

行政院原子能委員會
委託研究計畫研究報告

台灣東部區域戶外 HCPV 太陽能發電模組效能實測分析研究
Eastern Taiwan of HCPV solar module performance measurement analysis

計畫編號：1022001INER024

受委託機關(構)：國立臺東大學

計畫主持人：陳孟炬

協同主持人：陳暉

聯絡電話：089 356541 ext 6423

E-mail address：mchen@nttu.edu.tw

核研所聯絡人員：許怡儒

日期：102 年 11 月 29 日

目 錄

目錄.....	I. II
中文摘要.....	1
英文摘要.....	2
壹、計畫緣起與目的.....	3
一、HCPV 的發展.....	3
(一) III-V 族半導體之 HCPV 太陽能模組.....	4
(二) HCPV 模組轉換效率.....	5
(三) HCPV 產業在地化.....	5
二、HCPV 發電模組之臺東地區驗證測試.....	6
(一) 氣候條件：日照量、焚風、颱風.....	7
(二) 地理環境：鹽害、沙塵暴.....	7
(三) 聚光太陽能模組疏水硬質膜研究.....	8
貳、研究方法與過程.....	9
一、高聚光型太陽能模組之戶外驗證.....	10
二、臨超疏水硬質薄膜製備.....	13
三、超疏水硬質薄膜之 HCPV 模組發電功率測量.....	21
參、主要發現與結論.....	22
一、HCPV 模組發電量與效能分析.....	22
二、HCPV 模組設置地點之氣象測量.....	23

(一) 日照量與溫濕度資料分析.....	23
(二) 臨海鹽害的觀察.....	24
(三) 探討季風與颱風的影響.....	25
(四) 氣候資料分析探討季風與颱風的影響.....	25
三、超疏水硬質薄膜.....	30
(一) 不同矽烷對薄膜表面接觸角之影響.....	32
(二) 不同矽烷對薄膜硬度之影響.....	31
(三) 不同矽烷對薄膜穿透度之影響.....	33
四、結論與建議.....	34
肆、參考文獻.....	37

中文摘要

本研究計畫以 HCPV 太陽能模組進行改善與實測研究，分別針對不同氣候條件討論：東臺灣的日照量、焚風、颱風與鄰近海岸之鹽害，甚至夏天吹起之沙塵暴。為了減少沙塵對 HCPV 模組所造成的傷害，因而降低了 HCPV 發電模組效能，將於 HCPV 模組上進行疏水硬質膜之研究，研究製備疏水硬質膜於聚光透鏡模組。

藉由薄膜材料之化學及物理分析結果，對自潔膜材料硬度及透明性進行有系統的研究探討。最後在本研究結果中發現，在溶膠-凝膠法與溶液聚合法中二氧化矽顆粒粒徑的控制是影響可見光穿透薄膜時的重要影響因素。尚未塗布的 PMMA 基材其穿透度約為 92%，在固定 MSMA 比例下可以得知隨著 TMES 莫耳比從 0、0.25、0.67 至 1.5，其可見光穿透度會略微下降，但仍有 90~92% 的穿透度，可以得知經表面改質過的二氧化矽奈米顆粒粒徑得到良好控制，並且於高分子溶液中亦有良好分散性。因此用來保護 HCPV 聚光模組，以抵抗惡劣環境(沙塵暴、鹽霧或紫外線傷害)與提升其應用範圍。

關鍵字：聚光型太陽光發電系統、硬質膜、鹽霧、沙塵暴、疏水膜

Abstract

This project will continue the study of outdoor measured HCPV solar system, module validation. Taitung locality HCPV power generation system, environmental impact assessment of the dust storms and power generation module, for example: the impact of salt spray on the HCPV module, this project will create a sandstorm influence and improve the power generation efficiency of the power generation module. To reduce the dust of the damage HCPV modules, thereby reducing the generation HCPV module performance. The hard hydrophobic membrane will be conducted on the HCPV modules.

Between the sol-gel method and solution polymerization the domain size of SiO_2 clusters may interfere with transparency when silica particles aggregate grow up to 100 nm. The transparency of pure PMMA substrate is about 92%. As the amount of MSMA ratio increase, the transparency maintain at 92%. On the other hand, transparency decreased when MSMA ratio was not enough. The amount of TEOS ratio increase may decrease the transparency. Even the TEOS ratio up to 1.5, we can learn that the transparency remained 90%. MSMA and TEOS were hydrolyzed and reacted onto the silica surface to form the modified SiO_2 . Then, it was mixed with the acrylic solution of methyl methacrylate (MMA). The surface modified SiO_2 particles had been well controlled on their size and have a good dispersion in polymer solution. Hardness thin film used to protect the condenser HCPV modules to withstand harsh environments (dust, salt or UV damage) and to enhance its range of applications.

Keywords: High Concentration Photovoltaic (HCPV), Hot air, Salty fog, Dust storm, Polymerization

壹、計畫緣起與目的

隨著經濟活動的增加，人類對於石化燃料的消耗也日漸增加，除了造成能源價格波動嚴重外，更加劇地球溫室效應，因此世界各國莫不致力開發各式再生能源，依據 2008/11/28 的經濟日報指出，就連面對金融風暴的美國，也提出名為「阿波羅計畫」的綠色新政藍圖，預計在未來十年，每年將投資 150 億美元發展再生能源以深耕綠能產業，III-V 族化合物半導體具有相當優勢的光電特性，除了被利用在高速元件之外，在光電元件中也是很重要的，也相對的越來越受重視。就目前而言，多數太陽能電池都還是單晶化合物半導體為基板。具高效率轉換能力的聚光型太陽能發電系統作為有效的能源利用，提升國內發電容量，這對能源幾乎全仰賴進口的我國將有極大的助益，也為臺灣永續發展建立良好的基礎。

循環再生不斷使用的非耗竭性能源，主要包括：太陽光能、風能、水力能、生質能、地熱等潔淨性能源。重要國家政策目標之實現的重點之一是太陽光電產業聚落形成，由於能源的缺乏，以致各種原物料的價格不斷的上漲，台灣有 95% 的能源是仰賴進口而獲得的，有效的利用再生能源是非常重要的。太陽能有清潔、安全、不受壟斷的優點。其中聚光型太陽能發電系統如果能夠有效率且長時間的運用，將是人類的一大福音。

一、HCPV 的發展

太陽光發電成本與其電池模組的製造成本及其光電轉換效率有關，更與太陽能發電模組架設場址的全年日照條件及維護

成本有密切關係。臺灣地處亞熱帶，又是海島型氣候，各地全年的日照量受到當地氣候現象影響很大，而氣候環境條件也影響到太陽能發電模組的年發電量及維護成本，因此長期的有系統的監測及評估聚光型太陽光發電系統發電特性，有利於太陽能發電模組的運作可靠度分析及相關維護模式建置，本計畫主要以工業與環境污染較低的台灣東部區域作為 HCPV 發電站建置監測評估為重點，佐以當地區域的環境氣候資料，針對聚光太陽光電模組發電效能與耐久性作長期而有系統的實地測試分析研究。

(一) III-V 族半導體之 HCPV 太陽能模組

聚光型太陽能電池是[聚光型太陽能電池]+[高聚光鏡面菲涅爾透鏡]+[太陽光追蹤(Sun Tracker)]的組合，其太陽能能量轉換效率可達 31%~42.6%，雖然轉換效率高但是由於向陽時間長，需要有優異的散熱系統，過去用於太空產業，現在搭配太陽光追蹤器可用於發電產業利用。由於太陽光光譜涵蓋的能量區域廣泛，聚光型太陽能電池主要材料是[砷化鎵](GaAs)，也就是三-五族半導體材料，一般的矽晶材料只能夠吸收太陽光譜中 400~1,100nm 波長之能量，而聚光型不同於矽晶圓太陽能技術，透過多接面化合物半導體可吸收較寬廣之太陽光譜能量，目前已發展出三接面 InGaP/GaAs/Ge 的聚光型太陽電池可大幅提高轉換效率，三接面元件之聚光型太陽電池可吸收較廣泛的波長之能量相對其轉換效率可大幅提升，而且聚光型太陽能電池的耐熱性比一般晶圓型太陽能電池又來的高。

(二) HCPV 模組轉換效率

應用 III-V 族化合物半導體所製作的多接面太陽電池，將涵蓋太陽光譜紫外光、可見光及紅外光等不同能量的區域，因此應用 III-V 族化合物半導體製作的多接面(Multi-junction)式太陽電池[1]，例如 InGaP(1.9eV)、GaAs(1.4eV)及 Ge(0.7eV)之組合[2]，可吸收不同波長範圍的太陽光，致使量子效率可大幅提升，理論上可獲得 40% 之超高轉換效率。

