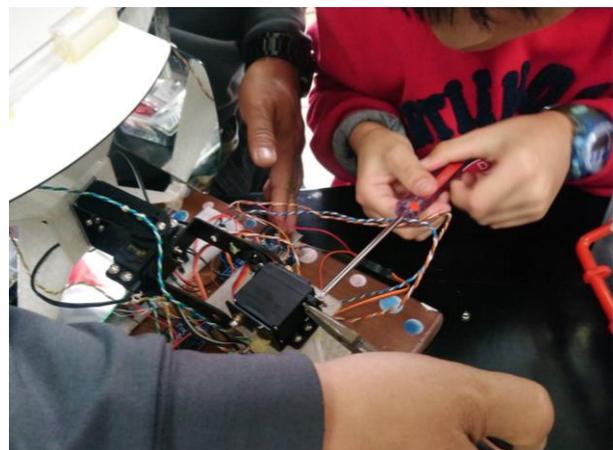
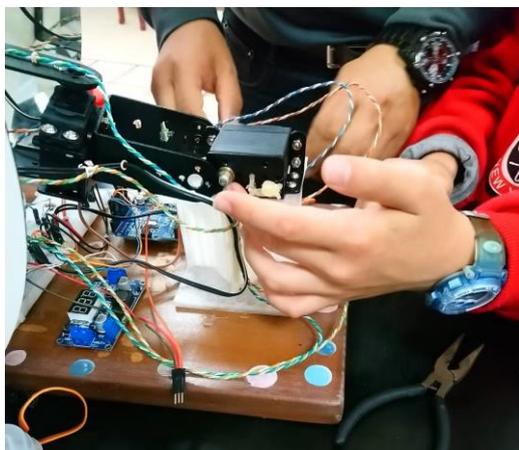
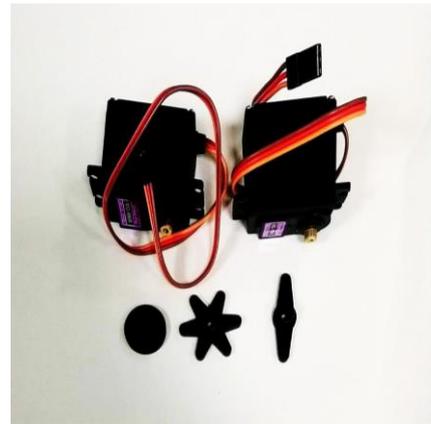
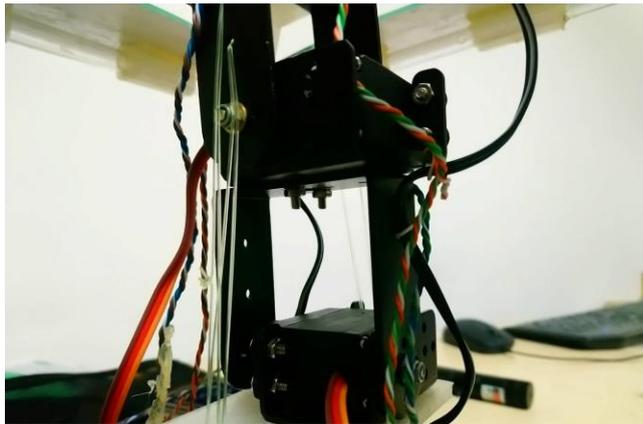
1. 光偵測元件-光敏二極體模組

經過查詢資料後評估，實驗試著使用光敏二極體模組而不用一般光敏電阻是因為要利用光敏二極體具有方向性的特性來感知固定方向的光源，因它只感

應感測器正前方的光源，用於尋光效果更佳，因此，對於我們的實驗有幫助，為了讓太陽能電池更能準確對準太陽或天空最亮之處。

2. 轉向元件-180 度伺服馬達

為了要承受太陽能電池及反射鏡的重量，實驗選擇兩臺扭力 13Kg 的伺服馬達(MG996)負責東西及南北方位的轉向任務。



五、設計雙面太陽能板轉向機構程式

現今 Arduino 開發板的應用已相當普及，種類也很多。本實驗使用最基本的型號 (UNO) 來執行轉向的程式。

1. Arduino 開發板的連接方式

將光偵測模組、電源、伺服馬達連接於開發板上，並使用麵包板及杜邦線組成太陽能電池的控制電路。

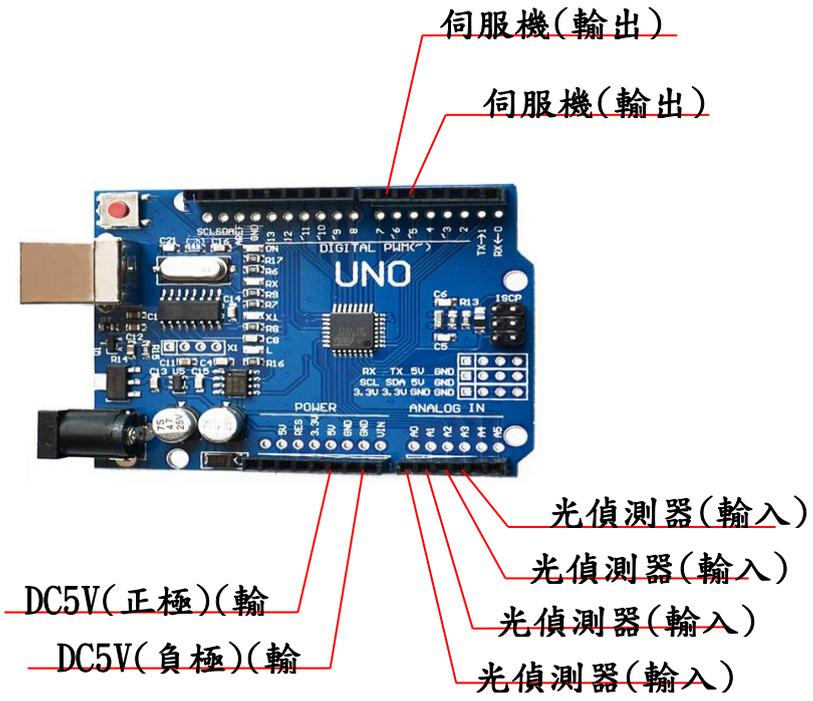
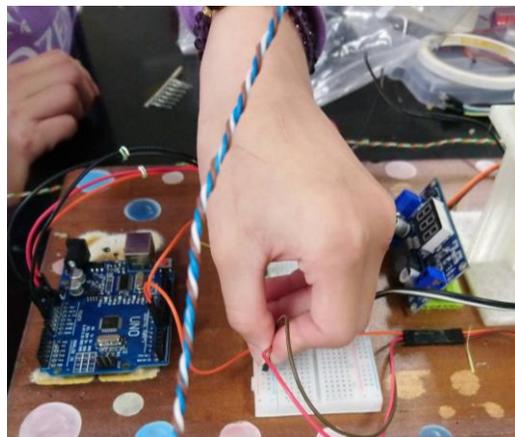
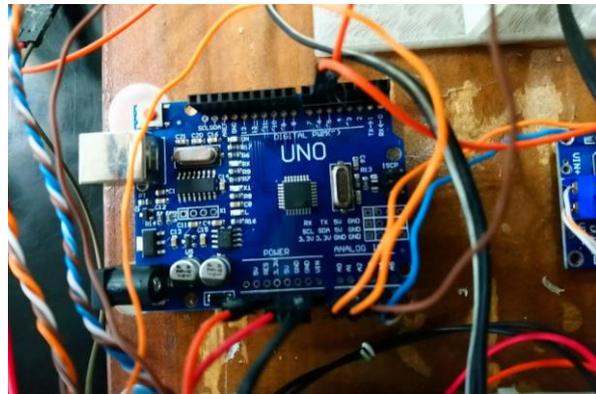
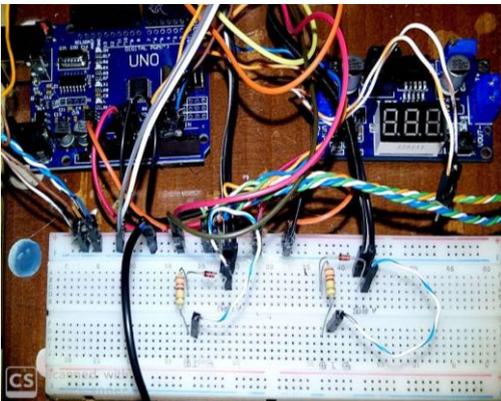


