

行政院原子能委員會
委託研究計畫研究報告

電漿技術應用於高阻氣層鍍膜特性研究
The application of Plasma on Gas Barrier Coatings

計畫編號：992001INER030

受委託機關(構)：國立高雄應用科技大學

計畫主持人：艾和昌 教授

核研所聯絡人員：蔡丁貴

聯絡電話：(07) 3814526 # 2700

E-mail address：herchang@cc.kuas.edu.tw

報告日期：2010.12.13

目 錄

中文摘要	1
英文摘要	2
壹、計畫緣起與目的	3
貳、研究方法與過程	7
一、太陽電池焊接製程測試	8
(一)焊接測試	8
(二)拉力測試	10
二、太陽電池模組封裝測試	11
(一)電性隔離(isolation)測試	11
(二)透水率測試	13
(三)熱壓封裝測試	14
參、結果與討論	15
一、焊接製程測試結果	15
二、封裝製程實驗結果	17
(一)電性隔離測試實驗結果	17
(二)透水性實驗結果	23
肆、結論	26
伍、參考文獻	28

電漿技術應用於高阻氣層鍍膜特性研究
The application of Plasma on Gas Barrier Coatings
(計畫編號：992001INER030)

艾和昌 楊武璋 黃韋泓 賴秋男 劉維軒

國立高雄應用科技大學 應用工程科學研究所

摘要

配合軟性產品如智慧卡、可撓式電子書、太陽電池等可撓式顯示器及相關產品之基材需求，傳統的玻璃基板在輕量化、薄形化及可撓曲性已無法滿足其要求，造就可撓曲性基材成為現今最佳替代產品。如何讓可撓性基材擁有可撓曲性且具太陽能發電功能，亦為本研究主要課題。本計畫係在不鏽鋼基材太陽電池層壓封裝一層阻氣層，以期達到最佳的阻水氣效果，並將具發電特性做後續產品開發應用。

本研究藉太陽電池焊接與封裝製程技術，針對不鏽鋼基材太陽電池直接進行太陽電池串接，並將串接後太陽電池串試件置入量產型真空熱壓機進行層壓封裝，試件所需材料之疊層順序由下至上，依序為背板、EVA、不鏽鋼太陽電池串、EVA、高透光表層的五層夾心結構，讓封裝後的太陽電池模組具有絕緣性及良好的抗候性，除具可撓特性亦可延長其使用壽命。

Abstract

Meeting the requirements of flexible products such as Smart Cards, flexible E-Books and photovoltaic cells is not enough for glass substrates in lightness, thinness and flexibility. The purpose of this study is how to achieve the substrates with flexibility and to generate the solar power. This project is going to use a stainless substrates cover by the gas barrier layer with solar power in order to optimize the prevention of water vapor. Also, it will use those characteristics for further application and development.

This study will use the latest technology of photovoltaic welding and encapsulation process to connect the productive solar cells in series on stainless steel substrates. The string of solar cells puts into a laminator for laminating and encapsulating. The materials of the module, from bottom to top, follow by the back sheet, EVA, stainless steel solar cell in series, EVA and high transparent film, the five layers constitute a solar module structure. Therefore, the solar modules with encapsulated insulation resistance and good anti-climate are not the only characteristics but also with the flexible feature and longer service life.

壹、計畫緣起與目的

當今市面上林林總總的消費性電子產品，已擺脫過去給人方方正正的舊有印象，更多的產品設計者希望能以多變而新穎的造型來吸引消費者，而這也增加各類電子產品的設計自由度，因此，眾多廠商積極投入可撓性基材(如塑膠或金屬薄板)之軟性電子 (Flexible Electronics) 技術研發。近期蔚為風潮的太陽電池也正逐步往軟性、可撓性等方向發展。

可撓式太陽電池是將薄膜太陽電池成長於可撓性基材上，因薄膜式太陽電池只需使用較少的光電材料，相較於矽晶太陽電池必須維持一定厚度而言，不僅使用的材料非常少，而且薄膜式太陽電池使用軟性基材，具有輕、薄、可彎曲、易攜帶、不易碎裂等應用上的優勢，可發展成為多元化應用的能源產品。從近期的發展來看，可撓式太陽電池可應用在民生消費性產品上，例如：手錶、時鐘、排風扇、燈、充電器、帳篷、玩具等攜帶式電源等，甚至在未來若能與建築物相結合，可用於牆壁、窗簾、遮陽蓬，作為輔助電力。

本計畫受委託單位為國立高雄應用科技大學 (簡稱：高應大) 暨教育部南部太陽能學校，該機構係教育部為落實再生能源研究與教育於高應大設立其所屬之「太陽電池模組製作實驗室」，為全台灣大專院校中唯一具有量產級太陽電池模組生產設備者，相關設備有：太陽電池檢測機、太陽電池切割機、太陽電池焊接機、太陽電池模

組真空熱壓機、太陽電池模組檢測機、太陽電池模組裝框機等。由於多年來與業界合作開發相關產品或材料試驗，對太陽電池串焊與檢測技術、太陽電池模組封裝技術、太陽電池模組檢測技術、太陽電池模組或建材耐候性檢驗技術等已具自有技術並樹立口碑。值得一提的是利用上述設備與技術，自行開發製作8.16 kWp帷幕式建材一體型太陽光電(BIPV)模組發電系統設置於本校再生能源館空中花園上，其太陽電池模組結合帷幕扣件一體封裝技術為本實驗室獨創，該帷幕式模組安裝方便並節省架設時間與架設成本，無框架設計更可方便清洗，另裝設時可調整四邊角度，將模組營造出弧型效果，使發電系統配合景觀藝術造型，既美觀又實用，該系統一年能發電達1.2萬度電，於2008年獲頒我國太陽光電發電系統設置最崇高獎項--「金弈獎」。此外，客製化各式輕質太陽電池模組，其中應用於嘉藤電器公司的海上衛星定位追蹤器使該產品提升國際競爭力，並居世界銷售第二位！今年，亦因成功地串接與封裝砷化鎵太陽電池，並將該技術以750萬授權於禧通科技。

本研究擬藉太陽電池模組製作實驗室的設備及過去開發特殊客製化太陽光電模組的經驗，針對核研所委託開發的新型可撓式太陽電池，依標準太陽電池模組封裝製程，開發出具發電功能之建材，冀望此項創舉能加速我國太陽光電發電系統應用，創造台灣太陽光電中、下游產業未來更具競爭力的應用商品，並促成相關產業得持

續發展。研究計畫主要方向為不銹鋼太陽電池之焊接與封裝技術開發，藉計畫執行，對太陽能電池之焊接技術及學理，進行系統的分析、深入的了解與確切的認知。同時針對模組封裝材料、技術及各項封裝參數作相關實驗並就數據作討論。本研究結果可供合作單位核能研究所拓展再生能源發展與應用，加速鍍膜技術的開發，對未來再生能源之發展奠定更穩定的根基。本研究項目的分工與目標可參照(如圖 1)。

