

行政院原子能委員會
委託研究計畫研究報告

可撓式基材封裝研究

A Study in Photovoltaic Encapsulation of Flexible Substrate

計畫編號：1002001INER039

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

聯絡電話：(07) 3814526 # 2700

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

核研所聯絡人員：蔡丁貴

報告日期：100 年 12 月 19 日

目 錄

壹、	計畫緣起與目的	4
貳、	文獻回顧	5
參、	研究方法與實驗	7
一、	研究方法	7
二、	樣品製作材料	8
三、	實驗參數水準設定	11
四、	實驗設備	14
五、	拉力強度	15
肆、	結果與討論	17
伍、	結論與未來工作	21
陸、	參考文獻	22
柒、	附錄	24

可撓式基材封裝研究

A Study in Photovoltaic Encapsulation of Flexible Substrate

(計畫編號：1002001INER039)

艾和昌 楊武璋 邱揚峻

國立高雄應用科技大學 應用工程科學研究所

摘要

本計畫是針對新型不鏽鋼太陽電池作模組封裝，使其具可撓式並有發電功能。由於可撓式基材在封裝後材料安定性及對外界水氣的阻隔，不如玻璃基板，會直接影響最終產品的品質穩定性及使用壽命，為驗證不鏽鋼太陽電池使用可撓式基材之封裝可行性，本計畫將封裝材料依不同製程參數製作出 16 個製程試件；置入量產型真空熱壓機進行層壓封裝，針對封裝後之試件進行表面材料與背面材料拉力參數分析。

本研究實驗以全因子法進行實驗設計，針對太陽電池模組封裝製程中，各項參數對封裝品質之特性進行實驗分析，首先列出對封裝品質造成影響之因子，有底板溫度以及封裝壓力，然後選擇實驗之品質因子與設定值，進而建立實驗整體架構。

實驗完成後，使用該法進行參數分析，結果描述，表面材料在同一封裝壓力，底板溫度從 125°C 升溫至 155°C 時，低溫會優於高溫參數約 5 N/cm 之拉力值，故底板溫度是層壓製程中關鍵因素，將此關鍵因子以符合實務需求之條件，加以限制在實驗設計參數水準中，底板溫度為 125°C~155°C，壓力為 70 kpa~100 kpa，產生參數優化組，而結果顯示底板溫度 125°C 及封裝壓力 90 kpa 時，可達到表面材料拉力測試之最大值 17 N/cm。

Abstract

This project targets the new stainless steel solar cell module to make it flexible and able to generate electricity after encapsulation. Since the material stability and vapor insulation ability of flexible substrates after encapsulation is inferior to that of glass substrates, it will directly affect the quality stability and useful life of the final product. To verify the feasibility of encapsulating stainless steel solar cells with flexible base materials, this project uses 16 test pieces manufactured according to different process parameters with the same encapsulating material. They are put into a vacuum hot press for lamination and analyzed according to the test piece surface material and back material pull strength parameter after encapsulation.

This experiment uses full factorial design for experimental design and targets the characteristics of encapsulation quality parameters during the solar cell module encapsulation process for experimental analysis. First, list all the factors that affect encapsulation quality, including hot-plate temperature and encapsulating pressure. Then, select the quality factors and set the levels of the experiment to establish experimental structure.

A parameter analysis is conducted after the experiment. The results show that under the same encapsulating pressure, while the surface material's hot-plate temperature rises from 125°C to 155°C, the pull strength at a lower temperature is about 5 N/cm higher than that of a higher temperature, thus the hot-plate temperature is a critical factor in the lamination process. If this critical factor is controlled in the experimental design parameter levels according to practical requirements, an optimized parameter collocation occurs when the hot-plate

temperature is between 125°C to 155°C and the encapsulating pressure is between 70 kpa~100 kpa. The result show that 17 N/cm, the maximum pull strength of surface material, is attained when the hot-plate temperature is 125°C and the encapsulating pressure is 90 kpa.