圖 6. Arduino 開發板接線圖



2. Arduino 程式控制邏輯

程式設計理念是藉著兩組光偵測器分別負責東西方位及南北方位光的類比訊號，各組分別比較後命令伺服機轉到指定角度，概念圖如下圖。

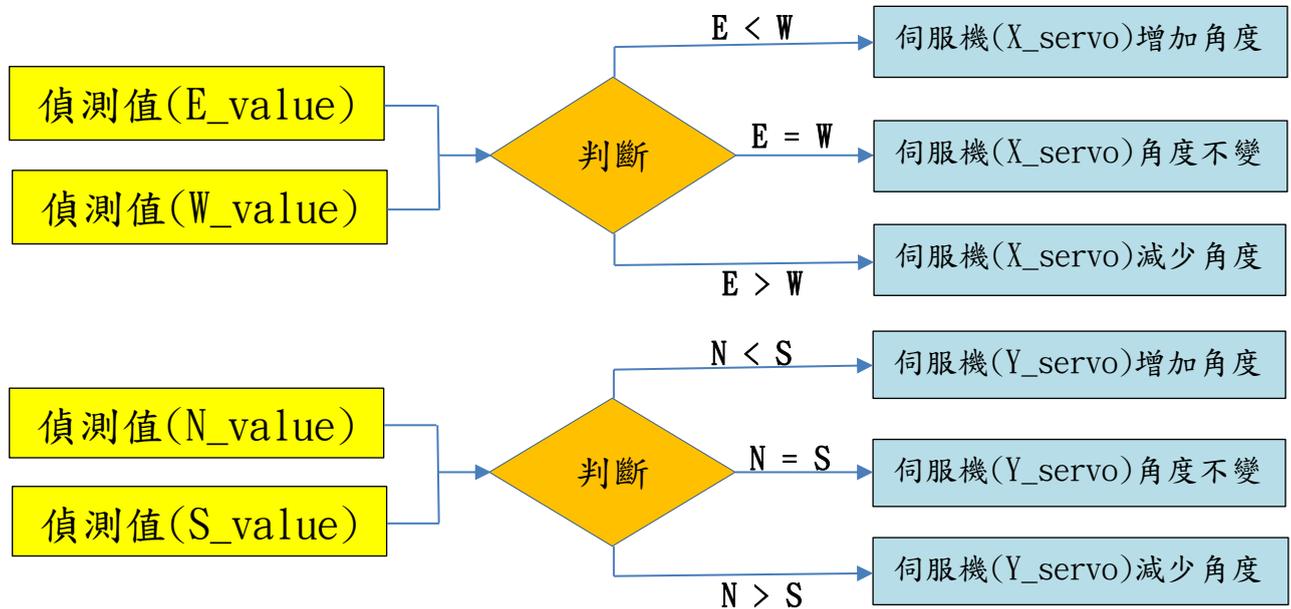


圖 7. Arduino 程式判斷邏輯

3. Arduino 編輯程式內容(節錄)

```
#include <Servo.h>
```

```
Servo Xservo;
```

```
Servo Yservo;
```

```
int EValue = 0, WValue = 0;
```

```
// East, West 初始值
```

```
int SValue = 0, NValue = 0;
```

```
// South, North 初始值
```

```
int Xpos = 90;
```

```
// X 伺服馬達初始角度 90 度
```

```
int Ypos = 90;
```

```
// Y 伺服馬達初始角度 90 度
```

```
void setup() {
```

```
  pinMode(14, INPUT);
```

```
//A0 類比訊號輸入
```

```
  pinMode(15, INPUT);
```

```
//A1 類比訊號輸入
```

```
  pinMode(16, INPUT);
```

```
//A2 類比訊號輸入
```

```
  pinMode(17, INPUT);
```

```
//A3 類比訊號輸入
```

```

Xservo.attach(5); //伺服馬達(東西)對應 D05
Yservo.attach(6); //伺服馬達/(南北)對應 D06
  Xservo.write(Xpos); //X 伺服馬達轉到初始角度
  Yservo.write(Ypos); //Y 伺服馬達轉到初始角度
Serial.begin(9600); //設定串列埠
}
void loop() {
Xservo.write(Xpos); //X 伺服馬達轉動
Yservo.write(Ypos); // Y 伺服馬達轉動
  EValue = analogRead(14); //讀取 East 感光值
  WValue = analogRead(15); //讀取 West 感光值
  SValue = analogRead(16); //讀取 South 感光值
  NValue = analogRead(17); //讀取 North 感光值
  if (abs(EValue - WValue) > 5) // EValue 與 WValue 差> 5
{ if ((EValue - WValue) < 0 && Xpos <180) // EValue < WValue
  { Xpos=Xpos+1; } //角度值增加 1 度
else if((EValue - WValue) > 0 && Xpos > 1) // EValue>WValue
  { Xpos=Xpos-1; } //角度值減少 1 度
else { Xpos=Xpos+0; } //角度值不變
}
  if (abs(SValue - NValue) > 5) // SValue 與 NValue 差> 5
{ if ((SValue - NValue) < 0 && Ypos > 1) // SValue < NValue
  { Ypos=Ypos-1; } //角度值減少 1 度
else if ((SValue - NValue) > 0 && Ypos < 180) // SValue>NValue
  { Ypos=Ypos+1; } //角度值增加 1 度
else { Ypos=Ypos+0; } //角度值不變
Serial.print(" 東方偵測值 : ");
Serial.println(EValue); //監控視窗顯示東方光強度值
}

```

```

Serial.print(" 西方偵測值 : ");
Serial.println(WValue);           //監控視窗顯示西方光強度值
Serial.print(" 南方偵測值 : ");
Serial.println(SValue);          //監控視窗顯示南方光強度值
Serial.print(" 北方偵測值 : ");
Serial.println(NValue);          //監控視窗顯示北方光強度值
Serial.print(" 東西向伺服機轉角 : ");
Serial.println(Xservo.read());   //監控視窗顯示東西向伺服機轉角
Serial.print(" 南北向伺服機轉角 : ");
Serial.println(Yservo.read());   //監控視窗顯示南北向伺服機轉角
delay(1000);                      //延時 1000 毫秒
}

```

註 1: Evalue : 東方偵測值; Wvalue: 西方偵測值; Svalue : 南方偵測值; Nvalue: 北方偵測值; Xpos : 東西向伺服機轉動角度; Ypos : 南北向伺服機轉動角度。

程式” if (abs(SValue - NValue) > 5) ” 中，數值 5 是光偵測值之差，值越小越靈敏，我們在實驗過程中發現原本設定值是 20，在實驗室運作時能正常尋光轉向，但是當空中有雲時，明暗不明顯，會造成程式沒有為命令伺服馬達轉動，因為兩偵測值的差值不大，經過多次實驗，採用設定值 5，才能使設備在有雲的天氣仍能轉向。

程式” delay(1000) ” 是每次程式運算循環時等待時間，就實驗過程我們定 1000 毫秒，以方便觀察，若實際應用在發電時，因為太陽移動速度很慢，可設較長的時間，如 5 分鐘或 10 分鐘，如此減少機構損耗及用電。

就設備轉動的方位而言，程式指令不但輸出各個光偵測器的值，也輸出兩臺伺服機轉動角度值到電腦，方便監控及讀取值，也能知道太陽能電池轉動的角度，視窗如下圖所示：

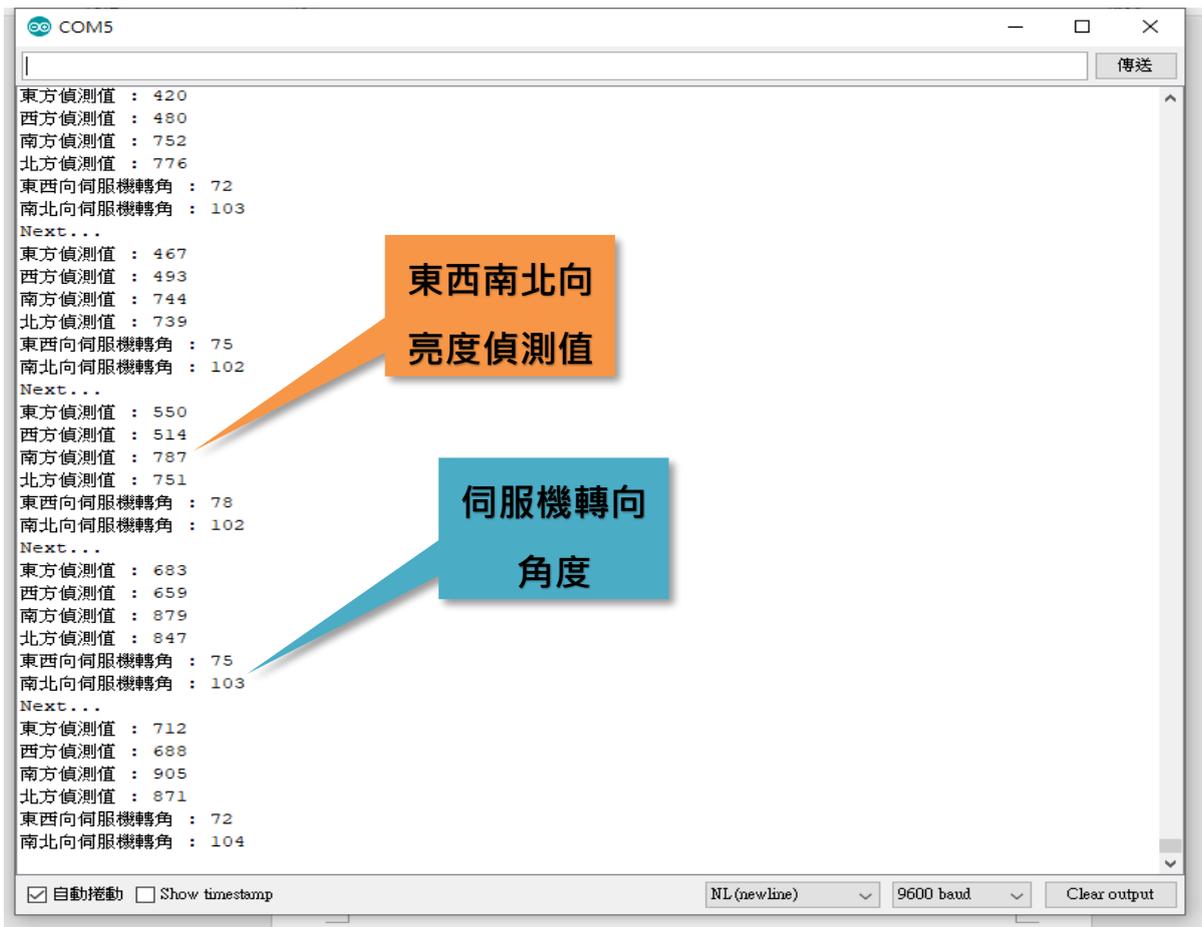


圖 8. Arduino 數值監控視窗

就讀取伺服馬達轉向角度而言，東西向的伺服馬達角度在 90 度以下為西方，90 度以上為東方，而南北向的伺服馬達角度在 90 度以下為南方，90 度以上為北方。例如，測得東西向伺服機 75 度，南北向伺服機 103 度即為：西方 75 度北方 77 度(180 度-103 度=77 度)。因此，在測量太陽能電池發電能力時，可藉著連接電腦並開啟 Arduino 程式監控視窗即可得知太陽能電池轉動的角度及方位。

