

中華民國第 63 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(一)

032811

分道「陽颯」-太陽能最佳發電探討

學校名稱：臺南市立建興國民中學

作者： 國二 江丞浩 國二 方克僑 國二 陳園辰	指導老師： 楊孟勳 周育信
---	-----------------------------

關鍵詞：太陽光譜、光生伏打效應、熱電效應

摘要

本研究目的為探討太陽能最佳發電方式。首先，發現太陽光經過菲涅爾透鏡與光柵分光後出現中央亮紋及第一階亮紋分布；經實驗設計出與太陽光接近之模擬太陽能光源做為實驗對照組，減少使用太陽光之不穩定實驗環境的影響。

接著，實驗後發現紅、綠、藍光與紫外光等波段能使太陽能光電板發電，紅外光能使溫差發電板發電，但環境溫度上升卻會造成發電效率降低，考量質輕、耗能低且降溫效果佳後，以壓電馬達霧化降溫方式為目前最佳降溫選擇。此外，本次實驗透過光柵進行有規則的分光，再依不同電壓加裝升壓模組，可延長太陽能光電板的使用壽命。

最後，設計出兼具光能與熱能發電、降溫功能之太陽能發電裝置試運作並持續改良中。

壹、前言

一、研究動機

(一)能源轉型，太陽能發電成為矚目焦點

目前全球能源使用雖然仍以非再生能源為主，但隨著非再生能源枯竭以及伴隨之各種環境汙染；再生能源將成為未來全球之主要能源，目前臺灣經濟部已訂定在 2025 年再生能源發電佔比目標為 20%，其中太陽能更是再生能源的首要來源，因此，太陽能發電成為眾所關切的矚目焦點。

(二)溫度造成太陽能光電板發電效率降低

隨著太陽能光電發電技術不斷提升以追求更高的發電效率，例如單晶太陽能板的發電效率經實驗測量最高可達 24%左右，但實際使用下發電效率僅在 11%-17%左右；推究其影響因素，主要以溫度為主，除了炙熱的太陽光本身照射使得太陽能光電板升溫外，屋頂的人為熱源(如冷氣室外機等)亦為太陽能光電板升溫的幫兇。

(三)太陽能光電板降溫技術發展仍有空間

經過資料查詢發現，目前太陽能光電板降溫技術仍有許多發展空間，不論是前端加裝之熱對流氣艙裝置，或是後端加裝之水冷、風冷裝置等，除了本身笨重，影響追日系統運作之外，降溫過程造成的能源損耗亦不容小覷。

從以上三方面的了解，發現人類對於太陽能發電的需求將越來越大，如何有效的提升太陽能發電效率將成為重要議題，因此，這次的科學研究試圖從了解太陽能開始，尋求各種發電與降溫之可能性，以找出最佳發電的裝置設計。

二、研究目的

(一)了解太陽能組成的情形。

(二)了解太陽光能發電之效能。

(三)了解太陽熱能發電之效能。

(四)了解太陽能發電裝置降溫之可行性。

(五)設計出兼具光能發電、熱能發電、降溫功能之智慧太陽能發電裝置。

三、文獻回顧

(一) 菲涅爾(Fresnel)透鏡

菲涅爾透鏡由許多同心圓環稜鏡結構組合，保留透鏡的曲率特性，使平行入射的光線經折射聚焦於一點，菲涅爾透鏡與傳統凸透鏡比較，有以下三個優勢：

1. 輕薄易移動：如圖 1-3-1，可看出菲涅爾透鏡使用的材料用量更少、重量與體積更小。此外，早期菲涅爾透鏡以玻璃為材質，因玻璃表面應力，無法做到部分細節，導致無法廣泛應用；現今由 PMMA 材料取代，其質量輕與玻璃光學特性相近，使菲涅爾透鏡更顯輕薄。

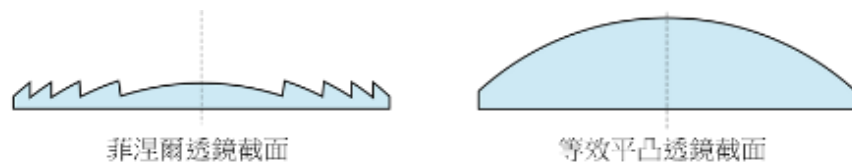


圖 1-3-1、菲涅爾透鏡與等效平凸透鏡比較圖(圖片來源：維基百科)

2. 透光損失低：傳統透鏡材質與厚度造成 5 至 10% 的透光損失，而菲涅爾透鏡藉由厚度降低、減小齒距、縮短齒深等，可降低透光損失，使光線利用率變高。
3. 大孔徑、短焦距：如圖 1-3-2，菲涅爾透鏡與等效平凸透鏡聚焦結果，可發現菲涅爾透鏡有較短的焦距。

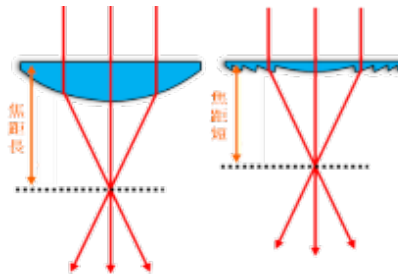


圖 1-3-2、菲涅爾透鏡與等效平凸透鏡焦距比較圖(圖片來源：黃炳堯，2017)

菲涅爾透鏡對平行入射光的折射可分為點聚焦和線聚焦兩種，如圖 1-3-3。

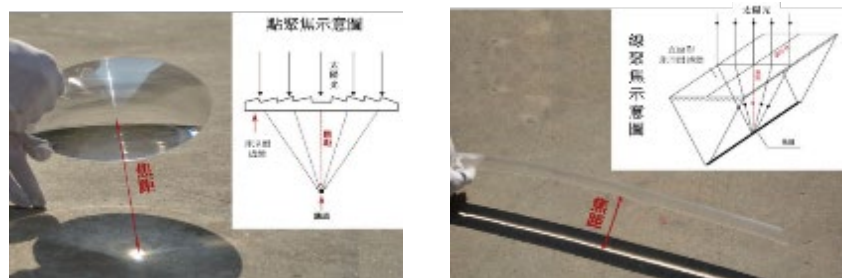


圖 1-3-3、太陽光於點聚焦和線聚焦菲涅爾透鏡聚焦情形(圖片來源：美英科技)

(二) 繞射(diffraction)與繞射光柵(diffraction grating)

光學繞射為光入射波遇到障礙物或折射率不同介質時，其行進波會偏離原本的直線方向傳播，若為多個密集分佈的孔洞，光入射物體後因為光波疊加結果會造成複雜的繞射圖案；可利用惠更斯-菲涅爾原理說明，光入射到物體表面後，波前的每一點可假想成點波源發出球面波，這些球面波進一步疊加形成新的波面，波疊加後的振幅大小會介於 0 (破壞性干涉)與所有球面波振幅總和間，產生明暗條紋分佈的繞射圖案。

繞射光柵為表面不同吸收係數(振幅型)或不同折射率(相位型)的週期性條紋結構，當從相鄰區域出發的光線到達干涉點的光程差是光波長的整數倍時，相位相同的兩光線會發生建設性干涉現象，各階繞射點都會滿足光柵基本方程式：

$$d \sin \theta_m = m\lambda \quad (\text{式 1-3-1})$$

其中 d 為光柵間距， θ_m 為中央至第 m 階繞射點的繞射角度， λ 為入射光波長。從式(1-3-1)可以看出，若繞射光柵間距 d 越小，則分光效果越好。

對相位型光柵而言， Q 值亦為重要參數，如式(1-3-2)

$$Q = \frac{2\pi h\lambda}{nd^2} \quad (\text{式 1-3-2})$$

其中 d 為光柵間距， h 為光柵厚度， λ 為入射光波長， n 為光柵平均折射率。依 Q 值大小，相位型光柵如表 1-3-1 可再細分為以下兩類：

表 1-3-1、相位型光柵分類說明表

Q 值	$Q > 1$	$Q < 1$
分類	厚(或體積)光柵	薄光柵
繞射效應	布拉格繞射	拉曼-納斯繞射
繞射圖案	只產生零階與一階繞射	形成對稱的多階繞射圖案

此外，第一階繞射點的繞射效率(繞射光強度/入射光強度)隨相位與折射率分佈的不同，最高可達 40.5%。

(三) 光生伏打效應(photovoltaic effect)與太陽能電池(solar cell)

光電效應(photoelectric effect)是指光照射物體時會使其發射出電子的物理效應，而在光生伏打效應中，由於材料內部的不均勻(例如當材料內部形成 PN 界面時)在自建電場作用下，電子和電洞向相反方向移動，而形成了正負兩極。

半導體(如矽)在光照射下會產生電子與電洞對，但它們很快便會結合，並將能量轉成光或熱；因此電子與電洞生命期很短；P 型半導體有較高的電洞密度，光產生的電洞具有較長的生命期，同理，在 N 型半導體中，電子有較長的生命期。

太陽能電池的構造是運用 P 型與 N 型半導體接合而成，在接合處由於有效載子濃度不同而造成擴散，產生一個由 N 指向 P 的內建電場，因此當光子被接合處的半導體吸收時，所產生的電子將會受電場作用而移動至 N 型半導體處，電洞則移動至 P 型半導體處，因此便能在兩側累積電荷，若以導線連接，則可產生電流。

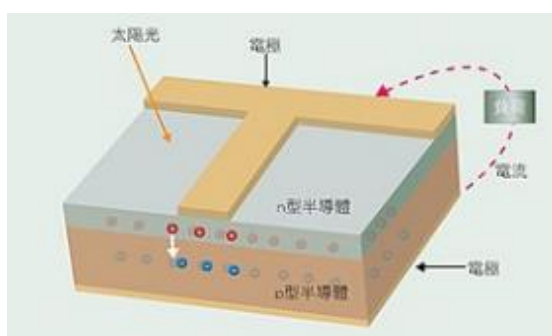


圖 1-3-4、太陽能電池構造圖(圖片來源：維基百科)

國際上統一規範太陽能板標準測試條件為 25°C、照度 1000W/m²，AM1.5 標準光譜，經實驗測試溫度每上升 1°C，由於太陽能板電壓變小，輸出功率下降 0.35%；台灣夏天太陽能板表面溫度約在 45~65°C 之間，約降低 7%至 10.5%發電功率。

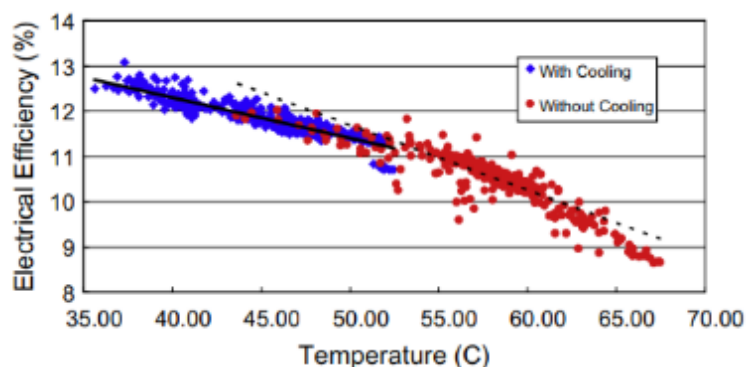


圖 1-3-5、太陽能電池溫度與轉換效率關係圖(圖片來源：莊皓翔，2022)

(四) 熱電效應(thermoelectric effect)與溫差發電片(thermoelectric power generating module)

熱電效應包含了以下三個效應：

1. 西貝克效應 (Seebeck effect)：二種不同金屬各自的二端分別連接構成迴路，如果兩種金屬的兩個結點處溫度不同，線路內會產生電流。
2. 皮爾特效應 (Peltier effect)：皮爾特效應可視為西貝克效應的反效應，即當在兩種金屬迴路中加入電源產生電位後，不同的金屬接觸點會產生溫差。
3. 湯姆森效應 (Thomson effect)：當電流通過時，不同的位置會各自產生皮爾特效應，造成局部的吸熱或放熱。

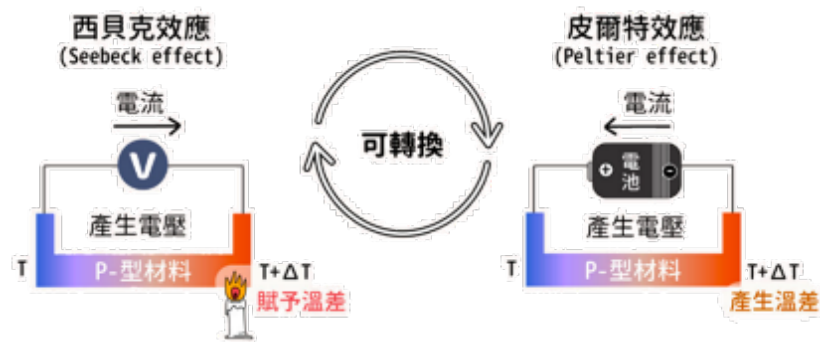


圖 1-3-6、熱電材料基本特性(圖片來源：中央研究院 研之有物網站)

半導體材料是良好的熱電材料，依據摻雜的元素種類，可分為 n 型(電流載子為電子，帶負電)與 p 型(電流載子為電洞，帶正電)，製作熱電材料時，會將 n、p 型材料組合成「熱電偶」的形式(如圖 1-3-7 所示)。

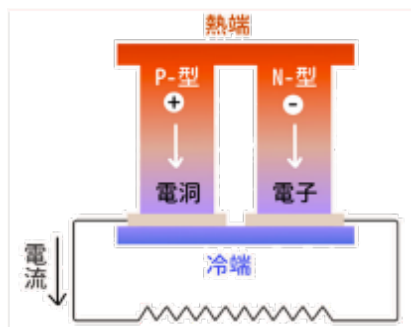


圖 1-3-7、熱電材料示意圖(圖片來源：中央研究院 研之有物網站)

