

臺灣二〇〇六年國際科學展覽會

科 別：環境科學

作 品 名 稱：太陽能發電環境評估與追蹤器探討

學 校 / 作 者：臺北市立麗山高級中學 畢家興

作者簡介



我是畢家興，目前就讀於台北市立麗山高及中學二年級。從小就對科學有特別濃厚的興趣，而能瞭解生活中自然現象的原理是一件十分有趣的事，在專題老師的指導下開始做物理研究所以我會常常閱讀一些跟科學有關的文獻，有時候也會動手做些具有些基礎研究的實驗。而參加國際科展更是十分難得且有意義的事，希望將來能夠以研究科學作為一生的工作。

壹、摘要

本研究首先探討台灣各地的日照時數與世界重要都市的比較，發現台灣南部日照時數皆超過 2000 小時，適合發展太陽能。

接著，爲了增加陽光的能量密度而加設弗瑞奈透鏡，雖然能順利的使照度放大三百餘倍，但歲日照角度的影響甚鉅，爲了克服角度的問題，我們決定開發自製的追蹤器來改善角度的問題。太陽能板需要改變仰角跟傾角（雙軸調整），由光感應器判斷及自動控制程式，判斷隨時辰與季節變化的太陽角度。

當搭配奈米塗料、弗瑞奈透鏡與追蹤器，總輸出功率可增加約 50%。太陽電池表面玻璃會阻擋藍紫光的吸收，但本研究在太陽能板上塗佈奈米塗料，發現能增加短波長的吸收；經實驗後奈米等級表面具有自潔效應，可防止灰塵雨滴的堆積影響光線吸收，具有開發價值。

Abstract

This project first compares Taiwanese locations with other places in the world on average daylight times. It was discovered that southern Taiwan has the longest average daylight time all over 2000 hours and therefore most ripe for solar power development.

To increase the energy density of solar Fresnel lenses were incorporated. Although this has the advantage of magnifying illumination by three hundred percent, the alignment angle for the solar panel will have a significant impact on performance. We then designed and built a automated tracking device with illumination sensors to control the elevation and inclination of the solar panel which adjusts the angle according to environmental conditions such as time of day and season.

When solar cell collocate Nano coating, Fresnel lens, tracking device, its power can promote almost 150%. The glasses on the solar cell will interfere solar cell absorbing blue and purple light, but we lay on a Nano coating and we find Nano coating can improve solar cell to absorb short wave; and surface of Nano have lotus effect, it can prevent dust and rain effecting solar cell absorb lights, and it is worth developing .

貳、研究動機

表 1. 1890~1990 年全世界人口數和能源消耗量

年別	1890	1910	1930	1950	1970	1990
世界人口數(億)	14.9	17.0	20.2	25.1	36.2	53.2
全世界能源總消耗量 ($\times 10^{12}$ 瓦一年)	1.00	1.60	2.28	3.26	8.36	13.73

資料來源：Scientific American 地球能源專刊（1990年9月）第112頁

高一的物理課本中，寫到以下這段話：「由上表清楚地顯示近一個世紀內，世界人口成長和能源消耗之間的關係。『能源危機』不只是指出將能源的可能匱乏，也是標示出由於能源的大量使用，造成對人類生存環境的污染和危害。「能源危機」似乎已成為一個國際間的主要議題，引起了我們很大的共鳴，希望找出一個新的解決方式，為這世界盡一份心力。

現今能源多以石油煤礦等不可再生資源為主，反而那些具有重複使用特性的能源卻未能成為世界各國的主要能源，推究其原因乃是因為轉換效率不高。在目前所有的再生能源中，以風力發電最為普遍，但發電設施架設困難，反觀太陽能，雖然轉換效率極低，但相較於風力發電卻有著方便移動的優勢。因此，我們希望藉由加裝透鏡以及自製追蹤器的方式來提升太陽能電池的效益並評估在台灣大量發展太陽能的可能性。

叁、研究目的

- (一) 評估台灣發展太陽能之可行性
- (二) 提升太陽能電池效率之研究
 - 1、以人造光源測量照度的大小是否會因為距離的增加而減弱。
 - 2、以照度計量測是否照度會隨著與光源距離的增加而減弱。
 - 3、太陽能板發電功率是與為光源夾角的關係。
 - 4、加裝弗瑞奈透鏡以聚集光能線是能增加太陽能電池的輸出功率。
 - 5、太陽能追蹤器開發，增加太陽電池輸出功率的響。
 - 6、奈米塗料對於太陽能電池輸出功率的影響。

肆、文獻探討

1. 太陽能

太陽是一座聚合核反應器，發射功率為 $3.8 \times 10^{38} \text{W}$ ，中心溫度估計為 10^7K 。根據對太陽的光譜分析，太陽的表面是 5743K 的黑體。太陽輻射的光譜所包括的波長為 $10 \text{pm} \sim 10 \text{km}$ 。其中 99% 的能量集中 $0.276 \mu\text{m} \sim 4.96 \mu\text{m}$ 之間。地球一年接受太陽的總能量為 $1.8 \times 10^{18} \text{kWh}$ ，僅為太陽總輻射能量的二十億分之一，卻視線再人為消耗能源的一萬兩千噸。在人類使用的能源中，除直接用太陽的光能、熱能以外，風力、水力、生質能及礦物能源均源自於太陽能。

對依個具體地理位置而言，太陽對地表的輻射照量取決於地球繞太陽的自轉與公轉、大氣層的吸收與反射、氣象條件（陰、雨、晴）。

1. 地球相對太陽運動的影響

太陽繞地球的軌道為一橢圓形，離太陽最遠的距離為 $152 \times 10^6 \text{km}$ ，最近距離為 $47 \times 10^6 \text{km}$ ，孿均距離為 $149 \times 10^6 \text{km}$ 。與平均距離相比，最遠與最近的偏離度為 1.7%。由於距離的變化，六月所接收的能量為十二月所接收能量的 94%，因差別不大，可視為在大氣層外的輻射強度是不變的，垂直輻射到單位面積上的輻照通亮(未進入大氣層前)為一常數，稱之為「太陽常數」。據量測，其值為 $1.338 \text{kW/m}^2 \sim 1.418 \text{kW/m}^2$ ，在太陽電池的計算中取 $S_0 = 1.353 \text{kW/m}^2$ 。

在一年中，太陽從北向南移動 47 度在返回，平均每月移動 8 度，但東西向每天卻移動 360 度，日出到日落為 180 度，兩者都影響到達地面的能量。

2. 大氣層對太陽輻射的影響

太陽能只有穿越大氣層才能到達地球表面，太陽光在大氣中受到各種成分的吸收。經過大氣及雲層的反射，最後以直射光和漫射光到達地面，平均能量約為 1000W/m^2 。在大氣層中，臭氧對紫外線的吸收很強烈，按吸收能量算，水氣佔首位，它吸收入設總能量的 20% 左右。

3. 大氣品質數

由於太陽入射角的不同，穿過大氣層的厚度也隨之變化，故用**大氣質量數**表達。據規定，太陽光在大氣層外垂直福照時，大氣質量數為 AM_0 ，太陽入射光與地表的夾角為 90 度時，大氣品質數為 AM_1 。其他入射角的大氣質量數可用 AM_1 與地面夾角 θ 的關係表達，即 $AM = 1/\cos\theta$ 。

4. 日照的地理分布

綜上所述，對具體地點的日照取決於該地點所在的緯度和季節，在一天之內的輻照量可按下是進行計算：

陽光照射強度 $P = I(\psi) \cos\psi$

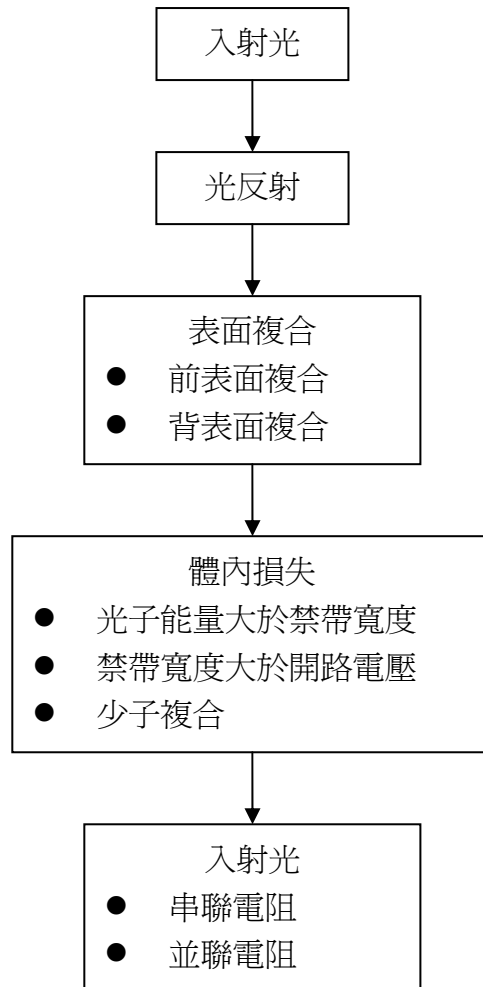
一日內的總照射量 $TSI = 2 \int^{D/2} I(\psi) \cos\psi dt$