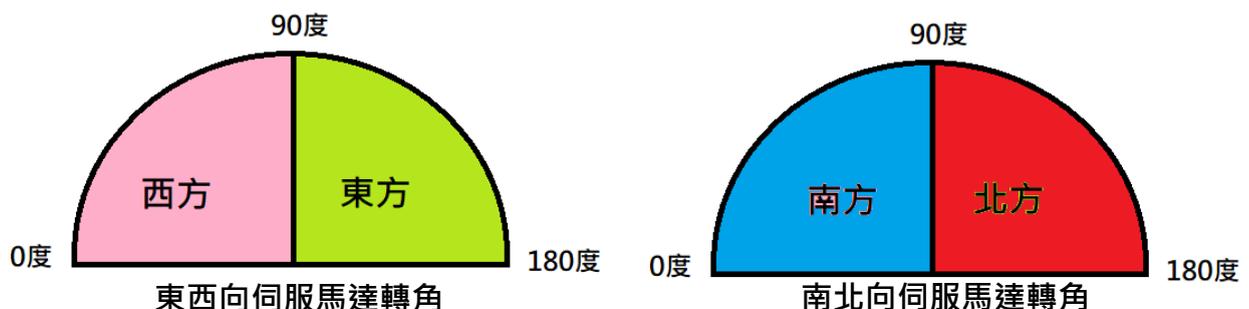


圖 9. 伺服馬達轉向角度

六、雙面太陽能電池電路設計

從相關資料得知，太陽能電池所產生的電荷有反向流回的可能性，因此，為了防止太陽能電池的電流荷返流，我們加裝了二極體，使其產生的電荷保持單向流通。

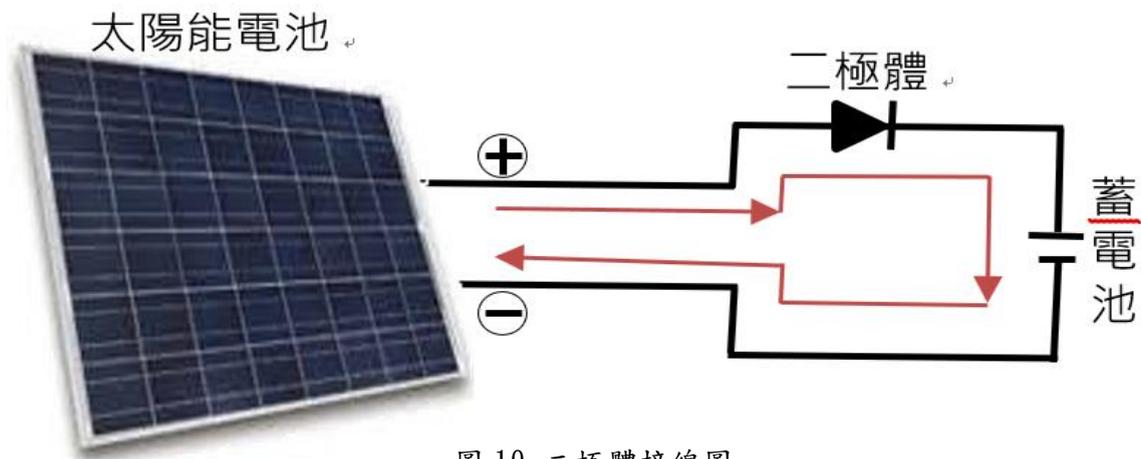


圖 10. 二極體接線圖

實驗使用 220 (Ohms) 的電阻，與三用電表串聯，為量測太陽能電池所產生的電流。

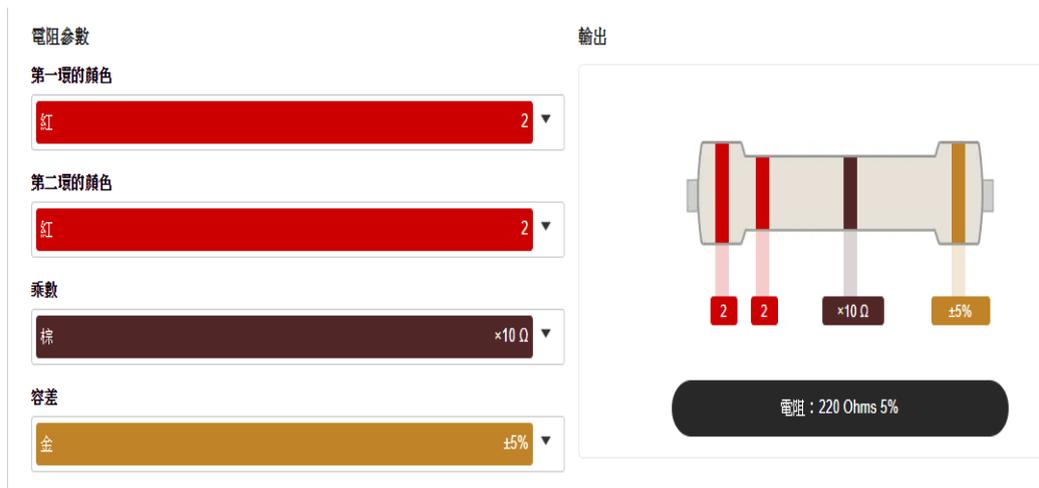


圖 11. 電阻歐姆值

電流的量測方式是將三用電表與電阻及太陽能板串聯，依照正負極正確連接後就可以量測了。

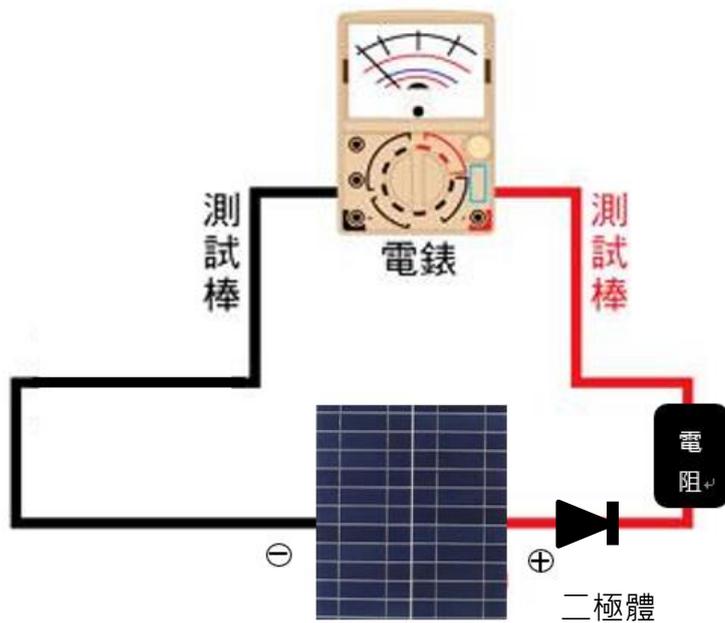
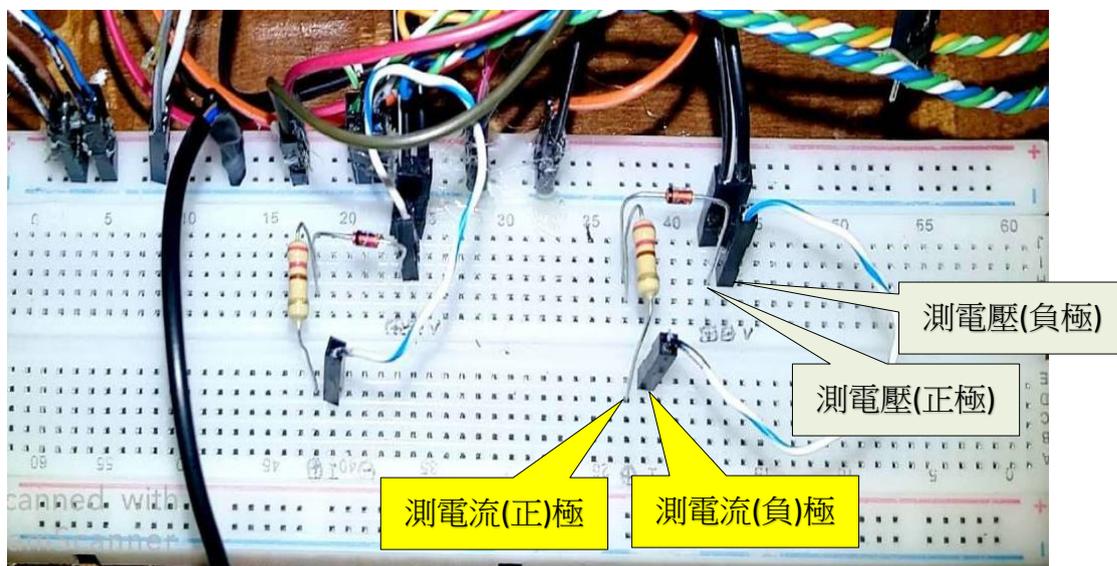


圖 12. 電流測定方式



七、設定固定式太陽能電池傾斜角及方位

根據查詢資料得知，緯度越大陽光越在南邊，為接受最大的陽光照射太陽能板安裝應有傾斜角度。為使光電板在冬天接受較大陽光通常以緯度加上10~15度作為傾斜角度，例如在臺灣緯度為23度，則需方位角度為33~38度左右。

本次實驗，我們將固定式太陽能板之傾斜角度調到60度，方位角度為南偏東35度做為實驗的**對照組**，而以**自動轉向**追日做為**實驗組**，兩者做比較。

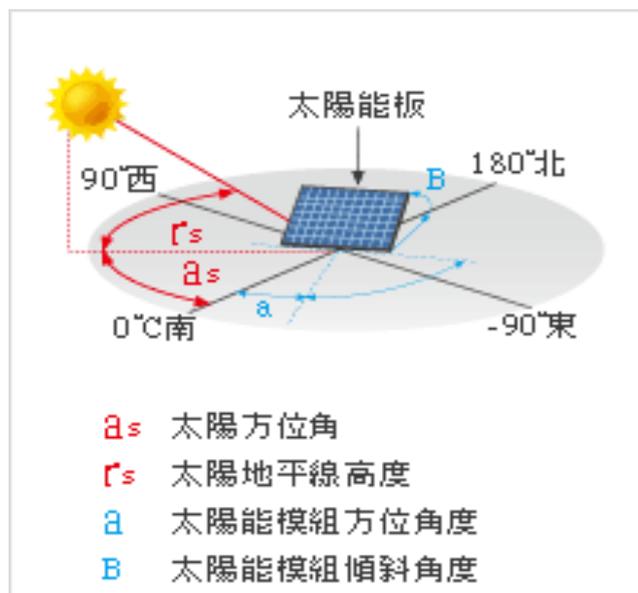


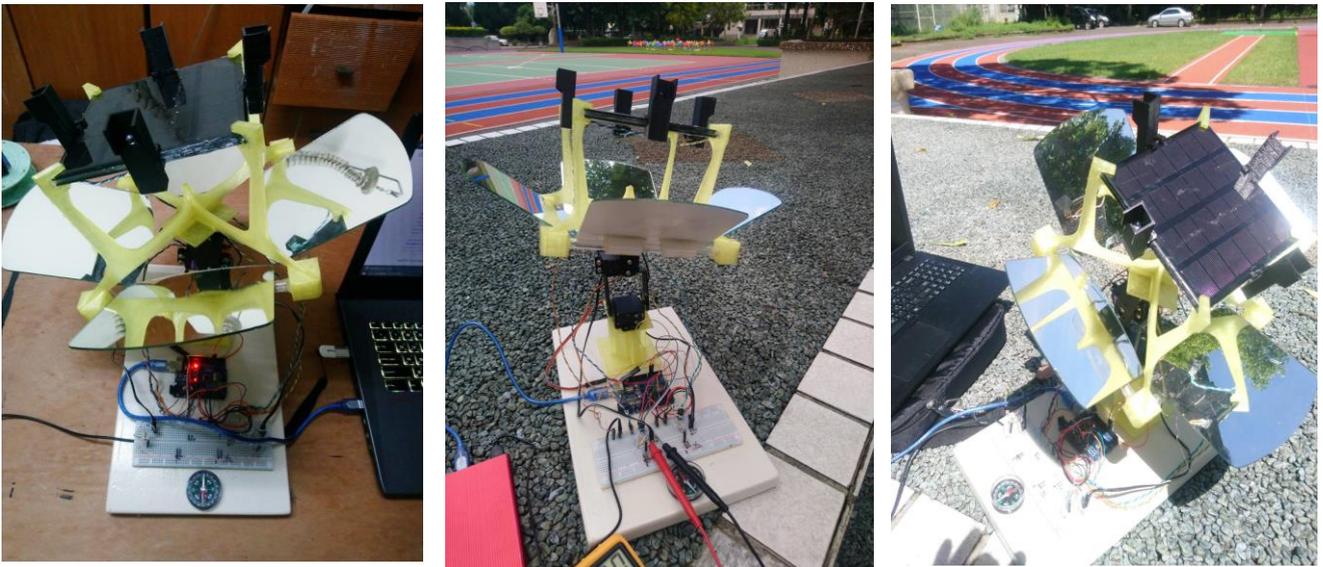
圖 13. 太陽能板傾斜角度及方位

八、雙面太陽能電池完成組裝及運作

第一代雙面太陽能電池經過測試後可正常轉向及發電，但構造中的支撐柱似乎會遮到背面太陽能板的光線，完成機構及運作如下圖：



第二代雙面太陽能電池結構上有許多改變，由原本的支撐柱改成太陽能板四角支撐架，使底面太陽能板之光反射區無遮蔽物，完成圖及戶外運作如下圖：



九、雙面太陽能板發電量與轉向機構馬達用電量比較

基本上，太陽能電池所發的電量應該要大於轉向機構所耗的電量，因此，概略計算兩者之間的差異量。首先查了伺服馬達 (MG996) 的基本資料得到：

MG996:

