

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高職組 機械科

第三名

090904

以菲涅爾透鏡改善太陽能板發電功率探討

學校名稱：臺北市立南港高級工業職業學校

作者： 職三 李建翔 職三 游承浩 職三 翁慶明	指導老師： 黃進和 鄧惠源
-----------------------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：菲涅爾透鏡、太陽能板、發電功率

摘要

本文主要針對目前使用較廣泛的矽晶太陽能板為研究基材，以不同菲涅爾透鏡的排列組合方式，尋求改善太陽能發電功率的最佳條件。本研究主要分成兩部分，第一部分探討太陽能板材質、透鏡種類、聚焦距離及照射角度對太陽能板發電功率的影響，第二部份則針對菲涅爾透鏡排列組合(1.分散式菲涅爾透鏡光線聚集型 2.分散式菲涅爾透鏡光線分散型 3.陣列式菲涅爾透鏡)對單晶太陽能板發電功率的探討。實驗結果顯示，若是利用九片分散式菲涅爾透鏡分散聚光型，能有效的增大照光面積，其發電功率是未加透鏡的 55 倍左右，有效改善單晶太陽能板的發電功率，並且菲涅爾透鏡的價格非常便宜且製成也較為簡單，因此能大大增加太陽能板的經濟效益。

壹、研究動機

自古以來能源就是人類生存的一大問題，中國人在 4 世紀的時候發現了石油並在 10 世紀的時候開始使用，並且《夢溪筆談》中的沈括有談到：「此物後必大行於世，自余始為之。蓋石油至多，生於地中無窮，不若松木有時而竭」，但是石油非夢溪筆談中說的石油並不是取之不竭、用之不盡的，並且使用後會造成非常大量的汙染。^[1]

而在消耗性能源逐漸消逝與全球暖化的趨勢下，環保意識漸漸抬頭，過去消耗性石油燃料造成的汙染對地球的傷害真是罄竹難書，因此全世界都在尋找可用的綠色能源，如太陽能、潮汐能、地熱能、風力、水力等等，其中又以太陽能使用之範圍最廣，而發展也在迅速茁壯，各國都在全力研發增加太陽效率的方法，而其中以聚光型太陽能板產生之效率最高，但因為聚光型太陽能板使用的太陽能板是砷化鎵太陽能板，並且配合追日系統與菲涅爾透鏡，價格相當昂貴，目前普及率仍然不高，因此我們希望能利用聚光型菲涅爾透鏡並且改變其排列方式運用在薄膜或是單晶型太陽能板上，以低廉的價錢來改善原有的發電功率。

貳、研究目的

- 一、比較太陽能板材質、透鏡種類、聚焦距離及照射角度對發電功率的影響。
- 二、固定最佳的光照參數，再製作分散式菲涅爾透鏡與陣列型菲涅爾透鏡，比較探討其對太陽能板發電功率之影響。

參、研究設備及器材

一、實驗材料

(一)太陽能板

本研究採用的太陽能板分別選擇單晶矽太陽能板、薄膜型太陽能板。其參數如表一。

表一 本研究使用之太陽能板材料

試片編號	單晶矽太陽能板		薄膜型太陽能板	
	SM1158	SM5151	SC7035	SC9070
太陽能板面積 mm ²	115*58	60*65	70.20*35	89.7*69.7
發電參數(電壓 V 電流 mA)	1V 800mA	4V 75mA	4V 18mA	4V 50mA

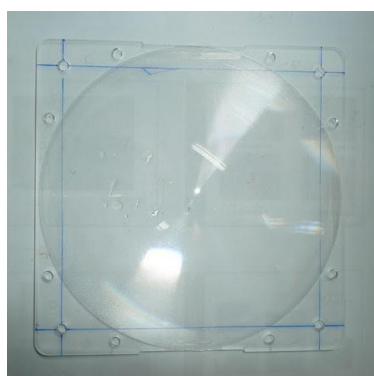
註:本研究也以砷化鎵太陽能電池做 90 度光照實驗，其數據僅做為比對用。

(二)透鏡

本研究採用一般球面凸透鏡與菲涅爾透鏡來比較，其參數如表二，透鏡照片(如圖 3-1)。

表二 本研究所使用的透鏡種類

大小編號	菲涅爾透鏡				凸透鏡
	大	中	小 1(實驗 1 用)	小(實驗 2 用)	
尺寸, mm	181x262	φ 118 圓	160x60	60*65	φ 90 圓
材質	PVC(可撓)	壓克力	PVC(可撓)	PVC(可撓)	玻璃
焦距, mm	330	160	260	640	240



不可撓中型菲涅爾透鏡



可撓式菲涅爾透鏡



一般凸透鏡

圖 3-1 菲涅爾透鏡與一般凸透鏡

二、實驗設備與器材

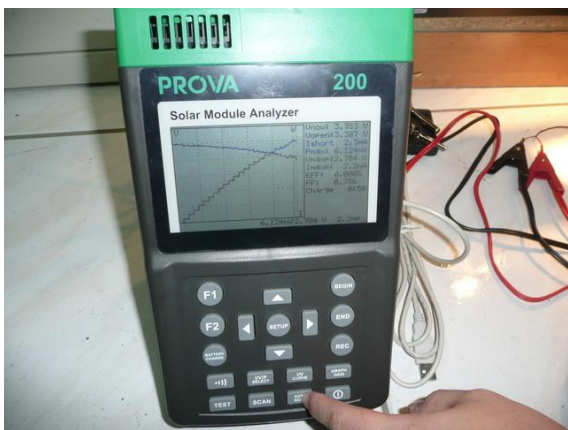
(一)設備

太陽能分析儀為泰仕電子的 PROVA 200(如圖 3-2)，使用方式為將太陽能分析儀的凱式夾夾在太陽能板兩極，按下測試鍵，可讀取 I-V 特性曲線，最大功率(Pmax)時的最大電壓(Vmax)及最大電流(Imax)。

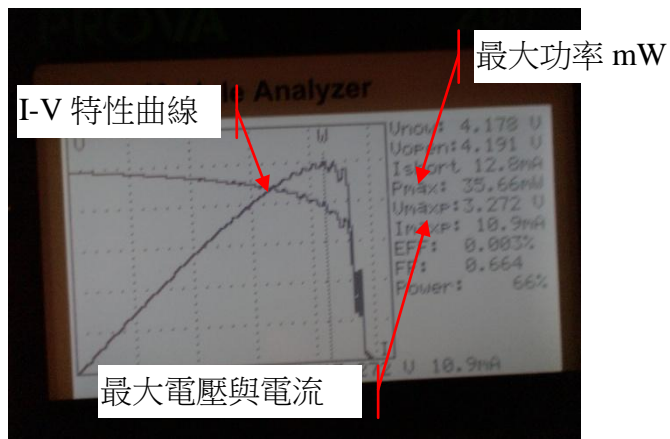
(二)器材

本研究實驗器材如圖 3-3。所用器材如下：

1. 鹵素燈 (12V 50W)
2. 輔助夾具
3. 實驗用黑色背板(自製)
4. 10cm 代木*5 (墊高用)
5. 壓克力切割刀
6. 角度儀
7. 架燈台