目前最好的熱電材料室溫下轉換效率約 3~4%，600°C~700°C 高溫下轉換效率可超過 10%；近年來開發出薄型熱電晶片，將 128 對微小 p 型、n 型半導體柱(像 128 個小小乾電池)串聯，可把熱電效應放大百倍，是未來可發展的方向之一。

(五) 壓電效應 (piezoelectricity)

壓電效應是介電材料中機械能與電能互換現象，壓電效應有兩種，說明如下：

1. 正壓電效應：對壓電材料施以物理壓力時，材料體內之電偶極矩會因壓縮而變短，此時壓電材料為抵抗變化會在材料相對的表面上產生等量正負電荷，以保持原狀，若欲持續產生電能，須使材料不斷振動。

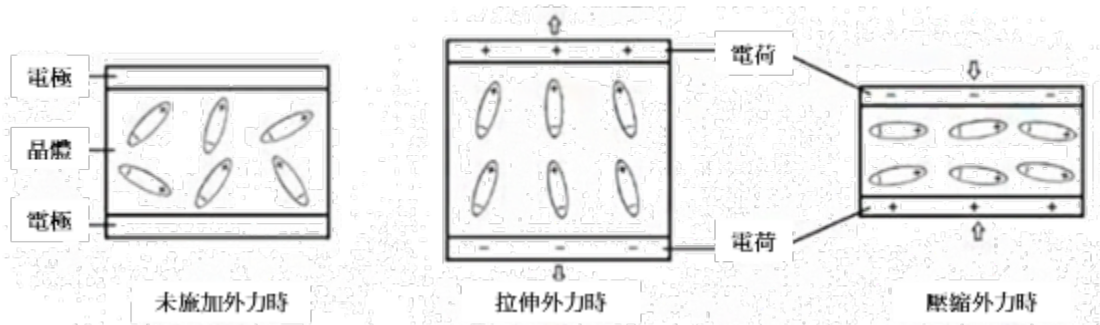


圖 1-3-8、正壓電效應示意圖(圖片來源：芯明天網站)

2. 逆壓電效應：當在壓電材料表面施加電壓，因電場作用時電偶極矩會被拉長，壓電材料為抵抗變化，會沿電場方向伸長，是電能轉化為機械能的過程。

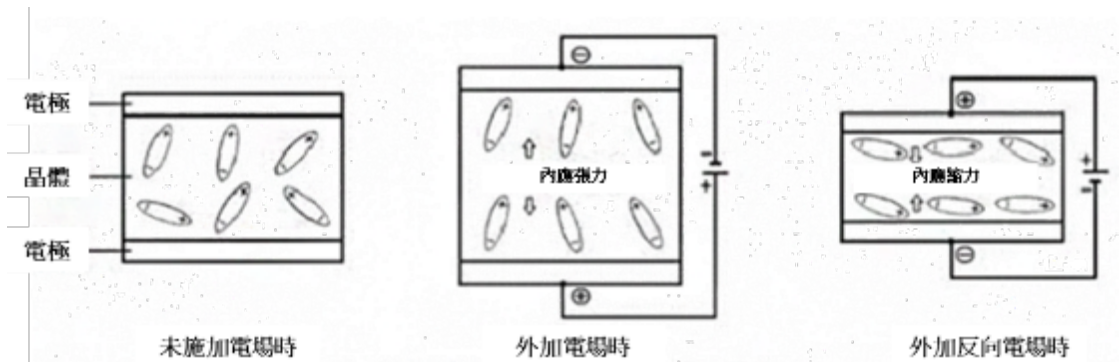


圖 1-3-9、逆壓電效應示意圖(圖片來源：芯明天網站)

常見的壓電應用有：

1. 感測器：可以精確測量重量、振動、聲波和位移等，這些感測器產生的電流與其物理形變成比例，形變又與施加在它們上面的力相對應。
2. 振動器：當施加逆壓電效應時，電場會產生壓縮或應變等物理變形，可做為揚聲器以選擇的頻率輸出聲波或加上腔體做成壓電馬達，振動更快時可產生超聲波震盪，一般常作為霧化器之元件。

(六) 歷屆科展研究

翻查並整理近十年科學展覽會中關於太陽能發電效率之相關研究，如下表 1-3-2，發現除了主動式追日系統相關研究之外，降溫以提高發電效率之研究可分為兩種方向，一為蓄熱(空氣層、吸熱塗料)後以熱電材料進行製冷降溫或溫差發電，另一種則利用馬達進行水冷降溫，因此，本次科學研究企圖突破兩方面之研究，重新由光學角度出發，研發與歷年研究不同的最佳太陽能發電裝置。

表 1-3-2、歷年科學展覽會相關研究彙整

降溫對象	降溫方式	研究主題	研究內容
太陽能板	空氣為熱不良導體溫差發電	觸「水」浮「能」-探討漂浮太陽能板之效能提升	為提升太陽能發電功率，設計能將光熱分離的蓄熱器包括： 1.雙層壓克力板底層隔絕太陽的熱 2.側邊致冷晶片熱端貼上塗黑鋁箔蓄熱發電
太陽能板	空氣為熱不良導體溫差發電	神奇的太陽光熱分離之旅	透過空氣層聚熱，分離太陽電池作光轉電以及熱電晶片作熱轉電，有效協助太陽電池散熱降溫。
太陽能板	吸熱塗料製冷晶片水冷裝置	太陽能光熱分離複合發電的探討	為提升太陽能發電功率，採取以下方式： 1.選擇紅外 IR 塗料來提高透光與吸熱率 2.提高致冷晶片溫差 3.水冷式降溫
太陽能板	水冷裝置	「增」光「擠」熱拚綠能—探討太陽能板發電效能提升及應用	為提高太陽能板使用效能，利用散熱片、水冷裝置兼具清洗灰塵功效，太陽能板提升發電量。
電腦 CPU	製冷晶片水冷裝置	急酷降溫：開發水冷式 CPU 散熱模組之研究	將「致（製）冷晶片」之致冷端及水冷系統結合，將 CPU 工作溫度壓低，使電腦工作效率維持在最佳範圍
電腦 CPU	溫差發電	Amazing 溫度差！—日常生活之熱電效應應用	將熱電效應與電腦冷卻系統結合，利用電腦的廢熱發電。
螺旋燈管	導熱片風扇	省錢！再省錢！螺旋燈管散熱之研究	以螺旋節導熱片、散熱風扇來調節螺旋燈管溫度，改善螺旋燈管因過熱及溫差過大減短使用壽命問題。

貳、研究設備及器材

一、研究器材 (如表 2-1)

表 2-1、實驗器材一覽表

圓形菲涅爾透鏡 (焦距：4、5、6、7、8 公分)	線性菲涅爾透鏡 (焦距：4、5、6、7、8 公分)	繞射光柵 (100、300、600、1000lines/mm)
尺與方格紙	酒精溫度計	照度計(LM - 81LX)
隔熱膠帶	銲槍(錫)	熱熔膠槍(條)

二、實驗設備 (如表 2-2)

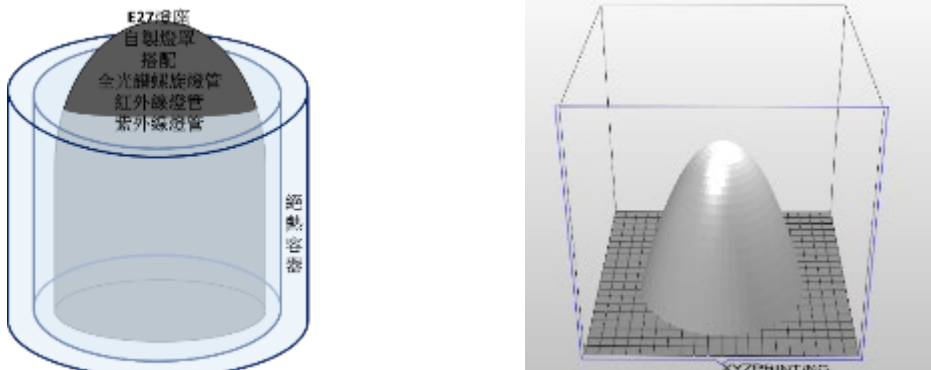
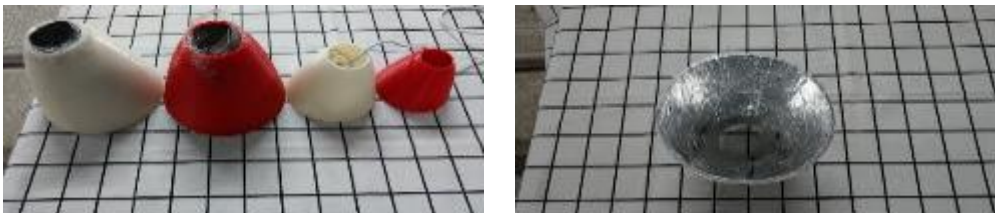
表 2-2、實驗設備一覽表

單色光照測量裝置(註一)	模擬太陽能裝置(註二)	模擬太陽能分光裝置(註三)
抽換式光能、熱能發電裝置(註四)		模擬環境升降溫裝置(註五)
3D 印表機(印製實驗裝置)	電腦(數據分析與程式操作)	手機(拍攝照片)

註一：單色光照測量裝置(為模擬太陽能分光裝置的前端實驗裝置，獲取高度與照度數值)

材料	方格紙、升降支架、積木、arduino R3(及外殼)、BH1750 光強度感測模組、RGB LED 燈全彩模組、杜邦線、電腦	
裝置圖		 <pre> 1 // 單色光照測量裝置 2 #include <Arduino.h> 3 #define LED_PIN 5 4 #define LED_BRIGHTNESS 100 5 #define LED_BRIGHTNESS_STEP 10 6 #define LIGHT_SENSOR_PIN A0 7 #define SERVO_PIN 9 8 9 #include <Servo.h> 10 #include <Wire.h> 11 #include <BH1750.h> 12 #include <LightMeter.h> 13 14 void setup() { 15 pinMode(LED_PIN, OUTPUT); 16 pinMode(SERVO_PIN, OUTPUT); 17 pinMode(LIGHT_SENSOR_PIN, INPUT); 18 LightMeter.begin(); 19 } 20 21 void loop() { 22 digitalWrite(LED_PIN, HIGH); 23 analogWrite(LED_PIN, LED_BRIGHTNESS); 24 int light = LightMeter.readLightLevel(); 25 Serial.println("Light: " + String(light)); 26 Serial.println(); 27 } </pre>
說明	<ol style="list-style-type: none"> 1.利用 Arduino uno R3 控制 RGB LED 燈全彩模組發出之色光。 2. RGB LED 燈全彩模組升降至不同高度，測量不同高度下光強度、光照面積。 	
裝置照		

註二：模擬太陽能裝置

材料	E27 燈座、自製燈罩(鋁箔反光膠帶)、全光譜螺旋燈管(長 0 生技 120V / 23W)、紅外線燈管(飛 0 浦 120V / 150W，波長 600nm~3 μ m)、紫外線燈管(寶 0 之光 120V / 23W，波長 253.7nm)、絕熱容器
裝置圖	
說明	<p>1.利用 3D 列印燈罩並於燈罩內部貼上鋁箔反光膠帶，罩於燈管上，將燈管發出的光線聚光成近似平行光，以模擬太陽光行進。</p> <p>2.依據實驗需要調整為不同燈管。</p>
裝置照	

註三：模擬太陽能分光裝置

材料	arduino R3(及外殼)、RGB LED 燈全彩模組(發光角度 10 度)、麵包板、杜邦線、絕熱容器、電腦	
裝置圖	說明	<p>利用 Arduino uno R3 控制 RGB LED 燈全彩模組發出的色光，以光的三原色中紅光為例，設定參數值為 R=255、G=0、B=0</p>
裝置照		

註四：抽換式光能、熱能發電裝置

<p>材料</p>	<p>太陽能光電板(98.5×34mm 額定電壓 5.5V 額定電流 80mA 峰值功率 0.44W)、 溫差發電片(TEC1-12706 碲化鉍 -60 至 200℃ 2 Ω)、 支撐架、鋁殼電阻(5 Ω / 50W)、三用電表、arduino R3(及外殼)、電壓感測器、DHT11 溫溼度感測模組、BH1750 光強度感測模組、杜邦線、端子壓頭、絕熱容器、電腦</p>
<p>裝置圖</p>	 <pre> sketch_mar21a Arduino 1.8.5 檔案 視圖 監控 工具 說明 sketch_mar21a \$ 19 20 // Pinout for Reference Voltage 21 float ref_voltage = 5.0; 22 23 // Integer for ADC value 24 int adc_value = 0; 25 26 void setup() 27 { 28 Serial.begin(9600); 29 pinMode(A0, INPUT); 30 Serial.println("DC Voltage Test"); 31 digitalWrite(A0, HIGH); 32 digitalWrite(A0, LOW); 33 } 34 35 36 void loop() 37 { 38 // Read the analog input 39 adc_value = analogRead(A0); 40 // Determine voltage at ADC input 41 adc_voltage = (adc_value * ref_voltage) / 1024.0; 42 // Calculate voltage at divider input 43 in_voltage = adc_voltage * (R2/(R1+R2)); 44 // Print results to Serial Monitor to 2 decimal places 45 Serial.println("Input Voltage = "); 46 Serial.println(in_voltage, 2); 47 delay(3000); 48 } </pre> <p>以上為部分程式語法</p>
<p>說明</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.將太陽能光電板(或太陽能溫差發電板)並聯後，與鋁殼電阻、三用電表串聯，以讀取電流數值；鋁殼電阻兩端則與電壓感測器並聯，以讀取電壓數值。 2.利用 Arduino uno R3 同時讀取光照度、溫度與太陽能光電板之電壓。
<p>裝置照</p>	