1. Operating voltage: 4.8 V a 7.2 V
2. Running Current 500 mA – 900mA (6V)

伺服馬達每次轉動角度為 1 度，時間約 0.5 秒，電流若為 500mA，因此，每次轉動耗電約 $0.5 \text{ 秒} \times 500\text{mA} \times 2 \text{ 臺}$

為計算每天所需要轉動的頻率，我們查詢中央氣象局的臺灣四季太陽仰角與方位角資料如下：

表 1. 臺灣四季太陽仰角

臺灣四季太陽仰角與方位角

中央氣象局製

臺灣各地四季太陽仰角與方位角

臺北 (東經 121°31', 北緯 25°02')		時	6	7	8	9	10	11	中天	12	13	14	15	16	17	18
春分	仰角		13.3	26.6	39.6	51.5	61.0	65.0	65.0	61.3	52.0	40.2	27.3	13.9	0.4	
	方位		96.3	103.5	112.7	125.8	147.0	180.0	179.2	211.9	233.5	247.0	256.3	263.5	270.0	
夏至	仰角	10.6	23.5	36.7	50.1	63.6	77.2	88.4	88.1	75.3	61.7	48.2	34.8	21.6	8.8	
	方位	68.9	74.0	78.5	82.8	87.4	94.3	180.0	211.0	267.1	273.3	277.8	282.1	286.7	291.8	
秋分	仰角	3.1	16.6	29.9	42.7	54.2	62.6	65.0	64.8	59.3	49.2	37.0	24.0	10.5		
	方位	91.3	97.8	105.4	115.3	130.0	154.0	180.0	187.9	218.2	237.3	249.4	258.0	265.0		
冬至	仰角		4.3	15.8	26.1	34.4	39.9	41.5	41.5	38.8	32.5	23.5	12.9	1.1		
	方位		118.4	126.0	135.8	148.5	164.3	180.0	182.4	200.1	215.1	227.0	236.1	243.4		

根據上表所示，研究採夏至的太陽仰角資料，參考早上 7 時(仰角:23.5 度)到下午 17 時(仰角:21.6 度)的範圍，計算太陽每小時移動角度如下表：

表 2. 夏至太陽每小時移動角度計算

夏至太陽每小時移動角度計算												
時間	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	
仰角	23.5	36.7	50.1	63.6	77.2	88.1	75.3	61.7	48.2	34.8	21.6	平均
每小時移動角度		13.2	13.4	13.5	13.6	10.9	12.8	13.6	13.5	13.4	13.2	13.11

根據上表，太陽每小時約移動 13.11 度，因此，以夏至白晝 10 小時計算，伺服機每次移動 1 度計算，白晝需轉動 131 次，所以，伺服機使用電量約：

$$0.5 \text{ 秒} \times 500\text{mA} \times 2 \text{ 臺} \times 131 \text{ 次} = 65,500 \text{ (mA 秒)}$$

概算雙面太陽能電池發電量以平均 25mA 計算約：

$$25\text{mA} \times 2 \text{ 臺} \times (10 \text{ 小時} \times 60 \text{ 分} \times 60 \text{ 秒}) = 50\text{mA} \times 36,000 \text{ 秒} = 1,800,000 \text{ (mA 秒)}$$

根據以上計算，伺服馬達的動作間隔為 36000 秒/131 次=274.8 秒，因太陽每小時只有移動 13.1 度，所以，太陽能電池轉向頻率不需太高，只要 274.8 秒微調 1 次即可達到對位的功能。綜上所述，結論是雙面太陽能電池所發的電量大於轉向機構之兩臺伺服馬達所耗的電量，

伍、研究分析與結果

一、反射鏡參數實驗結果

1. 實驗用的鏡面的角度是根據鏡面實驗測試數據如下表所示：

表 3. 反射鏡參數與電壓值

反射鏡參數與電壓值										單位：伏特
鏡面位置 鏡面角度	15cm	14cm	13cm	12cm	11cm	10cm	9cm	8cm	7cm	
10度	4.26	4.63	4.95	5.21	5.33	5.38	5.40	5.40	5.40	
15度	4.92	5.16	5.34	5.42	5.45	5.46	5.46	5.46	5.46	
20度	5.34	5.39	5.42	5.43	5.43	5.44	5.44	5.43	5.39	
25度	5.35	5.37	5.38	5.39	5.39	5.38	5.36	5.31	5.18	

2. 反射鏡參數實驗統計圖如下所示：

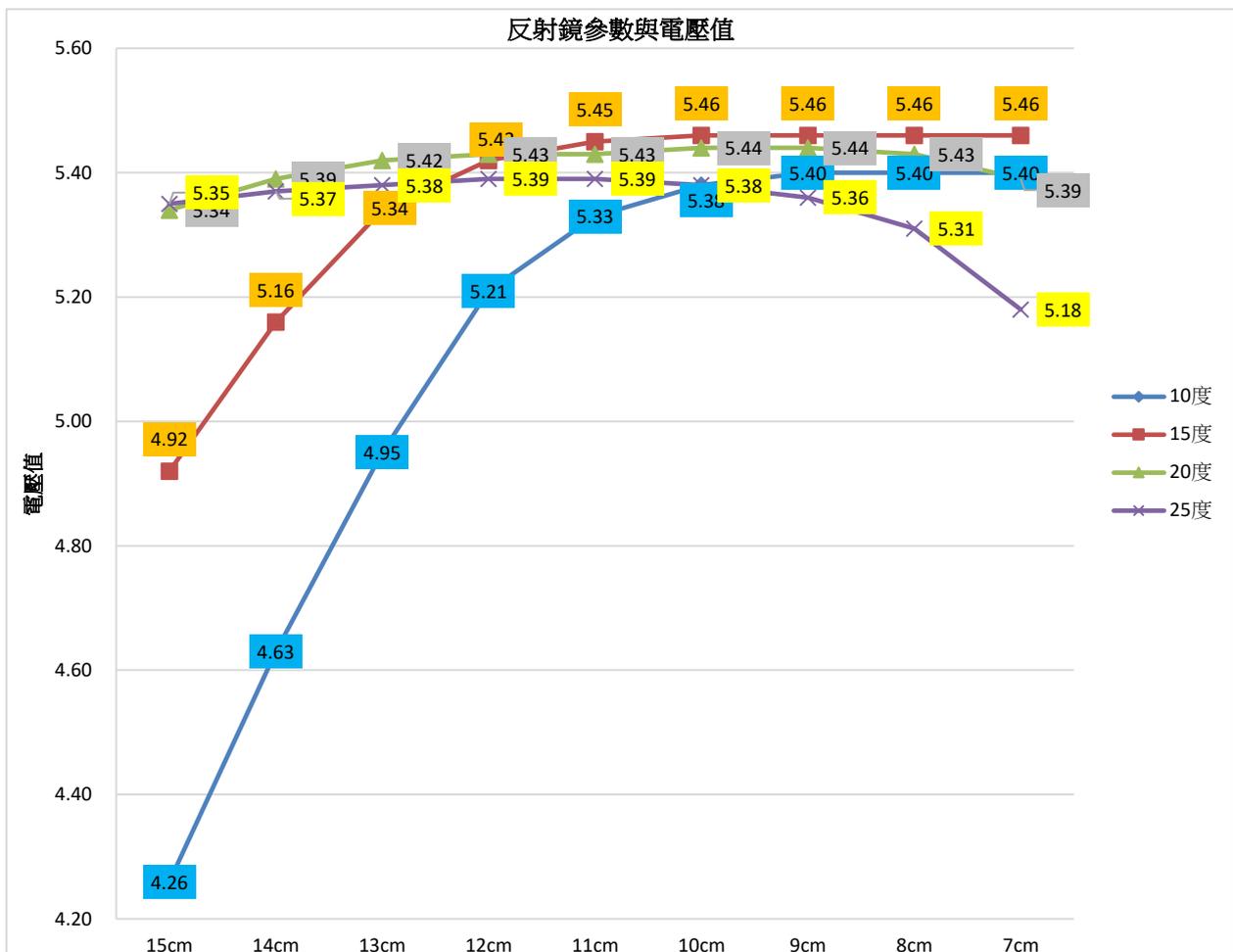


圖 14. 反射鏡參數統計圖

根據以上測試結果得知，反射鏡最佳的反射角度為 15~20 度，並且，反射鏡距太陽能板中心位置最佳距離為 10cm，因根據實驗室測得電壓值最高 (5.4v~5.46v)，因此，本研究採用此二者作為反射鏡之最佳參數。

二、雙面太陽能電池電壓及電流值量測結果

根據實驗步驟，我們將固定角度的太陽能板當作對照組，以自動轉向的太陽能板當實驗組，固定角度設為:南偏東 35 度，傾斜角 60 度，量測結果如下所示：

1. 第一代雙面太陽能板光電轉換效果

實驗時間:2020 年 3 月 11 日

固定角度:南偏東 35 度，傾斜角 60 度

表 4. 雙面太陽能電池電壓及電流量測值

時間	9:30am		10:30am		11:30am		12:30pm	
測量值 受光面	電壓 (v)	電流 (mA)	電壓(v)	電流(mA)	電壓(v)	電流 (mA)	電壓(v)	電流 (mA)
固定角度(正面)	6.94	27.3	6.63	25.2	6.6	26.6	6.88	27.3
固定角度(背面)	6.83	26.1	6.60	25.1	6.5	26.2	6.76	26.5
自動轉向(正面)	7.04	27.6	6.64	26.3	6.8	27.1	6.85	27.2
自動轉向(背面)	6.84	26.4	6.58	26.1	6.78	27.0	6.86	27.3