分析儀外觀圖



分析資料

圖 3-2 太陽能分析儀 PROVA-200



圖 3-3 實驗器材圖

肆、研究過程及方法

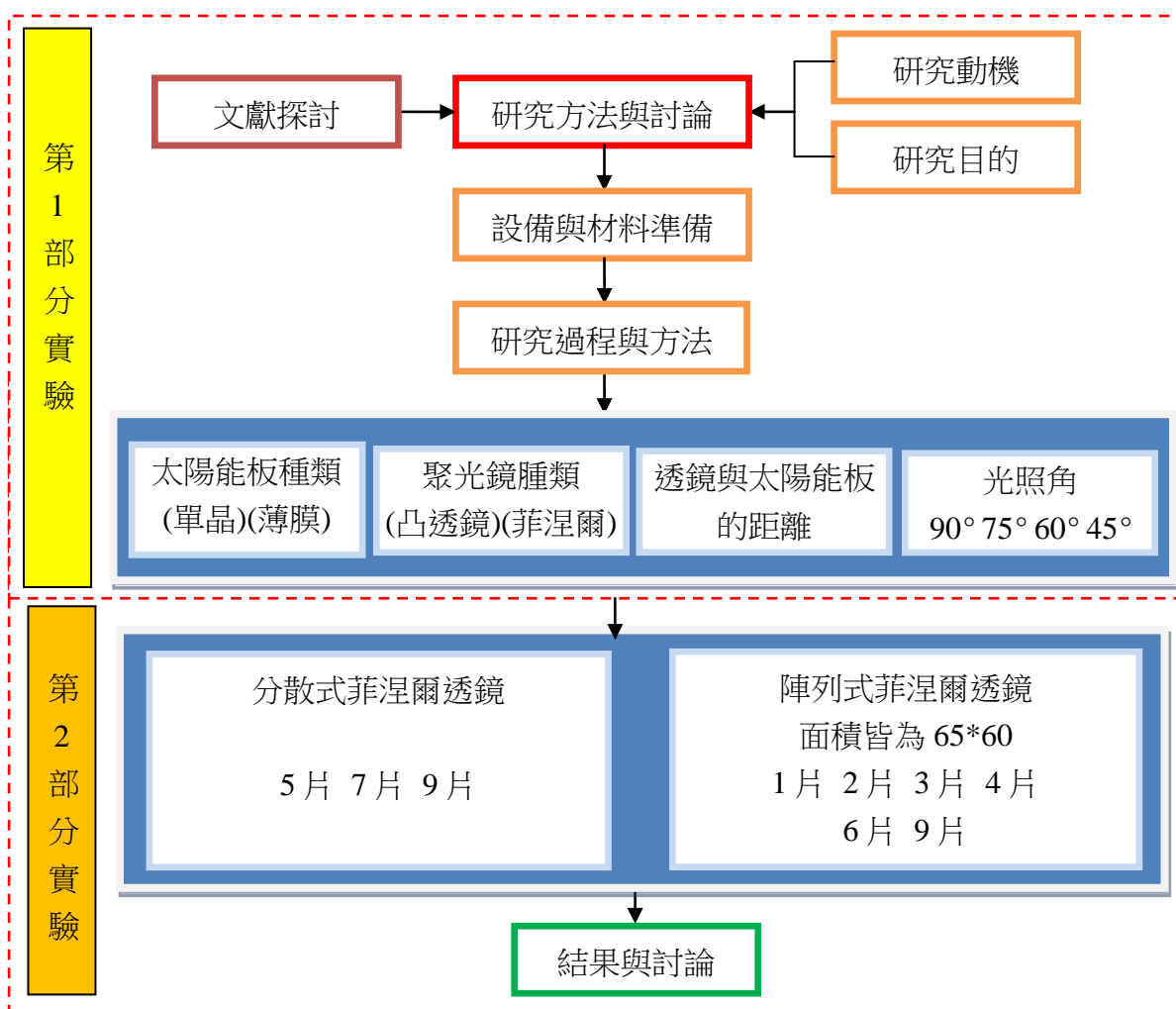


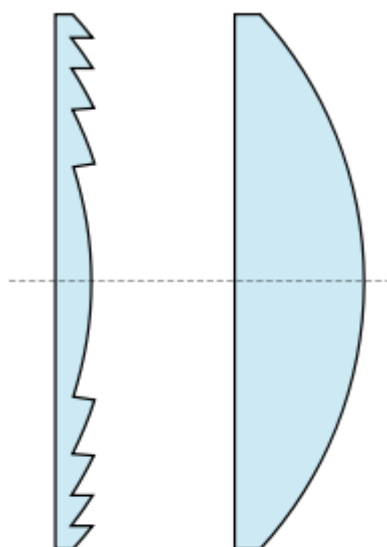
圖 4-1 研究架構圖

一、文獻探討

(一)菲涅爾透鏡(Fresnel)

菲涅爾透鏡(Fresnel)是一種具有特殊結構的光學元件，與傳統透鏡有相同的效能，卻比傳統透鏡重量輕、厚度薄、體積小、價格便宜、可製作非球面鏡片、具可撓性等特點，因此常被應用在不同的光學系統中，特別是大型聚光系統如燈塔照明上。菲涅爾透鏡材料原為玻璃，但因科技的進步關係，目前大多利用光學級塑膠在菲涅爾透鏡上，讓菲涅爾透鏡的成本更低廉，並且可以大量生產。菲涅爾透鏡具有平凸或平凹透鏡具有收斂或發散的特性，效果非常良好常運用在燈塔、車燈、光照用品上、可以當放大鏡，而它的表面把傳統透鏡球面曲面分割成許多同心圓再將每個同心圓放在同一格平板上，(如圖 4-2)。[2]

菲涅爾透鏡在太陽能板上的應用方面，常用於鉀化鎵太陽能板並配合追日系統，(如圖 4-3)核能研究所在路竹建置的亞洲最大高聚光砷化鎵太陽能發電(HCPV)展示場[3]。雖然高聚光砷化鎵太陽能板發電效率較高但是其建置成本較昂貴，換算的單位發電成本也較高，因此目前普及率仍然較低，所以本研究仍以日常使用較多的矽晶太陽能板與薄膜型太陽能板為實驗基材，探討菲涅爾透鏡是否也可以增加單晶與薄膜太陽能板的發電功率。



菲涅爾透鏡 一般球面透鏡

資料來源[2]:維基百科

<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%8F%B2%E6%B6%85%E5%B0%94%E9%80%8F%E9%95%9C>

圖 4-2 一般透鏡與菲涅爾透鏡



資料來源[3]:核能研究所 HCPV 中心網頁

<http://ksp.iner.gov.tw/HCPVWebSite/Active.aspx>

圖 4-3 國內高聚光太陽光發電場(HCPV)

(二)太陽能板發電原理

太陽能板基本構造是運用 P 型與 N 型半導體接合而成的。半導體材料是「矽 Si」「碳 C」「鍺 Ge」(4 價元素),在未加入雜質它是不導電,但如果在材料中摻入不同的雜質(N 型常用為 P 磷或 As 砷,5 價元素;P 型常用為 B 硼,3 價元素),就可以做成 P 型與 N 型半導體,再利用 P 型半導體的電洞比自由電子多,與 N 型半導體自由電子比電洞多的電位差來產生電流,所以當太陽光照射時,光能將矽原子中的電子激發出來,而產生電子和電洞的對流,這些電子和電洞均會受到內建電位的影響,分別被 N 型及 P 型半導體吸引,而聚集在兩端,此時外部如果用電極連接起來,形成一個迴路。(如圖 4-4)[4]