圖 2-1、小組研究實作過程情形

註五：模擬環境升降溫裝置

材料	arduino R3(及外殼)、DHT11 溫溼度感測模組、加熱模組(5V)、鋁片、USB 供電模組、繼電器、杜邦線、絕熱容器、電腦、鋸片、馬達、電磁閥等降溫裝置
裝置圖	
說明	1.利用 Arduino uno R3 與繼電器調整加熱模組之供電情形，進行環境溫度控制。 2.利用 Arduino uno R3 與繼電器調整降溫裝置，進行環境降溫控制。 3.利用 Arduino uno R3 同時讀取太陽能光電板(或太陽能溫差發電板)上端與下端的溫度。

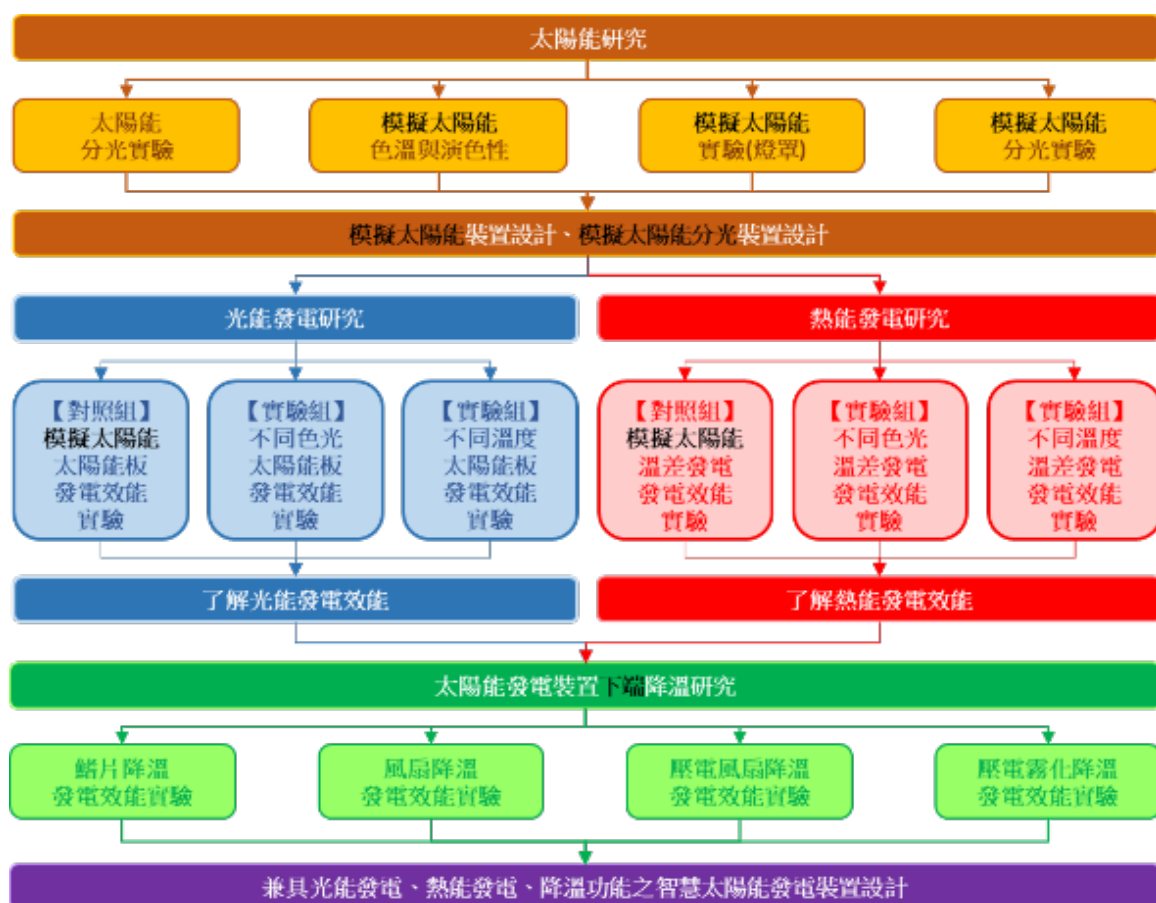
叁、研究過程或方法

- 一、發展研究架構。
- 二、太陽能組成分析。
- 三、太陽光能發電之效能研究。
- 四、太陽熱能發電之效能研究。
- 五、太陽能發電裝置降溫研究。
- 六、兼具光能發電、熱能發電、降溫功能之智慧太陽能發電裝置設計。

肆、研究結果與討論

一、發展研究架構

經過一連串的資料查詢後，我們開始設計本次研究的基本架構，並隨著實驗討論的進行隨時修正架構，以下是我們這次研究的整體研究架構。



二、太陽能組成分析

根據自然課本光學內容，白光是由三原色光(紅、綠、藍)光組成，而太陽光經由三稜鏡分光後，可以看見美麗的彩虹光譜，但實驗同時我們也發現三稜鏡溫度升高，因此，我們試圖經由以下一系列的實驗與研究以了解太陽能的組成情形。

(一) 太陽能分光實驗

1. 提出問題：太陽能經過光柵分光後，光譜的分布情形及各色光強度？

2. 定義：

(1) 光譜寬度(spectral width, SW)：指光柵分光後光譜寬度，單位為 mm。

(2) 光譜強度(spectral intensity, SI)：指光譜上某一位置的光照強度，單位為 Lux。

(3) 平均光譜強度(average spectral intensity, SI_{ave})：指固定光譜寬度內的光照強度之平均值，單位為 Lux。

(4) 太陽能強度(intensity, I)：指太陽能光照強度，單位為 Lux。

(5)相對光強度(relative intensity, RI)：

$$RI = \frac{SI_{ave}}{I} \dots\dots\dots 式(4-2-1)$$

3.研究步驟：

- (1)利用照度計測量太陽能強度 I。
- (2)以圓形與線型菲涅爾透鏡聚光，以聚光點作為光譜數線之原點。
- (3)分別不同光柵(100、300、600、1000 lines/mm)進行分光，測量光譜寬度 SW。
- (4)以照度計測量光譜上不同位置的光譜強度 SI。
- (5)分別計算中央亮紋、第一亮紋(紅光、綠光、藍光)之平均光譜強度 SI_{ave} 與相對光強度 RI，繪製成直條圖觀察分布情形。

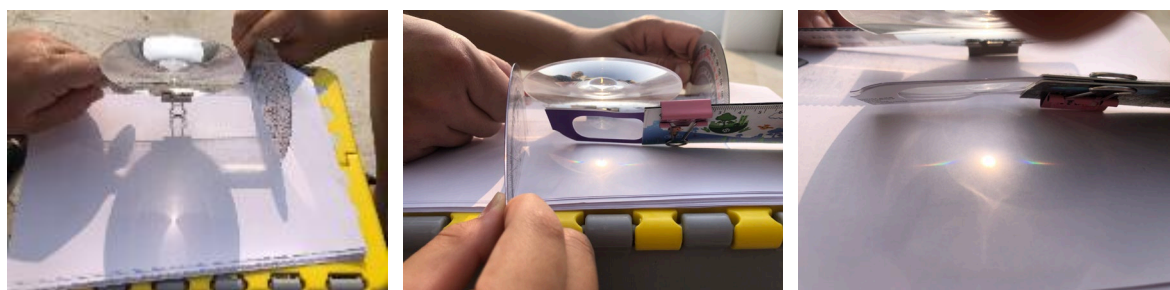


圖 4-2-1、實驗研究過程

4.研究結果：相對光強度分布情形如圖 4-2-2 所示。

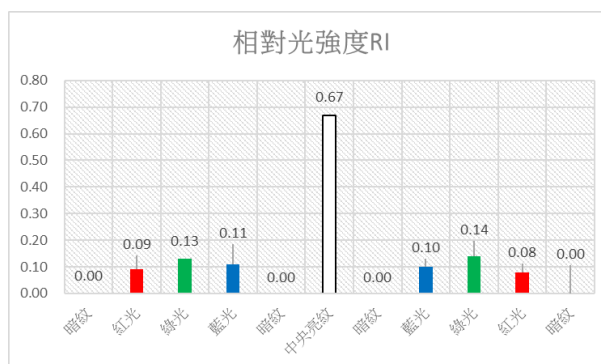


圖 4-2-2、相對光強度分布圖

5.研究討論：

- (1)經由文獻探討光經過光柵分光後，應出現各階亮紋分布，但在我們這次反覆實驗中，均只看到中央亮紋及第一階亮紋分布，推測我們使用的光柵是否屬於厚光柵或是其他階亮紋因太暗而無法觀測，有待日後再進行深入研究。
- (2)實驗過程發現以焦距為 4 公分菲涅爾透鏡及 1000 lines/mm 光柵為最適合我們

現有儀器量測實驗器材組合，經過分光後的中央亮紋相對光強度為 0.67，推測每一次分光將分出近 1/3 的光強度，未來可繼續嘗試在中央亮紋進行分光實驗。

(3)經過實驗，第一階亮紋中，紅光、綠光、藍光的相對光強度差異雖不顯著，但以每次實驗綠光的光強度都比其他兩者略高，根據圖 4-2-3 所示，太陽光譜中以波長 500nm(綠光波段範圍內)為分布曲線之峰值處，與我們實驗結果相符。

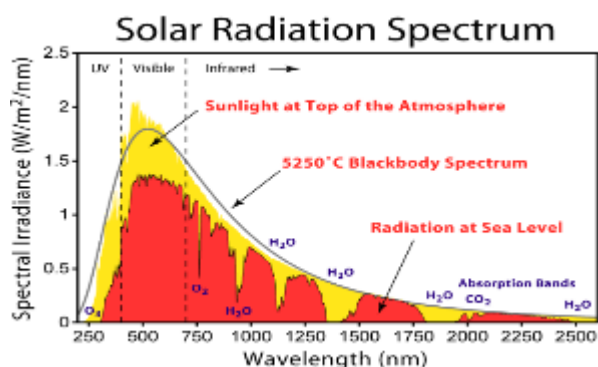


圖 4-2-3、太陽光譜與強度圖(圖片來源：維基百科)

(4)在暗紋的部分亦值得進一步的研究，以照太陽光 4 小時進行溫度測量，發現中央亮紋溫度>紅光旁之暗紋溫度>光譜其他位置溫度，亦即太陽光譜中紅外線為主要使溫度上升的因素。

(二) 模擬太陽能色溫與演色性

1.提出問題：經由了解太陽能相關資訊，是否能找到最適合模擬太陽能的光源？

2.定義：

(1)平均演色評價指數(general color rendering index, Ra)：物件在某光源照射下顯示之顏色與其在參照光源照射下之顏色兩者的相對差異量值。

(2)色溫(color temperature, CT)：光源發出相似於黑體輻射體光所具有的開爾文溫度，單位為 K。

3.研究步驟：

(1)收集市售各種燈源資訊，尋找平均演色評價指數高且發光光譜最接近太陽光光譜的燈源產品。

(2)分析色溫資料，了解最適合模擬太陽能之色溫。

(3)依以上兩步驟結果，選擇最適合模擬太陽能的市售光源。

4.研究結果：如表 4-2-1、表 4-2-2 所示。

表 4-2-1、市售演色性指數與光譜資料表(資料來源：各廠牌網站)

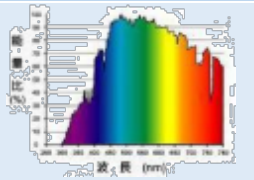
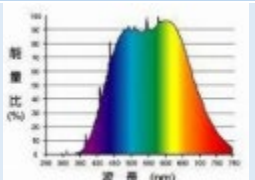
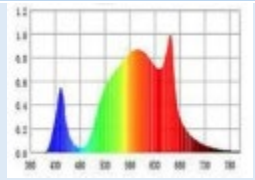
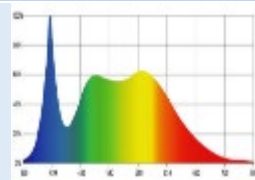
光源名稱	太陽光源	長 0 生技 全光譜燈管	HOLA 全光譜植物燈管	飛 0 浦全光譜 LED 植物生長燈
Ra 值	100	近 90	≤80	≤80
發光光譜				

表 4-2-2、常見光照環境與色溫對照表(資料來源：維基百科)

色溫(K)	光照環境	色溫(K)	光照環境
2800	白熾燈	5500	平均日光
3000	鹵素燈	6420	氙弧燈
5000	日光	6500	常見的白光日光燈

5.研究討論：

- (1)根據表 4-2-1 整理結果，以長 0 生技全光譜燈管產品為目前較佳的選擇。
- (2)根據表 4-2-2 所示，色溫以 5000 至 5500K 最接近日光。
- (3)根據以上結果，我們選用長 0 生技全光譜燈管 5300K 產品做為本次實驗的模擬太陽光源，但值得注意的是產品說明中提及本產品濾掉有害紫外光部分，是未來我們以此光源進行太陽能模擬實驗時之限制。

(三) 模擬太陽能實驗(燈罩)

1.提出問題：同高度、不同大小拋物面的燈罩是否可以產生平行光？

2.定義：

- (1)燈罩開口直徑(lampshade length, LL)：燈罩底端圓形開口直徑，單位為 cm。
- (2)燈光強度(lamp intensity, LI)：指燈光經燈罩聚光後於垂直高度 15 公分處光影各點的光照強度，單位為 Lux。

3.研究步驟：

- (1)利用 3D 印表機列印出等高(燈罩高度為 13cm)，開口直徑 LL 分別為 10、12、14、16cm 之燈罩，將鋁箔反光膠帶貼滿燈罩內部，以燈罩底端圓形開口投影之圓心為原點，測量燈光強度 LI。
- (2)重複步驟(1)多次後，取平均數值，繪製出不同開口直徑燈罩燈光強度 LI 分布折線圖觀察燈光強度 LI 分布情形。