實驗測試四種數據，就是太陽能電池固定角度的正面及反面以及自動轉向之正面與反面的電壓值及電流值，電壓以伏特 (V) 為單位，電流以毫安培(mA) 為單位。

以下分別用電壓值及電流值繪製統計圖。

第一代雙面太陽能電池電壓值統計圖：

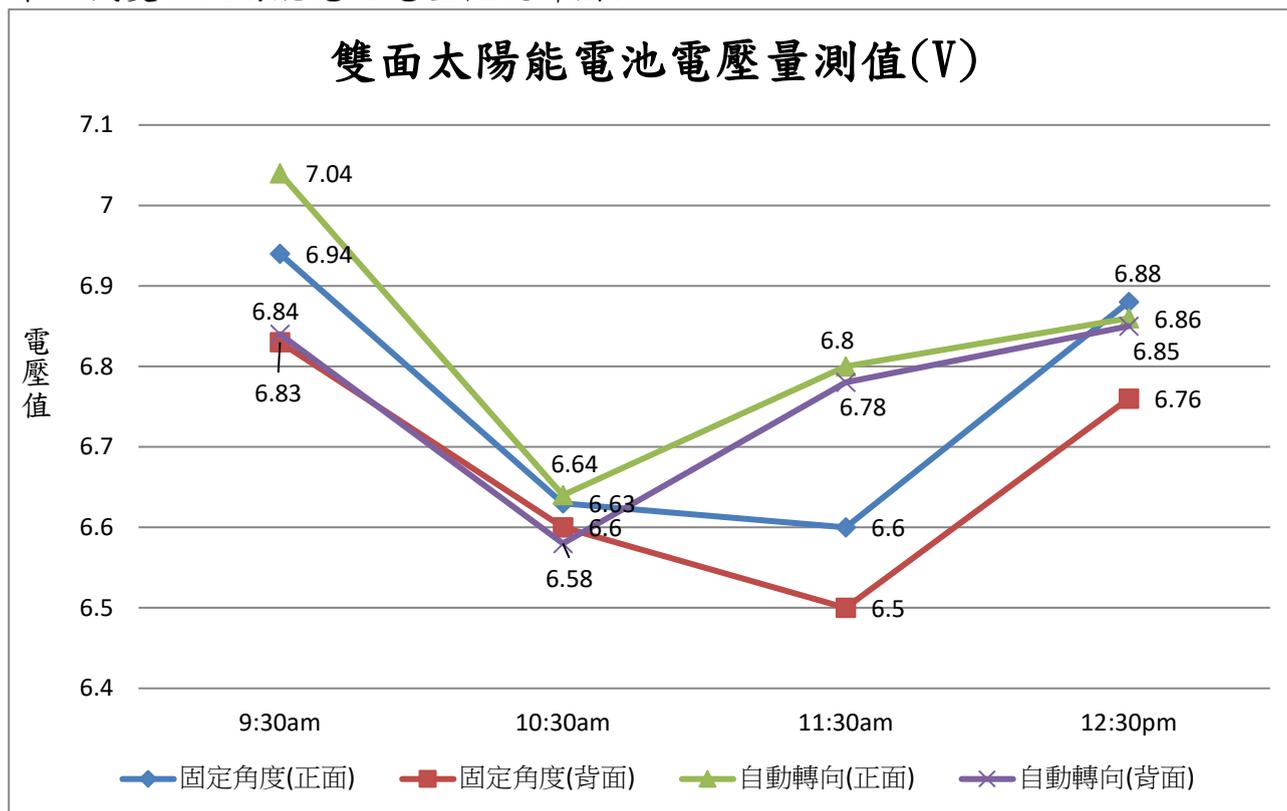


圖 15. 雙面太陽能電池電壓量測值

第一代雙面太陽能電池電流值統計圖：

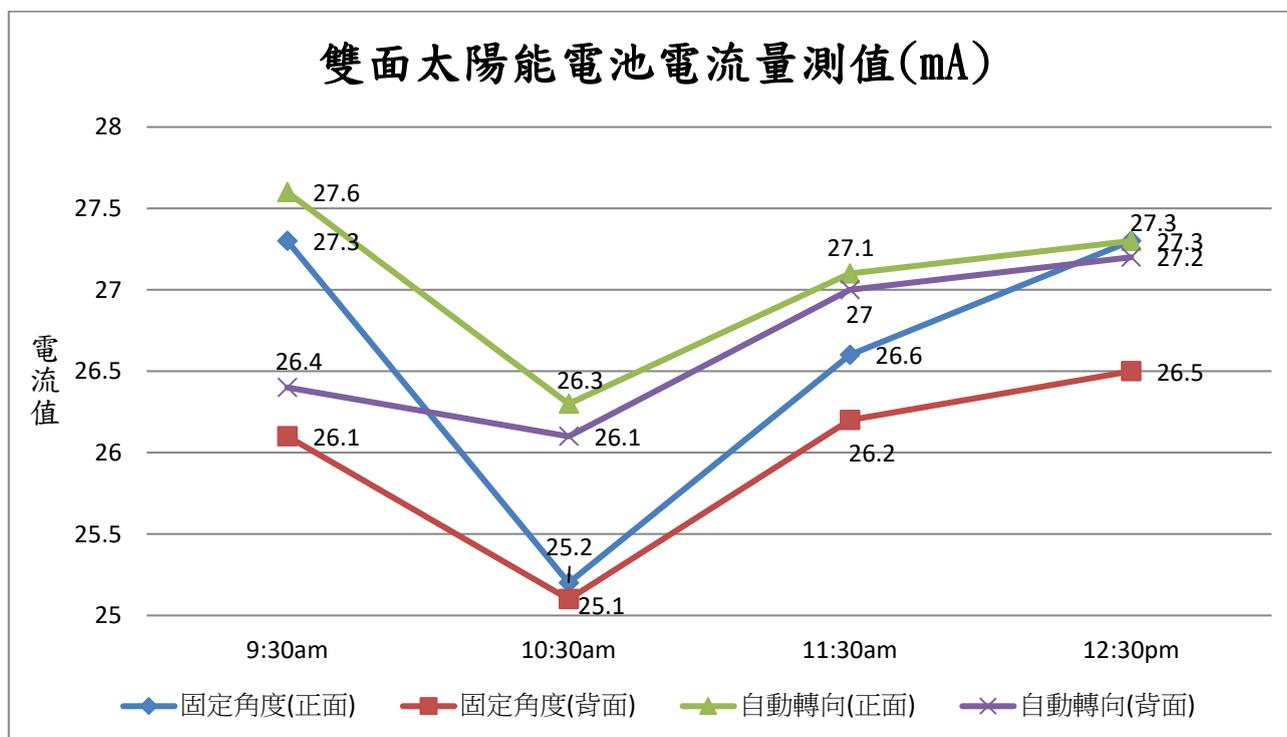


圖 16. 雙面太陽能電池電流量測值

2. 第二代雙面太陽能板光電轉換效果

實驗時間:2020年6月16日 固定角度:南偏東35度,傾斜角60度

表 5. 第二代雙面太陽能電池電壓量測值(V)

測量值 受光面	9:30am	10:30am	11:30am	12:30pm	13:30pm	16:00pm
固定角度(正面)	6.29	6.82	6.7	6.55	6.36	6.41
固定角度(背面)	6.19	6.77	6.39	6.37	6.06	6.22
自動轉向(正面)	6.42	6.99	6.94	6.7	6.86	6.54
自動轉向(背面)	6.38	6.97	6.87	6.55	6.78	6.33

第二代雙面太陽能電池電壓值統計圖:

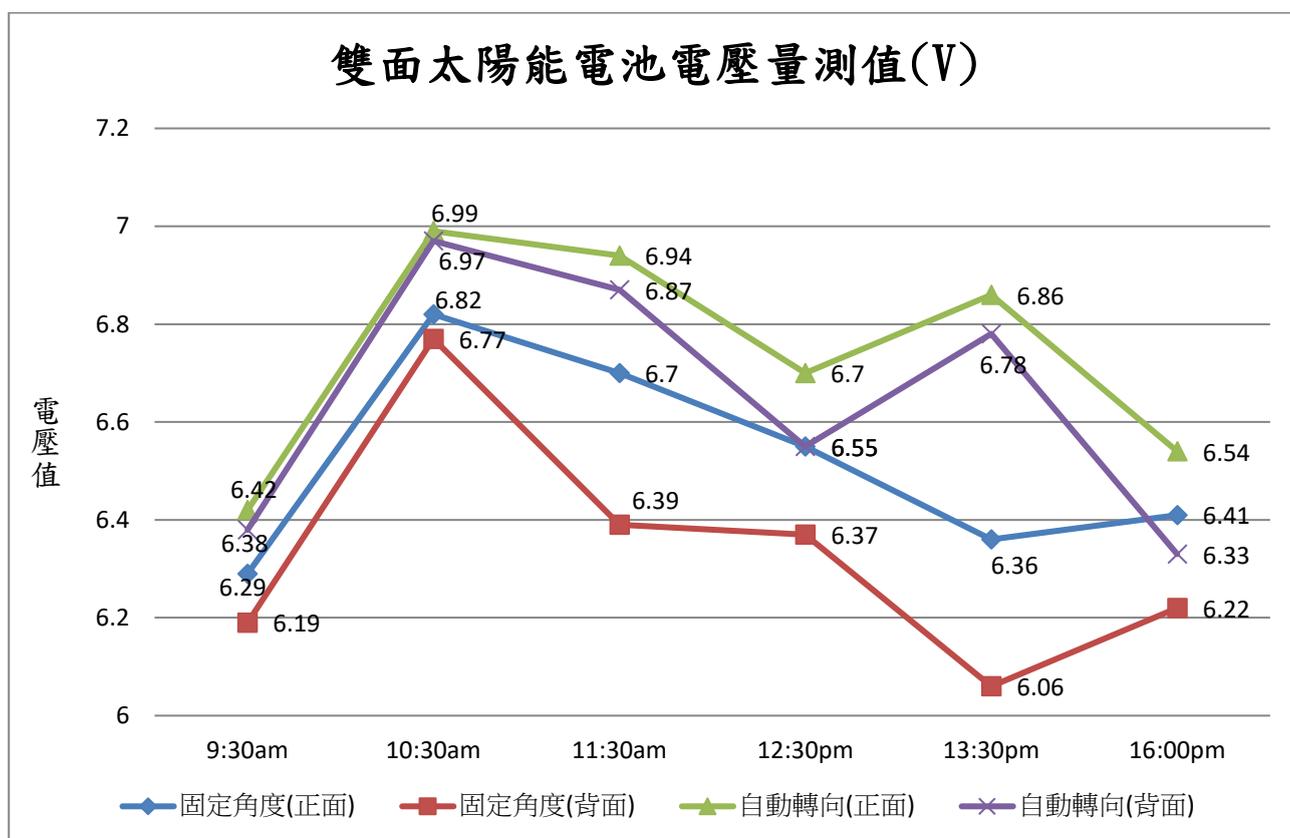


圖 17. 第二代雙面太陽能電池電壓值統計圖

表 6. 雙面太陽能電池電流量測值(mA)

	9:30am	10:30am	11:30am	12:30pm	13:30pm	16:00pm
固定角度 (正面)	24.8	27.2	26.4	25.2	24.2	23.6
固定角度 (背面)	23.4	27.1	24.8	23.7	21.1	21.4
自動轉向 (正面)	25.2	27.6	27.7	25.4	24.5	24.8
自動轉向 (背面)	24.3	27.4	27.4	24.1	23.2	22.8