(三)常用的太陽能板

1.單晶矽型太陽能板

主原料為二氧化矽(SiO_2),經純化後,再經拉晶爐成長成晶柱,將晶柱修角成近似四方柱形,用切片機將修成近似四方柱形的晶柱,切成許多薄片,切片厚度約 0.4~0.5mm 的厚度,接著化學刻蝕(乾式蝕刻或濕式蝕刻)及拋光成為 0.3mm 的薄片,把矽片的表面製成絨面單晶

圖 4-4 太陽能板發電原理

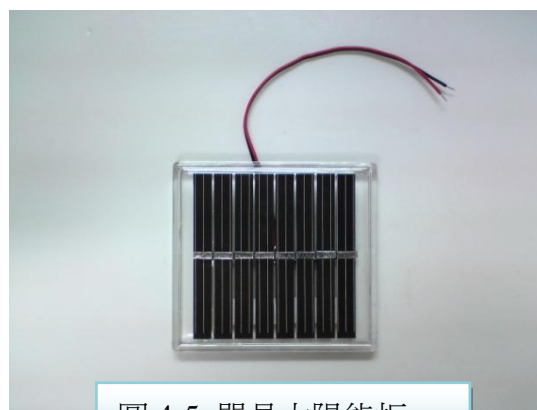
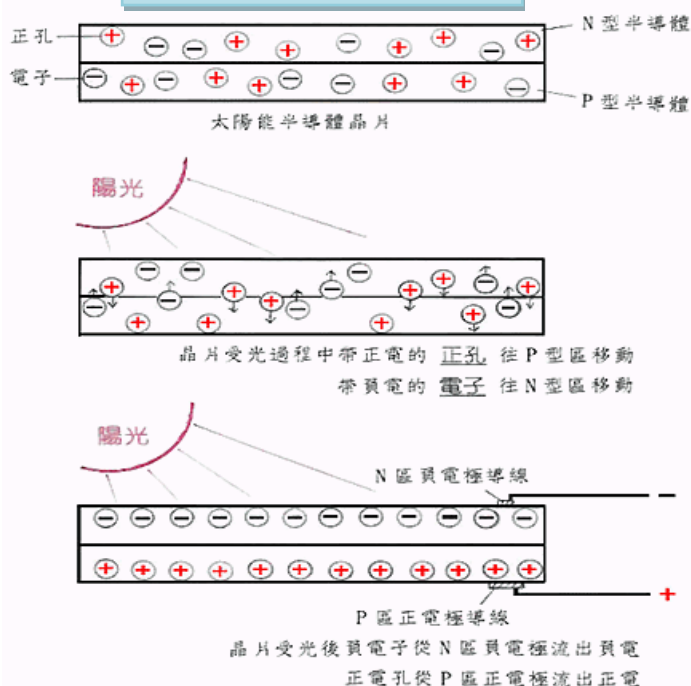


圖 4-5 單晶太陽能板

資料來源[4]: 認識太陽能電池-發電原理
<http://blog.udn.com/chena6505/1843855>

，單晶矽通常用鹼性物質(太陽光照射到絨面上時可能會經歷兩次或多次反射，這樣可以增加矽片對太陽光的吸收) 經由擴散爐處理後，製成 N 型上層及 P 型下層，再將晶片表面及背面分別用銀漿印刷成輸出電路，一般表面為負極，背面為正極，(如圖 4-5)。

2.多晶矽型太陽能板

這是目前使用最多的太陽能板，其製作方法與單晶類似，原料為二氧化矽(SiO_2)，經純化、成長晶柱、修邊、切片、化學蝕刻加上拋光、製絨(多使用酸性物質)、擴散、銀漿印刷。

3.薄膜型太陽能板

主要原料有非晶矽(a-Si)、銻化銻(CdTe)、二硒化銅銻(CuInSe_2)其中以二硒化銅銻(CuInSe_2)為最佳，原因為能隙值涵蓋大部分太陽光譜，可吸收太陽光光譜較多以及熱穩定性佳、抗輻射佳，但其效率較單晶矽太陽能板差，但價格比單晶矽太陽能板低，(如圖 4-6)。

4.砷化鎵型太陽能板

在 III V 族的太陽能板中以砷化鎵(GaAs)及磷化銦(InP)最多，但砷化鎵的能隙較寬(1.42eV)能吸收的太陽光光譜比其他材料佳，一般厚度 3~5 μm 而轉換效率高達 25.1%，雖然砷化鎵太陽能板的特性極佳，但是數量非常稀少不易取得，所以價錢相當昂貴，一般會配合聚光系統及追日系統，將其效能發揮到最大，(如圖 4-7)，我們去買的砷化鎵太陽能板有點像 LED 燈泡，不過外層透明圓弧像 LED 燈泡的是類似透鏡的東西，真正砷化鎵

太陽能電池是在裡面小小一片，非常的小(如圖 4-8 及圖 4-9)，不過如果跟其他太陽能電池比較，砷化鎵太陽能電池可以在相同的面積下產生較大高發電率，以寸土寸金的城市而言，砷化鎵太陽能板的效率與面積較佳的選擇。

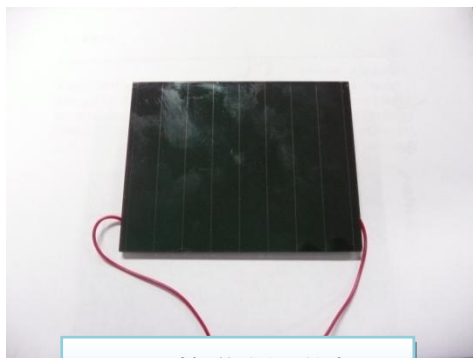


圖 4-6 薄膜太陽能板

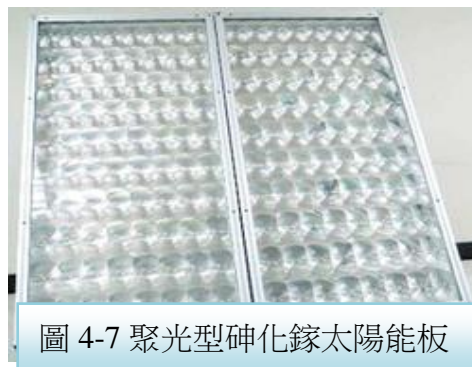


圖 4-7 聚光型砷化鎵太陽能板

資料來源[5]:慶聲科技

http://www.kson.com.tw/chinese/study_23-6.htm

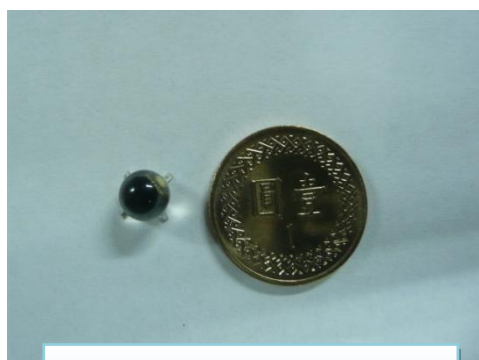


圖 4-8 砷化鎵太陽能板-1



圖 4-9 砷化鎵太陽能板-2

(四)太陽能板發電之效率比較

太陽能發電效率就是『輸出之功率÷輸入之功率』也=『太陽能板輸出功率÷平均照度*太陽能板面積』，一般以能量轉換率來比較：一般薄膜型太陽能的效率在7%~12%、矽晶圓型太陽能板效率在12%~20%、傳統核能電廠效率在30%、火力發電效率為36.8%、聚光型太陽能效率為31%~40.7%、新式核能電廠效率在42~57%。影響太陽能板發電效率的因素也包括了材料吸收光線的光譜範圍、背板溫度[5]。(如圖4-10)為不同太陽能材料光譜吸收表及背板溫度效率圖。