各種太陽能電池的效率，薄膜型太陽能電池(7%~12%)、單、多晶矽太陽能電池(12%~20%)、傳統核能電廠(30%)、火力發電(36.8%)、聚光型太陽能電池(31%~42.6%)、新式核能電廠(42~57%)[3]。聚光型太陽能電池可通過使用透鏡將光聚集到狹小的面積上來提高發電效率。不過因為聚光引起的溫度上升會損傷太陽能電池單元及發電系統，因此往往尚須考量聚光比率。聚光型太陽電池假如使用聚光倍率為 1000 倍的透鏡時，單位模組的太陽能電池單元的成本可降至結晶矽類之電池單元的 1/10 左右，而所需的面積僅矽晶圓的 1/2.5，另外聚光型太陽能電池必須要在位於透鏡焦點附近時才能發揮功能，因此為使模組總是朝向太陽的方位，必須搭配使用太陽追蹤系統，此設計雖然可以提高轉換效率，但卻存在透鏡、聚光發熱釋放槽以及太陽光追蹤系統的重量及體積較大等等問題。

(三) HCPV 產業在地化

高聚光太陽能電池訴以轉換效率高為優勢，而全球領導廠商 Boeing 旗下的 Spectrolab 已開始量產平均轉換效率高達 39.2% 的 III-V 族之高聚光型太陽能產品，可說是全球太陽能電池市場

中最高轉換效率的產品，是自其在 2009 年中時轉換效率達到 38.5%後，該廠又進一步的改善。受惠於台灣在 LED 產業的蓬勃發展，台灣目前在聚光型太陽能已有完整的供應鏈，包括自上游磊晶(全新、華旭環能等)、矽晶圓製造、測試、封裝到下游的 CPV 模組/系統設計和組裝(台達電和華旭環能等)，幾乎可以 100%在地化生產，2009 年 Spectrolab 也可做到測試產品轉換效率達 41.6%的產品，而目前日本夏普在聚光型太陽能電池效率上，該公司 2011~2012 年時平均轉換效率可達到 42.6%以上的水準。

二、HCPV 發電模組之臺東地區驗證測試

計畫可分為台東環境和氣候對於太陽能電池之戶外驗證研究與超疏水硬質膜於 HCPV 太陽能電池模組研究兩部分。太陽能發電模組架設場址的全年日照條件及維護成本有密切關係。臺灣地處亞熱帶，又是海島型氣候，各地全年的日照量受當地氣候現象影響很大，而氣候環境條件也影響到太陽能發電模組的年發電量及維護成本，因此長期的有系統的監測及評估聚光型太陽光發電系統發電特性，有利於太陽能發電模組的運作可靠度分析及相關維護模式建置，本計畫主要以工業與環境污染較低的台灣東部區域作為 HCPV 發電站建置監測評估為重點，佐以當地區域的環境氣候資料，對高聚光太陽光電模組發電效能與耐久性作長期而有系統的實地測試分析研究。

(一) 氣候條件：日照量、焚風、颱風

台東的日照量、焚風、甚至是颱風。或者環境上，例如：因為鄰近海岸所以有鹽害，或者夏天風大吹起河床底部沙子造成沙塵暴。或是東部各偏遠山區偏遠部落裡，因為地點偏遠，如果能夠架設有屬於自己的小型發電廠，可以比較不用擔心電力傳輸上的問題，但是部落要架設聚光型太陽能電池也要考慮可行性，及可能面臨的問題(例如：土石流、山崩)，也探討太陽能電池在東、西部架設上系統的差異。

本計畫延續台灣東部特殊之環境區域，研究 HCPV 太陽能系統在台東發展將面臨到的環境因素，進行模組驗證評估工作。計畫主軸以台東局域性之 HCPV 發電系統，對環境上沙塵暴與發電模組之影響評估，作為建立 IEC62108 驗證標準之後續 HCPV 驗證基礎研究，例如：因為台東鄰近海岸 HCPV 模組對鹽害之戶外實測驗證，臺東為臺灣地區理想之戶外嚴苛環境場域，計畫將建立秋夏季風吹起河床底部沙粒，所造成沙塵暴對發電模組之發電效率影響與改善。

(二) 地理環境：鹽害、沙塵暴

由於台東鄰近海岸我們也探討鹽害是否會對高聚光型太陽能電池的發電量或者整個系統有所影響，或者架設在相關離島上，如：台東綠島發展太陽能電池的潛力，它的潛力在哪，以及它的優勢，當然綠島四面環海，如果 HCPV 使用年限會因為鹽分而有了嚴重影響，其對於台東甚至離島地區所有的發展都有相當大的不利，這可能就是之後沿海地區所要面臨到的困難了，所以當高聚光型太陽能發電系統在面對沿海地區時，它的表面防護

材料是否會因此而有所差異，或者如果有所影響是否可以有更好的替代材料。除了以上兩點，由於台灣位於中低緯度上而且春夏秋三個季節，可能面臨梅雨季以及颱風的問題，而台東又有所謂焚風和沙塵暴，如果台東要發展高聚光型太陽能電池發電要面對許多難題，我們也觀察上述幾點紀錄並觀察以上所說對於高聚光型太陽能電池的影響。

(三) 聚光太陽能模組疏水硬質膜研究

以溶膠-凝膠法(Sol-Gel)製備無機二氧化矽奈米粒子，並將其混入有機高分子 PMMA 中經由塗布於基材後，製備出具疏水自潔功能之硬質膜。製備疏水硬質膜於 PMMA 透鏡之研究。利用四乙氧基矽烷、醇類及水在酸性環境下進行溶膠-凝膠法經水解、縮合反應後所產生之二氧化矽奈米顆粒可與 3-(三甲氧基甲硅烷基)丙基丙烯酸酯(MSMA)產生鍵結以提高無機二氧化矽奈米顆粒與有機高分子 PMMA 之偶合能力，添加三甲基乙氧基硅烷(TMES)與二氧化矽奈米顆粒產生鍵結將二氧化矽表面之羥基進行封端反應以避免顆粒之間彼此聚集成長。將二氧化矽溶液與高分子混合後以旋轉塗布方式塗布於光學塑膠元件 PMMA 透鏡上，並在不同矽烷種類與矽烷含量等實驗參數的變化對 PMMA 基材表面所造成的影響進行探討。在儀器分析方面，藉由 DLS 測量二氧化矽顆粒在溶液中的尺寸變化、接觸角測量儀測量薄膜表面之接觸角、UV/Vis 量測薄膜之穿透度、鉛筆硬度機量測薄膜表面之硬度。

貳、研究方法與過程

PV 太陽能發電模組及自動數據擷取模組系統，逐日、逐月將太陽發電模組的發電量與當地日照、氣候條件作比較分析，並由長期監測評估過程中改善太陽能發電模組的運作及維護模式，評估其長期可靠度評估分析。

聚光型發電系統(HCPV)的光學模組之集光裝置，包含均光器和光學模組兩個重要的光學元件，均光器將光線均勻的分布到太陽電池表面，依光線聚焦於太陽能電池的形式可分為點聚焦(point-focus)與線聚焦(line-focus)，聚焦可達到較高的集光比，適合對溫度影響低的太陽電池，使用點聚焦形式的太陽能模組以碟型聚焦和透鏡聚焦為主；光學模組的聚焦元件也分為反射式與折射式兩種。反射式集光器的優點在於能反射所有波長的輻射，可有效將太陽光聚焦於焦點上，但其缺點為製作大面積反射鏡的成本高；折射式集光器的優點在於成本，可使用鑄造或是射出成型的方式大量生產，以降低其製作成本，若以高分子材料製成的鏡片，長期置於大量紫外線照射環境，鏡片易質變且黃化等現象發生，進而影響鏡片的透光率，另外，雖使用玻璃製的鏡片可解決此問題，但增加的重量反而會造成系統的負擔。

Fresnel 透鏡可視為由許多稜鏡的組合體，使所有的稜鏡皆能把平行入射的光線經折射聚焦於一點，達到如同凸透鏡折射光線的效果，但比傳統的凸透鏡較輕薄並節省材料，但因透鏡材質密度，導致光線陷在介質之中，無法透射出來，造成 5~10%的光損失。針對 HCPV 系統長期測試，HCPV 模組受到環境影響的因素下，無法達

到模組峰值發電效率的因素可分為：1. 雲層：多雲天氣，太陽被雲層遮蔽頻率高低，使得輸出功率震盪幅度大，降低了 HCPV 系統的發電性能。2. Fresnel 透鏡耐熱性：因 Fresnel 透鏡以壓克力(PMMA)製成，且壓克力具有易吸收水氣的特性，東部地區溼氣、鹽霧與沙塵等影響嚴重，HCPV 系統運轉在溼氣、鹽霧與高溫作用下，使透鏡產生嚴重老化現象，進而影響 HCPV 模組的發電效率。本計畫以台東為一極端環境類似地點進行實驗監測研究分析，初期可針對聚光型系統之性能、沙塵、鹽害、防蝕及運轉維護等項目進行測試，並評估其運轉之可靠度等驗證基礎之建立，以做為聚光型太陽能發電系統驗證項目評估之依據。

PV 太陽能發電模組及自動數據擷取模組系統，逐日、逐月將太陽發電模組的發電量與當地日照、氣候條件作比較分析，並由長期監測評估過程中改善太陽能發電模組的運作及維護模式，評估其長期可靠度評估分析。此外計畫中將建立聚光型太陽能發電系統在沙塵暴與高鹽霧環境下，造成系統發電效能變化之戶外實測研究，作為高聚光太陽能發電於國際相關驗證條件下之參考指標，並改善模組於戶外條件下之系統可靠度。