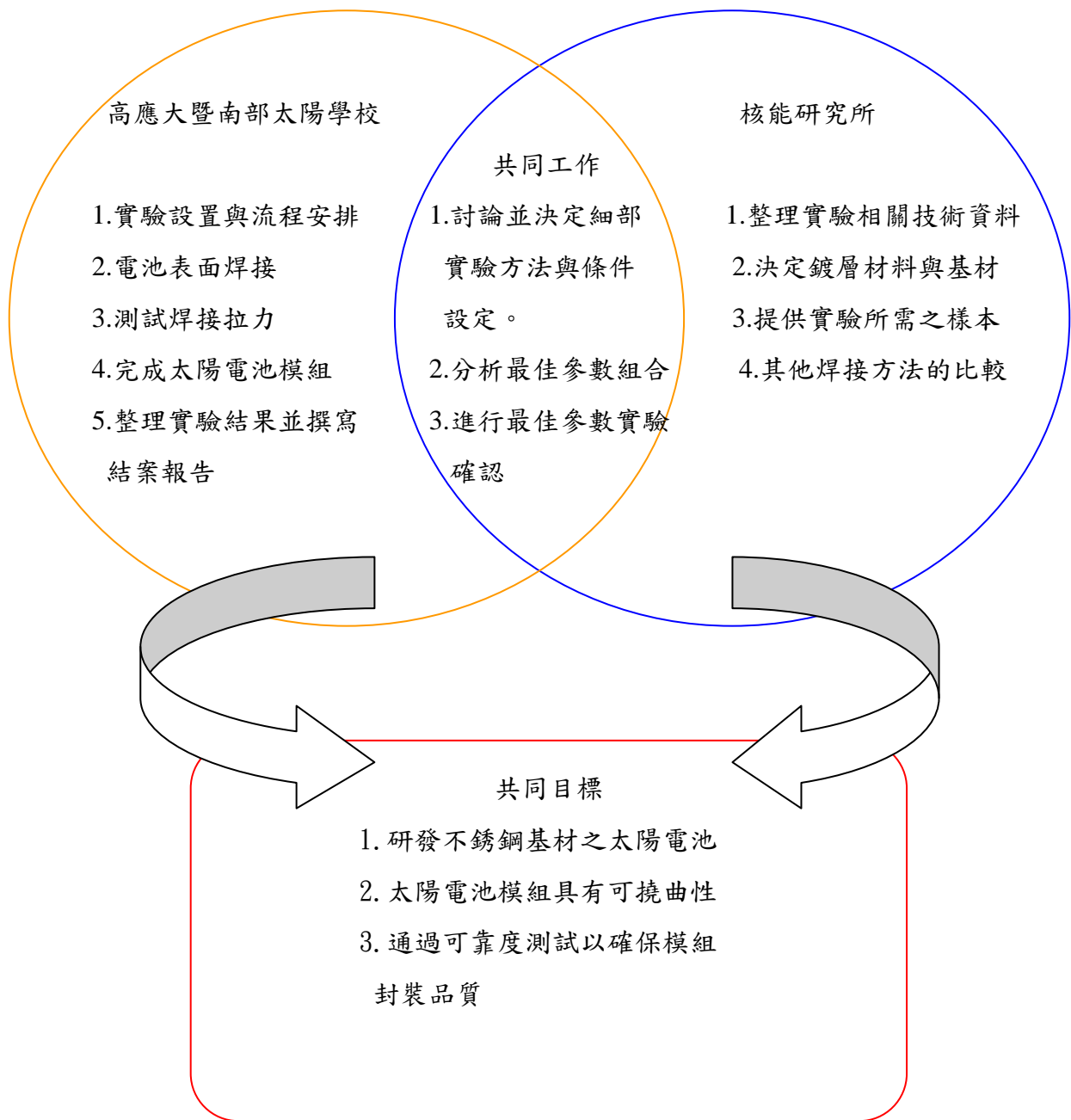


圖 1、計畫分工與目標

貳、研究方法與過程

「行政院原子能委員會」之核能研究所現有鍍膜技術，先將不銹鋼表面被覆矽薄膜層(以下簡稱為試件)，藉本研究瞭解試件於焊接與封裝設備操作時對製作成品之影響。太陽電池的焊接與封裝是太陽電池模組化的兩道主要製程，良好的焊接與封裝技術，可有效地減少太陽電池模組化過程中所產生的效率損耗，並能有較長的耐候性及使用年限。太陽電池因太陽光照射而產生之電流需經由焊接的程序來加以匯集，利用焊接的方法來導引電流的輸出並方便於大模組製作時太陽電池串、並聯使用。

據技術文件所載，針對不同的表層材料而使用低溫製程(100°C)之操作特性[1]，與模組封裝填充材料(EVA)的成形特性[2]、抗水氣能力[3]、黏著強度[4]與長時間曝曬之壽命測試[5]及防水性[6]對太陽電池封裝製程參數的影響已有討論。本研究採用真空一體熱壓封裝法，利用本校「太陽電池模組製作實驗室」現有量產級設備作實驗探討，而影響試件製作的參數有設備操作溫度、壓力、時間、使用封裝材料(基板、EVA、強化低鐵玻璃)物化性質與厚度等，將封裝材料依不同厚度製作出若干個製程試件，置入量產型真空熱壓機進行標準封裝製程，該標準封裝製程可依計畫主持人已有專利[7][8]進行後續新型專利申請，完成測試樣品，另針對封裝成功之試件，依據熱傳學學理進行最佳化製程參數分析。就目前資料查詢結果，國內

外尚無與本研究相同的製作方法與封裝技術，而執行該研究可能使用之封裝方法國內目前唯有專利可參考的，即為本計畫主持人艾和昌教授[7]專利，其名稱為「太陽電池之封裝方法」，專利權號碼：202474。

一、太陽電池焊接製程測試

由於試件屬於低溫銀膠製程，無法使用本實驗室太陽電池焊接機(高溫製程)方式焊接，實驗試件藉由銀膠黏著導線(ribbon)方式，將導線貼附於試件表面，針對此低溫製程仍有許多因素會影響到焊接的品質，甚而造成焊接後填充因子的大幅降低，例如：焊條於電池表面的覆蓋率及導線與試件之焊接強度等，進而造成發電量的損失。

(一)焊接測試

本實驗有 3 種不同鍍膜樣品：S.S.(如圖 2) 、S.S./AL(如圖 3) 、S.S./AL/ITO(如圖 4) 各 2 片，共計 6 片。先使用導電銀膠並均勻塗佈於試件上，接著導線貼附於導電銀膠上使導線與試件貼合。首先測試焊接的可行性，導線與試件黏著長度為 30mm(如圖 2~圖 4 所示)以利後續焊接拉力測試時方便挾持使用。