圖 4-2-4、實驗研究過程

4.研究結果：如圖 4-2-5 所示。

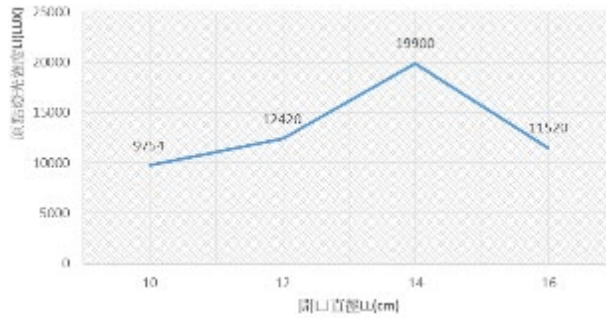


圖 4-2-5、不同開口直徑燈罩燈光強度 LI 分布折線圖

5.研究討論：

- (1)根據實驗觀察燈罩開口直徑越大，光線發散；燈罩開口直徑越小，光線在燈罩內反射，僅有部分光反射射出燈罩，燈光強度以直射光為主。
- (2)本次實驗以燈罩高度 13cm、開口直徑 14cm 可產生最大燈光強度，故選用此規格燈罩作為本次實驗將燈泡產生之發散光變為平行光之實驗器材。

(四) 模擬太陽能分光實驗

1.提出問題：使用我們設計的模擬太陽能經過光柵分光後，光譜的分布情形及各色光強度？

2.定義：

- (1)光譜寬度(spectral width, SW)：指光柵分光後光譜寬度，單位為 mm。
- (2)光譜強度(spectral intensity, SI)：指光譜上某一位置的光照強度，單位為 Lux。
- (3)平均光譜強度(average spectral intensity, SI_{ave})：指固定光譜寬度內的光照強度之平均值，單位為 Lux。
- (4)模擬太陽能強度(intensity, I)：指模擬太陽能光照強度，單位為 Lux。
- (5)相對光強度(relative intensity, RI)：

$$RI = \frac{SI_{ave}}{I} \dots\dots\dots \text{式(4-2-1)}$$

3.研究步驟：

- (1)利用照度計測量模擬太陽能強度 I。
- (2)以焦距 4cm 線型菲涅爾透鏡聚光，以聚光點作為光譜數線之原點。
- (3)以光柵(1000 lines/mm)進行分光，測量光譜寬度 SW。
- (4)以照度計測量光譜上不同位置的光譜強度 SI。
- (5)分別計算中央亮紋、第一亮紋(紅光、綠光、藍光)之平均光譜強度 SI_{ave} 與相對光強度 RI，繪製成直條圖觀察分布情形。

4.研究結果：模擬太陽能相對光強度分布情形如圖 4-2-6 所示。

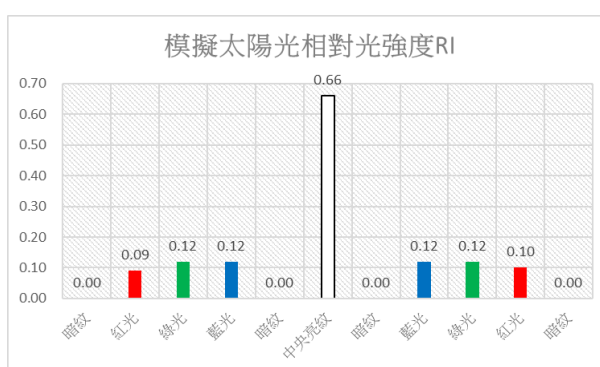


圖 4-2-6、模擬太陽能相對光強度分布圖

5.研究討論：

將圖 4-2-2 與圖 4-2-6 比較後發現，以下兩點：

- (1)太陽能相對光強度分布與模擬太陽能相對光強度分布十分相近，顯示我們選用設計的模擬太陽能具有可信度，可供進行研究使用。
- (2)模擬太陽能第一階亮紋中，紅光、綠光、藍光的相對光強度差異不顯著，每次實驗藍、綠光的光強度相近，紅光的光強度略低，但差異不明顯。

根據以上研究，發現太陽光經過焦距 4cm 菲涅爾透鏡與光柵(1000 lines/mm)分光後出現明顯的中央亮紋及第一階亮紋分布，經過燈管選擇與燈罩設計後，我們自行設計出的模擬太陽能經分光後與太陽光十分接近，差異僅在藍光與綠光波段光強度分布及紫外光波段缺乏；因此，我們接下來的實驗以模擬太陽能為對照組進行實驗，以減少直接使用太陽光之不穩定實驗環境的影響。

三、太陽光能發電之效能研究

我們在上一階段實驗中發現太陽能在分光後，可以分出中央亮紋(相對光強度比 0.67)及第一階亮紋紅、綠、藍光波段(相對光強度比相近)分布，因此，本次實驗希望能經由實驗瞭解第一階亮紋各色光照射在太陽能光電板的發電效率，並能更進一步探討不同溫度是否對發電效率發生影響，因此，分成二個部分來討論，並進行研究。

(一) 模擬太陽能太陽能板發電效能實驗(對照組)

1.提出問題：模擬太陽能照射在自製太陽能光電板環境下的發電效率？

2.定義：

(1)上部溫度(upper temperature, T_{up})：太陽能光電板上端溫度，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。

(2)下部溫度(lower temperature, T_{low})：太陽能光電板下端溫度，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。

(3)平均溫度(average temperature, T_{ave})：太陽能光電板上、下端溫度之平均溫度，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。

(4)電壓(voltage, V)：並聯太陽能光電板電壓，單位為 V 。

(5)電流(current, I_c)：並聯太陽能光電板與 50 歐姆鋁殼電阻串聯電路的電流，單位為 mA 。

(6)電功率(power, P)：如式(4-3-1)，為太陽能光電板之發電功率，單位 mW 。

$$P = I_c V \quad \dots\dots\dots \text{式(4-3-1)}$$

3.研究步驟：

(1)將自製模擬太陽能光源至於絕熱容器中，做出模擬太陽能裝置。

(2)將模擬太陽能裝置疊放於自製抽換式光能發電裝置上，接上電腦與電源，以 arduino 程式讀取上部溫度 T_{up} 、下部溫度 T_{low} 、電壓 V 、電流 I_c 數據資料。

(3)計算平均溫度 T_{ave} 與太陽能光電板之電功率 P 。

(4)以平均溫度 T_{ave} 為橫軸，縱軸分別為電壓 V 、電流 I_c 、電功率 P ，繪製折線圖進行分析與討論。

4.研究結果：如圖 4-3-1 所示。

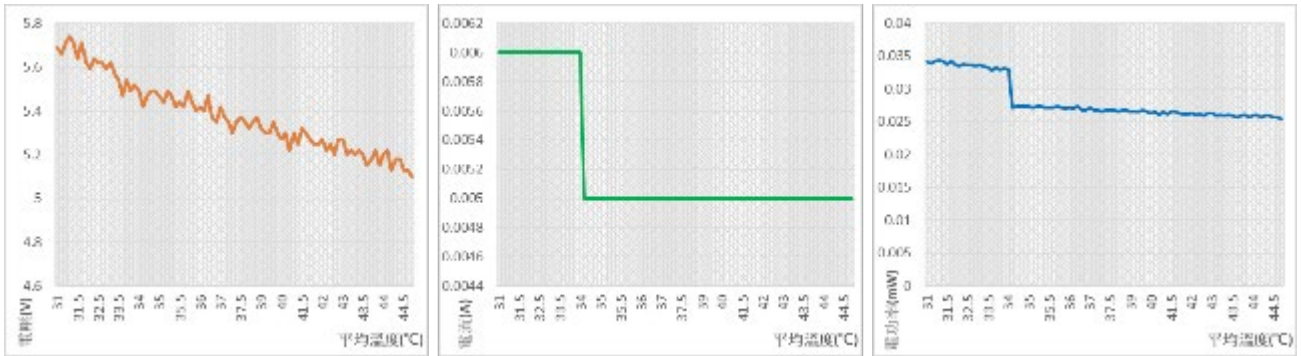


圖 4-3-1、模擬太陽能光源照射下，平均溫度對電壓、電流、電功率折線圖

5. 研究討論：

- (1) 研究過程中，發現使用 arduino 程式以電壓感測器、溫濕度感測器進行電壓與溫度測量，明顯可見數據資料詳細變化情形；但是，可惜的是本次實驗過程中，電流的數據資料極小，並未找到適合的電流感測器，因此改以傳統三用電表進行測量，而三用電表的量測範圍亦有限，故於電流折線圖呈現類似方波的圖形。
- (2) 研究結果發現，當平均溫度升高時電壓、電流、電功率都有變小的趨勢，顯示溫度升高會降低太陽能光電板的發電效率。

(二) 不同色光與不同溫度太陽能板發電效能實驗

1. 提出問題：不同色光(紅外光、紅光、綠光、藍光、紫外光)照射在自製太陽能光電板環境下的發電效率？以及升溫後發電效率的變化？

2. 定義：

- (1) 上部溫度(upper temperature, T_{up})：太陽能光電板上端溫度，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。
- (2) 下部溫度(lower temperature, T_{low})：太陽能光電板下端溫度，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。
- (3) 平均溫度(average temperature, T_{ave})：太陽能光電板上、下端溫度之平均溫度，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。
- (4) 電壓(voltage, V)：並聯太陽能光電板電壓，單位為 V。
- (5) 電流(current, I_c)：並聯太陽能光電板與 50 歐姆鋁殼電阻串聯電路的電流，單位為 mA。
- (6) 電功率(power, P)：如式(4-3-1)，為太陽能光電板之發電功率，單位 mW。

3. 研究步驟：

- (1)將模擬太陽能分光裝置疊放於自製抽換式光能發電裝置上，分別提供紫外光、紅外光、紅光、綠光、藍光，接上電腦與電源，以 arduino 程式讀取上部溫度 T_{up} 、下部溫度 T_{low} 、電壓 V 、電流 I_c 數據資料。
- (2)計算平均溫度 T_{ave} 與太陽能光電板之電功率 P ，以平均溫度 T_{ave} 為橫軸，縱軸分別為電壓 V 、電流 I_c 、電功率 P ，繪製折線圖進行分析與討論。
- (3)將模擬環境升降溫裝置置於自製抽換式光能發電裝置下方，開啟電源升高溫度，重複步驟(1)至步驟(2)。

4.研究結果：如圖 4-3-2 所示。

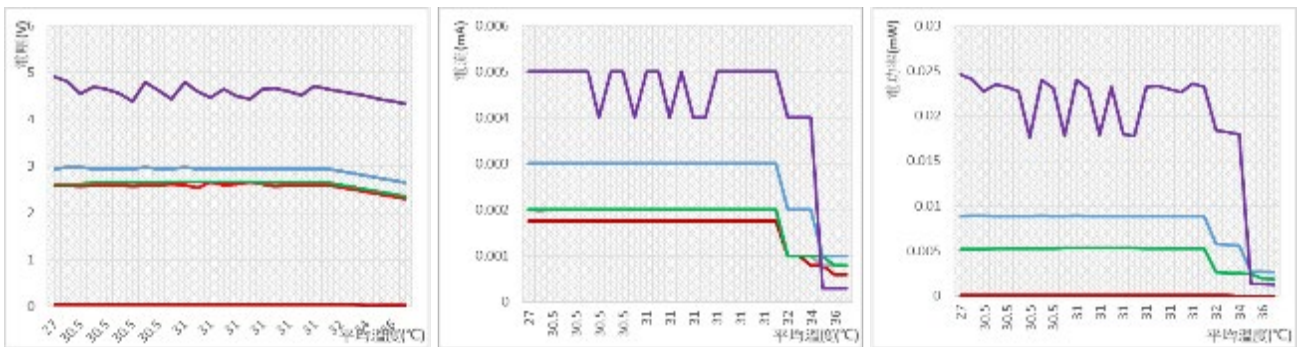


圖 4-3-2、各色光源照射下，平均溫度對電壓、電流、電功率折線圖

5.研究討論：

- (1)從圖 4-3-2 發現，在電壓、電流、電功率折線圖中，紫外光波段都是比較高的，其次是藍光波段，紅光與綠光兩波段幾乎重疊；而紅外光電壓極小，但電流大小與藍光、紅光與綠光波段接近，值得繼續深入探討。
- (2)紅光、綠光、藍光與紫外光等波段電壓並不相同，以並聯電路分析，電壓較小的部分反而變成阻抗，因此，需加裝升壓電路後再並聯，會有較佳的發電效率。
- (3)根據折線圖趨勢，發現隨著平均溫度越高，各色光的電壓、電流、電功率均呈現下降，因此，如何降低太陽能光電板溫度，為亟需重要考量問題。

根據以上研究，太陽能分光後的紅光、綠光、藍光與紫外光等波段能使太陽能光電板發電，但是，環境溫度的上升卻會造成發電效率降低，因此，若欲使用太陽能光電板作為太陽能發電材料，需要仔細研究如何降低環境溫度。

此外，當太陽通過光學聚光鏡時，聚光焦點產生色像差，使太陽能光電板面上承受不均勻且分散的頻譜分佈，長期的工作將影響太陽能光電板的使用壽命，本次實驗透過二次光學元件-光柵進行有規則的分光，再依不同電壓加裝升壓模組，可延長太陽能光電板的使用壽命。

四、太陽熱能發電之效能研究

我們在上一階段實驗中瞭解第一階亮紋各色光照射在太陽能光電板的發電效率，因此，本次實驗希望能瞭解第一階亮紋各色光照射在溫差發電板的發電效率，並更進一步探討環境溫度升高是否對發電效率發生影響，共分成兩個部分來討論，並進行研究。

(一) 模擬太陽能溫差發電板發電效能實驗(對照組)