一、高聚光型太陽能模組之戶外驗證

本研究以台東架設之高聚光型太陽能發電系統，進行局域性之 HCPV 太陽能電池系統相關研究，以日、月及年平均發電效能進行研究，也針對台東地區進行日照量以及照度強弱進行探討，台東相較於其他西部地區而言，夏天相對性的炎熱，太陽光日照量也比較大，所以台東的日照情況，對於未來發展高聚光型太陽能

電池是否有相對性的優勢就可以得知，由於台東鄰近海岸我們也探討鹽害對高聚光型太陽能電池的發電量或者整個系統有所影響，或者架設在相關離島上的可能性，如：台東綠島發展太陽能電池的潛力，它的潛力在哪，以及它的優勢，當然綠島四面環海，如果 HCPV 使用年限會因為鹽分而有了嚴重影響，其對於台東甚至離島地區所有的發展都有相當大的不利，這可能就是之後沿海地區所要面臨到的困難了，所以當高聚光型太陽能發電系統在面對沿海地區時，它的表面防護材料是相當重要的驗證工作指標之一。

HCPV 系統驗證模組鄰近太平洋於海邊，需要更多防沙塵及防鹽害設計，針對模組與接收器進行抗鹽霧等測試工作，完成耐候性模組設計與製作。進行耐候性模組戶外測試，並針對量測數據進行分析，透鏡與二次聚光器表面髒污，是造成模組效率衰退的主要原因，因此如何降低沙塵及防鹽害所造成的影響，以維持 HCPV 發電模組效能，本研究進行模組自潔與防鏽蝕超硬膜薄膜應用等相關討論。以建立未來前進嚴酷環境(沙漠或岩粒區域)之戶外模組設置等驗證工作準備。

針對沙塵及污染物影響 HCPV 太陽光電系統性能進行長期實驗分析，除蒐集相關資料顯示聚光型 PV 系統性可能損失可能超過 10%~20% 以上，我們進行沙塵與污染物對聚光型性能影響之比較與改善研究，本計畫加入 HCPV 模組自潔等相關研究，以蓮花效應的概念可應用在防污防水上，特殊的硬質薄膜覆蓋於 HCPV 模組上，使其具有某些程度的自潔功能，以實現拒水防塵之目的進而改善 HCPV 模組之發電效能。HCPV 模組所需之自潔

塗料須具備良好之透明性及耐刮性，並擁有 110° 的接觸角。為了達成超疏水的境界需具有一定表面粗糙度，所以現今研發出許多方式可達到此目的，最常見的為溶膠-凝膠法(Sol-Gel)[4]、有機/無機混成法 2 (Organic/Inorganic Hybrid)[5]、電化學法(Electrochemistry)[6]、壓印法(Embossing)[7]、及有機高分子相分離法(Polymer Phase Separation)[8]等。

表面粗糙度是製備超疏水膜材的重要條件，因此文獻上有關表面粗糙度製備之方法有很多，以下幾種常見之方式分類：

1. 溶膠-凝膠法(Sol-Gel)

有機矽烷氧化合物經由水解、縮合後形成不同型態之奈米粒子塗佈於基材上，再以烘乾的方式而形成一粗糙的表面。

2. 有機/無機混成法(Organic/Inorganic Hybrid)

將有機材料與無機材料以適當比例下混合，可形成一均勻的溶液，經由塗佈於基材後，利用製程控制造成相分離來製造粗糙面，或是利用高溫鍛燒將有機物分解移除，無機物與基材經高溫反應後可形成一多孔性(Porous)結構，而得超疏水薄膜。

3. 電化學法(Electrochemistry)

電鍍法為一種電解過程，此法將提供鍍層金屬的金屬片置於陽極，被鍍物作用則置於陰極，陽極與陰極間輸入電壓後，陽極金屬靶材經電解為金屬離子及電子，電解液中的金屬離子會被陰極吸引，表面會形成一氧化金屬粗糙面。

4. 壓印法(Embossing)

以具有圖案之滾筒或平版模版壓覆於基材上，經加熱、脫模、冷卻過程後即可得均一、規則排列之粗糙面，此法多用於較

精密之光學儀器表面處理上。

5. 有機高分子相分離法(Polymer Phase Separation)

利用高分子本身的性質，當外力作用(如溫度降低、非溶劑的導入、溶劑揮發等)時會使得高分子之溶解度下降而析出，造成相分離現象，因而獲得粗糙表面。

6. 模板法(Template)

將所製備之前驅物倒入排列整齊之多孔性模板(如氧化鋁薄膜)，改變溫度、壓力等變因將前驅物固化成一根根排列整齊的條狀物而形成超疏水薄膜。

上述製備方式，可成功的製備出高粗糙度的表面，但需繁雜的操作程序外且價格高昂，不利大面積鍍膜需求，因此溶膠-凝膠法(Sol-Gel)製備方式發展具有優勢。因此以溶膠-凝膠法(Sol-Gel)聚合而成的材料通常分為化學性質、物理性質以及薄膜表面特性等三部分進行研究，因各特性對膜材於 HCPV 透鏡表面表現影響甚鉅，所以本計畫以相關儀器進行分析，量測 HCPV 透鏡表面實驗並進一步探討說明本實驗結果。

這些方式皆可製備出具適當的粗糙度表面，進一步處理即可達到超疏水的境界，為了達到 HCPV 模組自潔防塵目的，本計畫採用多重方式製備薄膜，如溶膠-凝膠法(Sol-Gel)、壓印法(Embossing)來取得所需超疏水薄膜，將其應用於 HCPV 模組上。

二、超疏水硬質薄膜製備

以溶膠-凝膠法(Sol-Gel)製備無機二氧化矽奈米粒子，並將其混入有機高分子 PMMA 中經由塗布於基材後，以期能製備出具

疏水自潔功能之硬質膜。提高 HCPV 模組透鏡上之超疏水薄膜的應用，因此本實驗探討不同單體沉積機制及膜材性質，進而以溶膠-凝膠法(Sol-Gel)在快速簡便的條件下完成 HCPV 模組透鏡上製備超疏水薄膜。一般常見的有機高分子與無機混合材料的方式下列幾種：(1) 二氧化矽奈米顆粒在聚合物單體中進行原位聚合。(2) 二氧化矽奈米顆粒與聚合物混合。(3) 二氧化矽預聚物在單體中進行溶膠-凝膠作用。(4) 二氧化矽預聚物在聚合物中進行溶膠-凝膠作用。本研究採用第 2 種方式，先在外圍進行溶膠-凝膠法生成二氧化矽奈米顆粒後再與聚合物混合進行塗布以製備疏水硬質膜。

利用四乙氧基矽烷、醇類及水在酸性環境下進行溶膠-凝膠法，經水解、縮合反應後所產生之二氧化矽奈米顆粒可與 3-(三甲氧基甲硅烷基)丙基丙烯酸酯(MSMA)產生鍵結以提高無機二氧化矽奈米顆粒與有機高分子 PMMA 之偶合能力，添加三甲基乙氧基硅烷(TMES)與二氧化矽奈米顆粒產生鍵結將二氧化矽表面之羥基進行封端反應以避免顆粒之間彼此聚集成長。將二氧化矽溶液與聚合物混合後以旋轉塗布方式塗布於光學塑膠元件 PMMA 透鏡上，並在不同矽烷種類與矽烷含量等實驗參數的變化對 PMMA 基材表面所造成的影響進行探討。在儀器分析方面，藉由 DLS 測量二氧化矽顆粒在溶液中的尺寸變化、接觸角測量儀測量薄膜表面之接觸角、UV/Vis 量測薄膜之穿透度、鉛筆硬度機量測薄膜表面之硬度。