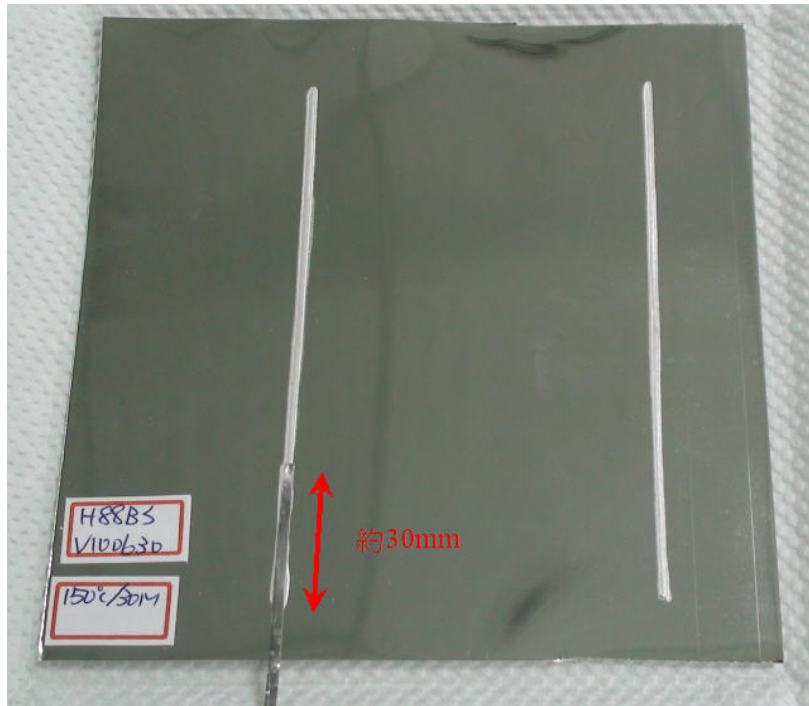


圖 2、S.S.試件

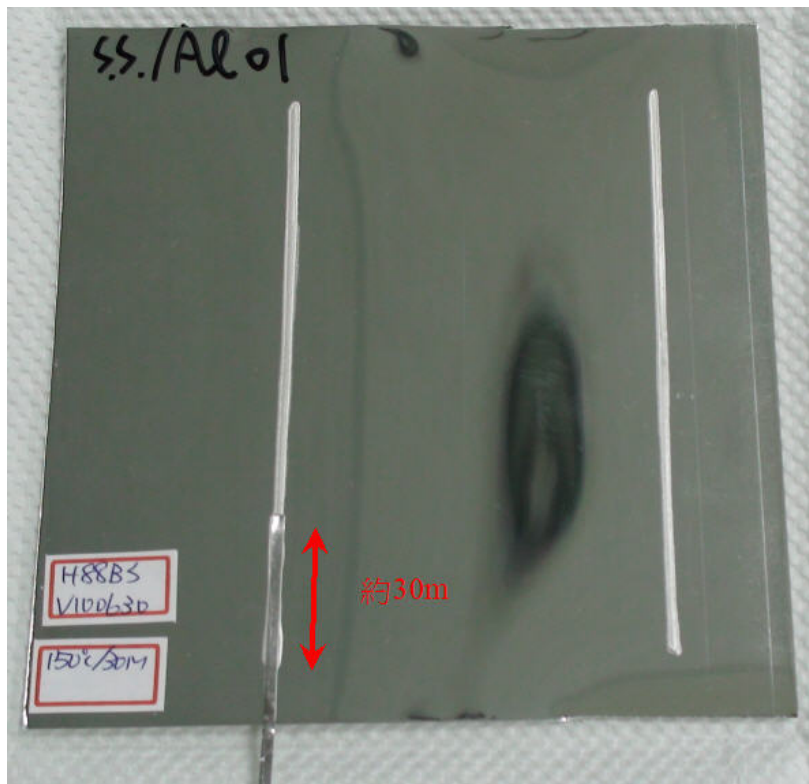


圖 3、S.S./AL 試件

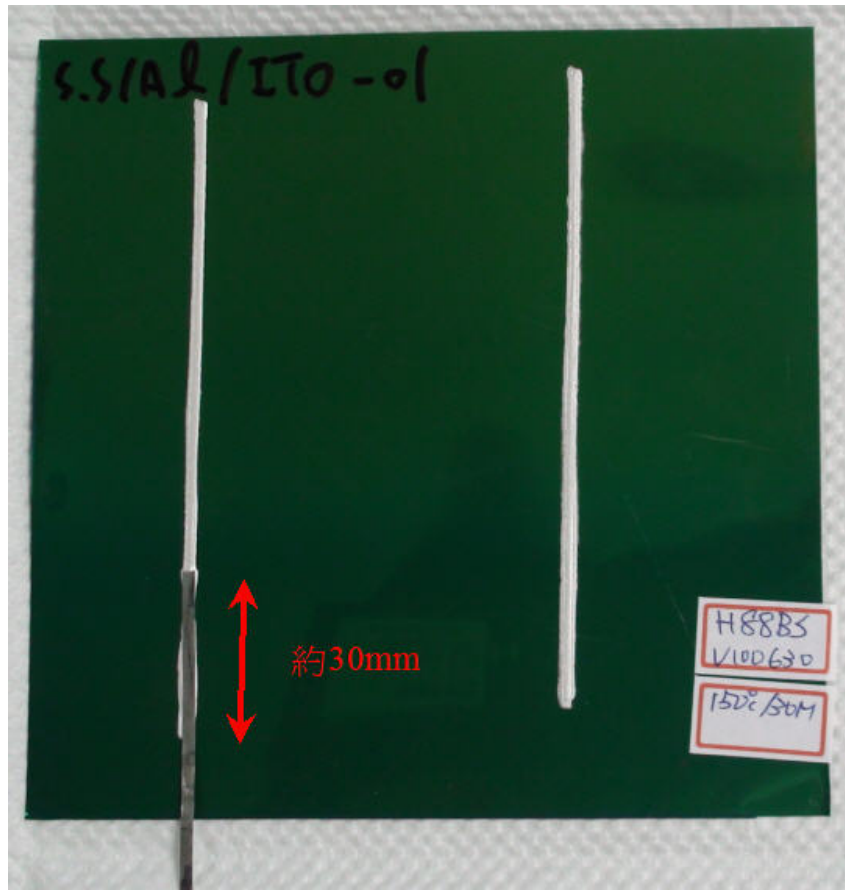


圖 4、S.S. / AL / ITO 試件

(二)拉力測試

本測試最主要是測試導線與太陽電池間之接著強度，因太陽電池於戶外使用時會有溫度變化，而太陽電池(矽材)與導線(金屬)熱膨脹係數有很大的差異，若導線與太陽電池間黏著強度不夠，在戶外使用時導線會與太陽電池因氣候變化，造成兩種材料間的熱漲冷縮作用易脫落，其效率與發電量則隨之下降，對整片模組的輸出效率大受影響，造成電力嚴重的浪費，若之後安裝至太陽光電系統上，其衍生之問題將更加擴大。

測試步驟是將焊接完之試件放置於拉力測試機(如圖 5所示)

上，以固定 180 度的角度與速率對導線施加拉力，同時紀錄導線與測試件拉開過程即時拉力。本實驗測試條件為：剝離角度 180 度、剝離速度：300mm/min、剝離長度：0~35mm、量測區段：5~35mm 拉力值(單位：N)。



圖 5、拉力測試機

二、太陽電池模組封裝測試

(一)電性隔離(isolation)測試

因試件基材為導電材料的不銹鋼材質，需運用其 1064nm雷射將其表面的a-Si(薄膜材料)從不銹鋼基材移除，以免正負極短路造成效率及發電量的下降，試片結構為a-Si (鍍層厚度為 200nm 1 片及 300nm 4 片) / AZO (200nm) / Al / SS430 ，檢視其中 3 片(如圖 7 所示)，實驗時雷射操作參數如表 1 所示。



圖 6、a-Si 鍍層厚度為 300nm 試片



圖 7、a-Si 鍍層厚度為 200nm 試片

表 1、雷射操作參數

1	2	3	4
480mW 40mm/sec	340mW 60mm/sec	275mW 80mm/sec	240mW 100mm/sec
50kHz , I 6.8A			

(二) 透水率測試

本測試主要是測試水氣穿透封裝材料之試驗，因太陽電池模組使用環境經常會受到水氣影響，並且使用時間要長達 25 年，所以太陽電池模組封裝材料需具極佳耐水氣入侵之能力，以免水氣入侵使太陽電池氧化造成太陽電池損壞。目前tedlar為普遍使用在太陽電池模組之背板封裝材料，其本身即具有有優異的強度、耐候性、抗紫外線、以及防潮等特性。故本研究透水率測試選用含tedlar膜之背板進行透水率之評估。本次實驗樣本為國內台虹公司所生產，其疊層結構(如圖 8所示)，並有以下三種規格(如表 2示)。

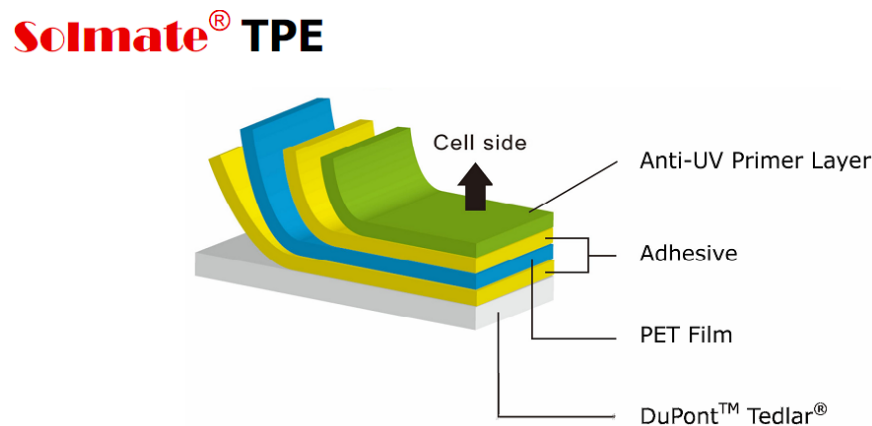


圖 8、Tedlar 背板疊層結構圖

表 2、背板材料結構

Sample1	Tedla + PET + EVA (TPE)
Sample2	Tedla + PET + Tedla + EVA (TPTE)
Sample3	Tedla + PET + EVA (TPE；複合材質厚度均增加)