1.提出問題：模擬太陽能照射在自製太陽能溫差發電板環境下的發電效率狀況？

2.定義：

(1)時間(time, t)：實驗進行時間，單位為秒。

(2)上部溫度(upper temperature, T_{up})：太陽能溫差發電板上端溫度，單位為 $^{\circ}C$ 。

(3)下部溫度(lower temperature, T_{low})：太陽能溫差發電板下端溫度，單位為 $^{\circ}C$ 。

(4)溫度差(temperature difference, ΔT)：太陽能溫差發電板上、下端溫度差，單位為 $^{\circ}C$ 。

(5)電壓(voltage, V)：並聯太陽能溫差發電板電壓，單位為 V 。

(6)電流(current, I_c)：並聯太陽能溫差發電板與 50 歐姆鋁殼電阻串聯電路的電流，單位為 mA 。

(7)電功率(power, P)：如式(4-3-1)，為溫差發電板之發電功率，單位 mW 。

3.研究步驟：

(1)將自製模擬太陽能光源至於絕熱容器中，做出模擬太陽能裝置。

(2)將模擬太陽能裝置疊放於自製抽換式熱能發電裝置上，接上電腦與電源，以 arduino 程式讀取上部溫度 T_{up} 、下部溫度 T_{low} 、電壓 V 、電流 I_c 數據資料。

(3)計算溫度差 ΔT 與太陽能溫差發電板之電功率 P 。

(4)以時間 t 為橫軸，縱軸分別為溫度差 ΔT 、電壓 V 、電流 I_c 、電功率 P ，繪製折

線圖進行分析與討論。

4.研究結果：如圖 4-4-1 所示。

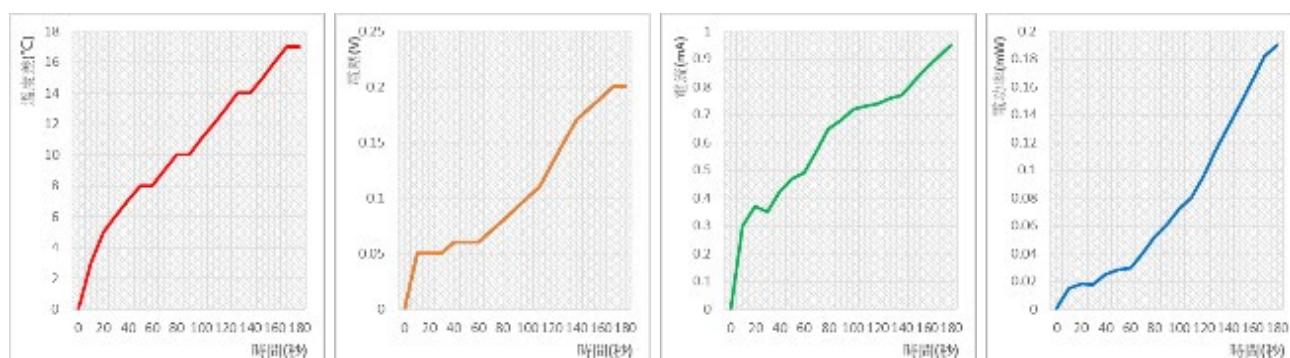


圖 4-4-1、模擬太陽能照射下，溫度差、電壓、電流、電功率隨時間變化折線圖

5.研究討論：

(1)直接以模擬太陽能照射發現上端溫度持續上升，但下端溫度沒有明顯上升，因此，溫度差隨時間越來越大。

(2)根據圖 4-4-1 顯示溫度差、電壓、電流、電功率對時間曲線有類似的變化趨勢，推測溫度差越大，電壓、電流、電功率也會越大，但是是否成正比關係，有待更進一步實驗探討。

(二) 不同色光與不同溫度太陽能溫差發電板發電效能實驗

1.提出問題：不同色光(紅外光、紅光、綠光、藍光、紫外光)照射在自製太陽能溫差發電板環境下的發電效率？以及環境升溫後發電效率的變化？

2.定義：

(1)時間(time, t)：實驗進行時間，單位為秒。

(2)上部溫度(upper temperature, T_{up})：太陽能溫差發電板上端溫度，單位為 $^{\circ}C$ 。

(3)下部溫度(lower temperature, T_{low})：太陽能溫差發電板下端溫度，單位為 $^{\circ}C$ 。

(4)溫度差(temperature difference, ΔT)：太陽能溫差發電板上、下端溫度差，單位為 $^{\circ}C$ 。

(5)電壓(voltage, V)：並聯太陽能溫差發電板電壓，單位為 V 。

(6)電流(current, I_c)：並聯太陽能溫差發電板與 50 歐姆鋁殼電阻串聯電路的電流，單位為 mA 。

(7)電功率(power, P): 如式(4-3-1), 為溫差發電板之發電功率, 單位 mW。

3.研究步驟:

(1)將模擬太陽能分光裝置疊放於自製抽換式熱能發電裝置上, 接上電腦與電源, 分別以紅外光、紅光、綠光、藍光、紫外光進行實驗, 並以 arduino 程式讀取上部溫度 T_{up} 、下部溫度 T_{low} 、電壓 V 、電流 I_c 數據資料。

(2)計算溫度差 ΔT 與太陽能溫差發電板之電功率 P 。

(3)以時間 t 為橫軸, 縱軸分別為溫度差 ΔT 、電壓 V 、電流 I_c 、電功率 P , 繪製折線圖進行分析與討論。

(4)將模擬環境升溫裝置置於自製抽換式熱能發電裝置下方, 開啟電源升高溫度, 重複步驟(1)至步驟(3)。

4.研究結果: 如圖 4-4-2、圖 4-4-3 所示。

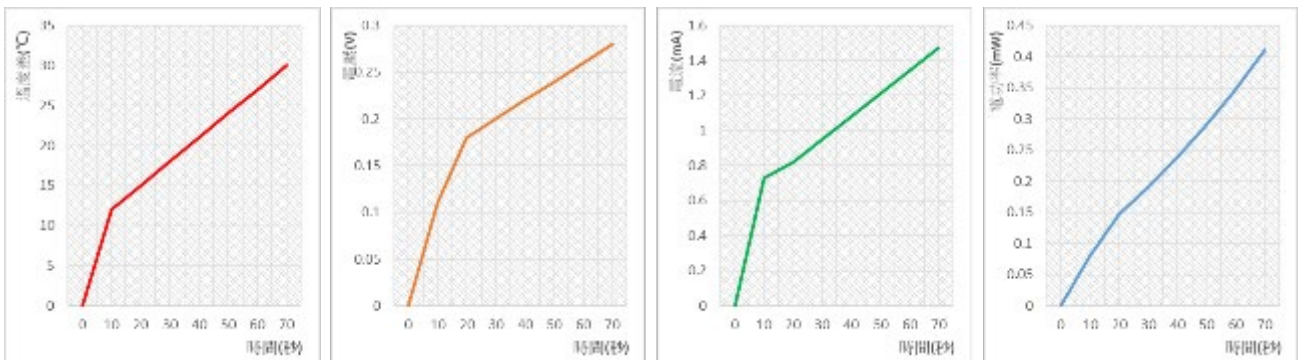


圖 4-4-2、紅外光照射下, 溫度差、電壓、電流、電功率隨時間變化折線圖

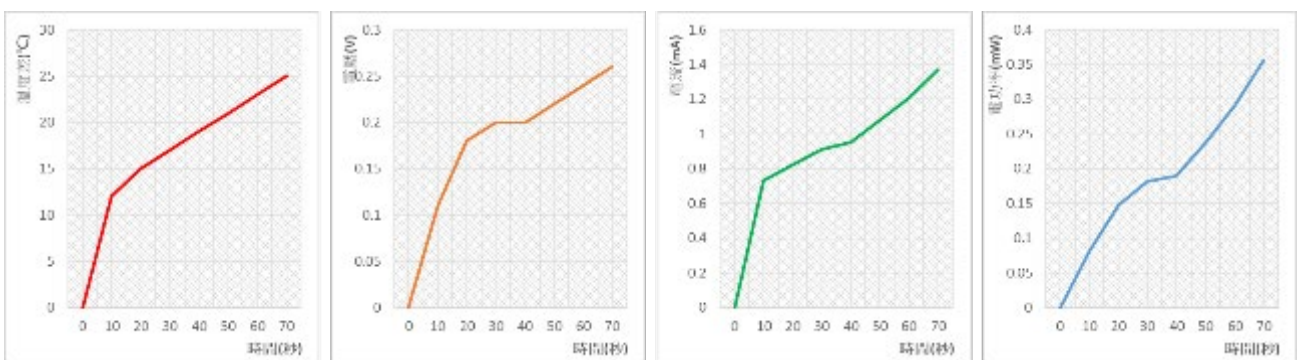


圖 4-4-3、紅外光照射、環境升溫條件下, 溫度差、電壓、電流、電功率隨時間變化折線圖

5.研究討論:

(1)實驗過程發現只有在紅外光照射下上部溫度會有逐漸升高情形, 在紅光、綠光、藍光、紫外光上部溫度均沒有改變, 由此可知讓紅外光為造成溫度上升的主要

因素，因此，在進行下一步環境升溫條件探討時，便選用紅外光進行實驗；此外，實驗受到 DHT-11 溫溼度感測器測溫範圍的限制(最大可測 60°C)，未來可進一步將更換成測溫範圍較大的溫度探頭重複進行全部實驗，以了解溫度大於 60°C 後各數據資料變化情形。

(2)將圖 4-4-2、圖 4-4-3 進行比較，可發現加上環境升溫後，溫度差變小，不論是電壓、電流或電功率均下降，顯示環境溫度上升將導致溫差發電板發電效率降低，因此，如何降低環境溫度，使溫差發電板上下端溫度差變大，便成為我們的重要考量問題。

根據以上研究，太陽能分光後的紅外光能使溫差發電板照光面溫度上升，有助於提升發電效率，但是，環境溫度的上升卻會造成溫差發電板發電效率降低，因此，若欲使用溫差發電板作為太陽能發電材料，如何降低環境溫度為重要的研究課題。

五、太陽能發電裝置降溫研究

根據前述兩段研究發現，不論是太陽能光電板或是溫差發電板，溫度上升都會使得發電功率降低，因此，接下來試圖尋找耗能最低且降溫效果佳的降溫方式，以降低溫度對於發電功率的影響。此外，有鑑於文獻探討中大部分的降溫方式採用水冷降溫，將使整個發電系統重量增加，影響追日系統運作，因此，降低降溫系統的重量亦為本次實驗重要考量因素。

(一)降溫實驗

1.提出問題：哪一種降溫方式可以符合質輕、耗能低且具降溫效果佳等條件?

2.定義：

(1)時間(time, t): 實驗進行時間，單位為秒。

(2)下部溫度(lower temperature, T_{low}): 太陽能溫差發電板下端溫度，單位為°C。

3.研究步驟：

(1)製作降溫裝置，如表 4-5-1 所示，為配合本次實驗模擬裝置尺寸，降溫裝置尺寸為長、寬各 8 公分之正方形。

表 4-5-1、降溫裝置設計表(資料來源：廠商及自行推算)

降溫方式	鰭片降溫	散熱風扇降溫	壓電馬達降溫	壓電馬達霧化降溫
材料	鋁製鰭片 (1*1*0.5cm) 共 64 片	鋁製鰭片 (1*1*0.5cm) 共 64 片 散熱風扇(4*4*1cm 5V) 共 4 個	鋁製鰭片 (1*1*0.5cm) 共 64 片 壓電馬達(5V)共 2 個	鋁製鰭片 (1*1*0.5cm) 共 64 片 壓電馬達(5V)共 2 個 電磁閥與水管
總重量(g)	10	800	400	500
耗電功率 (W)	0	約 6.4	約 3	約 4
製作方式	將鰭片貼在支撐架	1.將鰭片貼在支撐架 2.散熱風扇固定於鰭片下方	1.將鰭片貼在支撐架 2.壓電馬達固定於鰭片側邊	1.將鰭片貼在支撐架 2.壓電馬達固定於鰭片側邊 3.調整電磁閥位置，使水滴可滴入壓電馬達