為了使硬質膜具備高透光、高硬度與輸水自潔表面等特點，於實驗中利用添加無機二氧化矽顆粒以提升 PMMA 透鏡硬度防

止沙塵刮傷，並且需要 100 奈米尺寸以下顆粒，減少阻礙光線穿透進而維持高透光度，最後將二氧化矽顆粒進行表面改質，以獲得疏水性質。

溶膠-凝膠法製備疏水硬質膜之製備流程如圖 1 所示

步驟如下：

配置矽烷：異丙醇=1：10 (莫耳比) 之反應溶液。

加入 0.1M 濃鹽酸使矽烷：水=1：4 (莫耳比)。

置於室溫下攪拌反應 3 小時。

加入不同比例之 3-(三甲氧基甲硅烷基)丙基丙烯酸酯(MSMA)。

加入不同比例之三甲基乙氧基硅烷(TMES)。

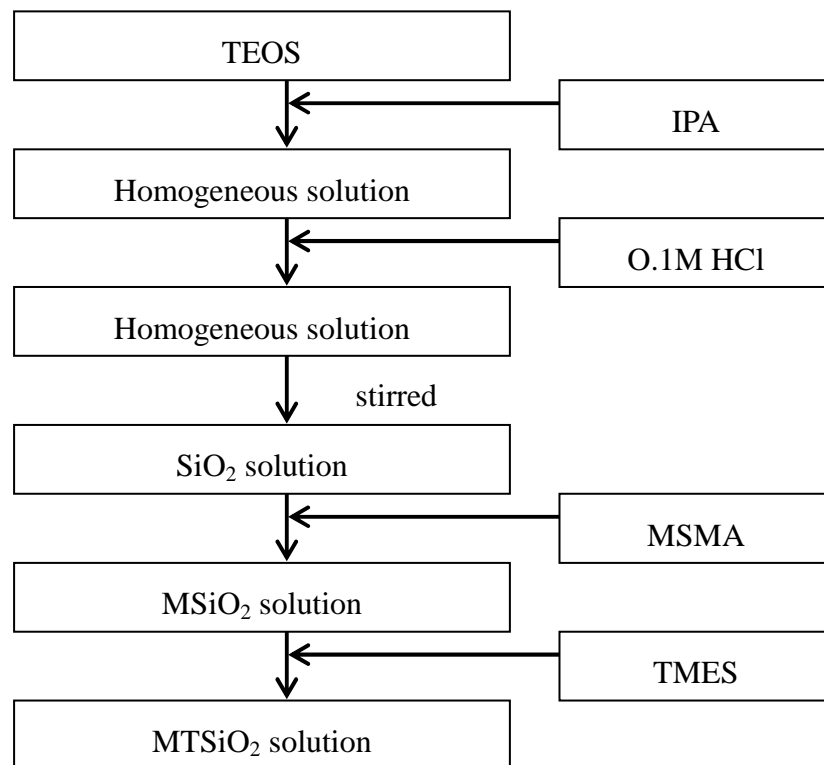


圖 1：溶膠-凝膠法製備疏水硬質膜之製備流程

溶液聚合法製備疏水硬質膜之製備流程如圖 2 所示

步驟如下:

製備轉化率 5% 之甲基丙烯酸甲酯(MMA)溶液。

取同克數之改質後二氧化矽溶液與高分子溶液混合，於 80°C 下攪拌 30 分鐘。

取適量混合液體滴於 PMMA 基材上，利用旋轉塗佈機均勻塗佈。

將塗布後之基材置於 100°C 下反應 2 小時。

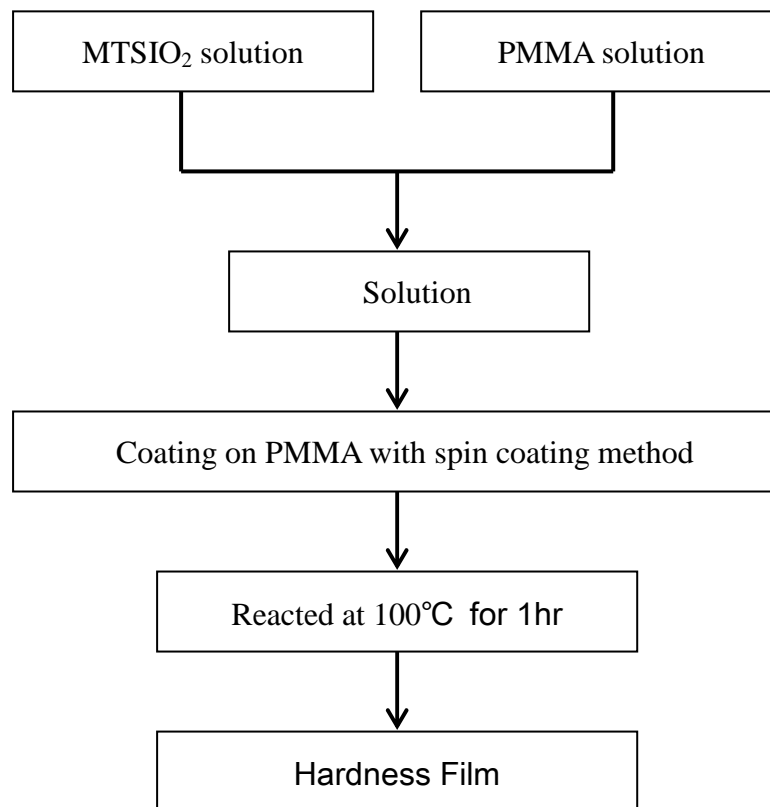


圖 2：溶液聚合法製備疏水硬質膜之製備流程

(3)不同矽烷對二氧化矽粒徑之影響(表 1)

由 DLS 可以測得不同矽烷比例下二氧化矽顆粒粒徑約為 6 奈米以下，表示二氧化矽表面經改質過後能有效控制粒徑成長。

表 1 . 矽烷對二氧化矽粒徑之影響

TIME	TEOS	MSMA	TMES	N-ave
24hr	1	0	0	5.268
24hr			0.25	1.129
24hr			0.67	2.209
24hr			1.5	2.728
24hr	1	0.11	0	6.966
24hr			0.25	2.092
24hr			0.67	1.464
24hr			1.5	1.723
24hr	1	0.22	0	5.739
24hr			0.25	3.807
24hr			0.67	3.225
24hr			1.5	0.794
24hr	1	0.33	0	2.613
24hr			0.25	0.854
24hr			0.67	1.758
24hr			1.5	0.824
24hr	1	0.44	0	2.804
24hr			0.25	1.248
24hr			0.67	1.513
24hr			1.5	1.847

(4)不同矽烷對薄膜表面接觸角之影響

在溶膠-凝膠法中不同矽烷的物性是影響薄膜疏水差異的重要原因。未經塗布的 PMMA 基材接觸角為 70° ，在固定 MSMA 比例下可以得知隨著 TMES 莫耳比從 0、0.25、0.67 至 1.5，其接觸角逐漸增加至 110° ，此乃因 TMES 單體帶有三個甲基，甲基為疏水官能基，因此隨著 TMES 添加量的增加，可以提高膜之疏水性，因而增加了膜之接觸角。但在固定 TMES 比例下，可以得知隨著 MSMA 莫耳比從 0.11、0.22、0.33 至 0.44，其接觸角變化不大(表 2)。這也是因為 MSMA 單體本身雖具有一反應性官能基(烯基)，但整體 MSMA 具有極性，因此無法有效提升其疏水性，即無法提升所製備膜之接觸角。綜上所述，可見 TMES 為主要影響接觸角之因素。

表 2. 矽烷對薄膜表面接觸角之影響

TEOS	MSMA	TMES	θ
1	0	0	77.5
		0.25	95.3
		0.67	100.5
		1.50	111.7
	0.11	0	77.5
		0.25	91.6
		0.67	99.2
		1.50	108.9
	0.22	0	80
		0.25	90.1
		0.67	101.7
		1.50	110
	0.33	0	78.1
		0.25	96.5
		0.67	101.8
		1.50	109.6
	0.44	0	79.4
		0.25	94.8
		0.67	103.2
		1.50	108.8

(5)不同矽烷對薄膜硬度之影響:

在溶液聚合法中二氧化矽顆粒在分子溶液中其分散性是影響薄膜硬度差異的重要原因，當二氧化矽顆粒於溶液中分散越好越能使薄膜表面均勻塗佈使得平均硬度上昇。未經塗佈的 PMMA 基材硬度為 4~5H，在未添加 TMES 下隨著 MSMA 的莫耳比從 0、0.11、0.22、0.33 至 0.44，硬度可由 5H 逐漸提升至 8H 仍然保有疏水能力，可見 MSMA 本身所具有之反應性官能基烯基，可有效參與反應提升膜之硬度。

另外，在系統中添加 TMES，隨著 TMES 添加比例增加，在適當之 MSMA 添加量時，仍可提升膜之硬度。因此可知添加適當量之 MSMA 與 TMES，不僅可以提升膜之硬度同時也可保有疏水性。

(6)不同矽烷對薄膜穿透度之影響:

在溶膠-凝膠法與溶液聚合法中二氧化矽顆粒粒徑的控制是影響可見光穿透薄膜時的重要影響因素，當二氧化矽顆粒聚集成長至 100 奈米時就會嚴重干涉可見光的穿透度。尚未塗佈的 PMMA 基材其穿透度約為 92%，在固定 TMES 量的比例下，MSMA 莫耳數比較少的情況下時，其光的穿透性相對較差，是因為 MSMA 為控制二氧化矽奈米顆粒分散性的主因；在固定 MSMA 比例下可以得知隨著 TMES 莫耳比從 0、0.25、0.67 至 1.5，其可見光穿透度會略微下降，但仍有 90~92%的穿透度，可以得知經表面改質過的二氧化矽奈米顆粒粒徑得到良好控制並且於高分子溶液中亦有良好分散性。

三、超疏水硬質薄膜之 HCPV 模組發電功率測量

下圖 3、4 為本研究使用搭配模組量測系統(PVPM 1000C40)與太陽光模擬系統來記錄 HCPV 模組的發電功率(P)、開路電壓(Voc)、閉路電流(Isc)、填充因數(FF)等參數。