第二代雙面太陽能電池電流量測值統計圖

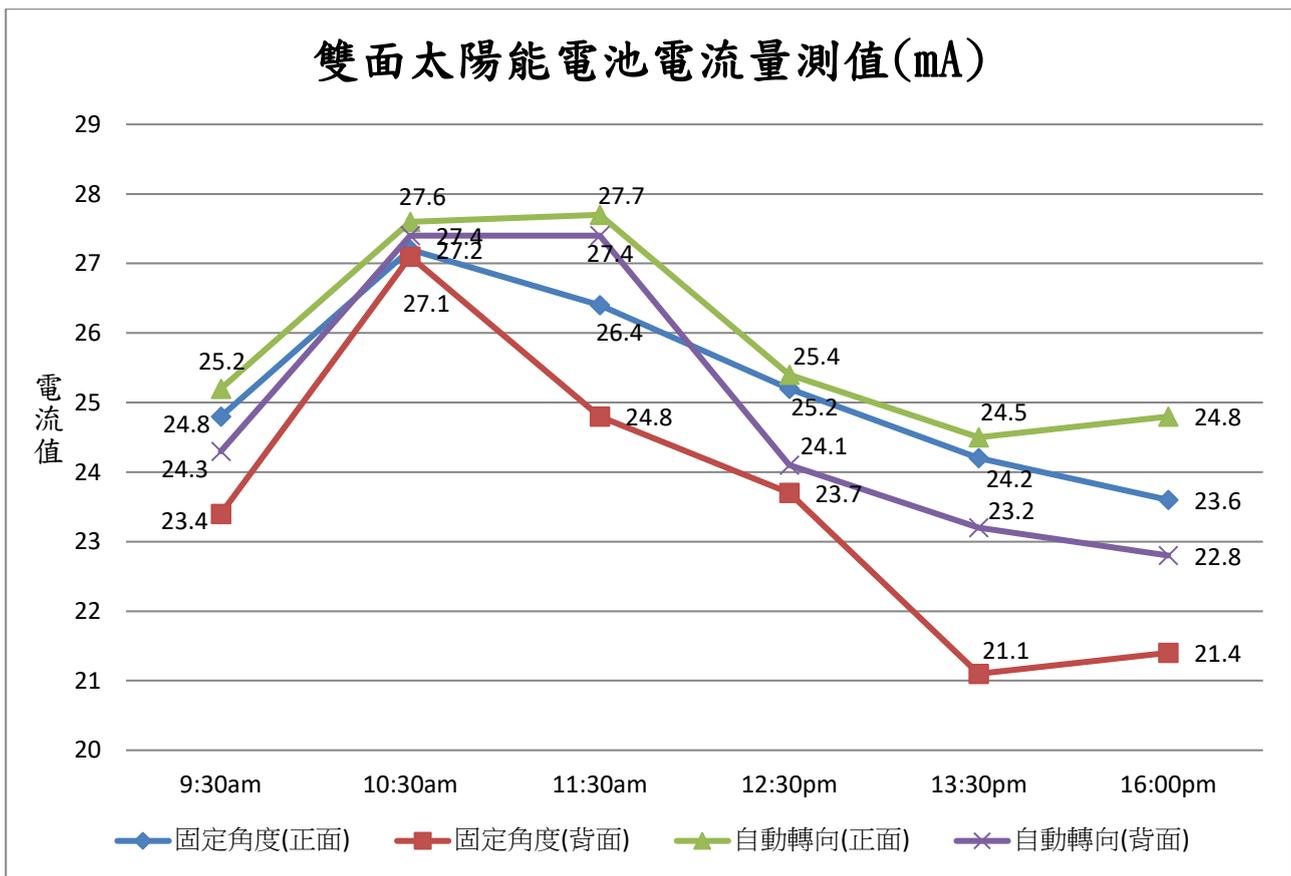


圖 18 第二代雙面太陽能電池電流值統計圖

根據數據及統計圖所示，自動轉向之太陽能板之光電轉換優於固定角度的太陽能板，雖然實驗過程太陽光強度會受雲層影響，但兩者比較仍是自動轉向太陽能電池有較好的發電效能。另外亦發現，自動轉向機構之背面太陽能板有

時比固定角度之太陽能板效能更佳，由此可知自動轉向機構對於發電效能有很大的幫助。就鏡面反射的功能而言，反面的太陽能板(背向太陽)藉著四面鏡子的反射，所受到的光接近於正面(正向太陽)的太陽能板，因此，藉著鏡子反射到背面太陽能板的方式確實可行。

就我們實驗的第一代結構及第二代結構比較，第二代的結構特點是材料更輕巧可以減輕伺服機的負擔及減少耗電量，以及背面太陽能電池受光量增加了，所以，發電量更接近正面的太陽能電池發電量。

陸、討論

根據實驗結果，我們設計的雙面太陽能電池能如預期，雙面都會產生光電轉換，並且從數據得知，背面的太陽能板藉著四面鏡子重疊照射所產生的光電轉換效能與正面相近。

市面上裝設太陽能電池多以固定角度來面向太陽光，但當太陽斜射時，光電轉換效果就低，如以上實驗顯示的，因此，自動轉向太陽的機構實在發揮很大的功能，另外，當架設多組太陽能電池時，只需要一組控制板及一組光偵測器即可，其他組之伺服馬達與之同步就可以了，示意圖如下所示。

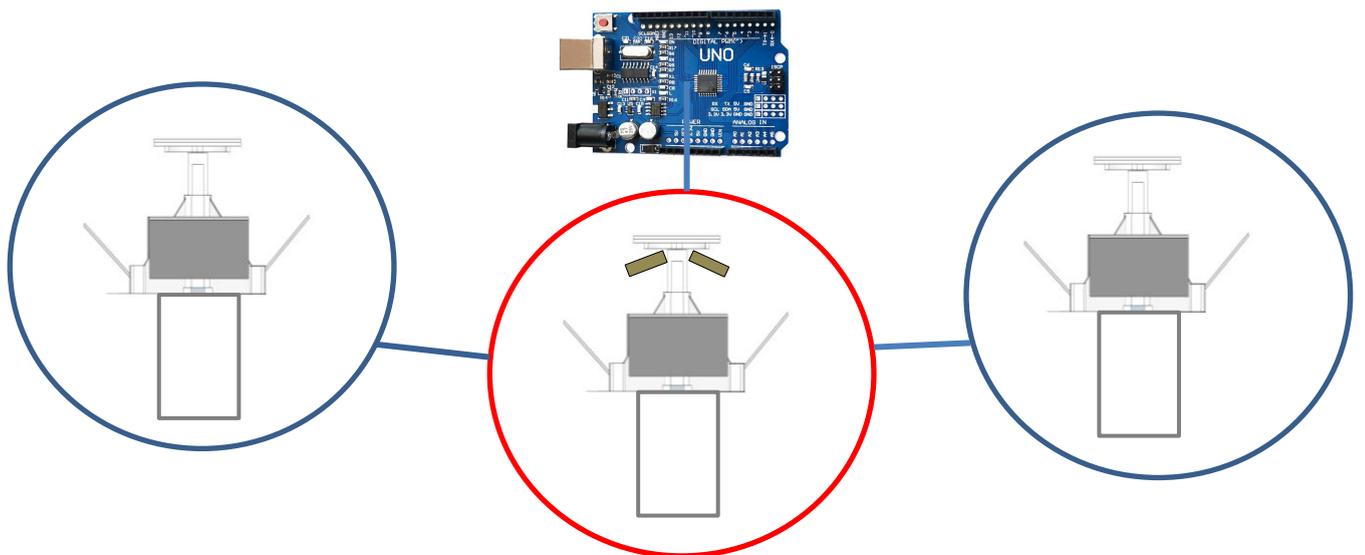


圖 19. 多組太陽能電池控制示意圖

就雙面太陽能電池結構的優點而言，因為兩面太陽能板貼在一起，可以節省整個支撐架的成本並縮小體積，而鏡子成本較低，若是使用薄的鏡子，重量更輕，或者使用磨亮的不鏽鋼板也是可以考慮的設計，目的為了減輕轉向機構的負擔及降低設置成本。

根據實驗結果，太陽能電池的轉向機構確實能使太陽能電池的板面能夠正向著太陽而得到最大的受光量。由分析數據統計圖得知，當太陽方位遠離固定式太陽能電池機構的方位時，明顯受光量減少許多，甚至比本研究之自動轉向的太陽能電池之背面太陽能板還要低，因此，轉向追日機構確實能幫助雙面太陽能電池得到最大的光電轉換效果。就整體機構而言，伺服馬達承受所有組件的重量，第二代機構減輕許多重量，運作更輕巧也更省電。

本實驗中雙面太陽能板所使用的支撐零件皆由學校電腦室的 3D 列印機列印出來，實在發揮了非常便利的功能，甚至修改零件另列印也非常迅速及方便，另外，我們在電腦課所學的 3D 繪圖也能夠隨心所欲繪製出想要的零件，所以，對於科展中所設計的機構零件之製作交由 3D 繪圖軟體及列印機，幾乎可以做出實驗所需要的組件，是我們研究的得力助手。

柒、結論

- 一、我們藉由 3D 列印機列印的雙面太陽電池的支座可以支撐整個主體的重量，並裝上伺服機就能達到自動轉向的功能。
- 二、實驗所使用的光敏二極體模組發揮了蒐集固定方向的光源數據的功能，達到良好的尋光效果，並將數據送至 Arduino 開發板計算，使追日效果更佳。
- 三、實驗所使用四面鏡子確實能反射太陽光到背面的太陽能板，且光電轉換效果與正面太陽能板相近。
- 四、最終測試結果得知，我們設計的雙面太陽能電池光電轉換效能確實如預期的效果，因此，本實驗不但能讓自動追日機構得到最佳的受光量，並且能讓兩面太陽能電池吸收到太陽光。

- 五、雙面太陽能電池的設計能達到節省成本、縮小機構的體積、減輕重量的目標。
- 六、未來研究方向是探討如何藉著鏡面的反射使太陽能電池達到更佳的光電轉換效果以及如何讓伺服馬達達到更省電的方法。

捌、參考資料

1. 太陽能板安裝注意事項 (2020)。取自：
<http://www.hengs.com/solar-product%20qa.html#02>
2. 太陽光發電的利用-蓄電池與充電電路 (2020)。取自：
<https://tech.oneyac.com/article/detail/46072.html>
3. 電流的量測方式 (2020)。取自：
<http://www.ls3c.com.tw/wiseman/content.aspx?ID=KoWs3aKAbP0=>
4. 夸父追日 (2009)。中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會。取自：
<https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/49/pdf/091003.pdf>
5. 太陽能煮食爐 綠色新體驗 (2011)。取自：
<://www.youtube.com/watch?v=RHe6RLtOk94>
6. 水平追日系統 (2018)。取自：
<https://www.youtube.com/watch?v=xAZb4zFr5Gw&t=492s>
7. 運輸工具與能源 (2019)。國小自然與生活科技課本四上。臺南市：翰林出版。
8. 認識太陽能車 (2016)。取自：
https://www.youtube.com/watch?v=vKDmO1BjQt0&feature=emb_logo
9. 光的世界 (2019)。國小自然與生活科技課本四下。臺南市：翰林出版。
10. 光的折射現象 (2016)。取自：
https://www.youtube.com/watch?time_continue=34&v=T3SdcSup5yY&feature=emb_logo
11. 光的反射與反射定律 (2017)。取自：
<https://www.youtube.com/watch?v=uSyaaxyXXIQ>
12. 臺灣四季太陽仰角與方位角 (2020)。中央氣象局。取自：
<https://www.cwb.gov.tw/Data/astronomy/season.pdf>