式中： ψ 為陽光對天頂入射角； ψ'' 為陽光與接受器的入射角， D 為日初到日落的時間， t 為時間。

由於氣象等不定因素的影響，每個地區的年輻照量只能根據氣象統計資料計算，或用儀器實測得出。

2. 轉換效率及其因素的影響

太陽電池的轉換效率是首要的關鍵指標，決定著電池的成本、品質、材料消耗、輔助設施等許多因素。



太陽電池的效率定義為太陽電池的最大功率輸出與照射到太陽電池的總輻射能 P_m 之比。因此在解決了表面反射膜以後，太陽電池的效率取決於電池的材料與結構。影響電池的效率主要有以下六方面。

- 一、禁帶寬度
- 二、溫度
- 三、少數載流子的壽命
- 四、摻雜濃度及其分布
- 五、光強
- 六、串聯電阻

三、太陽能電池 solar cell

太陽電池是以半導體製作方式做成的，其發電原理是將陽光照射在太陽電池上，使太陽電池吸收陽光透過圖中 p 型半導體及 n 型半導體產生電子(負極)及電洞(正極)，同時分離電子與電洞而形成電壓降並產生直流電，再經由導線傳輸至負載。

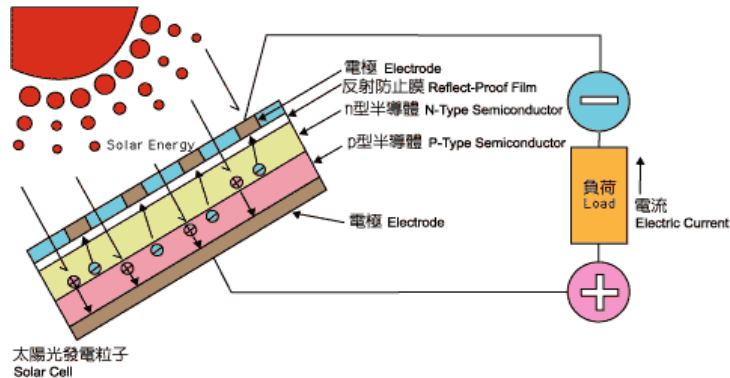


圖 1. 太陽能板構造

四、照度

照度：光線在一定的距離時，散佈在單位面積上的光通量，即為照度。

$$E = \frac{I}{D^2}$$

E = 照度 (單位: 勒克斯 Lux)

I = 點光源亮度 (單位: 燭光 cd)

D = 受光面與點光源的距離 (單位: 尺 m)

光源在某一距離上的照度與光源的亮度成正比，而與距離的平方成反比。

五、弗瑞奈透鏡原理

取一平凸透鏡，沿著平行於透鏡的平面方向切割，只保留曲面部分，即成為弗瑞奈透鏡。此透鏡常用於閱讀、投影機及燈塔照明用。

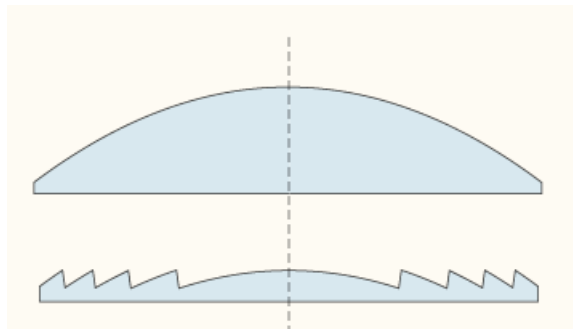


圖 2. 弗瑞奈透鏡原理

表 2. 各類太陽能電池的比較

太陽能電池種類		種類	轉換效率(%)	優點	缺點	發展方向
矽	結晶矽	單結晶矽太陽能電池	10~14	發電力與電壓範圍廣，轉換效率高，及使用年限長(一般保證可達20-25年)	製作成本較高，及製作時間冗長	1、高效率大面積之結構。 2、增加可利用光波長範圍的新結構。 3、提升安定性。
		多結晶矽太陽能電池	9~12	製程步驟較簡單，故成本較單晶矽太陽能電池低約便宜20%，可用於陸上電力等應用。	效率較單晶矽太陽能電池低	1、新材料的製造。 2、大面積、高效率、安定性提升。 3、新結構。
	非晶矽	非晶矽太陽能電池	6~9	目前成本最低的商業化太陽能電池，生產最快，產品種類多，使用廣，多用於消費性電子產品，且新的應用產品不斷在開發中。	戶外設置後輸出功率減少15~20%的光劣化現象	1、改善光劣化。 2、低成本化。 3、採用串聯結構、薄層化。 4、透明非晶矽太陽能電池。
化合物半導體	II-VI 元素	CdS、CdTe CuInSe ₂	10~12	能有效解決大面積太陽能電池應用所需材料不足之問題。	戶外設置後輸出功率減少15~20%的光劣化現象	1、開發低成本薄膜技術
	III-V 元素	GaAs	18~30	易製作大面積薄膜，且能在較便宜的玻璃與金屬基板上製作多晶矽薄膜。	製作成本較高	1、新材料的製造。 2、新結構。 3、低成本化

六、跟蹤與聚光

陽光照射到地面的強度隨著季節即每天的時間而變化。跟蹤系統是使太陽電池板能夠朝著太陽並隨著時間做角度的移動，已獲得更多的能量。跟蹤系統可分為單軸與雙軸兩種。單軸只能跟蹤日出到日落，從東到西旋轉，雙軸還可考慮南北方向的移動。現在多用太陽感測器以自動控制跟蹤精度。跟蹤系統的優點是可獲得更多的太陽能，一般可以增加 50% 左右。缺點是有了運動的構件，既要消耗電力，還要有人監視與維護。

人類從很久以前就開始使用聚光技術。將聚光用於太陽能電池是爲了提高照射太陽電池的光強度，大幅度減少太陽電池材料的用量。它的優點是，可以使用較貴但轉換效率較高的材料與電池結構。目前多使用結晶矽與砷化鎵等太陽電池，而在一定具光條件下，可使轉換效率有所增大。爲了提高聚光效果，它常與跟蹤系統聯用。

使用廉價的聚光材料有可能降低太陽電池的發電成本。聚光使太陽電池的溫度升高，因此需採用散熱裝置以免電池燒毀。聚光只能用於聚直射光，不能用於散射射光，因此聚光多在晴天多、日照強的地方使用。

下表爲常見的聚光器。

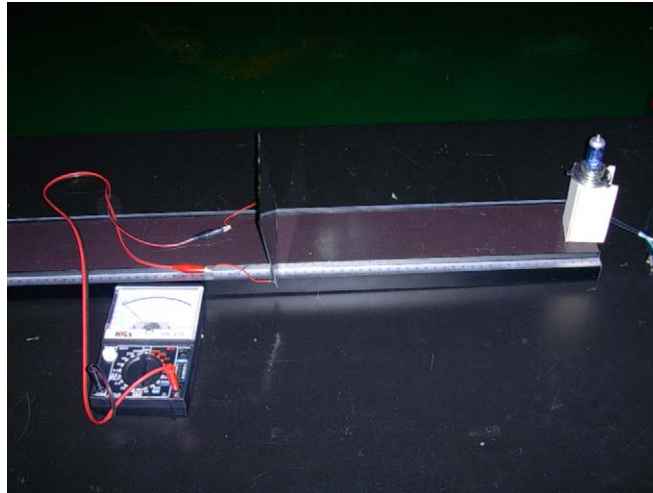
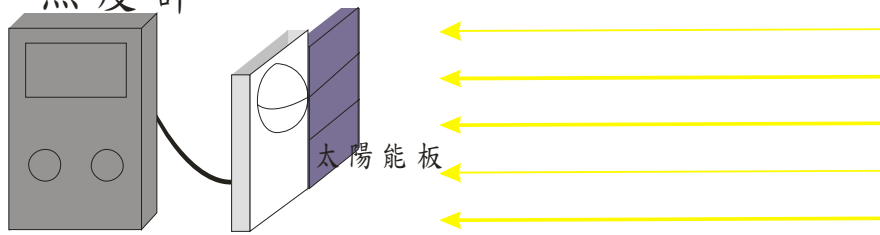
型式	名稱	聚光方式	聚光倍數	跟蹤要求	焦斑形狀
平面反射	平面槽式聚光器	反射	2~6	不用或一軸 二軸	面
	組合平面鏡聚光鏡	反射	100~1000		
單曲面反射鏡	拋物面槽式	反射	10~40	一軸	線
	線形福瑞奈反射鏡	反射	10~30	一軸	線
	組合拋物面聚光器	反射	5~10	不用	線
雙曲面反射鏡	拋物面鏡	反射	50~1000	二軸	點
	圓形福瑞奈透鏡	反射	10~1000	二軸	點
折射式	線形福瑞奈透鏡	折射	3~50	不用或一軸 二軸	線 點
	圓形福瑞奈透鏡	折射	50~1000		