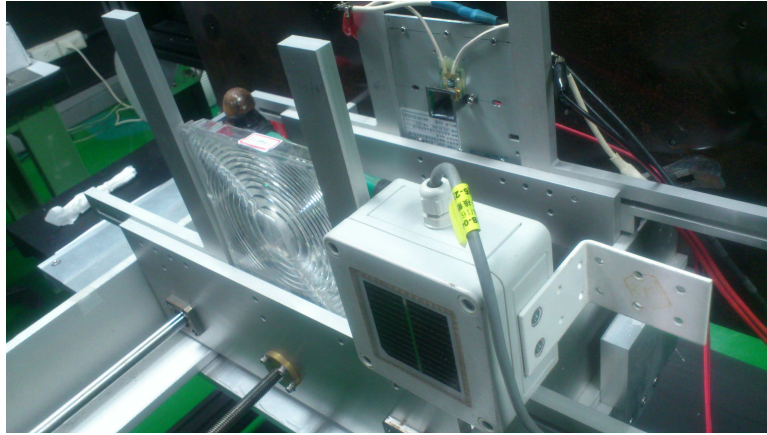


圖 3：HCPV 發電單一模組效率測量



圖 4：PVPM 發電效率測量系統

參、主要發現與結論

本計畫是以觀察與測量這一年的氣候變遷，來為了以後如果太陽能電池要進入台東，甚至離島發展的先前研究工作，以系統上來看除了上述幾個問題之外，沿海地區鹽害的部分可能也會有所影響，至於影響系統運作的大小，主要是材料問題，如果 HCPV 系統材料抗腐蝕性高的話，那麼太陽能發電系統將有比較長的壽命，相對來講，如果無法有效抵抗鹽害的話，預計可能系統上的材料消耗損壞速度會比較快，甚至會影響傳輸與整個系統的問題，所以沿海地區的鹽害也是要多加注意。

一、HCPV 模組發電量與效能分析

因此本研究發現，一整年太陽日照度變化的極大，加以統計每月的平均日照度。台東夏季氣候清晨濕度較高，至上午 9 時隨氣溫上升穩定介於 70~75% 波動；白天氣溫穩定偏高，但 DNI 有震盪的變化，中午過後雲量偏多甚至下起雷陣雨；為臺東地區夏季的典型氣候。HCPV 發電模組之發電效率受氣候影響。由圖 5 可發現，聚光型太陽能模組經長時間的戶外架設實驗，模組效能略為下降，下降幅度約為原模組效能的 2~4 個百分比。(圖 5)

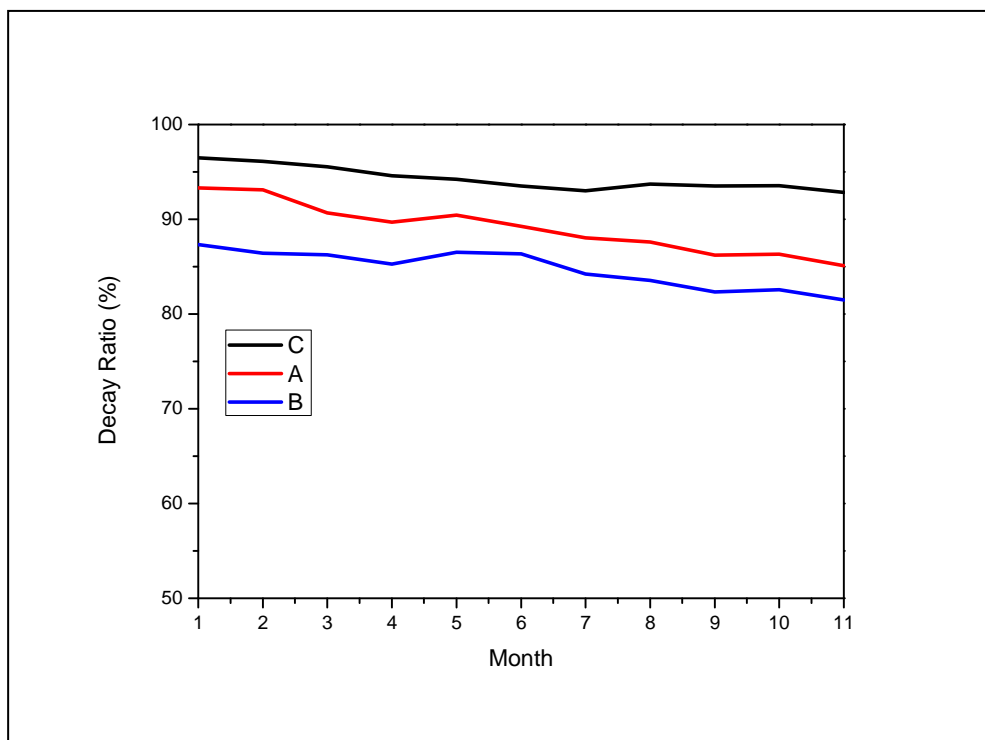


圖 5： HCPV 模組發電效能分析

二、HCPV 模組設置地點之氣象測量

HCPV 太陽能發電模組將東部地區氣象資料，透過實驗測量、長期追蹤、收集並整理這些環境溫度、環境相對濕度、太陽直射日照、風速及風向等數據進行分析。

(一)日照量與溫濕度資料分析

台東地區架設一高聚光型太陽能發電系統，將台東架設太陽能電池的日平均發電量與年平均發電量進行研究，也針對台東地區進行日照量以及照強度進行探討，台東相較於其他西部地區而言，夏天相對性的炎熱，太陽也比較大，所以如清楚了解台東的日照，對於台東發展高聚光型太陽能電池是有著相對性的優勢。

為架設於本校語教大樓樓頂的 HCPV 模組，同時配置一組簡易氣象站，如圖 6 所示，透過實驗測量、長期追蹤、收集並整理這些環境溫度、環境相對濕度、太陽直射日照、風速及風向等數據。



圖 6：HCPV 模組及簡易氣象站

(二) 臨海鹽害的觀察

由於台東鄰近海岸我們也探討鹽害是否會對高聚光太陽能電池的發電量或者整個系統有所影響，或者架設在相關離島上，如:台東綠島發展太陽能電池的潛力，它的潛力在哪，以及它的優勢，當然綠島四面環海，如果 HCPV 使用年限會因為鹽分而有了嚴重影響，其對於台東甚至離島地區所有的發展都有相當大的不利，這可能就是之後沿海地區所要面臨到的困難了，所以當高聚光型太陽能發電系統在面對沿海地區時，HCPV 系統支架、模組之透鏡表面、直-交流電能轉換系統、散熱膜熱傳導效應、傳動系統運作等等，研究各部件功能與表面防護材料是否會因此而有所差異，或者如果有所影響是否可以有更好的替代材料。

(三) 探討季風與颱風的影響

除了以上兩點由於台灣位於中低緯度上而且春夏秋三個季節，可能面臨梅雨季以及颱風的問題，而台東又有所謂焚風和沙塵暴，如果台東要發展高聚光型太陽能電池發電要面對許多難題，我們也觀察上述幾點紀錄並觀察，對於高聚光太陽能電池的影響做研究探討，而台東地區的沙塵暴也是因為沙土無法留住，被沖刷停留在河床上，夏天強風一到整個台東市就被沙塵給瀰漫了。下圖 7 為臺東縱谷地區衛星空照圖。



圖 7：臺東縱谷地區衛星空照圖

(四) 氣候資料分析探討季風與颱風的影響

HCPV 太陽能發電模組將東部地區氣象資料，透過實驗測量、長期追蹤、收集並整理這些環境溫度、環境相對濕度、太陽直射日照、風速及風向等數據進行分析。

1.平均氣溫與降雨天數

由中央氣象局查詢 2012~2013 年高雄與臺灣東部三縣的每月平均溫度，從表中呈現臺灣東部三縣冬季受東北季風影響，氣溫由北而南遞增，各地均溫較無明顯差異。

另外在中央氣象局公開 1981-2012 年的氣候資料當中，臺東地區的年平均降雨天數均比宜蘭、花蓮少上 17.23%~36.34%，深具發展 HCPV 太陽能發電的潛力。如圖 8 所示，統計 2012~2013 年，高雄地區僅梅雨及颱風季節有明顯降雨天數增加，而臺灣東部三縣均累計有 125~140 天以上降水量大於 0.1mm 的降雨天數，倘若考量臺灣東部用電供需較低，太陽能發電仍有其發展空間。

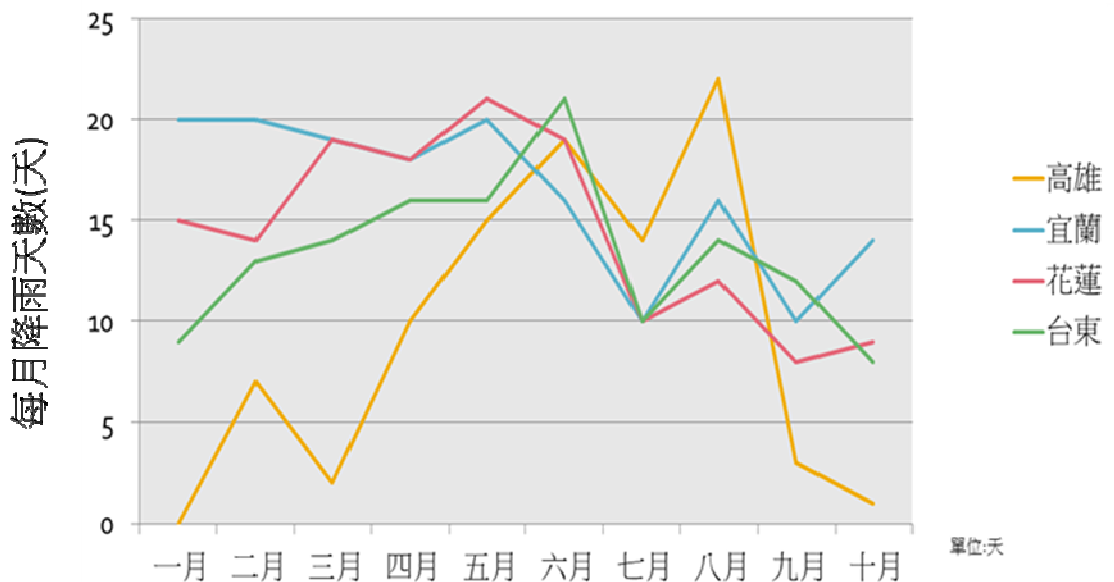


圖 8：高雄與臺灣東部三縣每月降雨天數統計

2.日照時數

2012~2013 年高雄與臺灣東部三縣每月的日照時數作為安置太陽能的參考，理論上白天晴朗時數越高，相對的太陽能板可吸收的能量會隨之而提高許多，但考慮到其他的問題，譬如說遮蔽，雲層的厚度、大小以及太陽漂流的方向，都是影響日照時間的長短因素。(圖 9)