(2)開啟模擬環境升溫裝置電源升高溫度至 60°C。

(3)分別將降溫裝置置於模擬環境升溫裝置上方，測量下部溫度。

(4)以時間 t 為橫軸，縱軸為下部溫度 T_{low} ，繪製折線圖進行分析與討論。

4.研究結果：如下圖 4-5-1 所示。

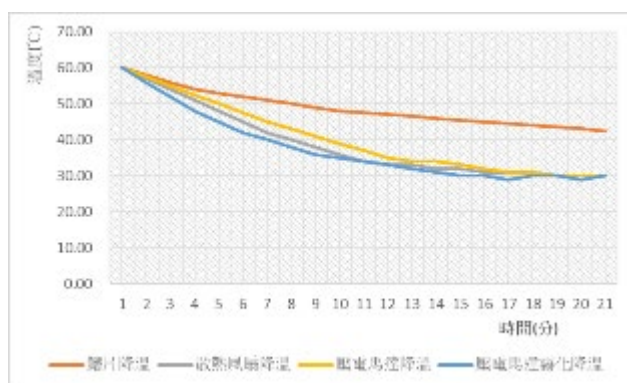


圖 4-5-1、不同降溫方式，降溫折線圖

5.研究討論：

(1)散熱風扇降溫、壓電馬達降溫、壓電馬達霧化降溫等三種降溫方式，都比只有鰭片降溫快，其中以壓電馬達霧化降溫方式最快由 60°C 降到室溫 30°C。

(2)考量質輕、耗能低且具降溫效果佳等條件，以壓電馬達霧化降溫方式為目前最佳選擇。

六、兼具光能發電、熱能發電、降溫功能之智慧太陽能發電裝置設計

根據前述研究結果，進行太陽能發電裝置設計、實作與測試，以尋求能設計出兼具光能發電、熱能發電、降溫功能之智慧太陽能發電裝置。

(一)自製太陽能模擬裝置照射下，第一版發電裝置設計與發電效能測試

1.提出問題：以自製太陽能模擬裝置分別照射在自製太陽能光電板(對照組)及第一版發電裝置(實驗組)之發電效率比較？及環境升溫後發電效率的變化？

2.裝置設計：

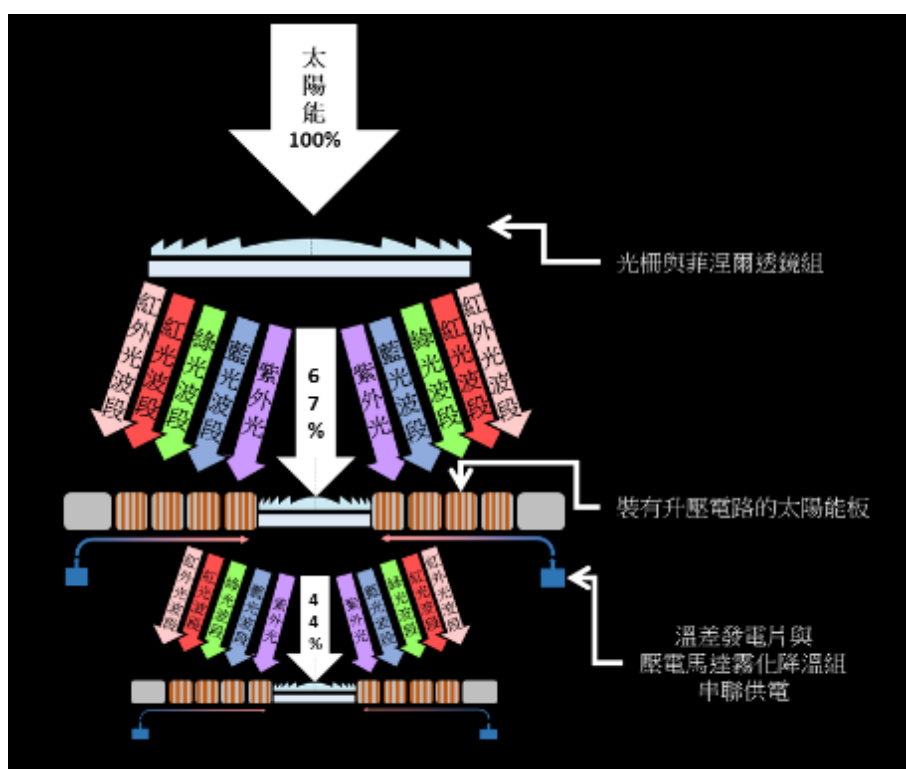


圖 4-6-1 第一版發電裝置設計圖

3. 定義：

- (1)上部溫度(upper temperature, T_{up})：上端溫度，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。
- (2)下部溫度(lower temperature, T_{low})：下端溫度，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。
- (3)平均溫度(average temperature, T_{ave})：上、下端溫度之平均溫度，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。
- (4)電壓(voltage, V)：電壓，單位為 V。
- (5)電流(current, I_c)：與 50 歐姆鋁殼電阻串聯電路的電流，單位為 mA。
- (6)電功率(power, P)：如式(4-3-1)，發電功率，單位 mW。

4.研究步驟：

- (1)將模擬太陽能裝置疊放於自製抽換式光能發電裝置上並將模擬環境升溫裝置至於最下層，接上電腦與電源，以 arduino 程式讀取上部溫度 T_{up} 、下部溫度 T_{low} 、電壓 V 、電流 I_c 數據資料。
- (2)計算平均溫度 T_{ave} 與電功率 P ，以平均溫度 T_{ave} 為橫軸，縱軸為電功率 P ，繪製折線圖進行分析與討論。
- (3)將自製抽換式光能發電裝置更換為第一版發電裝置，重複步驟(1)至步驟(2)。

5.研究結果與討論：

- (1)當平均溫度 T_{ave} 介於 28°C 至 43°C 時，太陽能光電板之電功率雖逐漸下降，但仍高於第一版發電裝置之電功率。
- (2)當平均溫度 T_{ave} 高於 43°C 後，太陽能光電板之電功率仍持續下降，第一版發電裝置雖逐漸下降，但兩者相較之下第一版發電裝置之電功率大於太陽能光電板之電功率。

(二)太陽光照射下，第一版發電裝置設計與發電效能測試

- 1.提出問題：以太陽光分別照射在自製太陽能光電板(對照組)及第一版發電裝置(實驗組)之發電效率比較？以及環境升溫後發電效率的變化？

2.研究步驟：

- (1)將自製抽換式光能發電裝置置於太陽光下實測(8 時至下午 16 時)，接上電腦與電源，以 arduino 程式讀取上部溫度 T_{up} 、下部溫度 T_{low} 、電壓 V 、電流 I_c 數據資料。
- (2)計算平均溫度 T_{ave} 與電功率 P ，以平均溫度 T_{ave} 為橫軸，縱軸為電功率 P ，繪製折線圖進行分析與討論。
- (3)將自製抽換式光能發電裝置更換為第一版發電裝置，重複步驟(1)至步驟(2)。

3.研究結果與討論：

- (1)上午(8 時至 11 時)與下午(13 時至 16 時)，第一版發電裝置之電功率低於太陽能光電板之電功率。

(2)中午(11 時至 13 時)，第一版發電裝置之電功率高於太陽能光電板之電功率。

(3)隨時間變化，太陽光角度也隨之變化，影響第一版發電裝置之電功率，因此，第一版發電裝置的擺設角度必須隨時間改變而有相應的變化為佳。

(三)太陽光照射下，第二版發電裝置設計與發電效能測試

1.提出問題：以太陽光分別照射在自製太陽能光電板(對照組)及第二版發電裝置(實驗組)之發電效率比較？以及環境升溫後發電效率的變化？

2.裝置設計：在第一版發電裝置下方加裝 1 組舵機，以控制發電裝置之上下擺動，與地面形成夾角，作為第二版發電裝置。

3.研究步驟：

(1)將自製抽換式光能發電裝置置於太陽光下實測上午(8 時至 11 時)與下午(13 時至 16 時)兩時間段落，接上電腦與電源，以 arduino 程式讀取上部溫度 T_{up} 、下部溫度 T_{low} 、電壓 V 、電流 I_c 數據資料。

(2)計算平均溫度 T_{ave} 與電功率 P ，以平均溫度 T_{ave} 為橫軸，縱軸為電功率 P ，繪製折線圖進行分析與討論。

(3)將自製抽換式光能發電裝置更換為第二版發電裝置，控制舵機使第二版發電裝置 15 度、30 度、45 度、60 度、75 度夾角重複步驟(1)至步驟(2)。

4.研究結果與討論：

(1)上午(8 時至 11 時)與地面夾角 30 度及 45 度，第二版發電裝置之電功率可高於太陽能光電板之電功率，其中 30 度角之電功率平均值較高。

(2)下午(13 時至 16 時)與地面夾角 30 度及 45 度，第二版發電裝置之電功率可高於太陽能光電板之電功率，其中 45 度角之電功率平均值較高。

(3)由研究結果，控制舵機使第二版發電裝置與地面夾角為 30 度(8 時至 11 時)、0 度(11 時至 13 時)、45 度(13 時至 16 時)。

(4)在地面夾角的測量方面，可繼續做進一步更仔細的實驗，以獲取更精準的角度資料，使第二版發電裝置之電功率更高。

伍、結論

- 一、以焦距 4 公分菲涅爾透鏡及 1000 lines/mm 光柵將太陽光分光後可見到中央亮紋(相對光強度 0.67)及第一階亮紋分布，在第一階亮紋中紅光、綠光、藍光的相對光強度差異不顯著。
- 二、本次實驗選用長 0 生技全光譜燈管 5300K 產品做為本次實驗的模擬太陽能光源，以高度 13cm、開口直徑 14cm 的燈罩反射出近平行光，此模擬太陽光源的缺點為缺乏紫外光。
- 三、經過菲涅爾透鏡及光柵分光後，太陽能相對光強度分布與模擬太陽能相對光強度分布十分相近，顯示本次實驗所採用的模擬太陽能光源具可信度，可供進行研究使用。
- 四、經實驗發現，紅光、綠光、藍光與紫外光等波段照射到太陽能光電板後產生的電壓並不相同，以並聯的觀點來看，電壓較小的部分反而變成阻抗，因此，需加裝升壓電路後再並聯，會有較佳的發電效率，而環境溫度升高會降低太陽能光電板的發電效率。
- 五、紅外光照射為溫度上升的主要因素，因此，以紅外光波段進行溫差發電最適合，溫度差越大，發電功率也越大(未呈現正比關係)，但環境溫度升高會降低溫差發電板發電效率。
- 六、考量質輕、耗能低且具降溫效果佳等條件，以壓電馬達霧化降溫方式為目前最佳選擇。
- 七、在經過一連串的研究過程後，我們設計出兼具光能發電、熱能發電、降溫功能之智慧太陽能發電裝置，截至目前為止試運作，並持續改良中。
- 八、本次研究最大的困難點為光柵的取得，未來若能發展出自製光柵的技術或其他分光技術，相信將更可提升本次太陽能最佳發電設計之發電效率。

陸、參考文獻資料

1. 潘宣安 (2013)，菲涅爾透鏡追日裝置，環球科技大學環境資源管理所碩士論文。
2. 黃炳堯 (2017)，可光電調控的維度轉換液晶光柵與菲涅爾液晶透鏡之研究，國立中山大學物理學系博士論文。
3. 鄭亦修等 (2016)，熱電晶片發電效能的探討與應用，修平科技大學專題報告。
4. 莊皓翔 (2022)，屋頂型太陽能板於不同環境之模擬與分析，國立中央大學土木工程學系碩士論文。

【評語】 032811

本作品研究如何讓太陽能電池的效率提高，包括溫度、照光條件、升壓並聯等，本研究讓光線的不同波段都能被使用，議題由國際主流的能源問題出發，並能夠收集現有資料與分析各自優劣，值得肯定。

對此研究，我們有以下之建議：

- (1) 如何達到最佳化是需要更多的測試，未來在不同尺度上所面對的最佳化也不相同這是特別要注意到的地方。
- (2) 可以考慮分析完整的 I-V 曲線與負載工作點，可以得到比較客觀的效率評估標準。
- (3) 發電（或省電）的最核心指標，是在使用整個系統之後（需將系統所需額外的耗電納入），能夠儲存（或省下）的能量，並非單存從太陽能端去判並是否省能。
- (4) 系統建置也需要成本，若能源對應到的是費用成本，建置系統也需要將成本納入考量。
- (5) 圖的軸與數值建議調整清晰易讀。

(6) 未來可增加在不同尺度應用的設計最佳化。

作品海報

分道「陽燄」

- 太陽能最佳發電探討



壹、前言

第一部份：研究動機

一、能源轉型、太陽能發電成為矚目焦點

隨著非再生能源枯竭以及伴隨之各種環境汙染；再生能源將成為未來全球之主要能源，其中太陽能更是再生能源的首要來源。

二、溫度造成太陽能光電板發電效率降低

太陽能板效率無法達到最高效能的影響因素以溫度為主，太陽光本身及屋頂人為熱源(如冷氣室外機等)均為太陽能板升溫之元兇。

三、太陽能光電板降溫技術發展仍有空間

目前降溫技術不論是前端加裝熱對流氣艙裝置，或後端加裝水冷、風冷裝置等，除了本身笨重，降溫過程造成的能源損耗亦大。

從以上三方面的了解，發現人類對於太陽能發電的需求將越來越大，如何有效的提升太陽能發電效率將成為重要議題，因此，這次的科學研究試圖從了解太陽能開始，尋求各種發電與降溫之可能性，以找出最佳發電的裝置設計。

第二部份：研究目的

- 一、了解太陽能組成的情形。
- 二、了解太陽光能發電之效能。
- 三、了解太陽熱能發電之效能。
- 四、了解太陽能發電裝置降溫之可行性。
- 五、設計出兼具光、熱能發電、降溫功能之智慧太陽能發電裝置。



貳、研究設備及器材

圓形菲涅爾透鏡 (焦距：4、5、6、7、8公分)	線性菲涅爾透鏡 (焦距：4、5、6、7、8公分)	繞射光柵 lines/mm (100、300、600、1000)
尺與方格紙	酒精溫度計	照度計(LM - 81LX)
隔熱膠帶	錫槍(錫)	熱熔膠槍(條)
3D印表機 (印製實驗裝置)	電腦 (數據分析與實驗操作)	手機 (拍攝照片)

- 自製模擬太陽能裝置
- 自製單色光照測量裝置
- 自製模擬太陽能分光裝置
- 自製抽換式光能、熱能發電裝置
- 自製模擬環境升降溫裝置



肆、研究結果與討論

第一部份：太陽能組成分析

一、太陽能分光實驗

問題：太陽能經過光柵分光後，光譜的分布情形及各色光強度？

步驟：

1. 利用照度計測量太陽能強度。
2. 以圓形與線型菲涅爾透鏡聚光，以聚光點作為光譜數線之原點。
3. 以不同光柵進行分光，測量光譜寬度。
4. 以照度計測量光譜上不同位置的光譜強度。
5. 計算中央亮紋、第一亮紋(紅光、綠光、藍光)之平均光譜強度與相對光強度，繪製成直條圖觀察分布情形。

結果：



討論：

1. 本實驗結果只看到中央及第一階亮紋，推測使用的光柵是否為厚光柵或其他階亮紋因太暗而無法觀測。
2. 以焦距為4公分菲涅爾透鏡及1000 lines/mm光柵為最適合現有儀器實驗器材組合，分光後的中央亮紋相對光強度為0.67，推測每次分光將分出近1/3的光強度，可嘗試在中央亮紋繼續分光。
3. 紅、綠、藍光的相對光強度差異不顯著，綠光的光強度比其他兩者略高，實驗結果與太陽光譜相符。
4. 太陽光譜中紅外線為主要使溫度上升的因素。

第三部份：文獻回顧

一、菲涅爾(Fresnel)透鏡

有輕薄易移動、透光損失低、大孔徑、短焦距等優點，對平行入射光的折射可分為點聚焦和線聚焦兩種。

二、繞射(diffraction)與繞射光柵(diffraction grating)

繞射光柵可對入射光進行分光，且間距d越小，分光效果越好；厚(或體積)光柵的繞射圖案為零階與一階繞射。

三、光伏打效應(photovoltaic effect)與太陽能電池(solar cell)