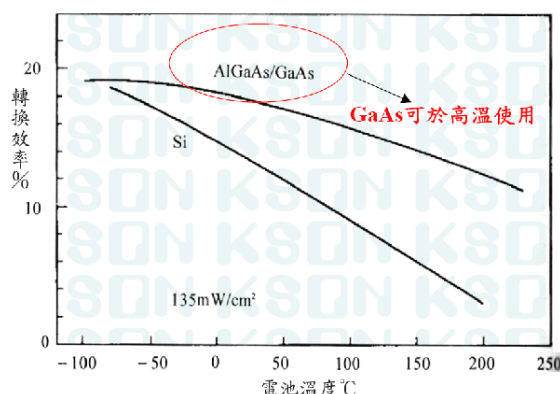
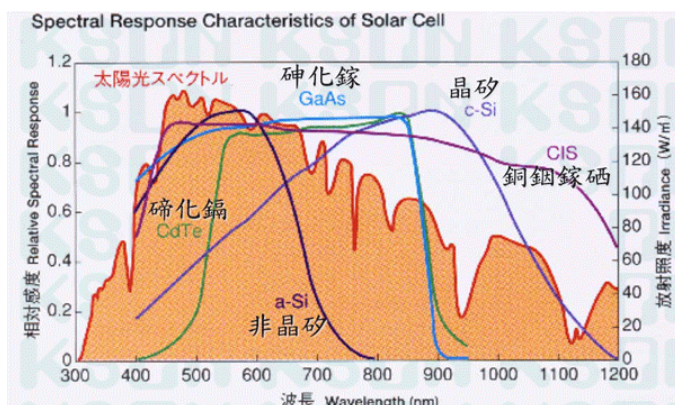


圖 4-10 太陽能板材料吸收光譜範圍圖(左)及背板溫度影響圖

資料來源[5, 慶聲科技 http://www.kson.com.tw/chinese/study_23-6.htm]

二、第 1 部分實驗設計

第 1 部分實驗設計示意圖, (如圖 4-11)。

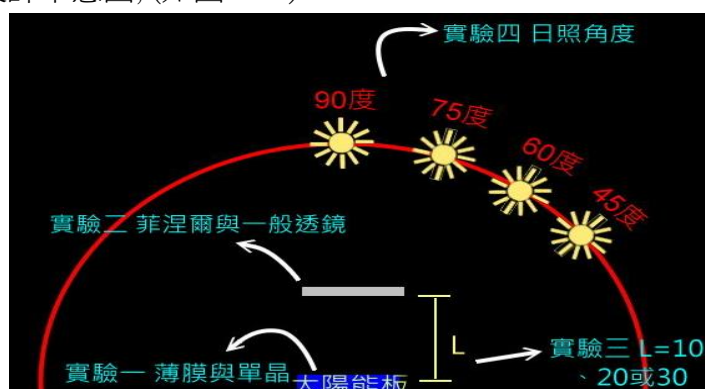


圖 4-11 本研究第一部分實驗設計

第 1 部分實驗又分成下列 4 項實驗, 照片(如圖 4-12)。

- 實驗 1、比較單晶與薄膜太陽能板與太陽能板面積的發電功率。
- 實驗 2、比較凸透鏡及菲涅爾透鏡對太陽能板發電功率的影響。
- 實驗 3、比較透鏡聚焦距離(10,20,30cm)對太陽能發電功率的影響。
- 實驗 4、比較照射角度(45,60,76,90 度)對太陽能發電功率的影響。

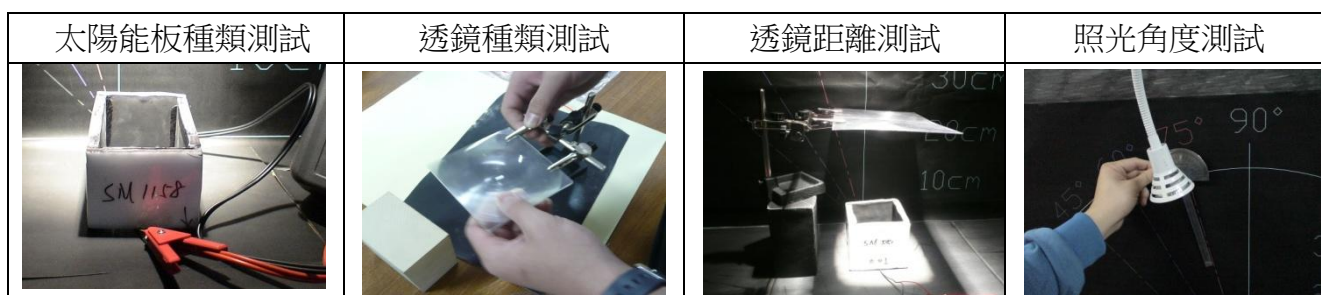


圖 4-12 第 1 部份四項實驗照片

三、第 2 部分實驗設計

第 2 部份實驗裝置示意圖(如圖 4-13)。實驗參數如表三。我們將其中太陽能板種類固定為單晶矽、透鏡與太陽能板距離固定為透鏡焦距 64cm, 光源與太陽能板距離為 1m, 光照角度為 90 度。我們改變菲涅爾透鏡的排列組合方式, 包括了陣列型與分散式兩種, (如圖 4-14)所示。菲涅爾透鏡有一種特別的性質, 就是取透鏡的一部份照光, 聚光位置仍然為原本透鏡中心, 雖然光照強度降低, 但是這種特殊性質卻可以用來排列組合成為分散式菲涅爾透鏡, 而且聚光位置變的更加彈性化。實驗過程照片(如圖 4-15)。

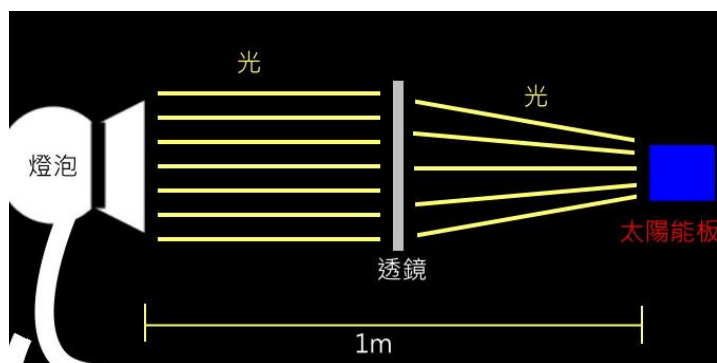


圖4-13 第二部分實驗設計示意圖

表三 第2部份實驗實驗參數規劃

	固定控制項				變項
項目	太陽能板種類	透鏡與太陽能板距離	鹵素燈與太陽能板與距離	光照角度	透鏡種類 單片面積皆為65*60
控制變項	SM5151 (單晶矽)	64cm (透鏡焦距)	1m	90°	分散式菲涅爾透鏡 陣列式菲涅爾透鏡
陣列型菲涅爾透鏡					
分散式菲涅爾透鏡					