伍、研究器材

- 一、太陽能電池..... 三片
- 二、LEGO 組
1. 自製追蹤器..... 一組
 2. 光感應器..... 兩條
(置於追蹤器上)
 3. LEGO 電動機..... 一組
 4. Robot Control Box..... 一組
(將編輯完成的的程式輸入至 Robot Control Box，使追蹤器能依指令轉動。)
 5. Robot..... 一套
(LEGO 之電腦編輯軟體)
- 三、電源供應器..... 一台
- 四、車燈燈泡..... 一顆
- 五、照度計..... 一台
- 六、弗瑞奈透鏡..... 一片
- 七、量角器..... 一個
- 八、奈米銀 (50g) 一些
- 九、分光儀..... 一台
- 十、三稜鏡..... 一個

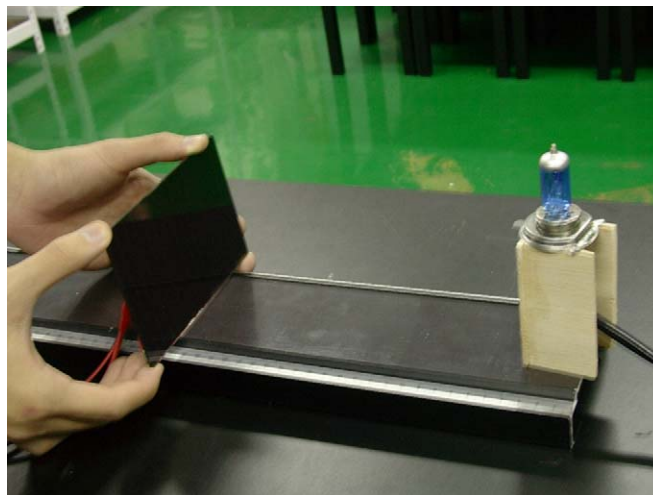
陸、實驗方法及過程

一、照度與功率 照度計



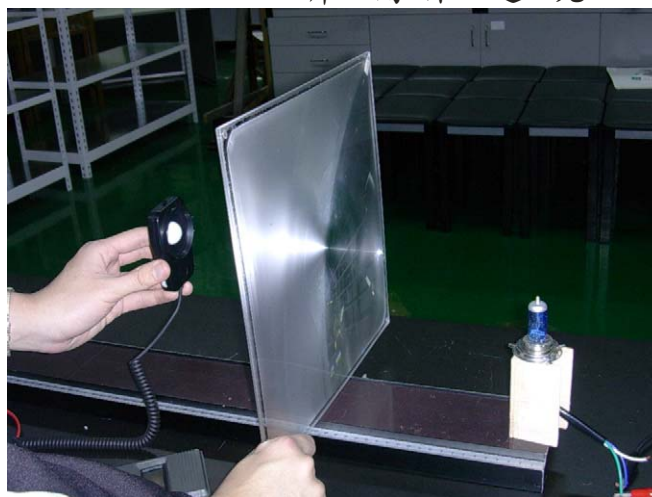
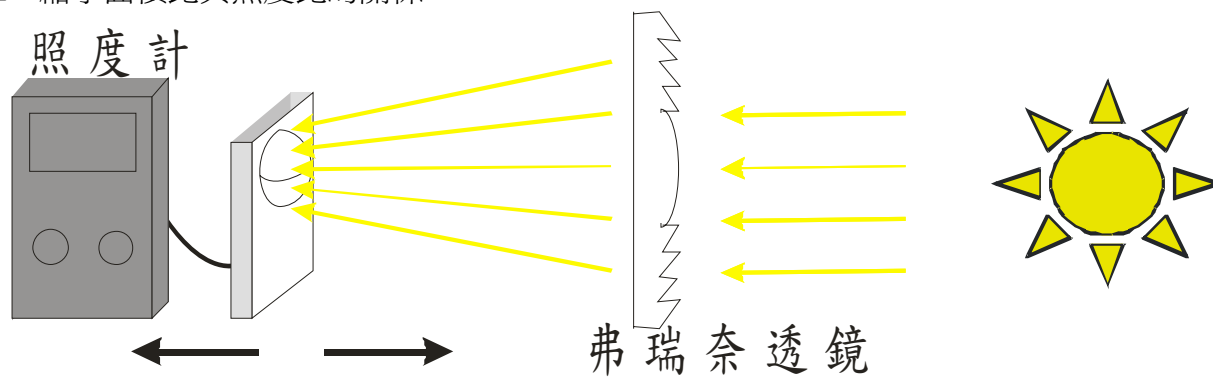
1. 固定人造光源的輸入電壓及輸出電壓以固定其輸入功率。
2. 用三用電表測量在不同距下的輸出電壓與輸出電流並求得輸出功率。

二、功率與角度



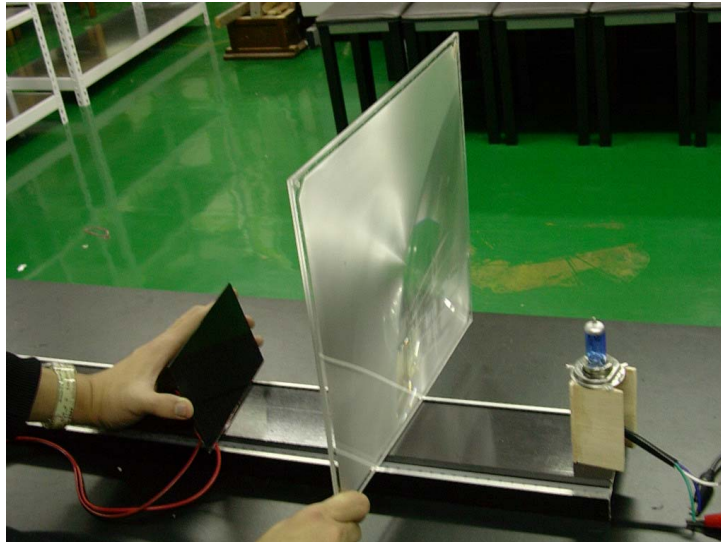
1. 固定人造光源的輸入電壓及輸出電壓以固定輸入功率。
2. 在相同距離下偏轉太陽能板，使其與人造光源產生夾角。
3. 改變夾角的大小並測量輸出電壓及電流相並求得太陽能版的輸出功率。

三、縮小面積比與照度比的關係



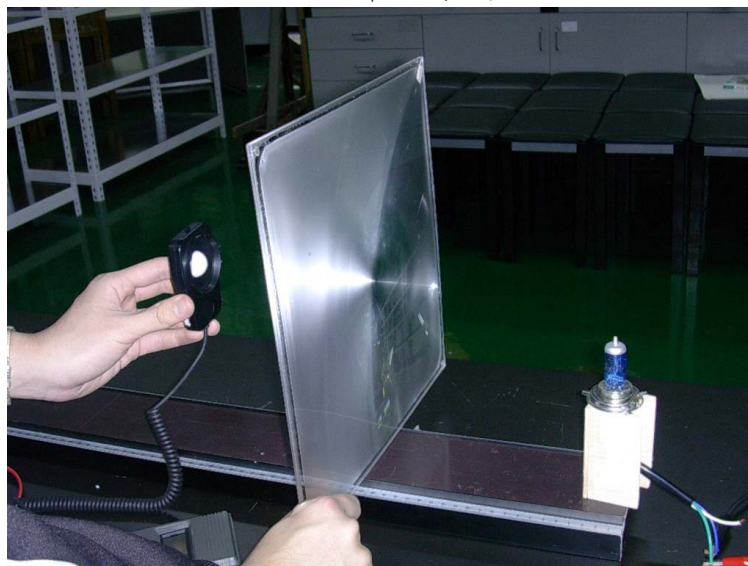
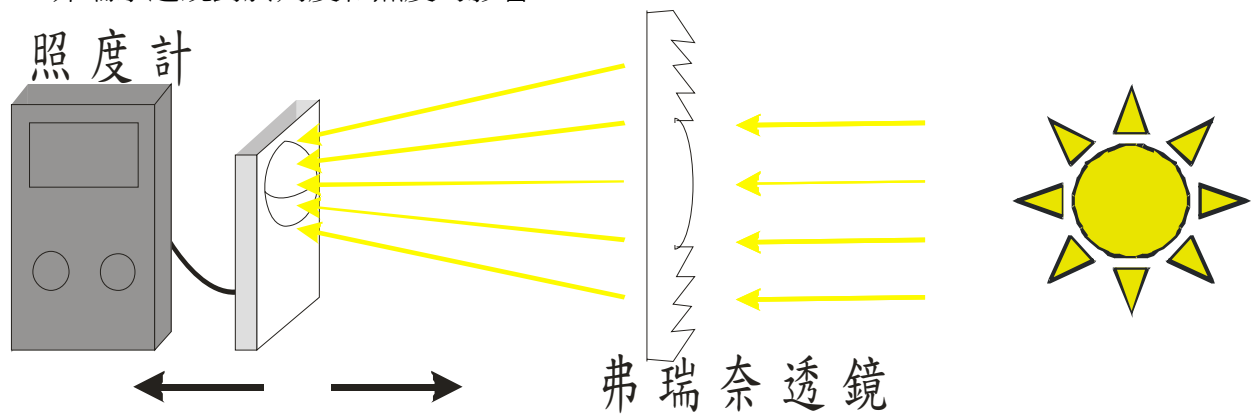
1. 計算透鏡面積以及聚光後的面積。
2. 用照度計測量在不同聚光面積下的照度及相同距離下不加透鏡的照度。
3. 比較縮小面積比與照度比的關係。