【評語】 082801

反射鏡如果改成鏡面之外的其他如凹面鏡或是凸面鏡會是有何種狀況，效果會不會更好，都是未來有機會再精進的部分。四個感測器搭配調整馬達驅動角度改變，尋求最大陽光照射。還需注意的條件是整個設施會不會在固定面積條件下，讓單元太陽能模組可以使用數目因為反射鏡的存在而變少。如果可以針對沒有反射鏡、只有反射鏡、以及含反射鏡的太陽能模組發電效率做互相比較，以呈現本研究的具體成效。

壹、研究動機

太陽能板之板面與太陽光的夾角與太陽能板吸收光線的效率有直接關係，目前實際應用的太陽能板多為固定角度的設計，亦有少數為自動調整式的機構，也有根據四季的太陽高度角設定其轉向角度，綜合各種設計的優缺點，我們想設計能自動偵測而轉向的機構。

一般而言，太陽能電池的機構為單面設計，只有單面接受太陽光，若能設計雙面受光的太陽能板，而能夠同時產生光電轉換的構造，將可會節省空間及增加效能。綜合以上所述，我們想研究一組正反面受光發電並能隨著太陽方位及高度角而轉向的太陽能發電機構是我們主要的研究動機。

貳、研究目的

本研究依據研究主題設計實驗步驟，設計並製作最佳的機構及參數。

- 一、研究並設計太陽能板轉向單元的構造及製作方法。
- 二、研究如何應用程式控制太陽能板轉到正確的角度，以達最大受光量。
- 三、研究雙面受光太陽能板的結構以達最佳的發電效能。
- 四、測試雙面發電並自動轉向的太陽能電池的定位功能及發電效能。

參、研究設備及器材

三用電表、Arduino 開發板及配件、伺服馬達、麵包板、電腦及程式軟體、3D 列印機及 PLA 線材、反射鏡片等。

肆、研究過程或方法

一、研究流程

根據我們研究動機、研究目的設計了研究流程，從研究動機開始，循序漸進展開實驗，過程中記錄所有相關資料並作分析，最終呈現研究結果。

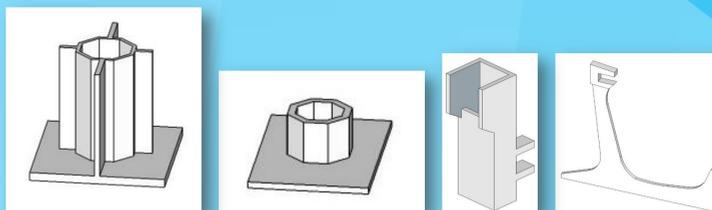


二、設計雙面太陽能電池的結構

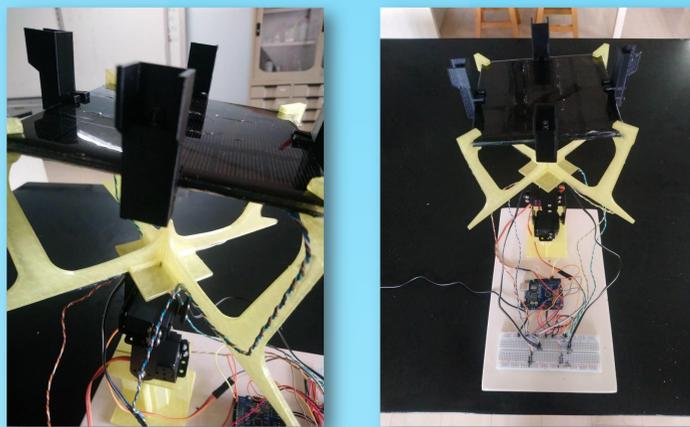
雙面太陽能電池基本結構包含兩片太陽能板、四面反射鏡、二臺伺服馬達、四個光敏二極體及支撐主體的基座。

運用學校電腦課所學的 3D 繪圖及列印技巧，繪製雙面太陽能電池支撐基座及相關零件，列印後組裝。

1. 繪製主體支撐基座及零件



2. 印出零件後組裝

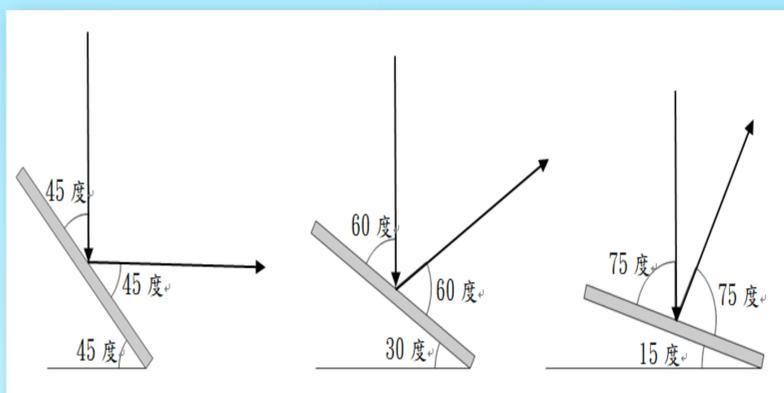


三、設計雙面太陽能板反射鏡結構及參數研究

1. 雙面太陽能電池反射鏡角度

實驗利用鏡子反射的原理的概念來自於課程所學之光的反射原理，以及參考網路上許多關於鏡子反射的應用，因此，我們使用多面鏡子反射太陽光照到太陽能電池底面而產生光電轉換。

(1)光的反射原理



(2)反射鏡鏡面角度依據

太陽距離地球很遠，可將太陽光視為與地表面垂直的直射光。我們自製一臺反射鏡量測器，在實驗室中以高亮度攝影燈做為光源，來量測反射鏡的角度、反射鏡與太陽能板的距離以及反射鏡與太陽能板中心的距離，為要得到最佳參數，亦即下方(背面)太陽能板最佳受光參數。



四、設計雙面太陽能板自動轉向機構

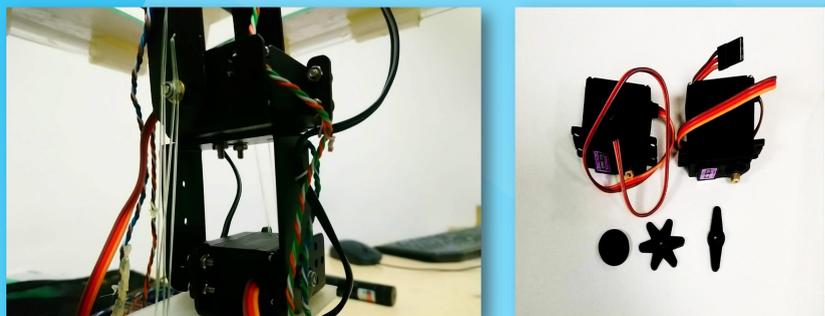
實驗的設計理念是，利用4個光敏偵測器蒐集東西南北方位的感光值，經過 Arduino 程式運算後，命令兩臺伺服馬達轉到設定的角度。

1. 光偵測元件-光敏二極體模組

經過評估，我們使用光敏二極體模組，因它只感應正前方的光源，用於尋光效果更佳，因此，我們的目的是為了讓太陽能電池更能準確對準太陽或天空最亮之處。

2. 轉向元件-180度伺服馬達

為了要承受太陽能電池及反射鏡的重量，實驗選擇兩臺伺服馬達負責東西及南北方位的轉向任務。

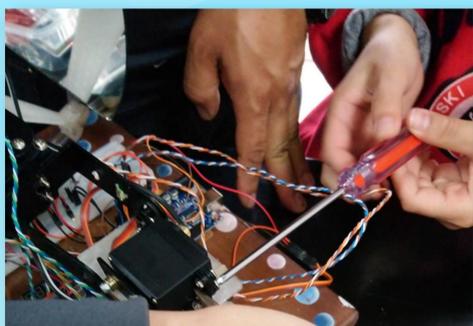
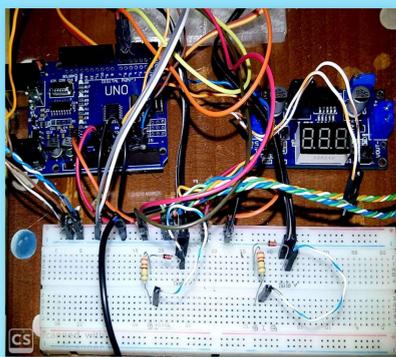
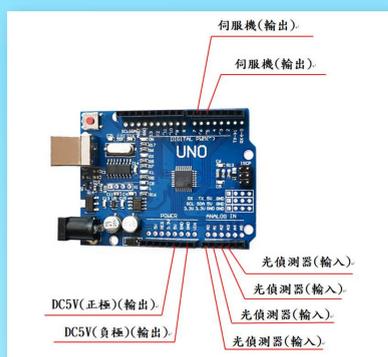


五、利用程式控制太陽能電池轉向

現今 Arduino 開發板的應用已相當普及，種類也很多。此實驗我們使用最基礎的型號 (UNO) 來執行程式。

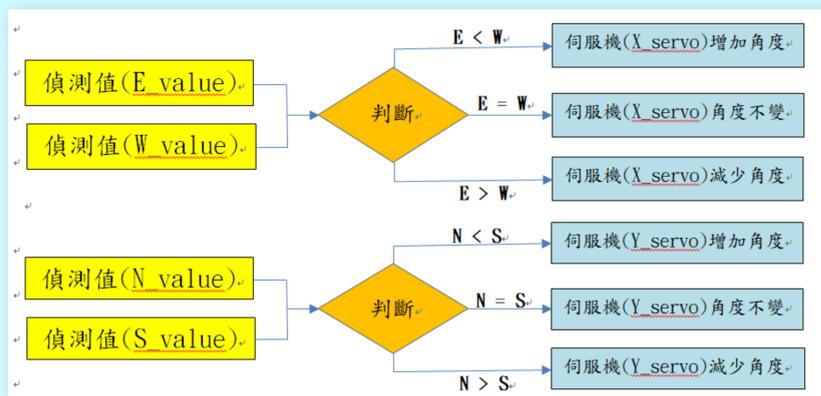
1. Arduino開發板的連接方式

將光偵測模組、電源、伺服馬達連接於開發板上，並使用麵包板及杜邦線組成太陽能電池的控制電路。



2. Arduino程式控制邏輯

程式設計理念是藉著兩組光偵測器分別負責東西方位及南北方位光的類比訊號，各組分別比較後命令伺服機轉到指定角度，概念圖如下圖。



3. Arduino 程式節錄如下(詳見作品說明書):

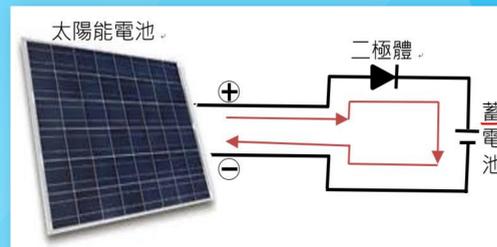
```

if (abs(EValue - WValue) > 5)
{ if ((EValue - WValue) < 0)
  { Xpos=Xpos+1; }
else if((EValue - WValue) > 0)
  { Xpos=Xpos-1; }
}
  