透水性實驗方式為測試件夾在恆溫測試室內的乾、濕腔體之間(如圖 9 示)，位於測量室內頂部的傳感器開始分析濕度的變化，並監測由預設下限值至上限值所需時間，通過連續多次測量和軟體分析後，計算出樣本的準確滲透率，以 $\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$ 為單位顯示。

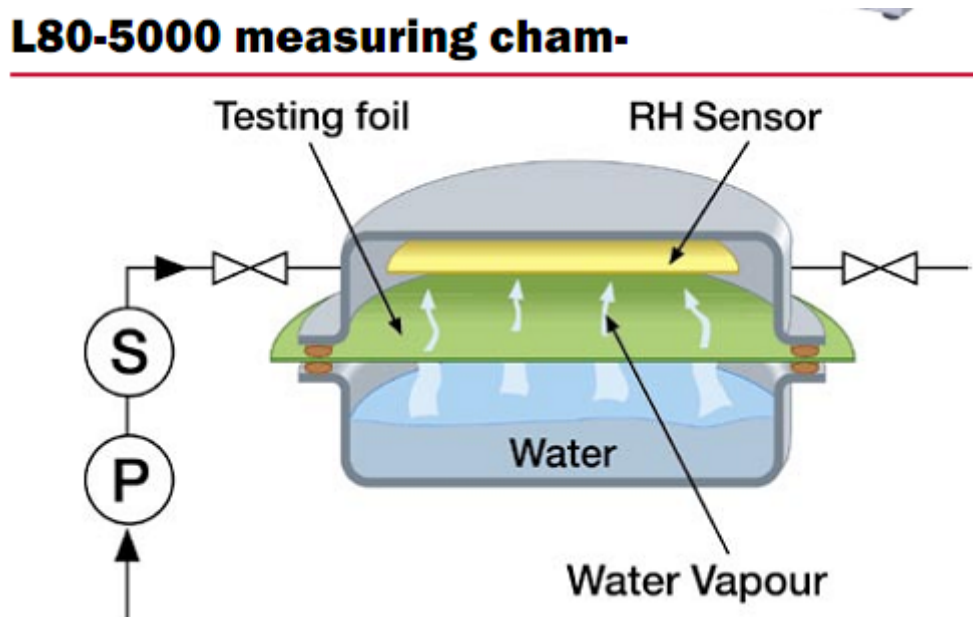


圖 9、透水性實驗腔體

(三)熱壓封裝測試

本研究採用真空一體熱壓封裝法，利用受委託單位「太陽電池模組製作實驗室」現有量產級設備太陽電池模組熱壓封裝機(如圖 10 示)進行實驗測試，因試件表面與封裝材料EVA膠合特性與熱傳導性與矽基太陽電池不同，為了能成功地製作出成品，其設備參數如:溫度、壓力、時間，使用封裝材(背板、EVA、強化低鐵玻璃)等物化性質與厚度等，均可能影響封裝後的太陽電池模組電氣特性與壽命。

不同於一般標準化封裝疊層方式(如圖 11所示)，將太陽電池模組之表面材料(低鐵高透光玻璃)更換成杜邦(Du Pont)所生產之ETFE高透光膜，其厚度為 125 μ m，具高透光、高絕緣及高耐候等特性，可讓太陽電池封裝後，其效率損失減到最少，更使得模組兼具可撓曲性。



圖 10、太陽電池模組熱壓封裝機



圖 11、太陽電池模組封裝疊層示意圖

參、結果與討論

一、焊接製程測試結果

由核研所提供之試件經由焊接測試後，在焊接拉力測試中將標準太陽電池焊接使用之焊線(ribbon)焊接於三種不同鍍膜樣品比較結

果如表 3 所示，S.S./AL/ITO 樣品之拉力值最大可達 2.239N(如圖 12)，平均拉力值也較其他兩種鍍膜來的高，特別是在試件主要測試段(15mm~25mm)達矽晶太陽電池之拉力標準值 1.7N 以上。S.S./AL 鍍膜樣品，僅有一組測試結果，而其中一個測試失敗，因焊條已和銀漿一起脫落。由於試件製作屬於低溫銀膠製程，經由測試及評估後發現無法使用本實驗室矽晶高溫製程方式焊接至銀膠上，另高溫會破壞鍍膜材料，未來需尋求低溫製程焊接技術以改善其焊接特性。

表 3、焊接測試比較

	S.S-01	S.S-02	S.S/AL-01	S.S/AL-02	S.S/AL/ITO-01	S.S/AL/ITO-02
最大拉力值	1.389N	2.104N	fail	0.671N	2.239N	2.238N
最小拉力值	0.047N	0.117N	fail	0.5N	0.617N	0.224N
平均拉力值	0.899N	0.996N	fail	0.559N	1.346N	0.972N

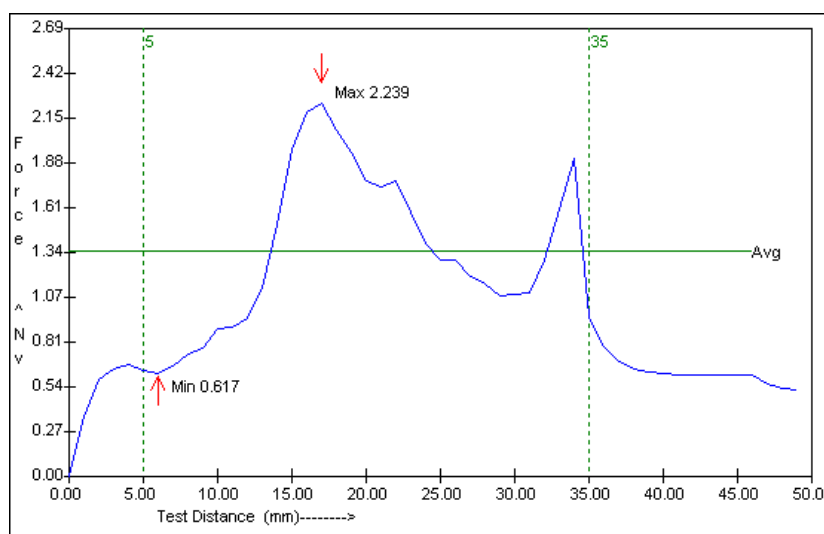


圖 12、S.S./AL/ITO 拉力測試值

二、封裝製程實驗結果

(一)電性隔離測試實驗結果

在封裝測試前先進行電性隔離測試，而雷射機台操作參數除了功率、移動速度之外，焦距的調整也很重要，若在雷射剝除邊緣產生白色微粒結晶物可能會造成短路現象。在放大200倍的光學顯微鏡下檢視a-Si試件，其鍍膜厚300nm結果(如圖 13所示)，雷射功率275 ~ 480mW下，被剝除處寬約100 μm 多呈光滑表面，唯在240mW時，其表面呈明顯階梯狀。此外，雷射剝除線左右有兩道白色微粒結晶物，使用壓縮空氣無法去除，而試件表面刮除處及兩側因雷射加工所造成的白色區域，其寬約300 ~ 400 μm 。進一步經放大1000倍檢視剝除處(如圖 14所示)，於340、480mW功率下被剝除處邊緣熱區效應寬約10 μm ，但240、275mW時較不平整約10 ~ 30 μm 。