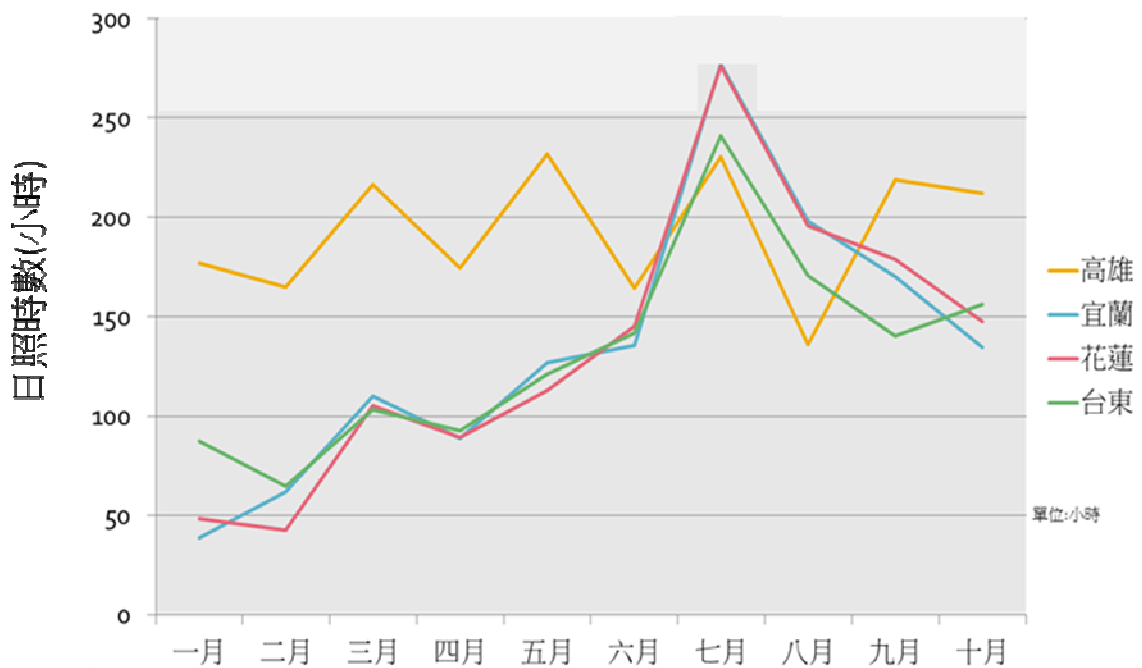


圖 9：高雄與臺灣東部三縣每月日照時數統計

3.空氣懸浮微粒濃度

每逢颱風或東北季風吹襲時，卑南溪從最北的池上鄉南至臺東市的出海口，乾涸裸露的河床就會被風揚起飛沙走石，臺東縱谷和臺東市區整個籠罩遮天蔽日，即臺東地區特有的沙塵暴現象。空氣品質監測資料整理，如圖 10 為 2012~2013 年高雄與臺灣東部三縣每月平均懸浮微粒在 10 微米 (PM₁₀) 以下

之粒狀污染物的濃度，臺東地區 PM_{10} 平均數值落在 $20\sim 35\mu g/m^3$ 之間，能見度均在 15km 以上，每年 10 月起受東北季風的影響明顯開始爬升突破至 $43\mu g/m^3$ 。

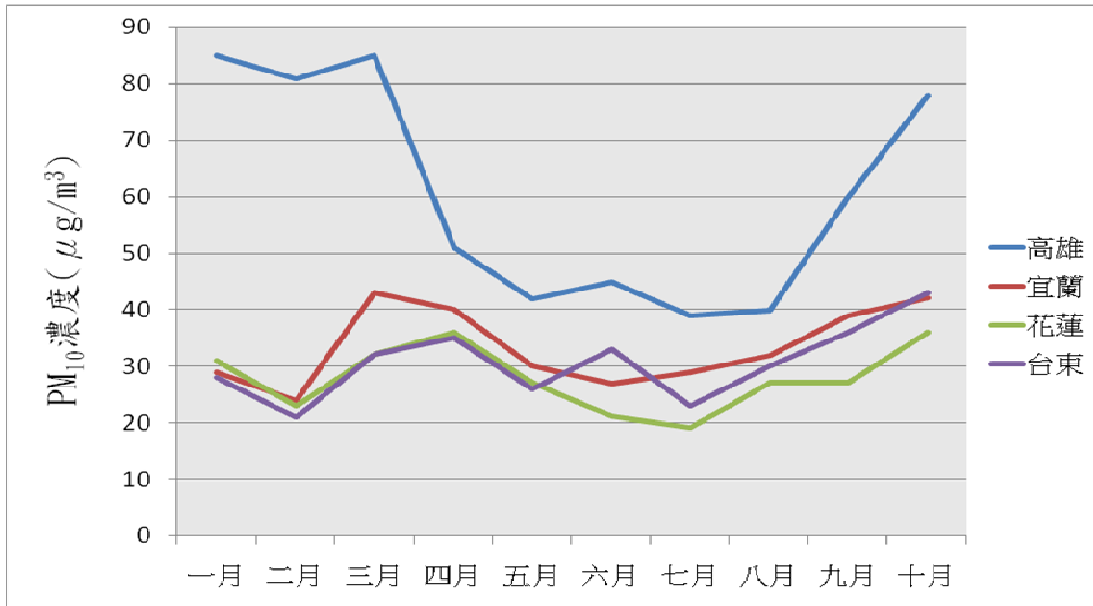


圖 10：高雄與臺灣東部三縣 PM_{10} 每月平均濃度

4. 東北季風引起沙塵暴的影響

下圖 11 則為 2012~2013 年期間來自中國的沙塵及東北季風揚塵，影響臺東地區空氣懸浮微粒上濃度最高至 $88\mu g/m^3$ ，以及連續三日影響 DNI 的趨勢，如圖 12 所示。沙塵是造成大氣微浮粒子驟升而降低 HCPV 發電模組效能低落的重要因子。