```

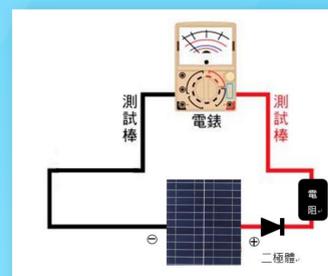
註:
 Evalue : 東方偵測值
 Wvalue: 西方偵測值
 Xpos : 東西向伺服機轉動角度

六、雙面太陽能電池電路設計

從相關資料得知，太陽能電池所產生的電有反向流回的可能性，因此，為防止太陽能電池的電流返回，我們加裝了二極體，使其產生的電流保持單向流通。

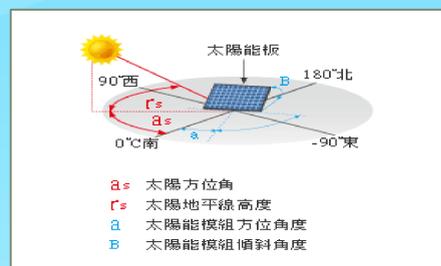


實驗為了測量電流，使用 220 Ohms的電阻，與三用電表串聯，以量測太陽能電池所產生的電流。

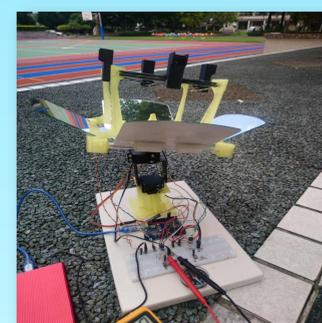
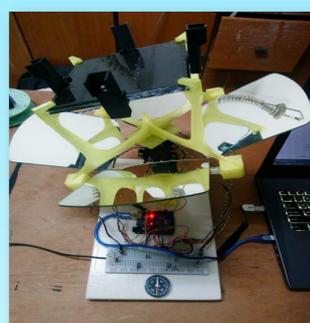


七、設定固定式太陽能電池傾斜角及方位

根據查詢資料，本次實驗，我們將固定式太陽能板之傾斜角度調到60度，方位角度為南偏東35度做為實驗的對照組，而以自動轉向追日做為實驗組，兩者做比較。



八、雙面太陽能電池完成組裝及運作



九、雙面太陽能板發電量與轉向馬達用電量比較

伺服機使用電量約:

$$0.5 \text{秒} \times 500 \text{mA} \times 2 \text{臺} \times 131 \text{次} = 65,500 \text{ (mA 秒)}$$

雙面太陽能電池發電量以平均25mA計算約:

$$25 \text{mA} \times 2 \text{臺} \times (10 \text{小時} \times 60 \text{分} \times 60 \text{秒}) = 50 \text{mA} \times 36,000 \text{秒} = 1,800,000 \text{ (mA 秒)}$$

根據計算後得知，雙面太陽能板發電量大於轉向馬達的耗電量。

伍、研究分析與結果

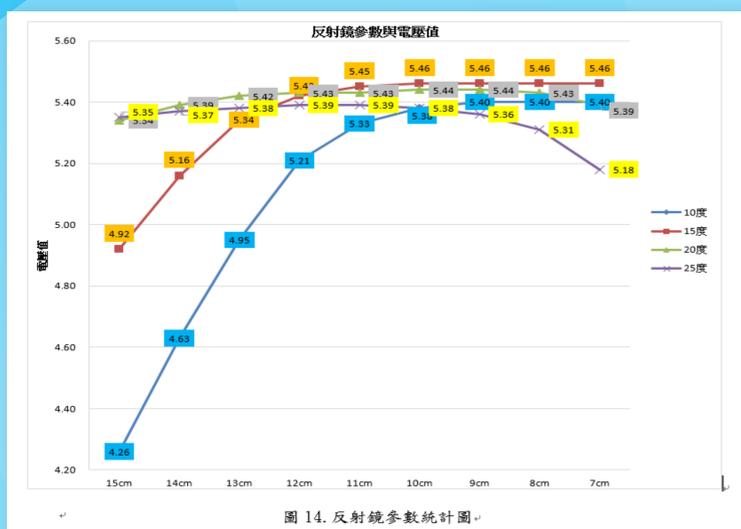
根據實驗設計測得數據如下圖所示:

一、反射鏡參數實驗結果

1.實驗用的鏡面的角度是根據鏡面實驗測試數據如下表所示:

反射鏡參數與電壓值										單位:伏特
鏡面位置	15cm	14cm	13cm	12cm	11cm	10cm	9cm	8cm	7cm	
鏡面角度										
10度	4.26	4.63	4.95	5.21	5.33	5.38	5.40	5.40	5.40	
15度	4.92	5.16	5.34	5.42	5.45	5.46	5.46	5.46	5.46	
20度	5.34	5.39	5.42	5.43	5.43	5.44	5.44	5.43	5.39	
25度	5.35	5.37	5.38	5.39	5.39	5.38	5.36	5.31	5.18	

2.反射鏡參數實驗統計圖如下所示:



根據以上測試結果得知，反射鏡最佳的反射角度為15~20度，並且，反射鏡距太陽能板中心位置最佳距離為10cm，做為反射鏡之最佳參數。

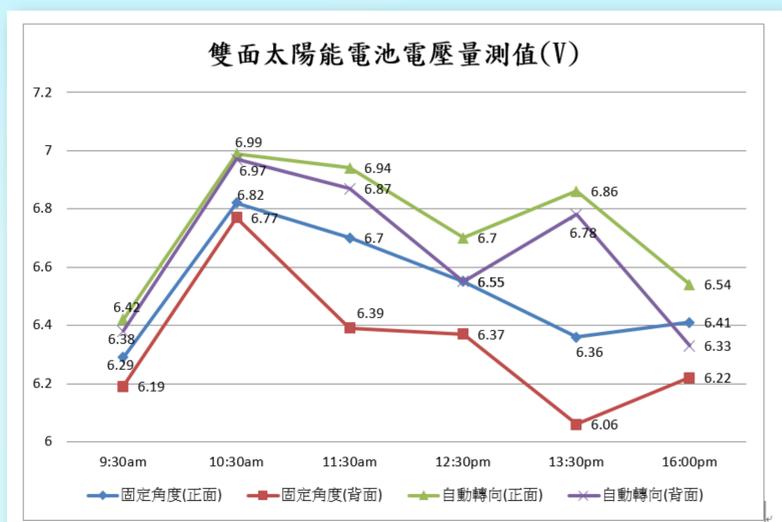
二、雙面太陽能電池電壓及電流量測結果

實驗測試四種數據，就是太陽能電池固定角度的正面及反面以及自動轉向之正面與反面的電壓值及電流量，電壓以伏特(V)為單位，電流以毫安培(mA)為單位。

1.雙面太陽能電池電壓量測值(V)

測量值	9:30am	10:30am	11:30am	12:30pm	13:30pm	16:00pm
受光面						
固定角度(正面)	6.29	6.82	6.7	6.55	6.36	6.41
固定角度(背面)	6.19	6.77	6.39	6.37	6.06	6.22
自動轉向(正面)	6.42	6.99	6.94	6.7	6.86	6.54
自動轉向(背面)	6.38	6.97	6.87	6.55	6.78	6.33

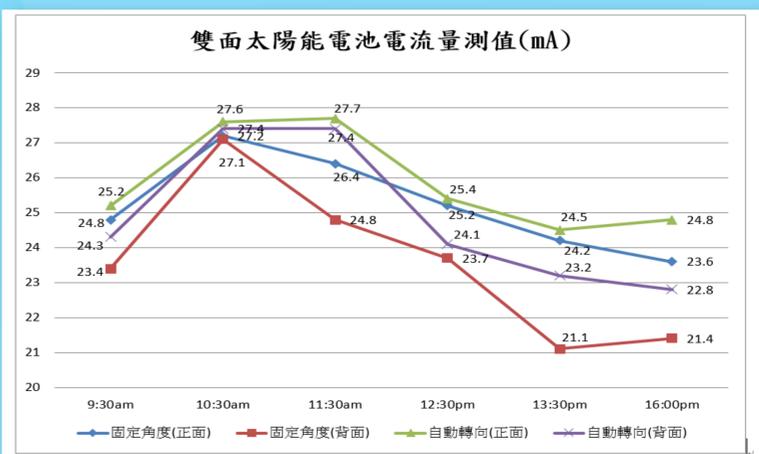
2.雙面太陽能電池電壓值統計圖:



3. 雙面太陽能電池電流量測值(mA)

	9:30am	10:30am	11:30am	12:30pm	13:30pm	16:00pm
固定角度(正面)	24.8	27.2	26.4	25.2	24.2	23.6
固定角度(背面)	23.4	27.1	24.8	23.7	21.1	21.4
自動轉向(正面)	25.2	27.6	27.7	25.4	24.5	24.8
自動轉向(背面)	24.3	27.4	27.4	24.1	23.2	22.8

4.雙面太陽能電池電流量測值統計圖



三、實驗結果分析

根據實驗結果，我們設計的雙面太陽能電池能如實驗預期，雙面都會產生光電轉換，並且從數據得知，背面的太陽能板藉著四面鏡子重疊照射所產生的光電轉換效能與正面相近。

太陽能電池的轉向定位機構確實能使太陽能電池的板面能夠正向著太陽而得到最大的受光量。分析數據得知，太陽光沒有正對固定式太陽能電池時，發電量明顯減少，甚至比自動轉向的太陽能電池之背面發電量還要低，因此，轉向追日機構確實能幫助雙面太陽能電池得到最大的光電轉換效果。

陸、研究結論

一、我們藉由3D列印機列印的雙面太陽電池的支座可以支撐整個主體的重量，並裝上伺服機就能達到自動轉向的功能。

二、實驗所使用的光敏二極體模組發揮了蒐集固定方向的光源數據的功能，達到良好的尋光效果，並將數據送至Arduino開發板計算，使追日效果更佳。

三、實驗所使用的四面鏡子確實能反射太陽光到背面的太陽能板，且光電轉換效果與正面太陽能板相近。

四、最終測試結果得知，我們設計的雙面太陽能電池光電轉換效能確實如預期的效果，因此，本實驗不但能讓自動追日機構得到最佳的受光量，並且能讓兩面太陽能電池吸收到太陽光。

五、雙面太陽能電池的設計能達到節省成本、縮小機構的體積、減輕重量的目標。

六、未來研究方向是探討如何藉著鏡面的反射使太陽能電池達到更佳的光電轉換效果以及如何讓伺服馬達達到更省電的方法。