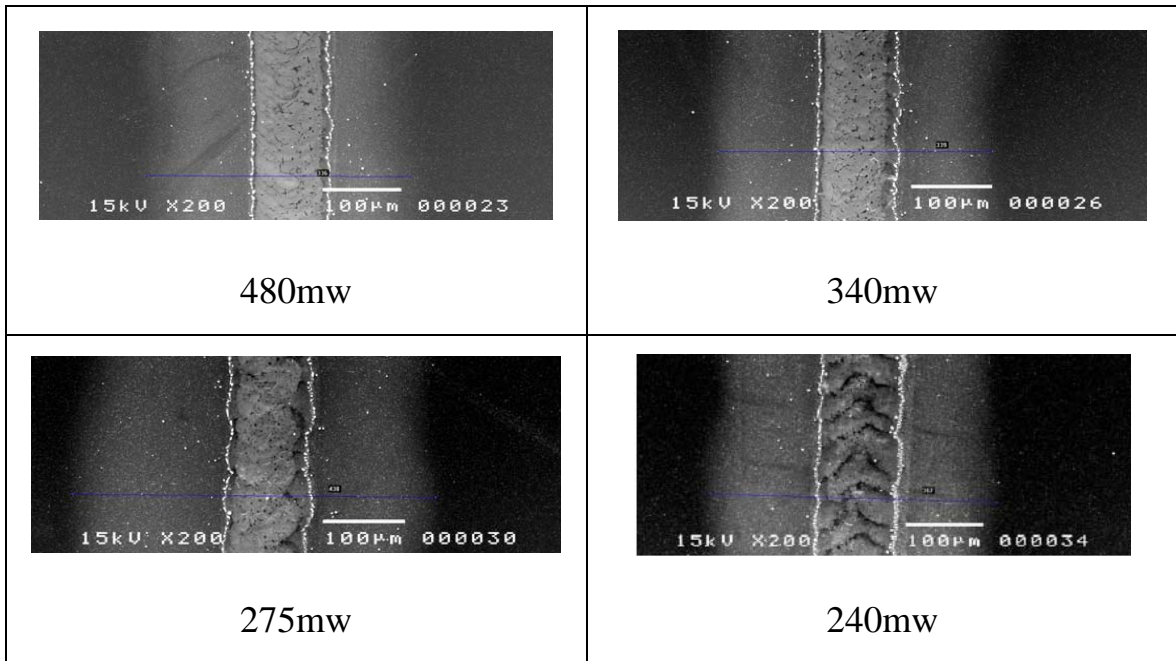


圖 13、a-Si 膜 300nm 試片之雷射電性隔離結果

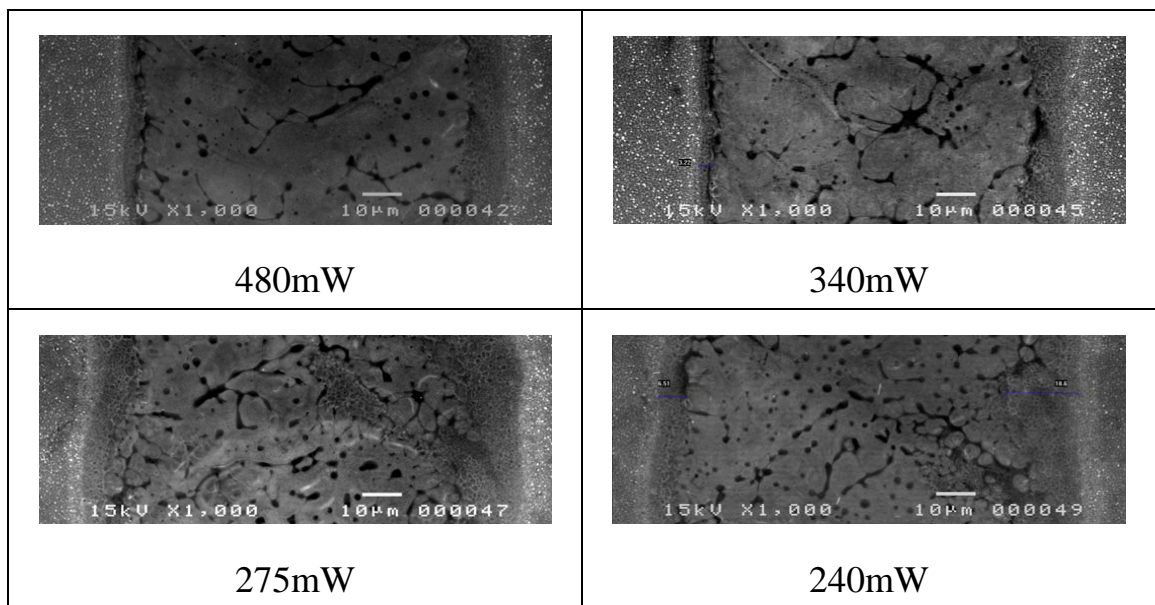


圖 14、a-Si 膜 300nm 試片之雷射電性隔離(1000x)結果

將a-Si膜300nm試片，使用雷射強度480mW、移動速率40mm/sec作電性隔離刮除後，採用EDS進行材料性質分析，設定三個量測點a、b、c(如圖 15所示)。a處為雷射刮除處外圍的EDS分析圖，其組成材料有Si、Al、Zn、Fe、O等成份(如圖 16所示)。b處有C的成份及較少量的Si(如圖 17所示)，最後c處與b處相近，Zn的成份已被雷射刮除(如圖 18所示)。

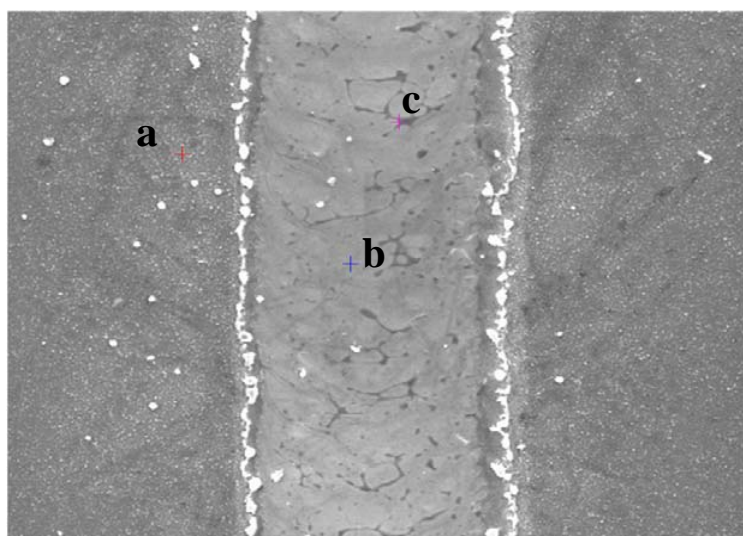


圖 15、試片量測點(a、b、c)