四、弗瑞奈透鏡對功率的影響



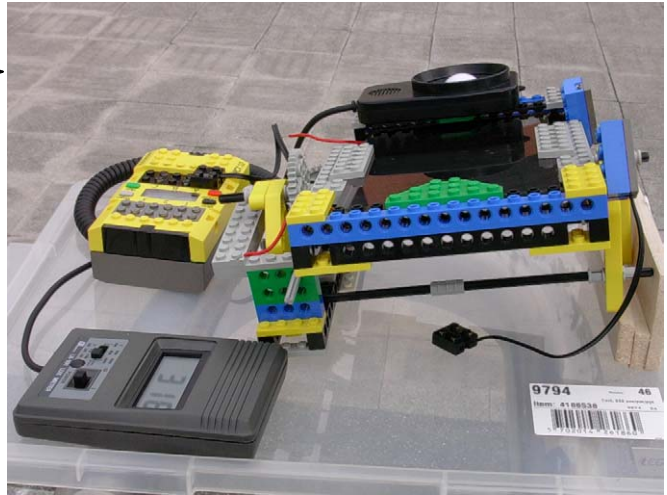
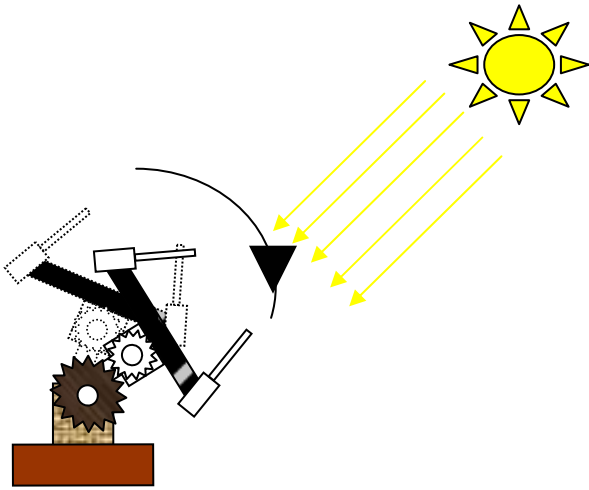
1. 利用成相法求得弗瑞奈透鏡的焦距。
2. 把福斯耐透鏡加裝在人造光源與太陽能板之間。
3. 測量太陽能板的輸出電壓及電流相並求得輸出功率並與原功率比較。