光伏打效應為材料內部不均勻(如PN界面)在電場作用下，形成正負兩極，以導線連接可產生電流；溫度每上升1°C，太陽能板電壓變小，輸出功率下降0.35%。

四、熱電效應(thermoelectric effect)與溫差發電片

二種不同金屬連接構成迴路，如果結點處溫度不同會產生電流，藉由組合成「熱電偶」可發電，將其串聯，可把熱電效應放大百倍。

五、壓電效應 (piezoelectricity)

逆壓電效應可將電能轉化為機械能，加上腔體可做成壓電馬達。

六、歷屆科展研究

對象	降溫方式	研究主題
太陽能板	空氣為熱不良導體 溫差發電	觸「水」浮「能」-探討漂浮太陽能板之效能提升
太陽能板	空氣為熱不良導體 溫差發電	神奇的太陽光熱分離之旅
太陽能板	吸熱塗料 製冷晶片、水冷裝置	太陽能光熱分離複合發電的探討
太陽能板	水冷裝置	「增」光「擠」熱拚綠能—探討太陽能板發電效能提升及應用
電腦CPU	製冷晶片、水冷裝置	急酷降溫：開發水冷式 CPU 散熱模組之研究
電腦CPU	溫差發電	Amazing溫度差！一日常生活之熱電效應應用
燈管	導熱片、風扇	省錢！再省錢！螺旋燈管散熱之研究



參、研究過程與方法



二、模擬太陽能色溫與演色性

問題：是否能找到最適合模擬太陽能的光源？

步驟：

1. 收集市售各種燈源資訊，尋找平均演色評價指數高且發光光譜最接近太陽光光譜的燈源產品。
2. 分析色溫資料，了解最適合模擬太陽能之色溫。
3. 依以上兩步驟結果，選擇最適合模擬太陽能的市售光源。

結果：

光源名稱	太陽光源	長0生技 全光譜燈管	HOLA 全光譜植物燈管	長0 潘全光譜 LED 植物生長燈	色溫(K) 光照環境	色溫(K) 光照環境	色溫(K) 光照環境
Ra 值	100	近 90	≤80	≤80	2800 白熾燈	5500 日光	平均日光
發光光譜					3000 鹵素燈	6420 日光	日光燈
					5000 日光	6500 日光	

討論：

選用長0生技全光譜燈管5300K產品做為本次實驗模擬太陽光源，但值得注意的是產品說明中提及本產品缺乏紫外光，是以此光源進行太陽能模擬實驗時之限制。

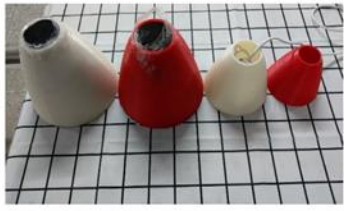


(三) 模擬太陽能實驗(燈罩)

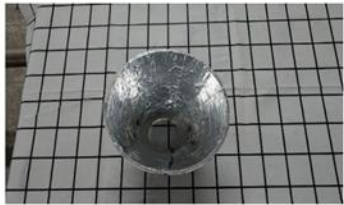
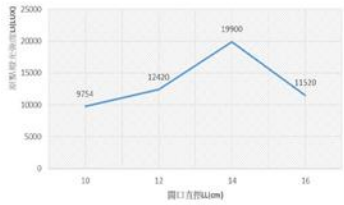
問題：同高度、不同大小拋物面的燈罩是否可以產生平行光？

步驟：

- 1.利用3D印表機列印出等高，開口直為10、12、14、16cm之燈罩，貼上鋁箔反光膠帶，以燈罩底端圓形開口投影圓心為原點，測量燈光強度。
- 2.重複多次實驗取平均數值，繪製出不同開口直徑燈罩燈光強度分布折線圖以觀察燈光強度分布情形。



結果：



討論：

- 1.燈罩開口直徑越小，光線在燈罩內反射，僅有部分光反射射出燈罩，燈光強度以直射光為主。
- 2.本次實驗以燈罩高度13cm、開口直徑14cm可產生最大燈光強度。

根據以上研究，發現太陽光經過焦距4cm菲涅爾透鏡與光柵(1000 lines/mm)分光後出現明顯的中央亮紋及第一階亮紋分布，經過燈管選擇與燈罩設計後，自行設計的模擬太陽能經分光後與太陽光十分接近，差異僅在藍光與綠光波段光強度分布及紫外光波段缺乏；因此，接下來的實驗以模擬太陽能為對照組進行實驗，以減少直接使用太陽光之不穩定實驗環境的影響。

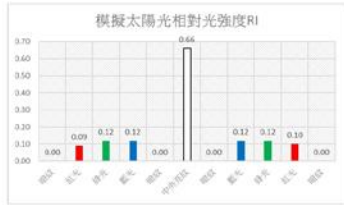
(四) 模擬太陽能分光實驗

問題：使用模擬太陽能經過光柵分光後，光譜的分布情形及各色光強度？

步驟：

- 1.利用照度計測量模擬太陽能強度。
- 2.以焦距4cm線型菲涅爾透鏡聚光，以聚光點作為光譜數線之原點。
- 3.以光柵(1000 lines/mm)進行分光，測量光譜寬度。
- 4.以照度計測量光譜上不同位置的光譜強度。
- 5.分別計算中央亮紋、第一亮紋(紅光、綠光、藍光)之平均光譜強度與相對光強度，繪製成直條圖觀察分布情形。

結果：



討論：

- 1.太陽能與模擬太陽能相對光強度分布十分相近，顯示模擬太陽能具有可信度，可進行研究使用。
- 2.模擬太陽能第一階亮紋中，紅光、綠光、藍光的相對光強度差異不顯著。

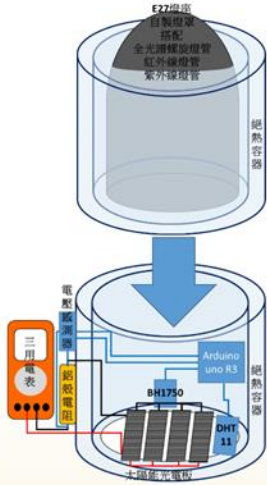
第二部份：太陽光能發電之效能研究

(一) 模擬太陽能板發電效能實驗(對照組)

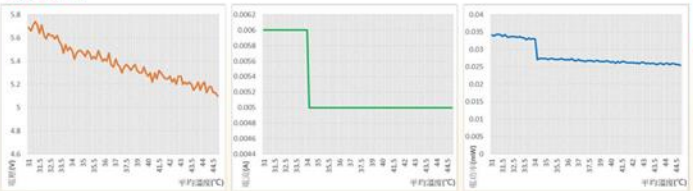
問題：模擬太陽能照射在自製太陽能光電板環境下的發電效率？

步驟：

- 1.將自製模擬太陽能光源至於絕熱容器中，做出模擬太陽能裝置。
- 2.將模擬太陽能裝置疊放於自製抽換式光能發電裝置上，接上電腦與電源，以Arduino 讀取上部溫度、下部溫度、電壓、電流數據資料。
- 3.計算平均溫度與太陽能光電板之電功率。
- 4.以平均溫度為橫軸，縱軸為電壓、電流、電功率，繪製折線圖分析討論。



結果：



討論：

- 1.研究過程中，發現使用Arduino 電壓感測器、溫濕度感測器進行電壓與溫度的測量，明顯可見數據資料詳細變化情形；但是，可惜的是本次實驗過程中，電流的數據資料極小，並未找到適合的電流感測器，因此改以傳統三用電表進行測量，而三用電表的量測範圍亦有限，故於電流折線圖呈現類似方波的圖形。
- 2.研究結果發現，當平均溫度升高時電壓、電流、電功率都有變小的趨勢，顯示溫度升高會降低太陽能光電板的發電效率。

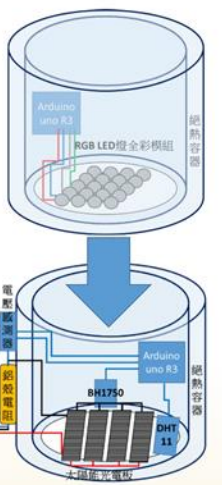
太陽能分光後的紅、綠、藍、紫外光等波段能使太陽能光電板發電，但環境溫度上升卻會造成發電效率降低。因此，若欲使用太陽能光電板作為太陽能發電材料，需要研究如何降低環境溫度。此外，當太陽通過光學聚光鏡時，聚光焦點產生色像差，使太陽能光電板上承受不均勻且分散的頻譜分布，長期的工作將影響太陽能光電板的使用壽命，本次實驗透過二次光學元件---光柵進行有規則的分光，再依不同電壓加裝升壓模組，可延長太陽能光電板的使用壽命。

(二) 不同色光與不同溫度太陽能板發電效能實驗

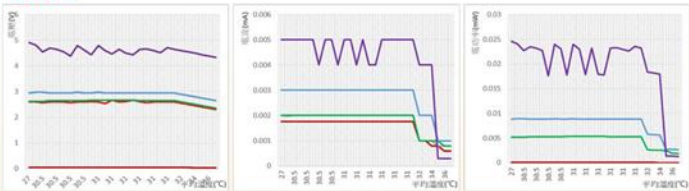
問題：不同色光照射自製太陽能光電板的發電效率？升溫後發電效率的變化？

步驟：

- 1.將模擬太陽能分光裝置疊放於自製抽換式光能發電裝置上，分別提供紫外光、紅外光、紅光、綠光、藍光，接上電腦與電源，以Arduino 讀取上部溫度、下部溫度、電壓、電流數據資料。
- 2.計算平均溫度與太陽能光電板之電功率，以平均溫度為橫軸，縱軸分別為電壓、電流、電功率，繪製折線圖進行分析與討論。
- 3.模擬環境升降溫裝置放在自製抽換式光能發電裝置下升高溫度，重複實驗。



結果：



討論：

- 1.在電壓、電流、電功率折線圖中，紫外光波段都是比較高的，其次是藍光波段，紅光與綠光兩波段幾乎重疊；而紅外光電壓極小，但電流大小與藍光、紅光與綠光波段接近，值得我們繼續深入探討。
- 2.紅、綠、藍與紫外光等波段電壓並不相同，以並聯的觀點來看，電壓較小的部分反而變成阻抗，需加裝升壓電路後再並聯，會有較佳的發電效率。
- 3.根據折線圖趨勢，發現隨著平均溫度越高，各色光的電壓、電流、電功率均呈現下降，因此，如何降低太陽能光電板溫度，為我們的重要考量問題。

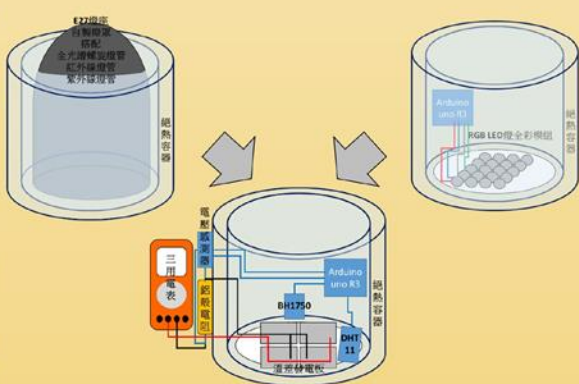
第三部份：太陽熱能發電之效能研究

(一) 模擬太陽能溫差發電板發電效能實驗(對照組)

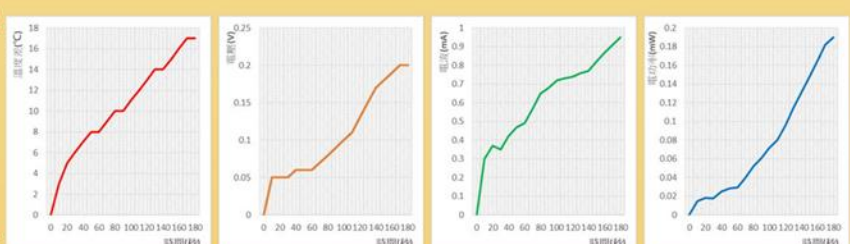
問題：模擬太陽能照射在自製太陽能溫差發電板環境下的發電效率狀況？

步驟：

- 1.將自製模擬太陽能光源至於絕熱容器中，做出模擬太陽能裝置。
- 2.將模擬太陽能裝置疊放於自製抽換式熱能發電裝置上，接上電腦與電源，以Arduino 讀取上部溫度、下部溫度、電壓、電流數據資料。
- 3.計算溫度差與太陽能溫差發電板之電功率。
- 4.以時間為橫軸，縱軸分別為溫度差、電壓、電流、電功率，繪製折線圖進行分析與討論。



結果：



討論：

- 1.直接以模擬太陽能照射發現上端溫度持續上升，但下端溫度沒有明顯上升，因此，溫度差隨時間越來越大。
- 2.溫度差、電壓、電流、電功率對時間曲線有類似的變化趨勢，推測溫度差越大，電壓、電流、電功率也會越大，但是否成正比關係，有待更進一步實驗探討。

根據以上研究，太陽能分光後的紅外光能使溫差發電板照光面溫度上升，可提升發電效率。但環境溫度上升卻會造成溫差發電板發電效率降低，因此，若欲使用溫差發電板進行太陽能發電，如何降低環境溫度為重要研究課題。