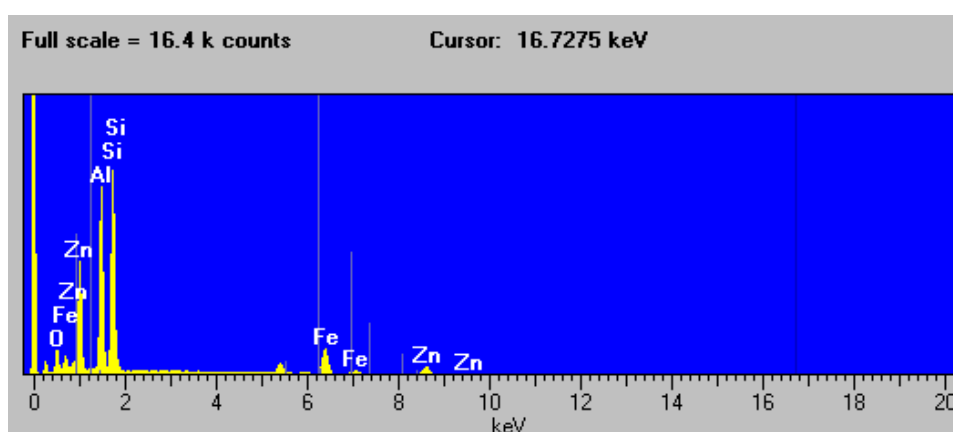


圖 16、a處 EDS 分析

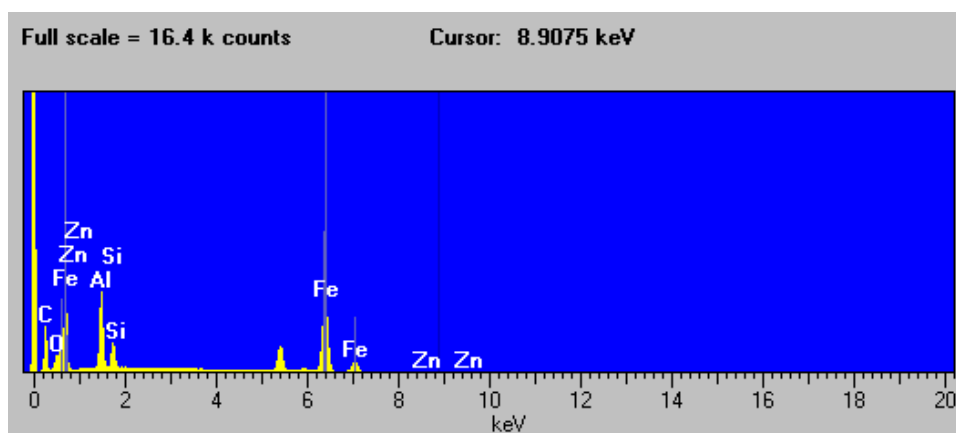


圖 17、 b 處 EDS 分析

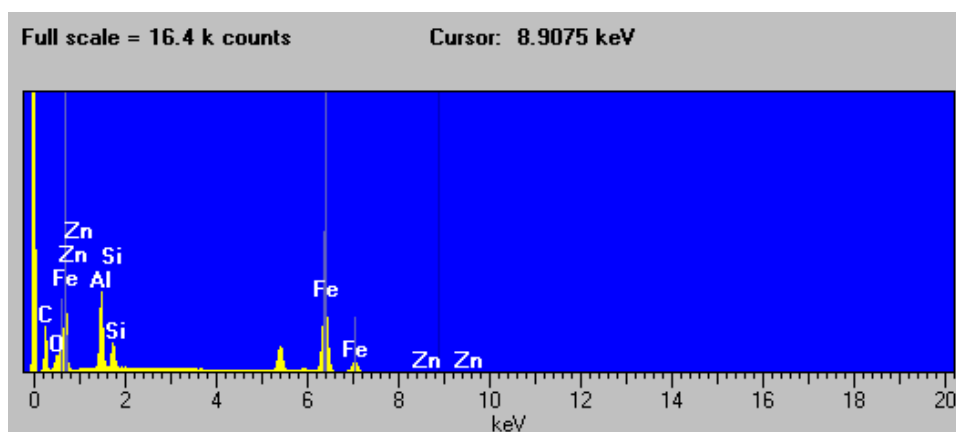


圖 18、 c 處 EDS 分析

將a-Si膜300nm試片，使用雷射強度340mW、移動速率60mm/sec
 做電性隔離刮除後，運用EDS進行材料性質分析，設定兩個量測點
 d、e (如圖 19所示)。d處有C的成份及少量的Si (如圖 20所示)。e處
 白色殘留物是被雷射所刮除的Si(如圖 21所示)。

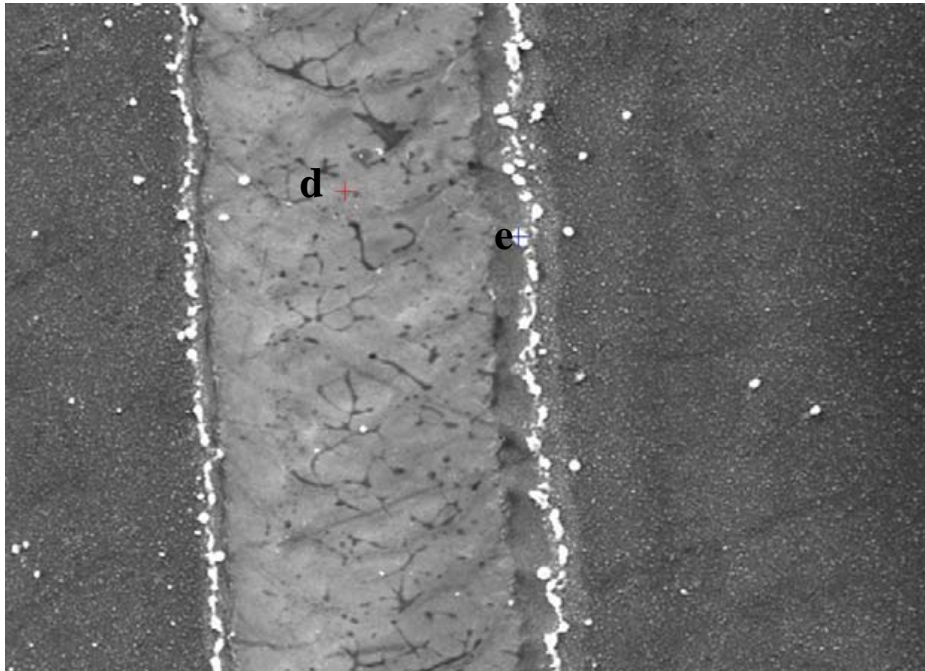


圖 19、試片量測點(d、e)

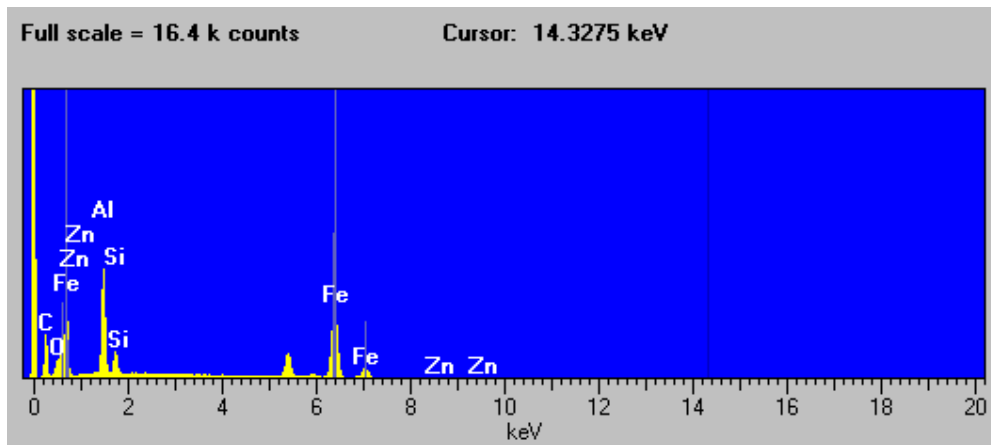


圖 20、d 處 EDS 分析

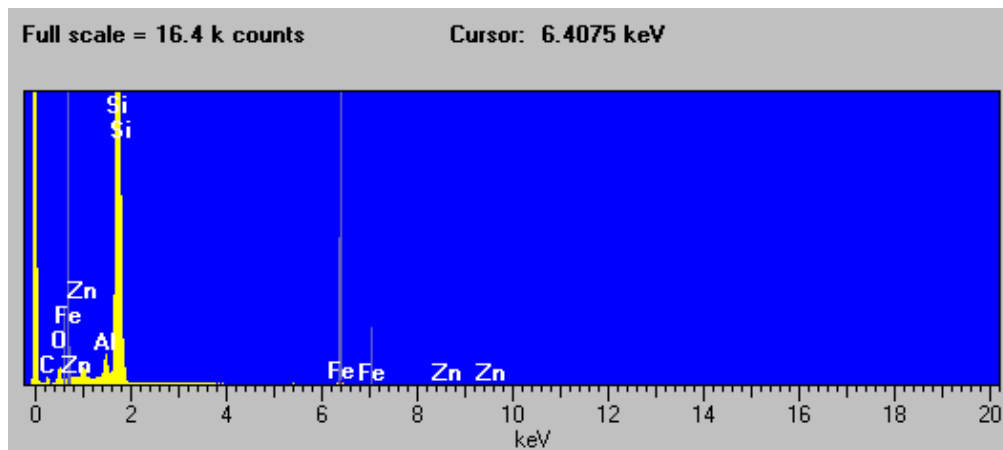


圖 21、e 處 EDS 分析

將a-Si膜 200nm試片作電性隔離實驗，使用雷射強度275mW、移動速率80mm/sec將試片刮除後使用EDS進行材料性質分析，設定量測點f，得知雷射刮除處表面較粗糙，外緣無矽結晶微粒(如圖 22所示)。f處經由EDS分析，有C的成份，Si、Zn的成份已被刮除(如圖 23所示)。