菲涅爾透鏡排列示意圖

圖 4-14 陣列型與分散式菲涅爾透鏡排列組合方式

準備器材	裝設鹵素燈	調整透鏡高度	安置太陽能板
			
裝設太陽能分析儀	調整菲涅爾透鏡距離	量測發電功率	更換透鏡
			
放置原先位子	量測發電功率		
			

圖 4-15 第二部份實驗過程照片

伍、研究結果

一、第 1 部分實驗結果

(一) 太陽能板種類影響

太陽能板的發電功率與面積及種類有關，面積愈大發電功率越高(SM1158)，而單晶矽的太陽能板發電功率又比薄膜型的太陽能板好(單晶SM5151與薄膜SC9070比較)，結果(如圖5-1)。

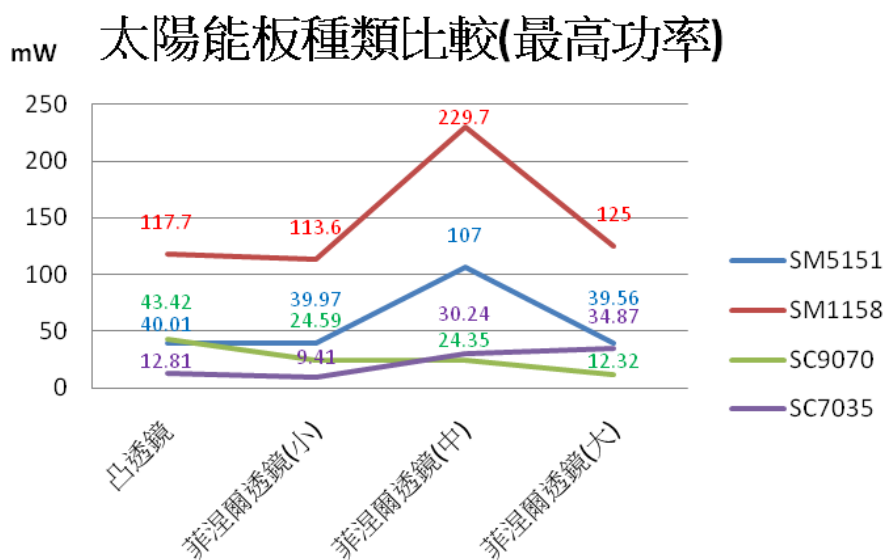


圖 5-1 太陽能板種類功率比較(照射角度 90°，透鏡距離=聚焦距離)

(二)透鏡種類影響

使用單片凸透鏡與菲涅爾透鏡實驗結果(如圖5-2、圖5-3)，比較後可發現單晶矽太陽能板使用菲涅爾透鏡發電功率(229.7mW)比傳統凸透鏡(117.7mW)高出近2倍，比未使用透鏡的功率高約3.4倍。出考慮價錢、功率與易切割性，之後實驗皆採用菲涅爾透鏡。

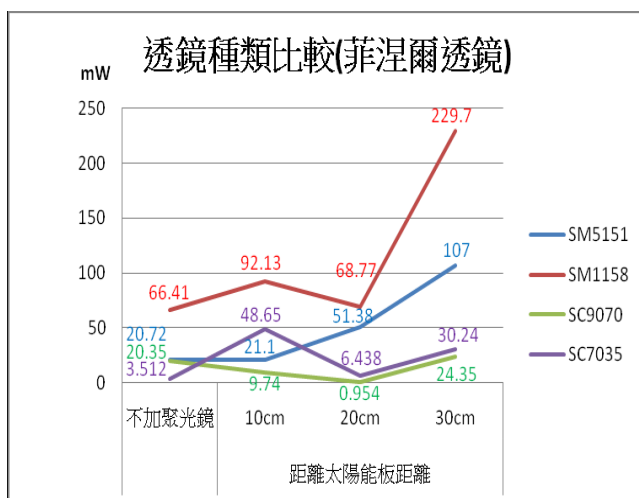


圖 5-2 透鏡種類對太陽能發電功率圖 (90 度照光)

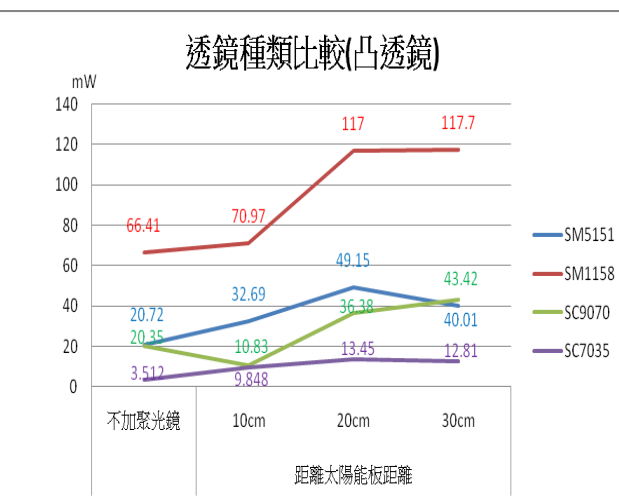


圖 5-3 一般透鏡 90° 功率圖

(三)透鏡與太陽能板的距離

由(圖 5-4)可發現透鏡距離在透鏡的焦距附近時，能產生較高發電功率。但是也需考慮透鏡面積大小與透鏡聚焦束大小，也會影響聚光照度強度與光照面積，若是採用小面積放大倍率較高的透鏡，聚光照度強度會提高，但聚光後的光束直徑較小，因此在太陽能板上的光照面積將會縮小，甚至導致背板溫度明顯升高。同時會發現透鏡的邊緣與支架陰影會遮住太陽能板光照面積，嚴重影響太陽能板的發電功率，(如圖 5-5)。因此照光面積等於太陽能板面積時能產生的功率最高。