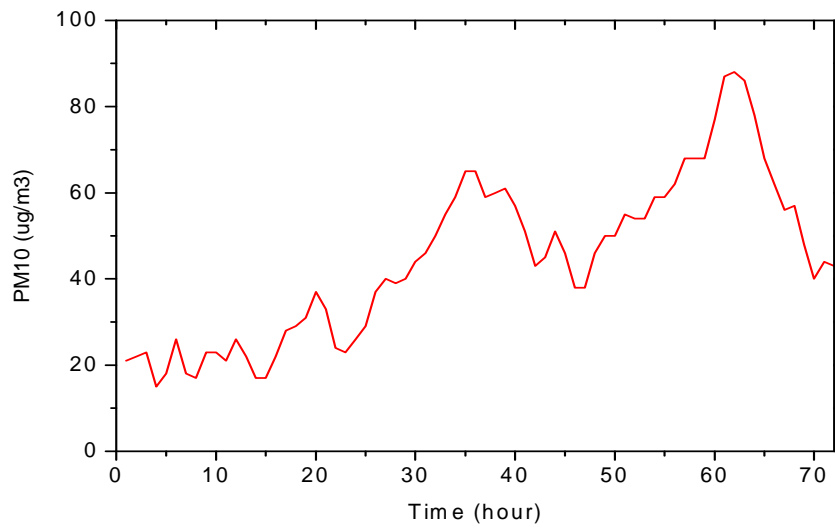


圖 11：空氣懸浮微粒上濃度變化

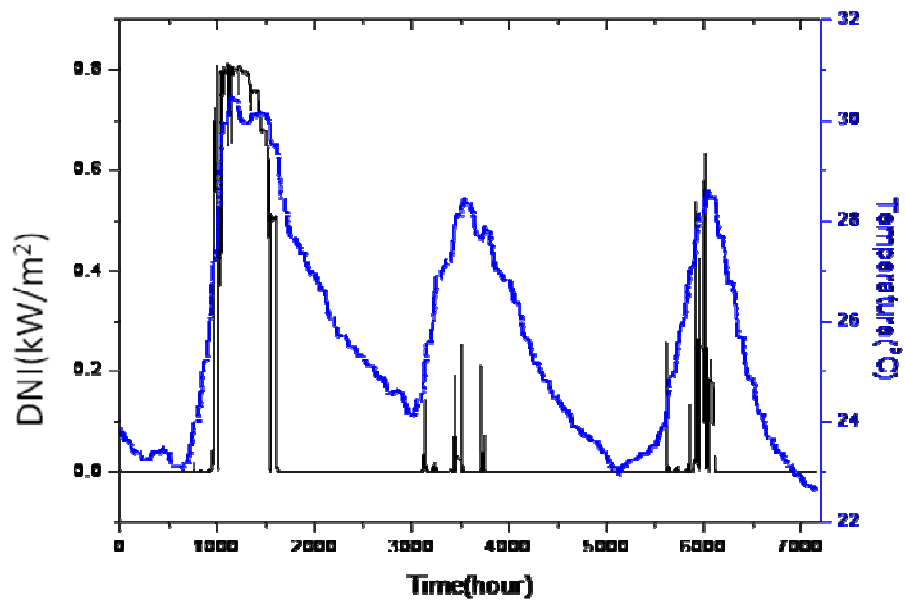


圖 12：沙塵暴效應下之 DNI 日照紀錄

三、超疏水硬質薄膜

為了減少沙塵對 HCPV 模組所造成的傷害，降低了 HCPV 發電模組效能，將於 HCPV 模組上進行疏水硬質膜之研究，在本研究中對於高分子基材(PMMA)上進行硬質疏水膜沉積，在適當參數下製備出優良機械性質之硬質疏水保護膜，進而提高聚光鏡(PMMA)為材料的表面機械性質。

藉由膜材化學及物理分析結果，並進一步的對材料硬度與膜材黏著力以及透明性進行有系統的研究探討。製備出硬質疏水薄膜，用來保護 HCPV 聚光模組材料以增進其抵抗惡劣環境(沙塵暴、鹽霧或紫外線傷害)的應用範圍，作為高聚光發電系統模組於東部地區戶外環境效能測試之參考依據，而後進行國際驗證系統(IEC62108)之環境影響因子的參考。

以溶膠-凝膠法(Sol-Gel)製備無機二氧化矽奈米粒子，並將其混入有機高分子 PMMA 中經由塗布於基材後，製備出具疏水自潔功能之硬質膜。製備疏水硬質膜於 PMMA 透鏡之研究。利用四乙氧基矽烷、醇類及水在酸性環境下進行溶膠-凝膠法經水解、縮合反應後所產生之二氧化矽奈米顆粒可與 3-(三甲氧基甲硅烷基)丙基丙烯酸酯(MSMA)產生鍵結以提高無機二氧化矽奈米顆粒與有機高分子 PMMA 之偶合能力，添加三甲基乙氧基硅烷(TMES)與二氧化矽奈米顆粒產生鍵結將二氧化矽表面之羥基進行封端反應以避免顆粒之間彼此聚集成長。將二氧化矽溶液與高分子混合後以旋轉塗布方式塗布於光學塑膠元件 PMMA 透鏡上，並在不同矽烷種類與矽烷含量等實驗參數的變化對 PMMA 基材表面所造成的

影響進行探討。在儀器分析方面，藉由 DLS 測量二氧化矽顆粒在溶液中的尺寸變化、接觸角測量儀測量薄膜表面之接觸角、UV/Vis 量測薄膜之穿透度、鉛筆硬度機量測薄膜表面之硬度。

(一)不同矽烷對薄膜表面接觸角之影響

在溶膠-凝膠法中不同矽烷的物性是影響薄膜疏水差異的重要原因。未經塗布的 PMMA 基材接觸角為 70° ，在固定 MSMA 比例下可以得知隨著 TMES 莫耳比從 0、0.25、0.67 至 1.5，其接觸角逐漸增加至 110° ，此乃因 TMES 單體帶有三個甲基，甲基為疏水官能基，因此隨著 TMES 添加量的增加，可以提高膜之疏水性，因而增加了膜之接觸角。但在固定 TMES 比例下，可以得知隨著 MSMA 莫耳比從 0.11、0.22、0.33 至 0.44，其接觸角變化不大(圖 13)。這也是因為 MSMA 單體本身雖具有一反應性官能基(烯基)，但整體 MSMA 具有極性，因此無法有效提升其疏水性，即無法提升所製備膜之接觸角。綜上所述，可見 TMES 為主要影響接觸角之因素。(圖 14)

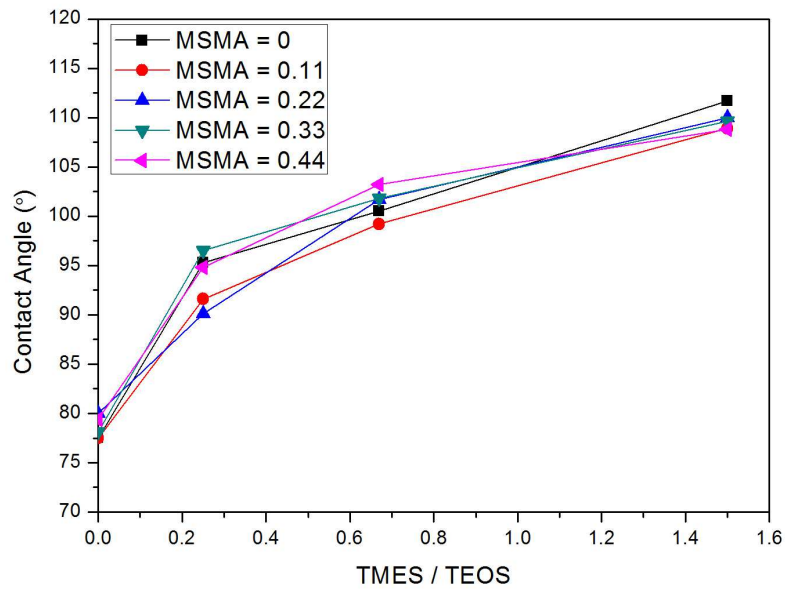


圖 13：矽烷對薄膜表面接觸角之影響

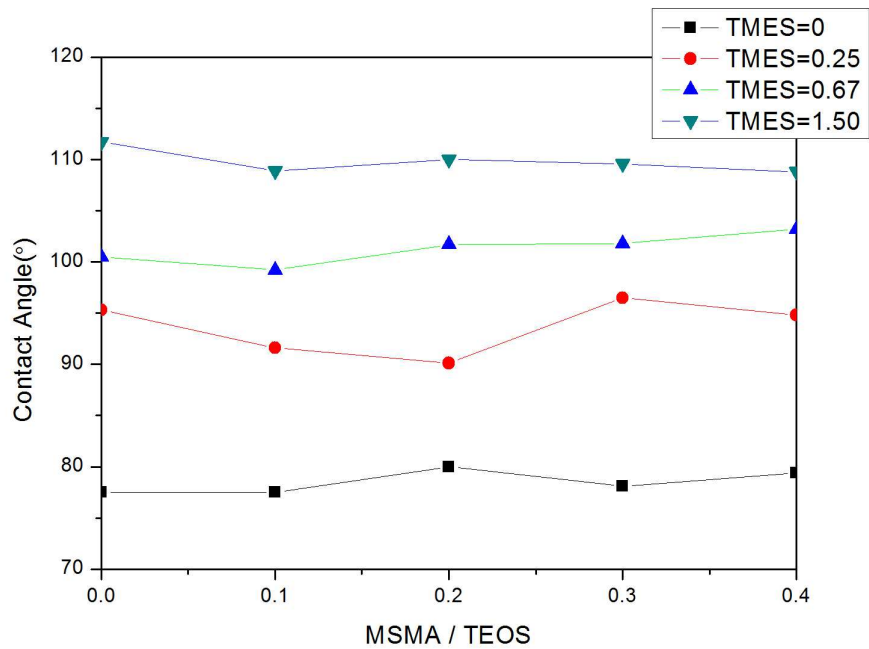


圖 14：TMESm3 與接觸角之關係

(二)不同矽烷對薄膜硬度之影響

在溶液聚合法中二氧化矽顆粒在聚合物溶液中其分散性是影響薄膜硬度差異的重要原因，當二氧化矽顆粒於溶液中分散越好越能使薄膜表面均勻塗佈使得平均硬度上昇。未經塗佈的 PMMA 基材硬度為 4H，在未添加 TMES 下隨著 MSMA 的莫耳比從 0、0.11、0.22、0.33 至 0.44，如圖 15 所示，硬度可由 5H 逐漸提升至 8H 仍然保有疏水能力，可見 MSMA 本身所具有之反應性官能基烯基，可有效參與反應提升膜之硬度。另外，在系統中添加 TMES，隨著 TMES 添加比例增加，在適當之 MSMA 添加量時，仍可提升膜之硬度。因此可知添加適當量之 MSMA 與 TMES，不僅可以提升膜之硬度同時也可保有疏水性。