七、弗瑞奈透鏡對於角度和照度的影響

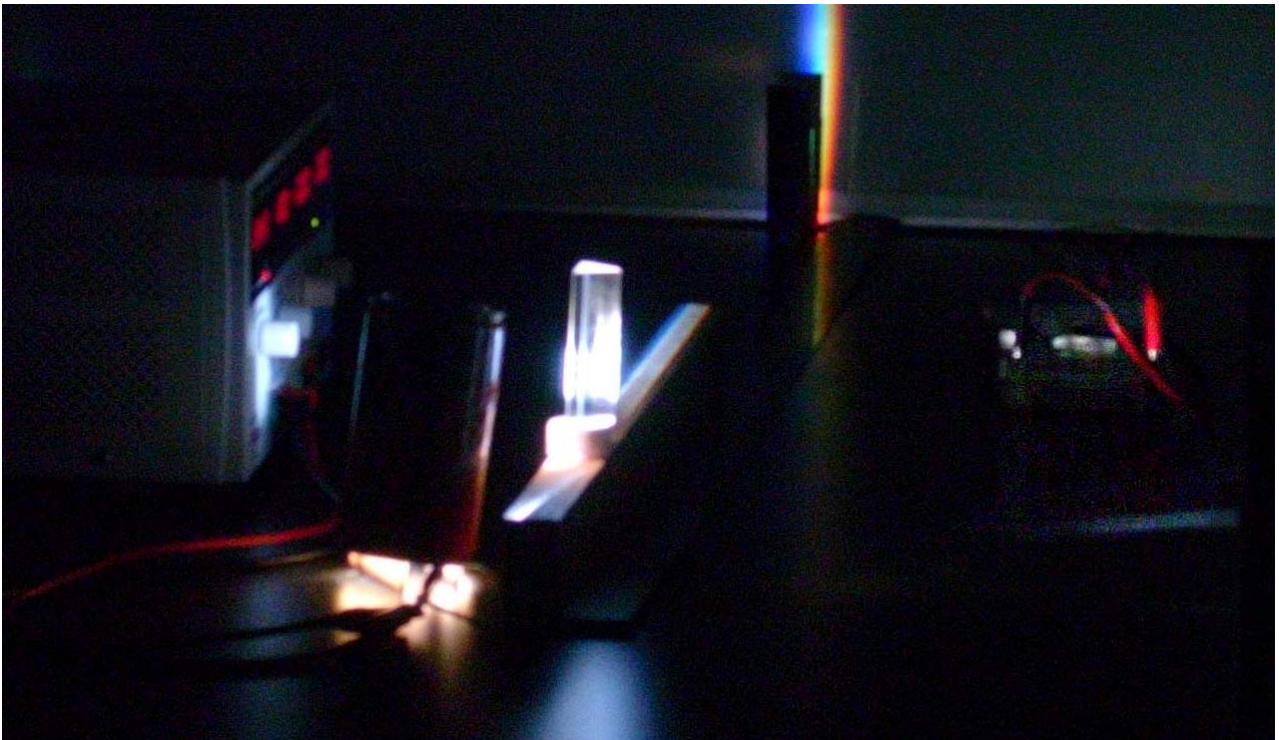


1. 在相同距離下偏轉照度計使其與光源具有一夾角。
2. 測量在不同角度下的照度。

六、追蹤器的設計



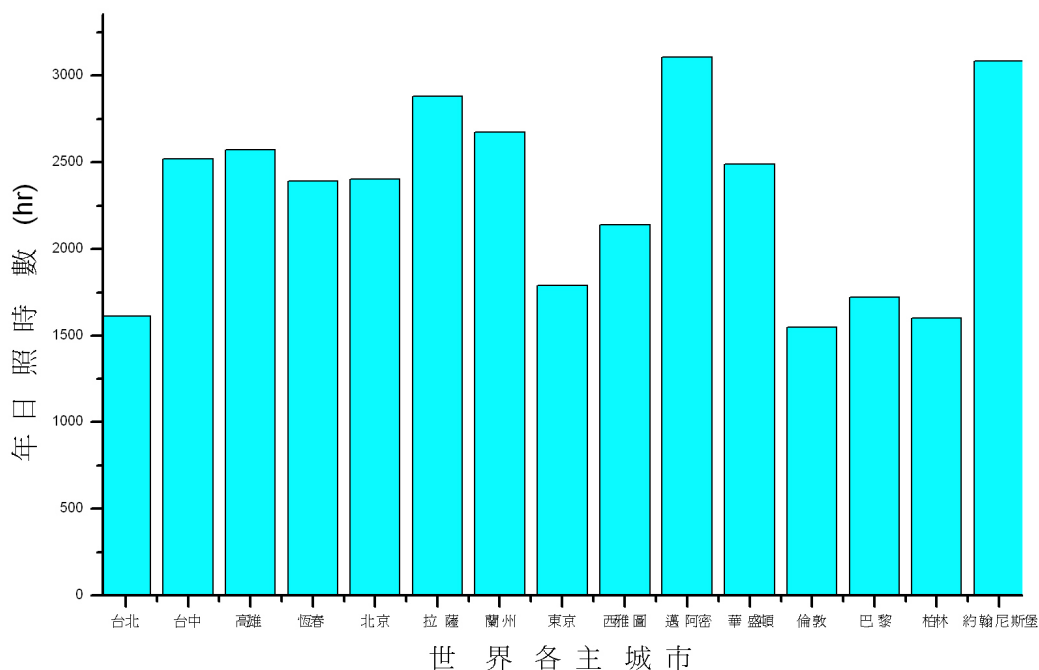
七、奈米塗料對太陽能板在不同色光的輸出功率



1. 利用三稜鏡讓光產生色散現象。
2. 測量太陽能板在不同色光下的輸出功率。

柒、實驗結果

一、世界各主要城市年日照時數



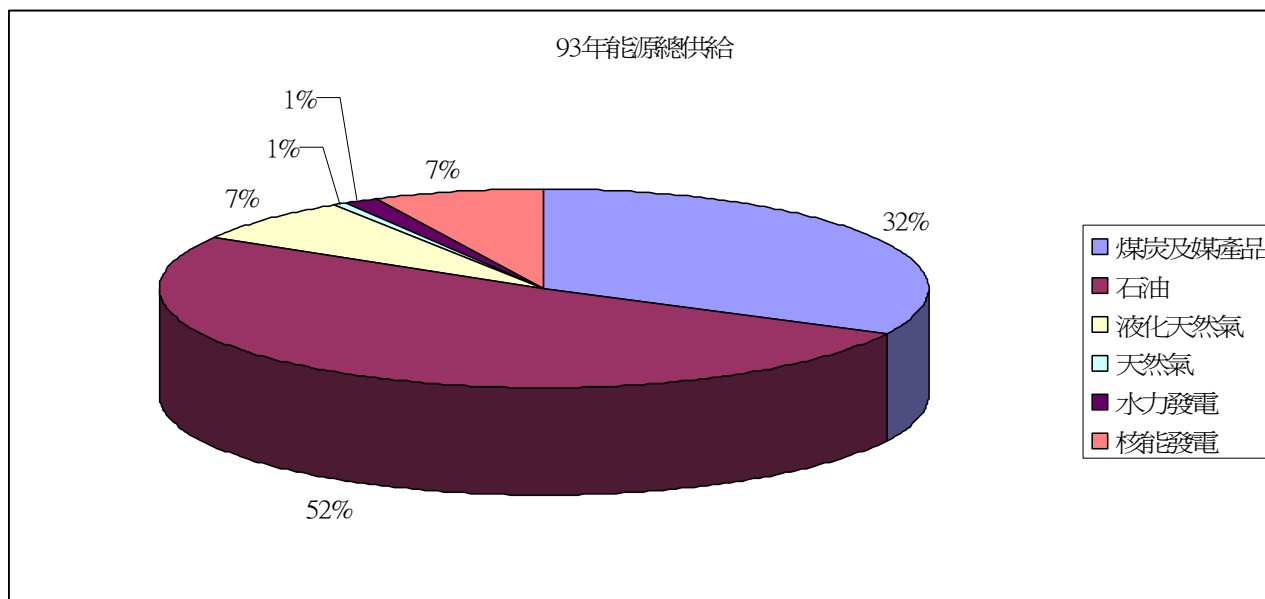
根據上表我們可以了解到，台灣的年日照時數相較於美西、非洲、沙漠等地毫不遜色，十分適合發展太陽能。而在台灣，南部的年日照時較北部多。這可以告訴我們要在何處選擇大型太陽能發電系統。

二、台灣各類能源價格

發電方式	核能	燃煤	燃油	燃氣	水力
單位發電成本 (元/度)	0.67	0.87	1.95	2.75	2.24
外部成本(元/度)	0.28	2.60	3.82	0.97	0.08
單位總成本(元/度)	0.95	3.47	5.77	3.72	2.32
發電總成本億元)	361	1,319	2,193	1,414	882

以台灣的發電能源來看核能為主要發電方式，核能成本只有燃煤的 1/4；水利發電的 1/3。

三、台灣各類能源使用比例



台灣主要使用的能源以石油為主超過 50%，煤炭站 33%，而石油及天然氣為碳氫化合物所組成，為溫室效應之二氧化碳的來源，而環保的再生能源卻只有 8%。

四、世界各大國發電容量配比

國別	能源生產力 GDP<美元> 初級能源需求 【公斤油當量】	發電容量配比 (%)				
		核能	燃煤	燃油	燃氣	水力
台灣	3.98	30~40	22	5	14.7	16.6
美國	2.96	13.2	75.4			11.4
日本	6.50	20.9	10.2	23.1	25.8	20.0
韓國	2.39	25.9	26.3	18.1	22.4	7.3
法國	5.02	55.7		23.5		20.8

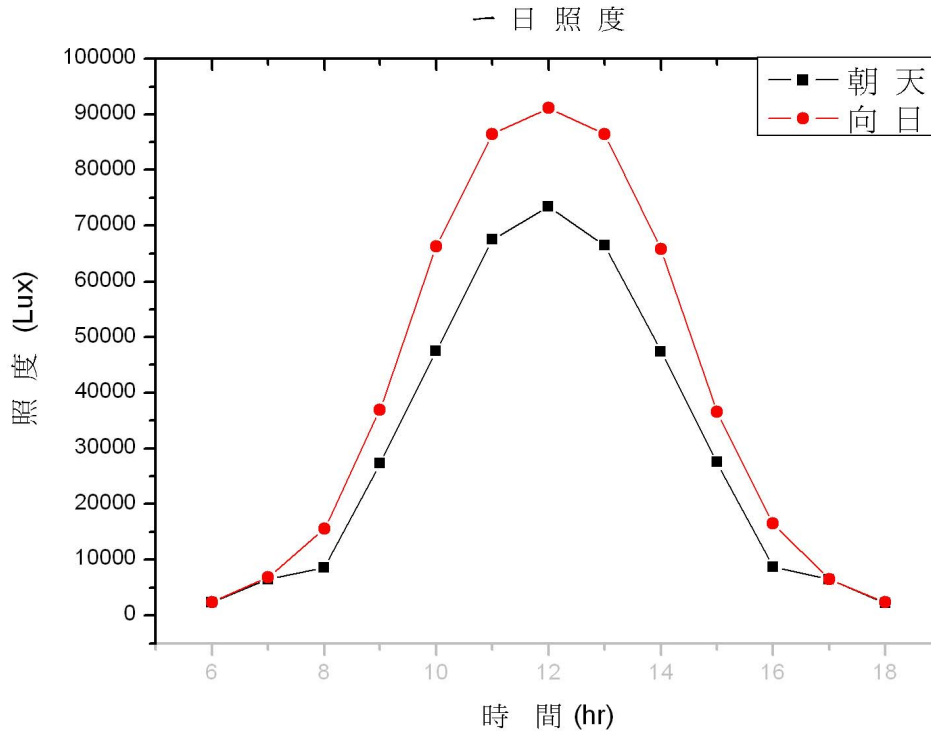
1. 台灣主要能源還是來自於核能佔四分之一以上，但台灣以綠色環保台灣為使命，減少核能的使用是我們的當務之急。
2. 德國是使用風力發電最強的國家。
3. 法國為以開發國家其核能比例佔一半以上。
4. 美國的電力構成以火力發電為主。約佔全部電力的 80%，水力發電發電僅占 10%~15%。

五、各類能源比較

種類	轉換效率	優點	缺點	價格（元/度）
太陽能 （晶片矽為主）	14%	低污染 方便	1. 佔地廣。 2. 裝置與維修費用高昂。 3. 價格高	9~10
水力發電	20%	低污染	1. 水力資源有限。 2. 阻斷魚類迴游。 3. 水庫淹沒區破壞原有生物的棲息地。	2.32
風力發電	20%~ 40%	低污染	1. 地域限制。 2. 噪音。 3. 破壞自然景觀。	2
火力發電	35%~ 45%	方便	1. 蘊藏有限。 2. 二氧化硫及氮的氧化物致空氣污染。 3. 造成酸雨，破壞生態環境。 4. 產生二氧化碳使溫室效應惡化。	3.2
核能	35%	原料體積小，易於運輸及儲存。	1. 附近水溫上升影響海洋生態。 2. 輻射性核廢料難處理。 3. 核電廠運作的安全性，	0.95