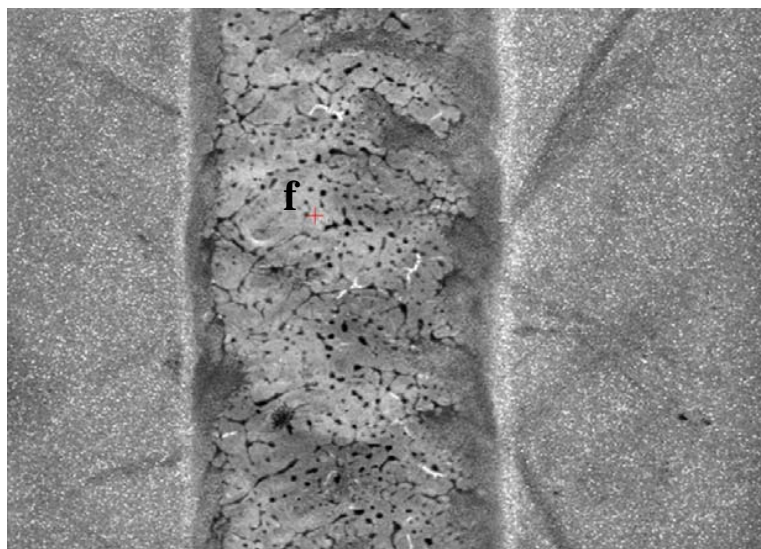


圖 22、試片量測點(f)

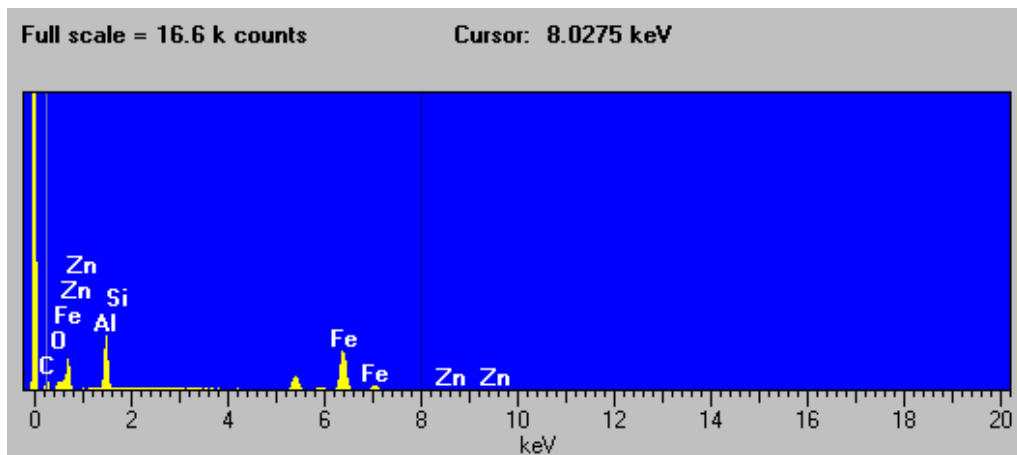


圖 23、f 處 EDS 分析

(二)透水性實驗結果

在封裝實驗中，經由透水性實驗裡挑選最具抗水氣之材料進行封裝測試，以達到最佳之抗候性及絕緣性，而填充材料的特性為太陽電池模組中最關鍵的部分，優良的填充材料必須提供良好的結構性支援、光耦合特性、電路絕緣、物理絕緣保護以及良好的熱傳導特性。由透水氣實驗之兩次平均實驗數據(如表 4 所示)顯示，Sample 3 的水蒸氣穿透率較低，故本計畫選擇使用封裝背板 Sample 3，主要原因是擁有較佳阻抗水氣之能力，可增加太陽電池模組使用壽命。

表 4、薄膜水氣穿透速率數據(單位：g/m²/day)

	SPB
SAMPLE 1	1.865
SAMPLE 2	2.07
SAMPLE 3	1.645

而填充材料EVA與其他封裝材料的膠合性，將會影響到模組內部的真空度，膠合性特性愈強，耐候性也愈好、模組壽命較長。太陽電池模組封裝是以含有Tedlar夾層材料做為模組背面的基材進行膠合性測試，以確保模組品質。測試初期以 6 片 100mm × 100mm 之試件串聯並進行封裝測試，表面材料採用強化低鐵高透光玻璃進行標準太陽電池模組封裝(如圖 24所示)，此為不可撓式太陽電池模組，但具有良好的機械強度，可裝置於戶外使用。

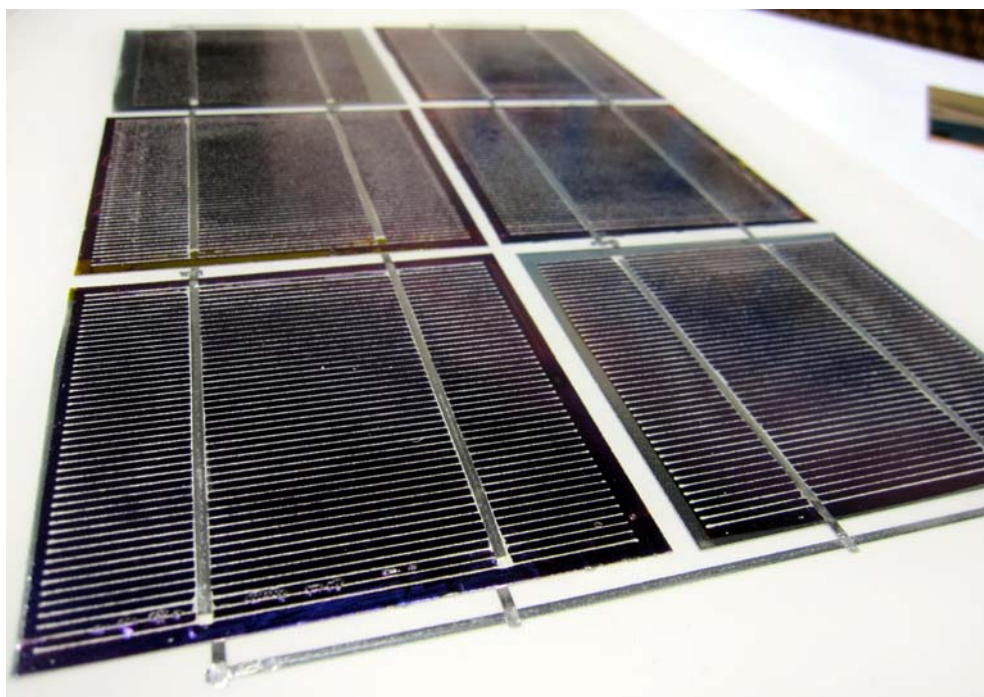


圖 24、不可撓式太陽電池模組

由於 ETFE 125 μ m 的厚度非常薄，在封裝製程時容易產生皺摺、翹曲、與填充材料不易膠合等問題產生。於是將太陽電池模組表面材料由玻璃更換成杜邦 ETFE 薄膜時，對封裝製程是非常大的挑戰，