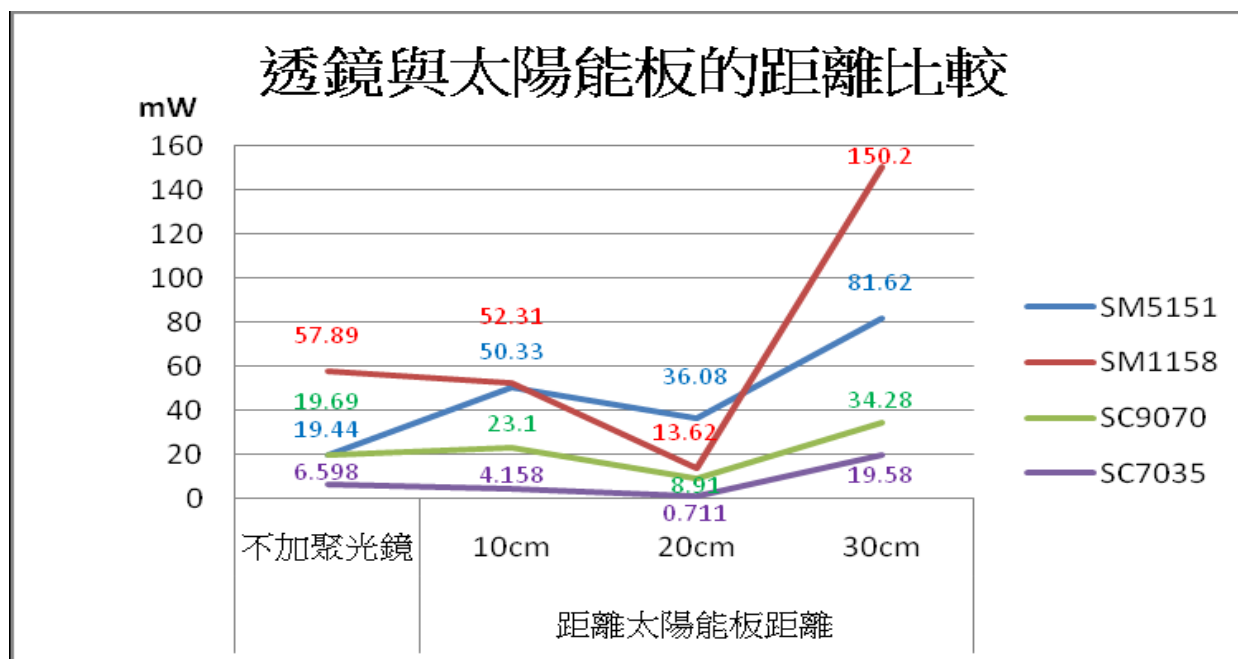


圖 5-4 透鏡距離 功率圖(大菲涅爾透鏡 照射角度 90°)



圖 5-5 透鏡距離導致陰影遮蓋太陽能板光照面積

(四)光照角度的影響

照射角度實驗中，單晶矽太陽能板 SM5151、SM1158，在 90°直射發電功率最高，約為 45°照射發電功率的 200%，而薄膜型 SC9070、SC7035，發電功率雖低，但是可在低角度光照的狀態下，繼續發電。

鹵素燈的照射角度在 90°時，發電功率最好，而照射角度越低，聚焦束大小會縮小，使發電效率比 90°時低，(如圖 5-6)。

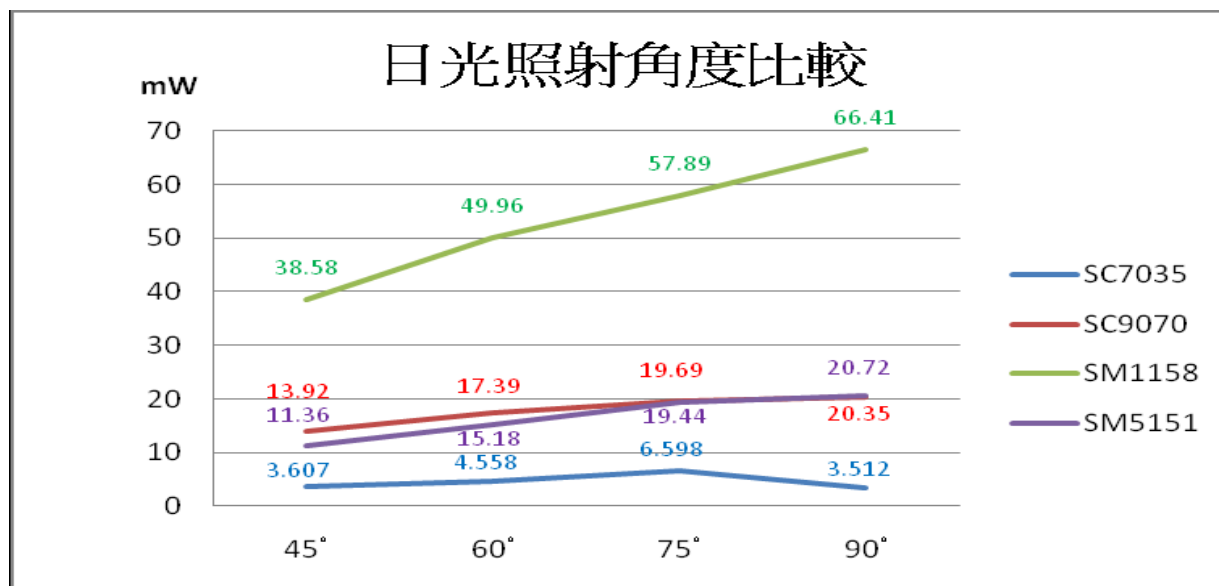


圖 5-6 日照角度對太陽能板發電比較(未加透鏡)

二、第2部分實驗結果

(一)陣列型菲涅爾透鏡對太陽能板發電功率影響

(圖5-7)是應用陣列式菲涅爾透鏡，做太陽能發電效率實驗的結果。從結果發現，陣列透鏡數愈多，發電功率愈差。其原因為陣列式菲涅爾透鏡排列後，僅聚光束有照光作用，其他部分及透鏡交界處會產生陰影，所以對於小面積太陽能板，無法提發電功率，反倒因為陰影作用導致發電功率大幅降低。(圖5-8)說明陣列式透鏡陰影導致太陽能板有效光照面積縮小的情形。然而，可以推論若是採用大面積太陽能板時，聚焦光束能平均分佈到太陽能板上時，發電功率將會提高。