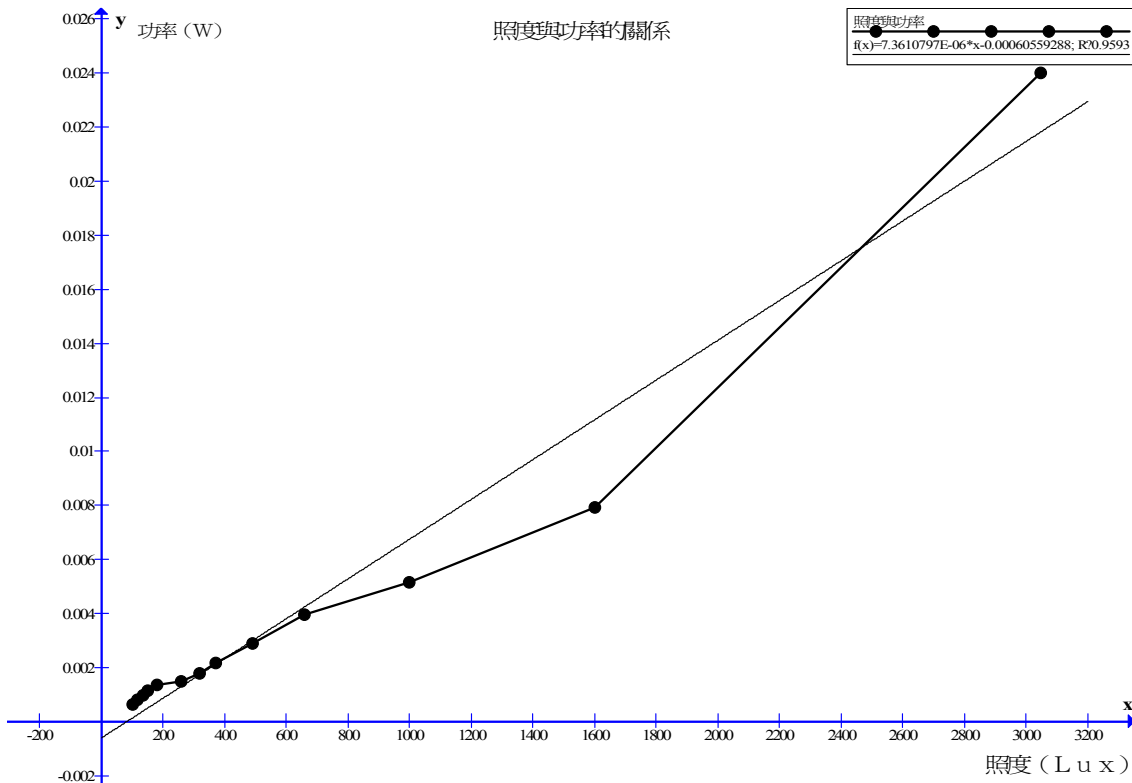
太陽能雖然轉換效率低、發電量小且成本高，但是對於環境的污染是最低的如果能夠有效的解決佔地的問題與耐用性的問題並提升他的效率將可取代其他能源本實驗主要在探討在如何更有效的使用太陽能電池。

六、一天的照度



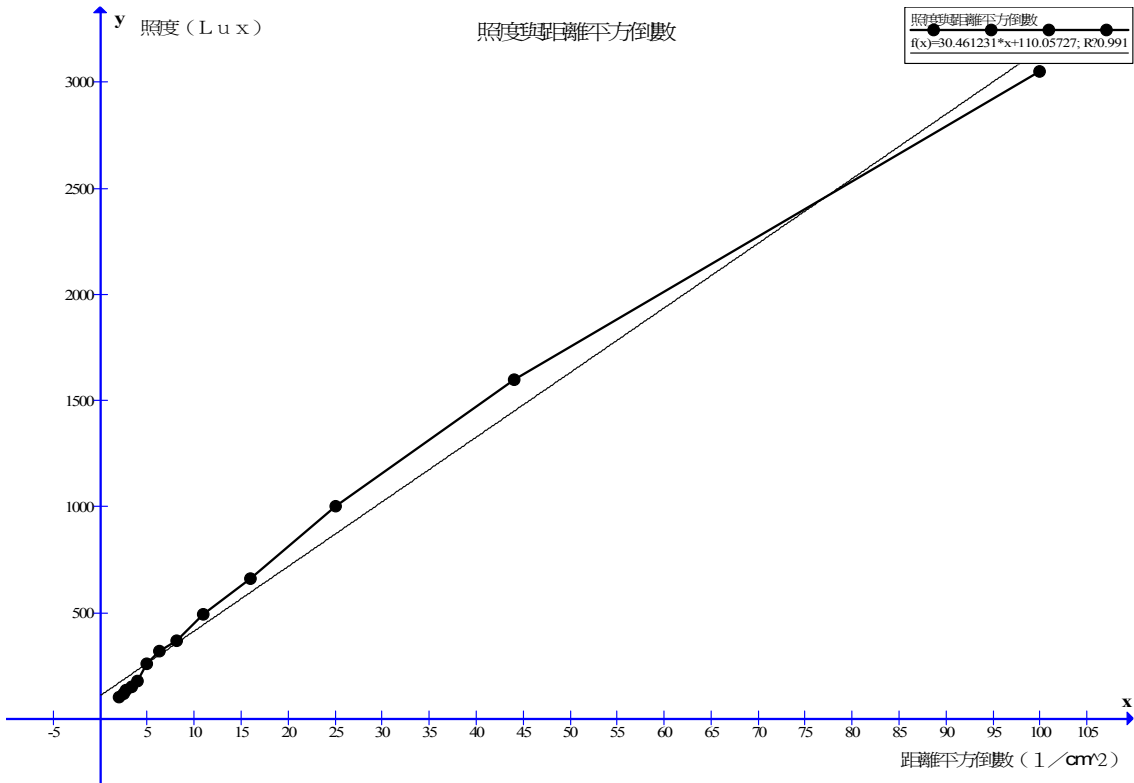
1. 一天的照度在正午十二點時達到最高點。
2. 有無正對太陽對於照度的影響很大。
3. 一日的照度大約為一三角函數 \cos 的圖形。