壹、計畫緣起與目的

目前國內外的太陽光電市場，標準型太陽電池模組發展較為快速與成熟。本計畫主要目的為結合核研所提供之不鏽鋼太陽電池與可撓式基材執行封裝探討。不鏽鋼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。若此項技術開發成功，可以促進可撓式不鏽鋼太陽電池與太陽光電技術的整合，以進一步作相關實體產品的開發，增加再生能源應用之效益。

此研究計畫主要方向為不鏽鋼太陽電池之可撓式封裝技術開發，透過該計畫，對不鏽鋼太陽電池之可撓式封裝技術及學理，進行系統性分析且深入了解與確切認知，其中包括(1)封裝材料之選擇(2)封裝參數之優化(3)數據分析與檢測(4)確認品質等之研究，由諸多不同組合中，對模組封裝材料及封裝參數加以實驗討論，使模組耐候性質優化，藉以延長模組之使用年限。

貳、文獻回顧

Martijn M. Hackmanna 等人描述聚碳酸酯板(polycarbonate)在光電模件設計的覆板內的應用與技術可行性研究，實驗結果證實由數值模擬獲得運用有限元素方法，EVA 厚度與 PC 厚度增加可減少封裝製品的彎曲產生，也證明多晶矽太陽電池的封裝在 PC 材上配合使用低溫熟化的 EVA 可行的，然而 PC 或 EVA 增加層數亦可減少封裝後產品之應力，並改進封裝製品的翹曲[1]。

Takeshi Kojima 和 Takeshi Yanagisawa 研究乙烯樹脂乙酸鹽(ethylene vinyl acetate)層板的光熱穩定性，針對非結晶矽太陽能電池和 EVA 薄膜層壓並使用加速的封裝測試探討其性能退化的原因，實驗環境設定在 1-SUN(標準日照條件)與 4-SUN(4 倍的標準日照強度)的情況下，藉分光光譜儀測量出在 280-380 nm 紫外線區域進行實驗，結果顯示太陽光照度會直接影響 EVA 材料層性質變化，使其黃化[2]。

K. Agroui 等人研究了 EVA 暴露在陽光、熱和濕度下惡化機械特性，在化學和機械性質變化上，使用了高溫熟化(fast cure)與低溫熟化(slow cure)兩種類型之 EVA，並使用了熱重分析(Thermogravimetric Analysis)、熱差分析(Differential Temperature Analysis)、示差掃描熱分析(Differential Scanning Calorimetric)三種分析方法去對照，得到光電模組溫度範圍內快速熟化的 EVA 比慢速熟化 EVA 更穩定[3]。

G.J. Jorgensen 等研究了太陽模板封裝材料之溼度滲透、黏附力、腐蝕保護相關性質，主要為利用 Ci4000 Xenon Weather-Ometer 之耐候實驗機，模擬太陽模板受到惡劣氣候後發電效率之優劣評估[4]。

William H. Holley等學者研究了太陽電池模板之封裝材料EVA的耐候性，針對目前常用的EVA類型，standard型與fast cure型去作封裝前後EVA的泛黃率，研究其透光率影響之表現[5]。