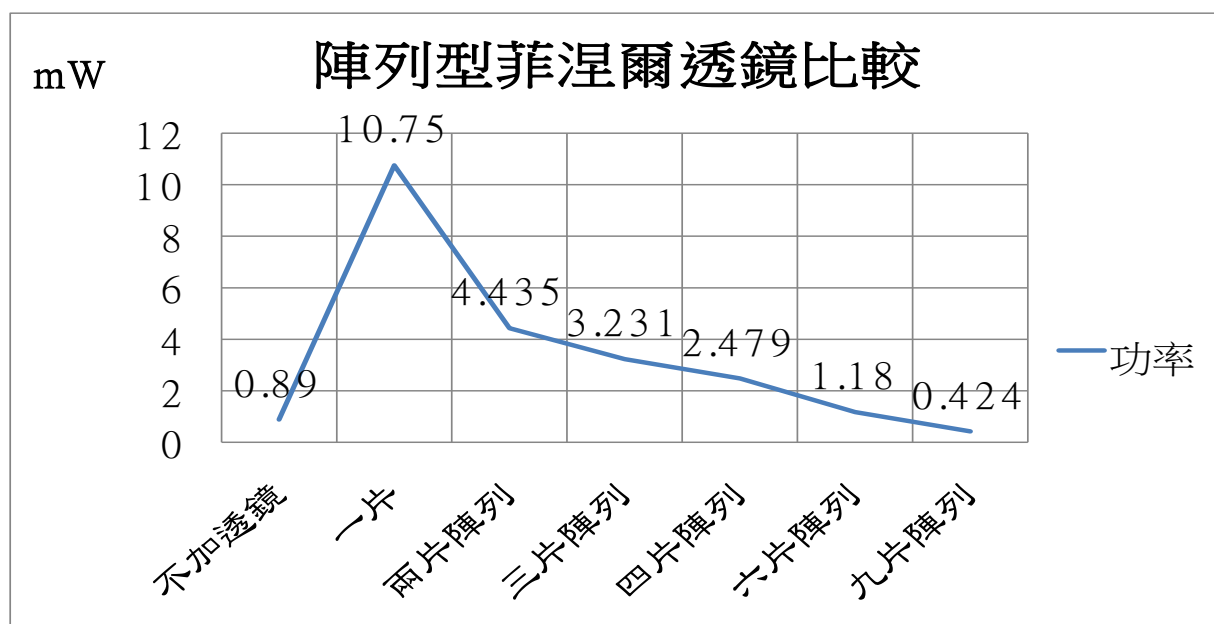


圖 5-7 陣列式菲涅爾透鏡 功率圖

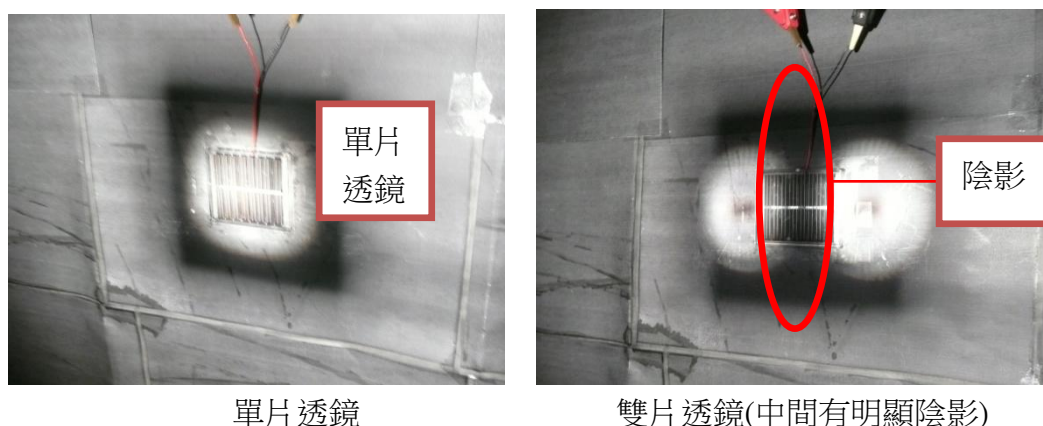


圖 5-8 陣列型菲涅爾透鏡造成陰影影響有效光照面

(二)分散式菲涅爾透鏡對太陽能板發電功率影響

1.分散式菲涅爾透鏡集中聚光點實驗

若是調整分散型菲涅爾透鏡排列，使所有聚光點聚集在中心，其效率和單片菲涅爾透鏡相當，由(圖5-9)可發現，當九片分散式菲涅爾透鏡集中聚焦光點時，太陽能發電效率略低於單片菲涅爾透鏡，此現象也說明了，當我們將菲涅爾透鏡剪開成數片小透鏡，只要再將其拼回原本透鏡面積，其聚光效果僅些微降低。

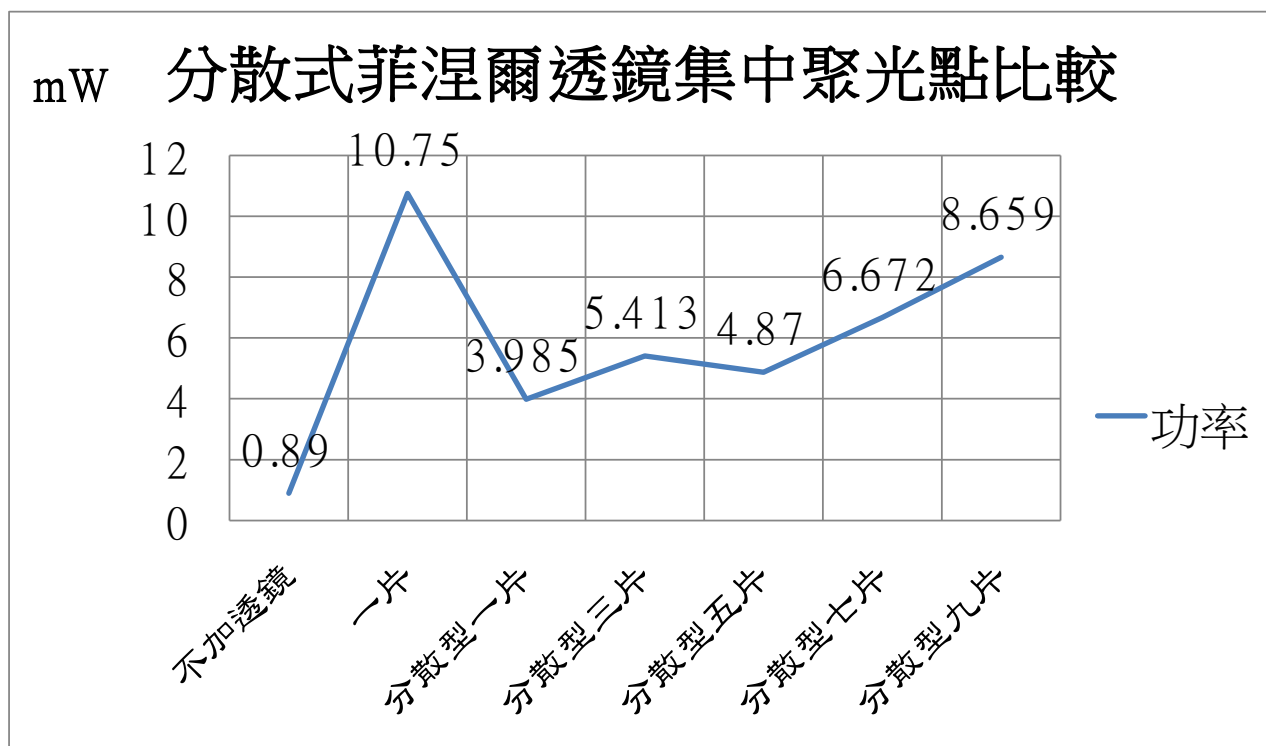


圖 5-9 分散式菲涅爾透鏡集中聚光點對太陽能發電功率影響

2.分散式菲涅爾透鏡光線分散型實驗

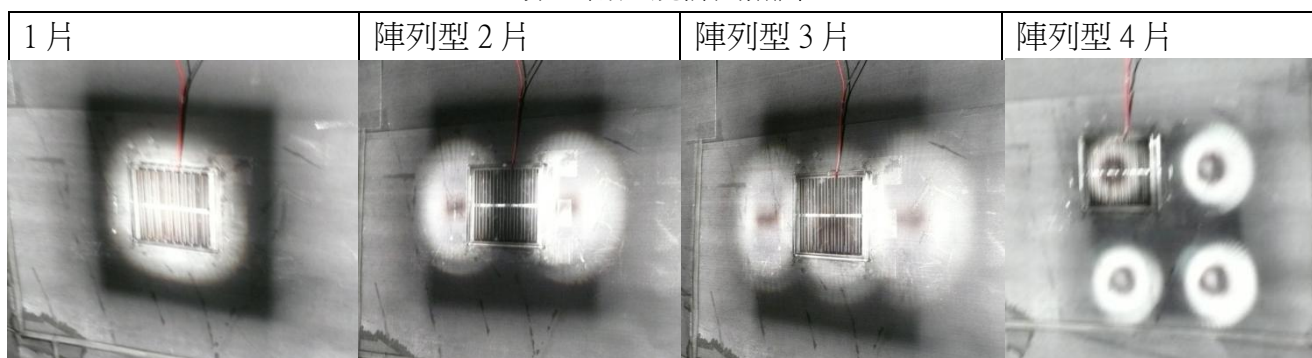
(圖5-10)為利用分散式菲涅爾透鏡可調整照光位置的特性，將聚光束平均分散在太陽能板上的實驗結果，結果顯示，9片分散式菲涅爾透鏡分散聚光太陽能發電效率約為未使用透鏡的55倍(從0.89mW變成49.03mW)，若和單片菲涅爾透鏡比較，其發電功率也可以提升4.5倍(從10.75mW到49.03mW)。其主要原因應該是，利用分散菲涅爾透鏡可調整照光位置的特性，大幅提升了太陽能板的有效照光面積。另外，分散式菲涅爾透鏡每片的光照強度也稍稍降低，此現象反而對太陽能板有利，可以避免過度集中聚焦的光束將太陽能板燒毀或背板溫度提升過高。