七、照度與功率



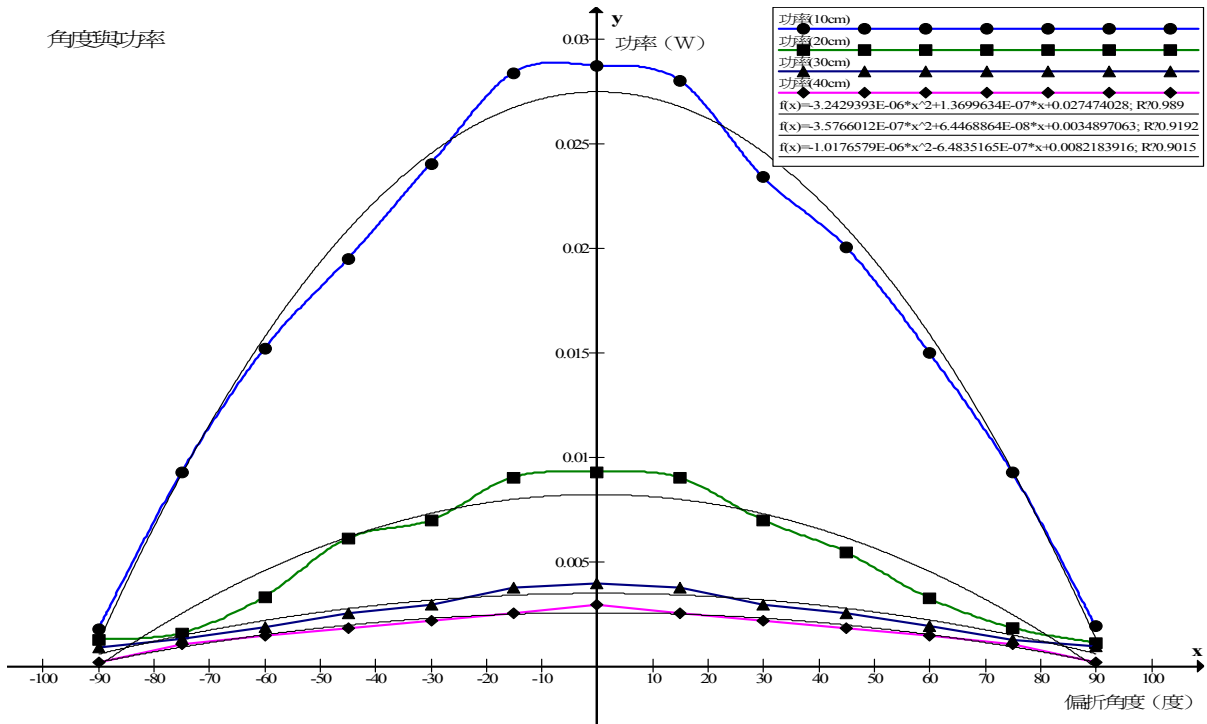
1. 由實驗數據判斷可知功率與照度大約是成正比的關係。

八、照度與距離平方倒數



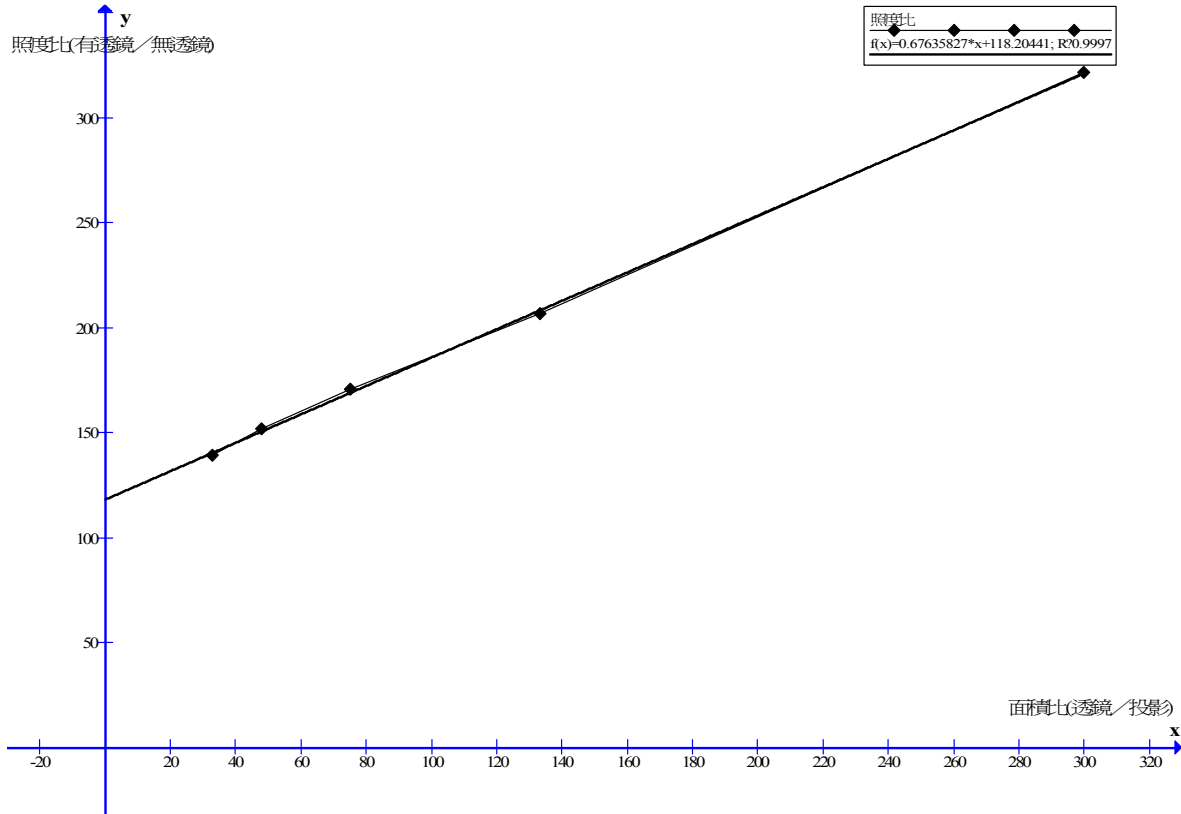
1. 從圖可以判斷出照度與距離平方的倒數是正比關係，與理論完全符合。

九、功率與角度



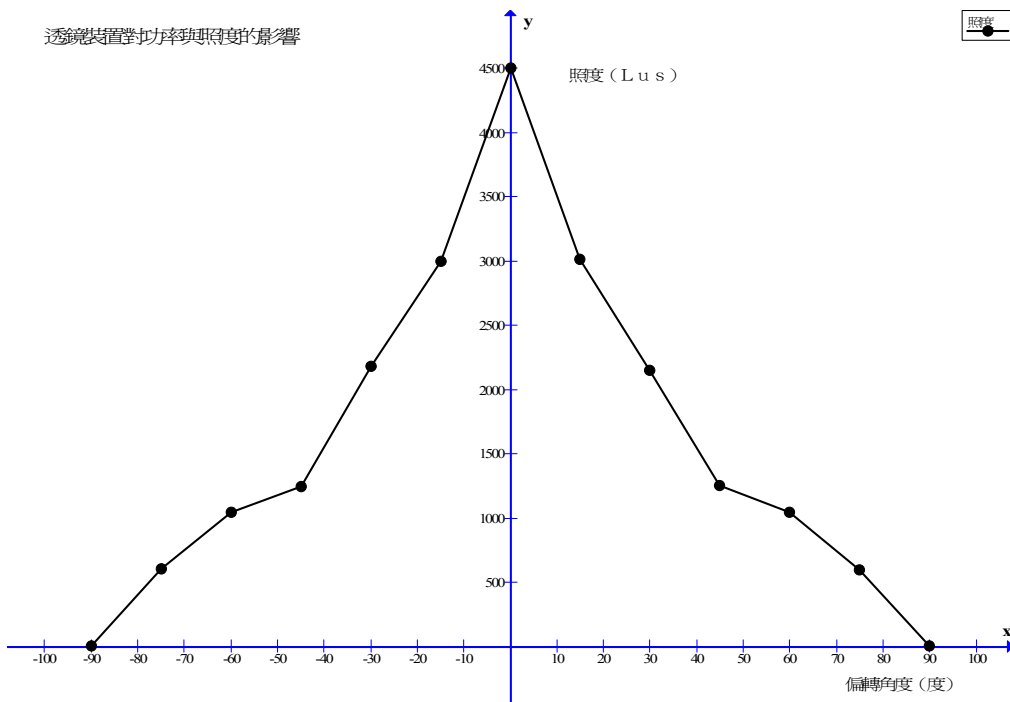
1. 由上圖可以看出當光源直射太陽能板時，太陽能板的功率最大。
2. 從圖可知太陽能版與角度的關係大約是三角函數 C O S 的圖形。

九、照度比與面積比



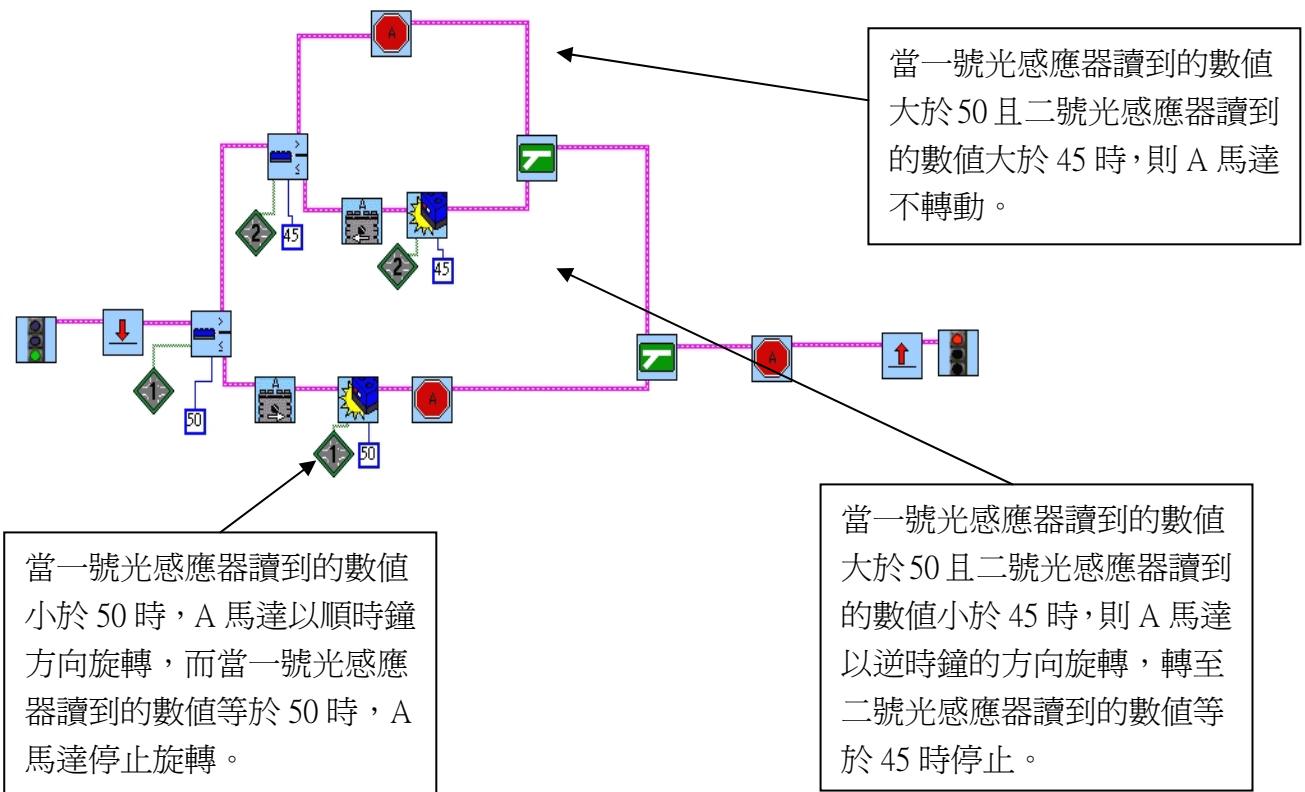
- 1、當面積比增加時，照度比也會逐漸的增加。
- 2、照度比與面積比為一正比的關係。