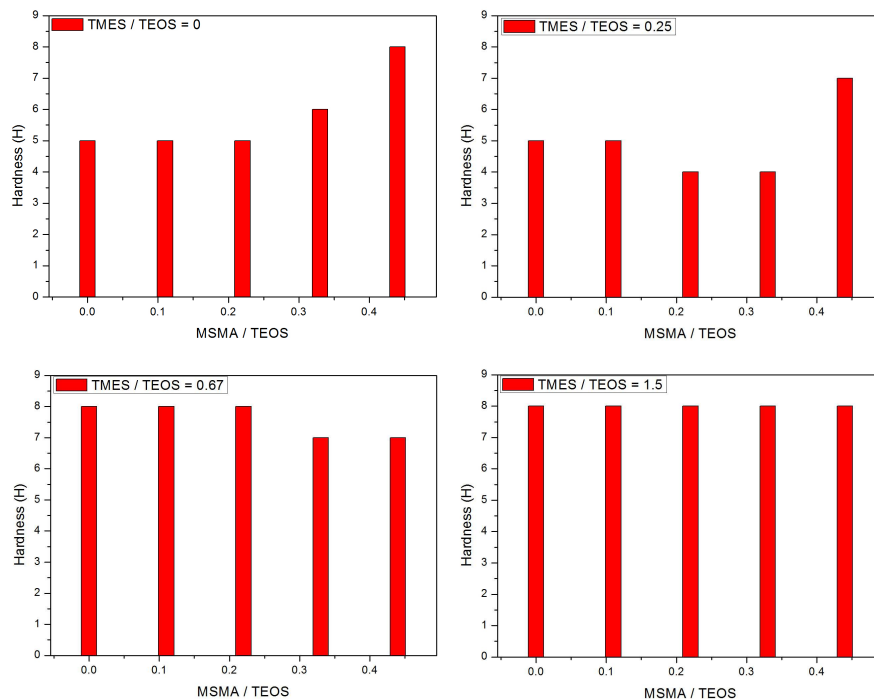


圖 15：矽烷比例對薄膜硬度之影響

(三)不同矽烷對薄膜穿透度之影響

在溶膠-凝膠法與溶液聚合法中二氧化矽顆粒粒徑的控制是影響可見光穿透薄膜時的重要影響因素，當二氧化矽顆粒聚集成長至 100 奈米時就會嚴重干涉可見光的穿透度。尚未塗布的 PMMA 基材其穿透度約為 92%，在固定 TMES 比例下，MSMA 莫耳比較少的情況下時穿透度會相對較差，是因為 MSMA 為控制二氧化矽奈米顆粒分散性的主因；在固定 MSMA 比例下可以得知隨著 TMES 莫耳比從 0、0.25、0.67 至 1.5，其可見光穿透度會略微下降，但仍有 90~92% 的穿透度(圖 16)，可以得知經表面改質過的二氧化矽奈米顆粒粒徑得到良好控制並且於高分子溶液中亦有良好分散性。

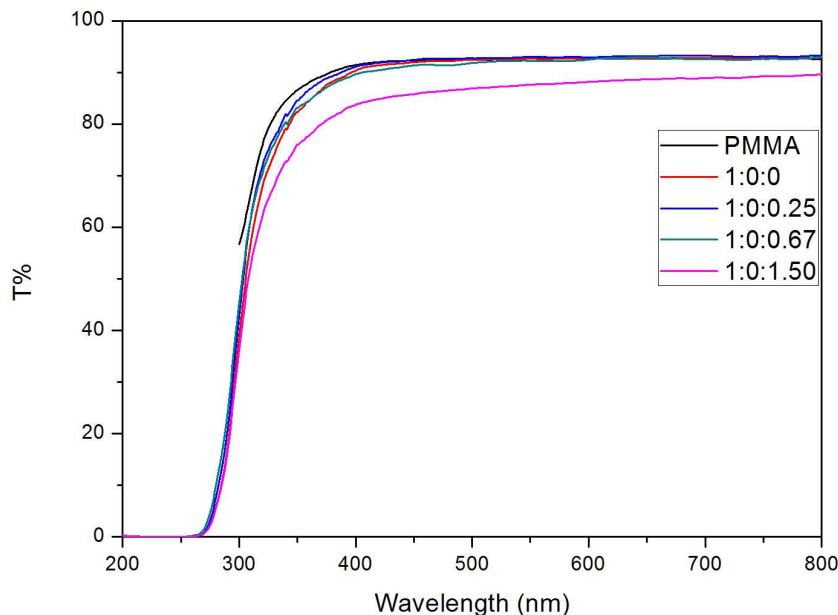


圖 16：矽烷比例與薄膜穿透率

四、結論與建議

HCPV 太陽能發電模組將東部地區氣象資料，透過實驗測量、長期追蹤、收集並整理這些環境溫度、環境相對濕度、太陽直射日照、風速及風向等數據進行分析。臺東地區氣候極端，適合做為 HCPV 太陽能發電系統與模組戶外驗證場域。HCPV 模組在臺灣東部的發展，現階段實驗仍備受挑戰。

1.本研究的戶外實驗驗證過程發現 HCPV 模組受天候腐蝕故障的現象嚴重，可做為高聚光發電系統長期戶外驗證參考依據，改善未來 HCPV 模組系統設計與建設參考。

2.接續研究 HCPV 模組長期在戶外受風沙、鹽害的控制實驗，作為 IEC62108 驗證程序與項目之長期戶外觀測與驗證場域之研究。

3.以溶膠-凝膠法(Sol-Gel)製備無機二氧化矽奈米粒子，並將其混入有機高分子 PMMA 中經由塗布於基材後，製備出具疏水自潔功能之硬質膜，可應用於高聚光太陽能模組上。

4.在溶膠-凝膠法中不同矽烷的物性是影響薄膜疏水差異的重要原因。未經塗布的 PMMA 基材接觸角為 70° ，在固定 MSMA 比例下可以得知隨著 TMES 莫耳比從 0、0.25、0.67 至 1.5，其接觸角逐漸增加至 110° ，此乃因 TMES 單體帶有三個甲基，甲基為疏水官能基，因此隨著 TMES 添加量的增加，可以提高膜之疏水性，因而增加了膜之接觸角。綜上所述，TMES 為主要影響接觸角之因素。

5.在溶液聚合法中二氧化矽顆粒在聚合物溶液中其分散性是影響

薄膜硬度差異的重要原因，當二氧化矽顆粒於溶液中分散越好越能使薄膜表面均勻塗佈使得平均硬度上昇。未經塗佈的 PMMA 基材硬度為 3H，在未添加 TMES 下隨著 MSMA 的莫耳比從 0、0.11、0.22、0.33 至 0.44，硬度可由 5H 逐漸提升至 8H 仍然保有疏水能力，MSMA 本身所具有之反應性官能基烯基，可有效參與反應提升膜之硬度。系統中添加 TMES，隨著 TMES 添加比例增加，在適當之 MSMA 添加量時，仍可提升膜之硬度。因此可知添加適當量之 MSMA 與 TMES，不僅可以提升膜之硬度同時也可保有疏水性。

6.在溶膠-凝膠法與溶液聚合法中二氧化矽顆粒粒徑的控制是影響可見光穿透薄膜時的重要影響因素，當二氧化矽顆粒聚集成長至 100 奈米時就會嚴重干涉可見光的穿透度。固定 MSMA 比例下可以得知隨著 TMES 莫耳比從 0、0.25、0.67 至 1.5，其可見光穿透度會略微下降，但仍有 90~92%的穿透度，可以得知經表面改質過的二氧化矽奈米顆粒粒徑得到良好控制並且於高分子溶液中亦有良好分散性。

肆、参考文献

- 1.R.E. Welser, Sol. Energy Mater.& Sol. Cells 36(1995) 349-356.
- 2.<http://www.spectrolab.com>.
- 3.Araki, K., Kondo, M., Uozumi, H., Ekins-Daukes, N.J., Yamaguchi, M., in press. M., Packaging III–V tandem solar cells for practical terrestrial applications achievable to 28% of module efficiency by conventional machine assemble technology. Solar Energy Mater. Solar Cells.
- 4.Bett, A.W., Baur, C., Dimroth, F., Lange, G., Meusel, M., van Riesen, S., Siefer, G., Andreev, V.M., Romyantsev, V.D., Sadchikov, N.A., 2003. FLATCONTM-modules: technology and characterisation. In: Proceedings of the 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan. p. 634.
- 5.Brown, M.R., Goldhammer, L.J., Goodelle, G.S., Lortz, C.U., Perron, J.N., Powe, J.S., Schwartz, J.A., Cavicchi, B.T., Gillanders, M.S., Krut, D.D., 1997. Characterization testing of dual GaInP₂/GaAs/Ge solar cell assemblies. In: Proceedings of the 26th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Anaheim, USA. IEEE, New York, p. 805.
- 6.Dimroth, F, Baur, C., Meusel, M., van Riesen, S., Bett, A.W., 2003. 5-Junction III–V solar cells for space applications. In: Proceedings of the 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan. p. 616.
- 7.Fan, J.C.C., Tsaur, B-Y., Palm, B.J., 1982. Optimal design of high-efficiency tandem cells. In: Proceedings of the 16th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, USA. IEEE, New York, p. 692.
- 8.Gomyo, A., Suzuki, T., Kobayashi, K., Kawata, S., Hino, I., Yuasa, T., 1987. Evidence for the existence of an order state in Ga_{0.5}In_{0.5}P grown by metalorganic vapor-phase epitaxy and its relation to band-gap energy. Appl. Phys. Lett. 50, 673.