圖 5-10 分散式菲涅爾透鏡平均分散聚光點對太陽能發電功率影響

陸、討論

菲涅爾透鏡排列照片



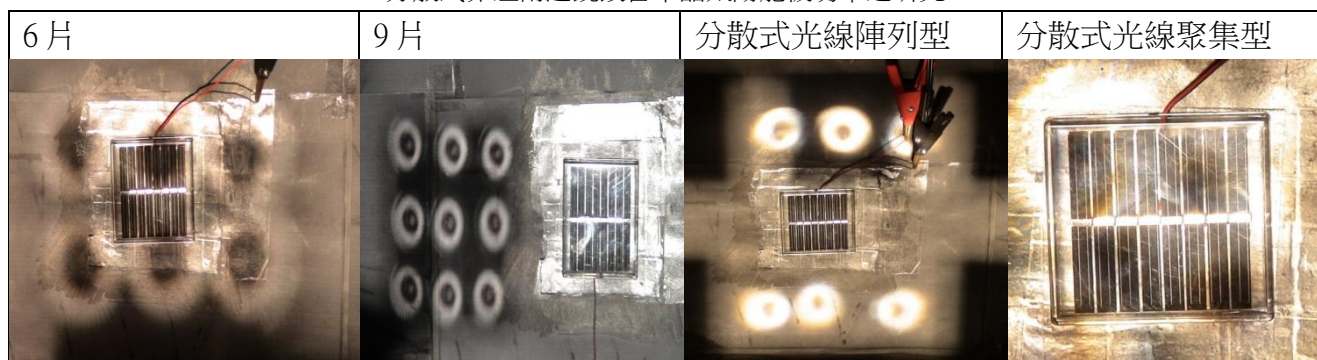


圖 6-1 陣列型、分散式菲涅爾透鏡聚光照片



圖 6-2 利用分散式菲涅爾透鏡可調整照光位置

- 一、單晶矽太陽能板發電功率雖然比薄膜型太陽能板好，但是薄膜型太陽能板在低照度下，仍然可以繼續發電。
- 二、使用菲涅爾透鏡的太陽能板，發電功率比使用一般透鏡的太陽能板高發電功率高，其原因應該跟透鏡厚度有關係。菲涅爾透鏡厚度薄，因此當光線穿過透鏡時被鏡片材料吸收的光線較少，而玻璃鏡片因為厚度較厚，玻璃材料吸收的光源也較多，因此聚光後的光線強度比一般透鏡高。
- 三、在(圖 6-1)中，陣列型的菲涅爾透鏡，聚光後透鏡接縫處會有陰影的產生，間接影響到太陽能板的發電功率，使陣列型菲涅爾透鏡的張數增加，發電功率便隨之下降。
- 四、(圖 6-2)利用菲涅爾透鏡任一部分，聚光一定在中心點的特性，使我們可以製作成分散式菲涅爾透鏡，並且可依照太陽能板的面積、形狀做聚光面積的調整，使其聚光面積更加彈性化。

柒、結論

- 一、在同光源、照射角度時，單晶矽太陽能板的發電功率，比薄膜型太陽能板高。
- 二、菲涅爾透鏡的太陽能板發電功率增加比傳統透鏡佳(最佳條件時可高出 200%)，且菲涅爾透鏡的成本與加工性皆較佳。
- 三、透鏡擺放在焦距長度時，可提升太陽能板的發電功率。
- 四、單晶矽太陽能板，在 90°直射時發電功率最高，約為 45°照射發電功率的 200%，而薄膜太陽能板，發電效率及功率雖低，但是在低照射角度的狀態下，仍能繼續發電。
- 五、當太陽能板面積較小時，多張數陣列式(9張)菲涅爾透鏡的聚焦光線，無法全部照射在太陽能板上，因此發電功率也大幅降低。如果太陽能板的面積夠大的時候，陣列式菲涅爾透鏡可以將光線多點聚焦在面板上，而使發電功率提升。因此陣列式菲涅爾透鏡的聚焦光束面積(光照面積)與太陽能板面積相同時發電功率最好。
- 六、分散式菲涅爾透鏡若聚光面積與單片菲涅爾透鏡面積一樣時，其發電功率相當。
- 七、分散式菲涅爾透鏡可隨意調整照光位置，因此適合不同形狀的太陽能板或是大面積的太陽能板，使太陽能板有效照光面積增加，其發電功率是單片菲涅爾透鏡的4.5倍，比未加透鏡的發電功率高出約55倍。另外分散式菲涅爾透鏡每片的光照強度也稍稍降低，此現象對太陽能板有利，可以避免過度集中聚焦的光束將太陽能板燒毀或背板溫度提升過高。

捌、參考資料及其他

- 一、大紀元文化網, 《夢溪筆談》：石油, <http://www.epochtimes.com/b5/3/2/24/c10789.htm>
- 二、維基百科 (太陽能電池) <http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%A4%AA%E9%98%B3%E8%83%BD%E7%94%B5%E6%B1%A0>
- 三、核能研究所 HCPV高科驗證與發展中心 網頁 <http://ksp.iner.gov.tw/HCPVWebSite/Active.aspx>
- 四、認識太陽能電池-發電原理, <http://blog.udn.com/chena6505/1843855>
- 五、慶聲科技 http://www.kson.com.tw/chinese/study_23-6.htm
- 六、彭耀階著, 太陽能產電原理, <http://www.eco-economy-hk.org/solarprinciple.htm>
- 七、黃偉智：「太陽能集光器中 Fresnel 透鏡設計之研究」(元智大學/光電研究所碩士論文，2004)，頁 20-31。

- 八、林苡任：「菲涅爾透鏡(Fresnel lens)之光學設計與精密成形」(國立高雄應用科技大學/模具工程系碩士論文，2008)，頁 9-10、21。
- 九、劉昌慶：「太陽能電池之仰角控制研究」(大葉大學/機電自動化研究所碩士班碩士論文，2005)，頁 2。
- 十、杜仁傑：「CuInSe₂ 薄膜太陽能電池元件之成長與分析」(國立中山大學/材料科學研究所碩士論文，2002)，頁 2。
- 十一、徐有欽：「CuInSe₂:Sb 複晶薄膜太陽能電池之研究」(國立中山大學/材料科學研究所碩士論文，2002)，頁 1-4。

【評語】 090904

此作品將 Fresnel Lens 切割為多段小片，再將各分片選擇性擺放於相對光源適當位置與距離處，以期得到最佳配置，讓進入矽晶太陽能電池獲得最佳化，達到最大的能源轉換效率。此創意相當好，其研究細節亦合乎科學方法與精神。在一些光照度較弱的場合可發揮實用價值。表達作品過程亦配合適當的道具，解說生動清晰。