十、角度對功率（加裝透鏡）

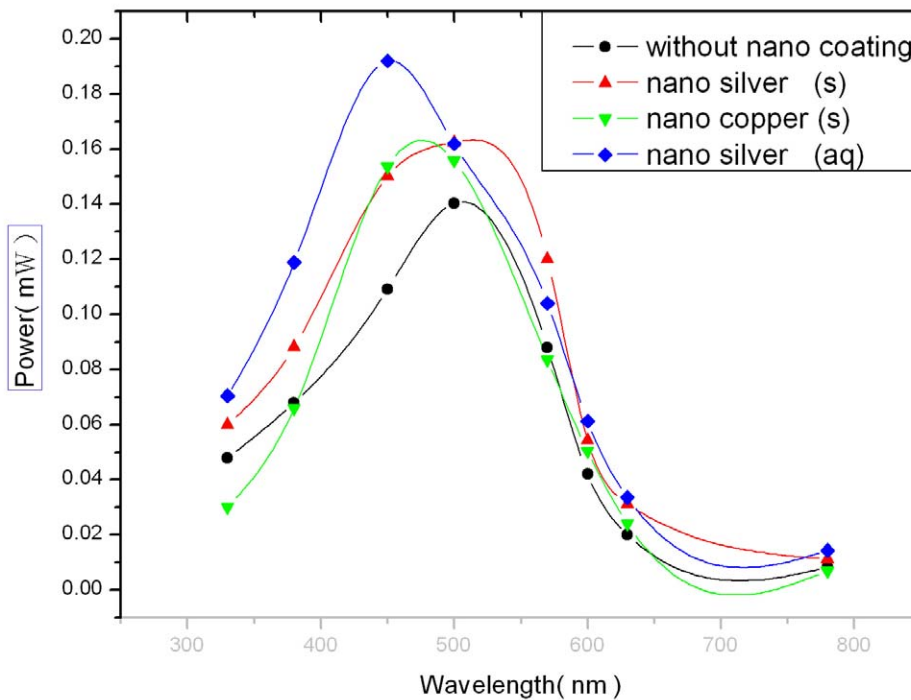


- 1、當光線直射時，其功率最大。
- 2、透鏡的增加會加重角度對照度的影響。
- 3、由此可得之光是加透鏡是不夠的，還須有追蹤器的搭配才行。

十一、追蹤器的設計



十二、奈米塗料對太陽電池在不同色光下的輸出功率



1. 總功率增加 30%。
2. 在黃綠光強度最大，輸出功率最大。
3. 塗佈奈米銀，增加藍紫光的吸收率。
4. 水溶液型奈米塗料在光各波長的吸收率最好。
5. 奈米銀的效果優於奈米銅。

捌、討論

- 一、太陽能板的製作材質會影響其吸收的波段，將不同材質的薄膜疊合在一起應可以增加吸收的波段並增加太陽能板的輸出電功率。
- 二、弗瑞奈透鏡雖然可以聚光以增加光源能量密度，但其多少會吸收部份的光波，且由不同材質所製成的透鏡亦會影響吸收的波段，如何能夠讓所有的波長都被用來發電將是未來主要的目標。
- 三、弗瑞奈透鏡雖然能達到聚光的效果，但是卻會使太陽能板的溫度急速上升，如何散熱將是我們所面臨的一大挑戰。
- 四、太陽能板雖將光能轉換為電能，但太陽能板被陽光照射時會產生熱使太陽能板的溫度上升，散熱的問題也是一項有待解決的問題。
- 五、空氣中充滿著懸浮微粒，當覆蓋在太陽能板上時會阻隔光線，如何能避免環境落塵的影響將是極需克服的問題。
- 六、不同奈米塗料反射光線的能力並不相同，尋找最適合塗抹在太陽能板上的奈米塗料對於太陽能發電系統將有很大的助益。
- 七、奈米塗料所具備的蓮花自潔效應對於覆蓋在太陽能板上的懸浮微粒是否為一具體且有效的方法。

玖、結論

- (一) 臺灣的日照時數以台南為最高，相較於美國加州及澳洲坎培拉等日照充足等地毫不遜色，極適合發展太陽能。
- (二) 再生能源中，太陽能具有攜帶方便架設容易的優點，但每度電的單位成本較其他能源高，綜合污染性與轉換效率太陽能為具有潛力的選擇。
- (三) 太陽能板輸出功率的大小會隨著人造點光源距離的增加而平方反比減弱。
- (四) 太陽能板的輸出功率會隨著太陽能板與人造面光源所發出的平行光夾角的增加而減弱，其圖形約成三角函數 \cos 的圖形。
- (五) 太陽能板的輸出功率會隨著照度的增加而提升，為增加照度須加裝聚光器，已達增強輸出功率的目標。本實驗中以弗瑞奈透鏡為集光器，其透鏡面積與縮小面積的比值和加裝透鏡前後的照度比成正比關係。
- (六) 加裝弗瑞奈透鏡雖具有放大照度的效果但卻會加重角度對照度的影響，故必須加以追蹤器來改善角度的問題。
- (七) 太陽能板需要改變仰角跟傾角（雙軸調整），由光感應器判斷及自動控制程式，判斷隨時辰與季節變化的太陽角度，但本研究為簡化裝置，太陽能板僅隨時辰而改變，太陽能板角度隨季節變化需由手動調整。
- (八) 塗佈奈米塗料後能有效增加太陽能板的輸出功率，發現光譜中短波長的吸收率有明顯提升；且奈米薄膜的自潔效應能防止塵埃雨滴等堆積物所造成的環境影響。

拾、參考資料

期刊：

1. 高涌泉譯(民 94) 科學人 4 4 期 p.64~p.73
2. 張雨清譯(民 95) 科學人 4 7 期 p.94~p.95

論文：

1. 葉益男、黃秉鈞。民 92。集光式太陽光發電追控系統研製，國立台灣大學機械工程學研究所碩士論文
2. 邱清泉。民 91。台灣地區推廣太陽能發電系統之研究。大葉大學電機工程學系碩士班碩士論文。
3. 包金滿。民 92。太陽能發電系統運轉性能評估。中原大學電機工程學系碩士論文
4. 洪國強。民 91。住宅用市電太陽能電池轉換系統。國立台灣大學電機工程學研究所博士學位論文
5. 徐翠華。民 91。台灣地區太陽輻射及太陽能發電潛力之研究。國立台灣師範大學地理研究所碩士論文

書籍：

1. 林明瑞(民 92)。高中基礎物理。再版。台灣。南一出版社
2. 林明瑞(民 94)。物理（上冊）。再版。台灣。南一出版社
3. 雷永泉(民 93)。新能源材料。出版。台灣。新文京開發

網站：

1. 太陽能電池 <http://www.reihk.com/bottom/pv1.htm>
2. 台灣電力公司 <http://www.taipower.com.tw/>
3. 經濟部能源局 <http://www.moeaboe.gov.tw/>
4. 行政院國科會應用科技合作學術小組 <http://www.nsc.gov.tw/dept/acro/>

拾壹、致謝

比賽終於要結束了，心中的大石頭終於可以放下了。在這段時間裡，我得到了許多人的幫助，如果沒有他們，我大概沒有辦法堅持到最後。首先要感謝我的指導老師，是他們教導我如何蒐集資料、製作儀器、數據分析、報告製作以及如何呈現一份完整的報告。

接著我要感謝北區奈米中心沈教授的團隊所提供的奈米塗料，幫助實驗的進展。另外，也要感謝其他曾經幫助過我做這項研究的人，如林同學、駱同學、蔡同學、童同學等。他們雖然也有自己的研究，但卻都願意抽空幫助我進行實驗，那段時光裡我們彼此互相幫忙，一起努力，一起研究，一起創造了許多難忘的回憶。我還要別感謝邢學長，感謝他在英文摘要上的協助與指正。以及陳學長在追蹤器上的大力幫忙。當然也不能忘記台大應力所的梅學長在光譜測量及鄭學長在奈米塗料性質的教導。

最後，我要感謝我的父母全力支持我做這項研究。他們的支持是我做下去的動力。要感謝的人實在太多了，我在此獻上十二萬分的敬意，向他們表達最大的謝意。沒有他們，就沒有這份研究。

評語

本作品利用弗瑞奈透鏡、追蹤器製作、太陽能光感應器及於太陽能板上加塗一層奈米金屬，以評估太陽能發電環境之效率提昇問題，作者對能源危機具高度之使命感，現場展出的成果也比原報告內容要多出許多，也更深入了一些，若再能就系統整合與設施設計上加強，將會出現優秀的作品。