進行此項測試時，憑藉著試誤法反覆調整參數，並進行封裝測試，最後才將 ETFE 薄膜成功封裝至太陽電池模組中。由於不銹鋼基材與表面高透光材料 ETFE 薄膜皆擁有可撓曲性，可使封裝完之太陽電池模組擁有可撓性而不破裂。

封裝測試是將單片 200mm × 200mm 試件進行熱壓封裝，其封裝材料疊層結構(如圖 25 示)，除表面材料與一般標準太陽電池模組不同外，其他組件皆相同具有高度抗候及絕緣性，並且太陽電池模組擁有可撓曲性，如圖 26 所示。

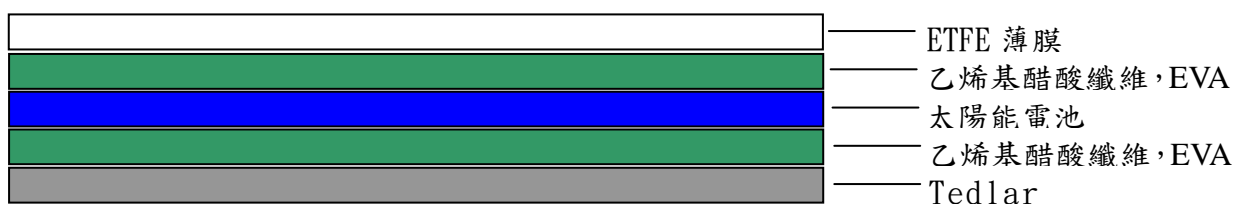


圖 25、可撓曲式模組封裝疊層架構

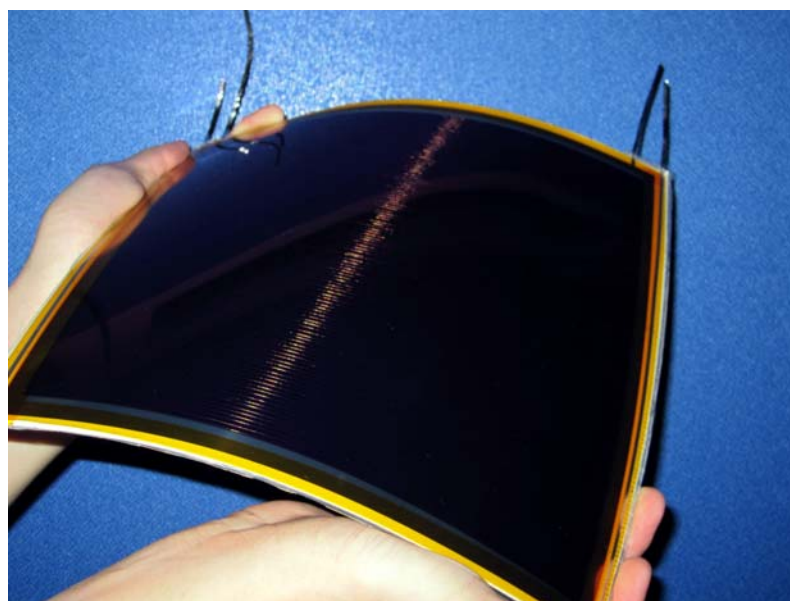


圖 26、可撓曲式單片太陽電池模組

肆、結論

依據本研究結果可知：

1. 對 SS/AL/ITO 基材進行拉力測試，其拉力強度可達市面矽基太陽電池模組串接水準。
2. 不鏽鋼表面被覆太陽電池，可藉低溫銀膠黏合製程串接。
3. 不鏽鋼太陽電池可使用雷射刮除作電性隔離，目前尚無法完全絕緣，實驗仍須進行。
4. 不鏽鋼太陽電池使用較厚的背板封裝材料 TPE (SAMPLE 3) 可有較佳的阻抗水氣能力。
5. 不鏽鋼太陽電池使用 ETFE 膜作表面透光材料，可成功開發出可撓性太陽電池模組。

可撓式太陽電池模組(如圖 27所示)，具有輕、薄、可彎曲、易攜帶、不易碎裂等應用優勢，且太陽電池使用不銹鋼為基材，價錢相較矽晶太陽電池低廉，並擁有良好的焊接封裝特性，可應用層面非常廣泛。

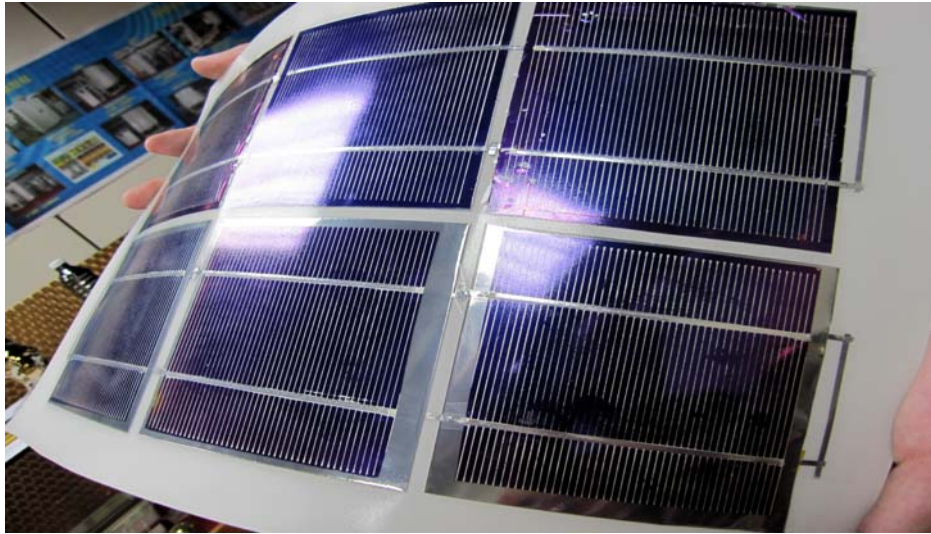


圖 27、可撓曲式太陽電池模組

未來擬朝向提升發電效率及耐候實驗目標邁進，來驗證不鏽鋼太陽電池的實用價值，若研發成功後可進一步作相關實體產品的開發，以達到推廣再生能源效益，進而落實政府大力推行再生能源應用的決心。

伍、參考文獻

- [1] Martijn M. Hackmanna, Marcel H.H. Meuwissena, Tom L. Botsa, JanA.H.M. Buijsa, Kees M. Broekb, RonaldKind ermanb, Olga B.F. Tanckc, Frank M. Schuurmans, Technical feasibility study on polycarbonate solar panels, 2004.
- [2] K. Agrouia, A. Maallemia, M. Boumaoura, G. Collinsb, M. Salamac, Thermal stability of slow and fast cure EVA encapsulant material for photovoltaic module manufacturing process, 2006.
- [3] G.J.Jorgensen, K.M.Terwilliger, J.A.DelCueto, S.H.Glick, M.D.Kempe, J. W Pankow, F.J.McMahon, Moisture transport, adhesion, and corrosion protection of PV module packaging materials, 2006.
- [4] G. Oreski, G.M. Wallner, Delamination behaviour of multi-layer films for PV encapsulation, 2005.
- [5] Takeshi Kojima, Takeshi Yanagisawa, The evaluation of accelerated test for degradation a stacked a-Si solar cell and EVA films, 2004.
- [6] Thomas Carlssona, Petri Konttinen, Ulf Malmb, Peter Lunda, Absorption and desorption of water in glass/ethylene-vinyl-acetate/glass laminates, 2006.
- [7] 艾和昌，太陽電池之封裝方法，專利編號202474，民國93年9月21日。
- [8] 艾和昌，太陽電池封裝結構改良，專利編號218649，民國93年5月20日。