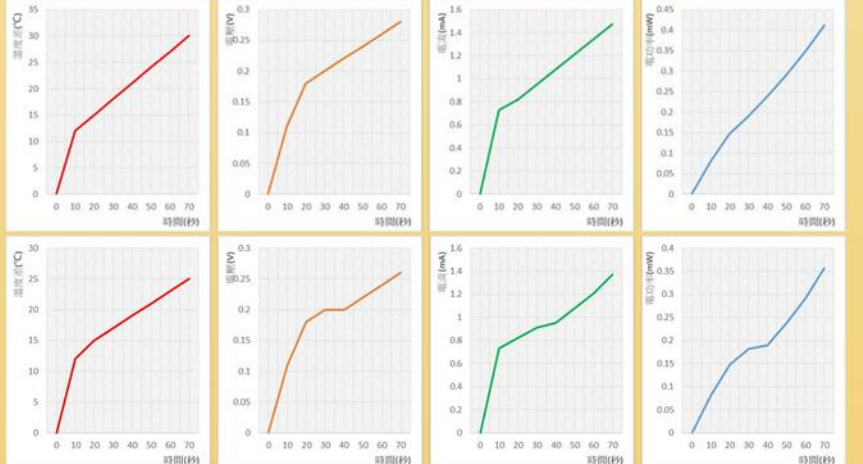
(二) 不同色光與不同溫度太陽能溫差發電板發電效能實驗

問題：不同色光照射在自製太陽能溫差發電板的發電效率與環境升溫後變化？

步驟：

- 1.將模擬太陽能分光裝置疊放於自製抽換式熱能發電裝置上，接上電腦與電源，分別以紅外光、紅光、綠光、藍光、紫外光進行實驗，並以Arduino 讀取上部溫度、下部溫度、電壓、電流數據資料。
- 2.計算溫度差與太陽能溫差發電板之電功率。
- 3.時間t為橫軸，縱軸為溫度差、電壓、電流、電功率，繪折線圖分析討論。
- 4.將模擬環境升降溫裝置置於自製抽換式熱能發電裝置下方升高溫度重複實驗。

結果：



討論：

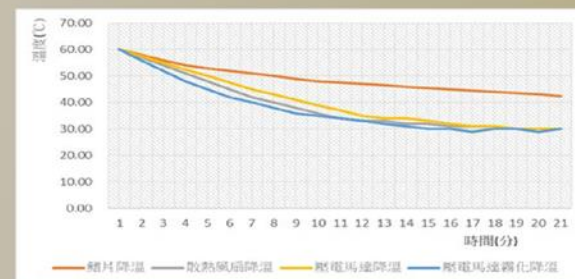
- 1.實驗過程發現只在紅外光照射下上部溫度會逐漸升高，在紅、綠、藍、紫外光上部溫度均無改變，由此可知紅外光為造成溫度上升的主因。因此，在進行環境升溫探討時選用紅外光進行實驗；此外，實驗受到DHT-11溫濕度感測器測溫範圍限制(60°C)，未來可進一步將更換成其他溫度感測器重複實驗，以了解溫度大於60後數據變化情形。
- 2.環境升溫後，溫差變小，不論是電壓、電流或電功率均下降，顯示環境溫度上升將導致溫差發電板發電效率降低。因此，如何降低環境溫度，使溫差發電板上下端溫差變大，成為我們重要考量的問題。

第四部份、太陽能發電裝置降溫研究

問題：哪一種降溫方式可以符合質輕、耗能低且具降溫效果佳等條件？

步驟：

- 1.製作降溫裝置。為配合本次實驗模擬裝置尺寸，降溫裝置尺寸為長、寬各8公分之正方形。
- 2.開啟模擬環境升溫裝置電源升高溫度至60°C。
- 3.分別將降溫裝置置於模擬環境升溫裝置上方，測量下部溫度。
- 4.以時間t為橫軸，縱軸為下部溫度，繪製折線圖進行分析與討論。

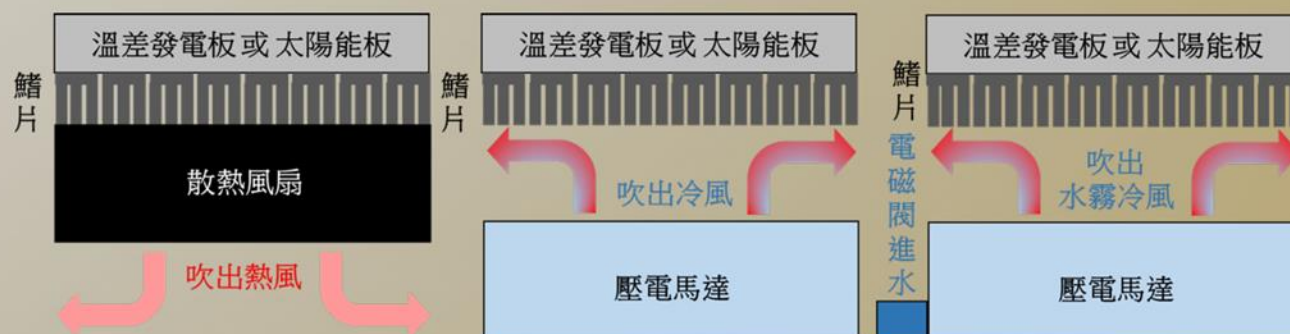


結果：

降溫方式	鰭片降溫	散熱風扇降溫	壓電馬達降溫	壓電馬達霧化降溫
材料	鋁製鰭片(1*1*0.5cm)64片	鋁製鰭片(1*1*0.5cm)64片 散熱風扇(4*4*1cm 5V)4個	鋁製鰭片(1*1*0.5cm)64片 壓電馬達(5V)2個	鋁製鰭片(1*1*0.5cm)64片 壓電馬達(5V)2個 電磁閥與水管
總重量(g)	10	800	400	500
耗電功率(W)	0	約6.4	約3	約4
製作方式	將鰭片貼在支撐架	1.將鰭片貼在支撐架 2.散熱風扇固定於鰭片下方	1.將鰭片貼在支撐架 2.壓電馬達固定於鰭片側邊	1.將鰭片貼在支撐架 2.壓電馬達固定於鰭片側邊 3.調整電磁閥位置，使水滴可滴入壓電馬達

討論：

- 1.散熱風扇降溫、壓電馬達降溫、壓電馬達霧化降溫三種降溫方式，都比單純只有鰭片降溫快，其中以壓電馬達霧化降溫方式最快由60°C降到室溫30°C。
- 2.考量質輕、耗能低且降溫效果佳等條件，以壓電馬達霧化降溫方式為目前最佳選擇。



第五部份：兼具光能發電、熱能發電、降溫功能之太陽能發電裝置設計

(一)自製太陽能模擬裝置照射下，第一版發電裝置設計與發電效能測試

問題：以自製太陽能模擬裝置照射在自製太陽能光電板(對照組)及第一版發電裝置(實驗組)之發電效率比較？及環境升溫後發電效率的變化？

步驟：

- 1.將模擬太陽能裝置疊放於自製抽換式光能發電裝置上並將模擬環境升溫裝置至於最下層，接上電腦與電源，以arduino程式讀取上部溫度、下部溫度、電壓、電流等數據資料。
- 2.計算平均溫度與電功率，以平均溫度為橫軸，縱軸為電功率，繪製折線圖進行分析討論
- 3.將自製抽換式光能發電裝置更換為第一版發電裝置，重複步驟1至步驟2。

結果與討論：

- 1.當平均溫度介於28°C至43°C時，太陽能光電板之電功率雖逐漸下降，但仍高於第一版發電裝置之電功率。
- 2.當平均溫度高於43°C後，太陽能光電板之電功率仍持續下降，第一版發電裝置雖逐漸下降，但兩者相較之下第一版發電裝置之電功率大於太陽能光電板之電功率。

(二)太陽光照射下，第一版發電裝置設計與發電效能測試

問題：以太陽光分別照射在自製太陽能光電板(對照組)及第一版發電裝置(實驗組)之發電效率比較？以及環境升溫後發電效率的變化？

步驟：

- 1.將自製抽換式光能發電裝置置於太陽光下實測(8時至下午16時)，接上電腦與電源，以arduino程式讀取上部溫度、下部溫度、電壓、電流數據資料。
- 2.計算平均溫度與電功率，以平均溫度為橫軸，縱軸為電功率，繪製折線圖進行分析討論
- 3.將自製抽換式光能發電裝置更換為第一版發電裝置，重複步驟1至步驟2。

結果與討論：

- 1.上午(8時至11時)與下午(13時至16時)，第一版發電裝置之電功率低於太陽能光電板之電功率。
- 2.中午(11時至13時)，第一版發電裝置之電功率高於太陽能光電板之電功率。
- 3.隨時間變化太陽光角度也隨著變化，影響第一版發電裝置電功率，因此，第一版發電裝置的擺設角度必須隨時間改變而有相應的變化為佳。

(三)太陽光照射下，第二版發電裝置設計與發電效能測試

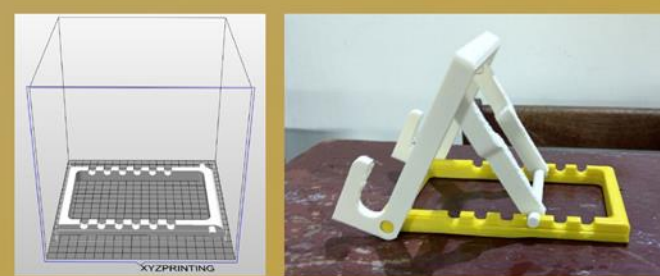
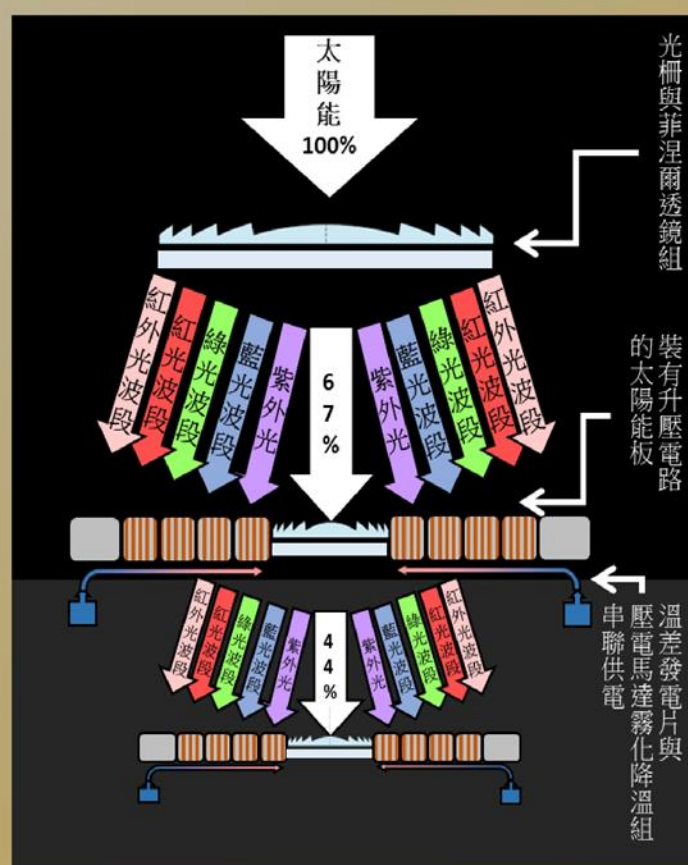
問題：以太陽光分別照射在自製太陽能光電板(對照組)及第二版發電裝置(實驗組)之發電效率比較？以及環境升溫後發電效率的變化？

步驟：

- 1.將自製抽換式光能發電裝置置於太陽光下實測上午(8時至11時)與下午(13時至16時)兩時間段落，接上電腦與電源，以arduino程式讀取上部溫度、下部溫度、電壓、電流數據資料。
- 2.計算平均溫度與電功率，以平均溫度為橫軸，縱軸為電功率，繪製折線圖進行分析與討論
- 3.將自製抽換式光能發電裝置更換為第二版發電裝置，控制舵機使第二版發電裝置15度、30度、45度、60度、75度夾角重複步驟1至步驟2。

結果與討論：

- 1.上午(8時至11時)與地面夾角30度及45度，第二版發電裝置之電功率可高於太陽能光電板之電功率，其中30度角之電功率平均值較高。
- 2.下午(13時至16時)與地面夾角30度及45度，第二版發電裝置之電功率可高於太陽能光電板之電功率，其中45度角之電功率平均值較高。
- 3.由研究結果，控制舵機使第二版發電裝置與地面夾角為30度(8時至11時)、0度(11時至13時)、45度(13時至16時)。
- 4.在地面夾角的測量方面，可繼續做進一步更仔細的實驗，以獲取更精準的角度資料，使第二版發電裝置之電功率更高。



伍、結論

- 一、以焦距4公分菲涅爾透鏡及1000 lines/mm光柵將太陽光分光後可見到中央亮紋(相對光強度0.67)及第一階亮紋分布，在第一階亮紋中紅光、綠光、藍光的相對光強度差異不顯著。
- 二、本次實驗選用長0生技全光譜燈管5300K產品做為本次實驗的模擬太陽能光源，以高度13cm、開口直徑14cm的燈罩反射出近平行光，此模擬太陽光源的缺點為缺乏紫外光。
- 三、經過菲涅爾透鏡及光柵分光後，太陽能相對光強度分布與模擬太陽能相對光強度分布十分相近，顯示本次實驗所採用的模擬太陽能光源具可信度，可供進行研究使用。
- 四、經實驗發現，紅光、綠光、藍光與紫外光等波段照射到太陽能光電板後產生的電壓並不相同，以並聯的觀點來看，電壓較小的部分反而變成阻抗，因此，需加裝升壓電路後再並聯，會有較佳的發電效率，而環境溫度升高會降低太陽能光電板的發電效率。
- 五、紅外光照射為溫度上升的主要因素，因此，以紅外光波段進行溫差發電最適合，溫度差越大，發電功率也越大(未呈現正比關係)，但環境溫度升高會降低溫差發電板發電效率。
- 六、考量質輕、耗能低且具降溫效果佳等條件，以壓電馬達霧化降溫方式為目前最佳選擇。
- 七、在經過一連串的研究過程後，我們設計出兼具光能發電、熱能發電、降溫功能之智慧太陽能發電裝置，截至目前為止試運作，並持續改良中。
- 八、本次研究最大的困難點為光柵的取得，未來若能發展出自製光柵的技術或其他分光技術，相信將更可提升本次太陽能最佳發電設計之發電效率。