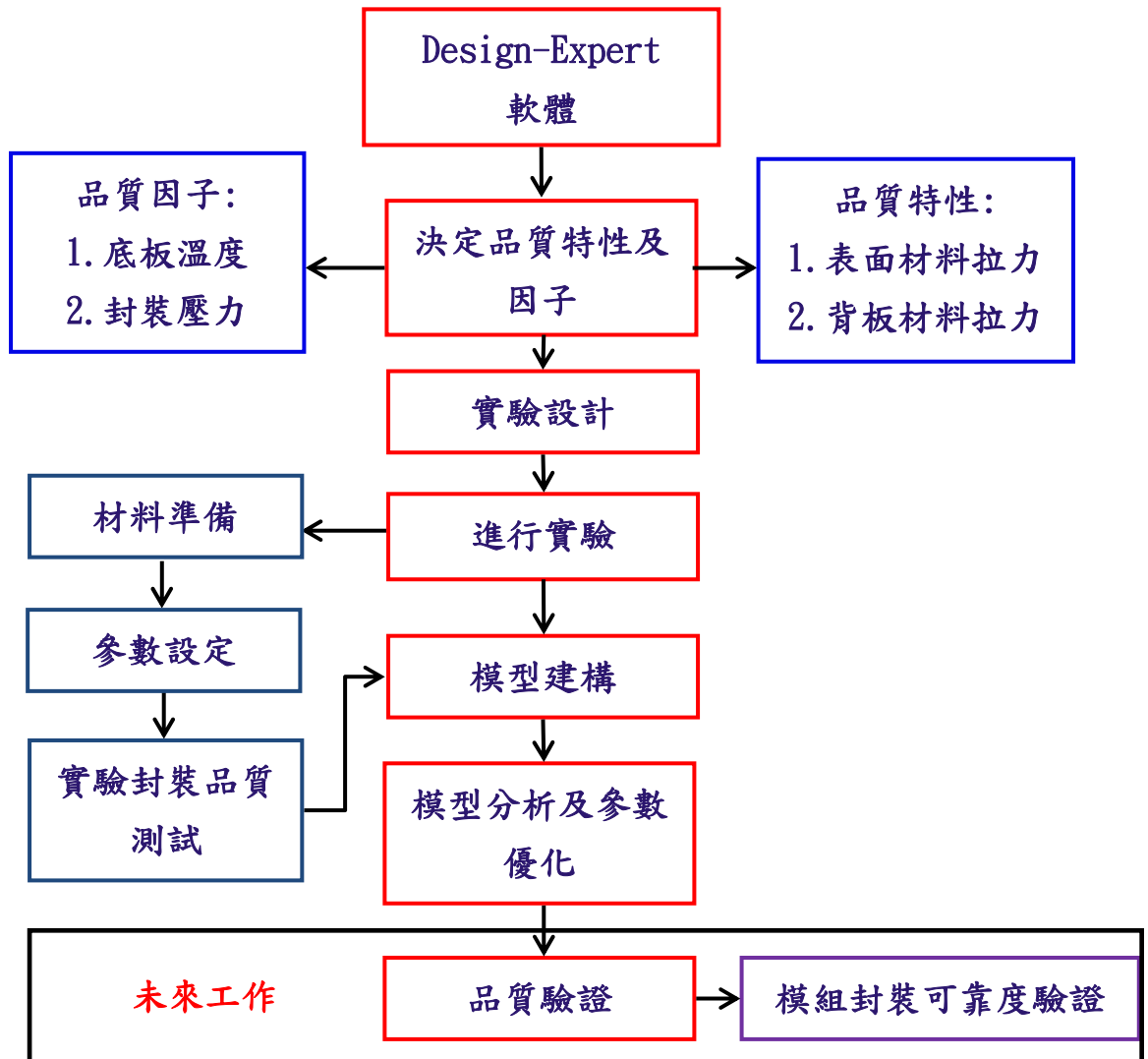
Thomas Carlsson 等人研究水的滲透性在一般透光型太陽能模板中，因透光型太陽能模板對於水的耐候性為重要因素，文中利用了氧化銦錫(ITO)去作溼度量測，利用了三個不同的模型去測試，其結果包含對水的滲透率、脫附性等[6]。

由以上文獻回顧可得知:太陽電池到模組製程是一複雜程序，且有不同製程參數影響成品的品質，本研究主要針對新型不鏽鋼太陽電池作模組製程的優化研究，期能開發具有更佳性能的新型不鏽鋼太陽電池模組。

參、 研究方法與實驗

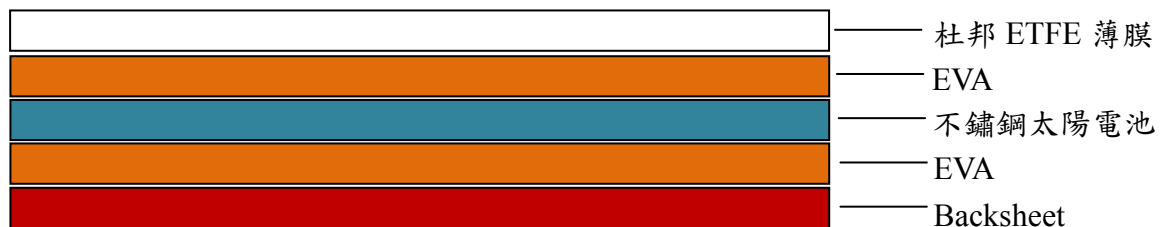
一、 研究方法

本計畫主要目的為結合不鏽鋼電池與可撓式基材，產出具發電效益、斷熱、抗水氣能力[7]、黏著強度與耐候壽命測試[8]之可撓式不鏽鋼太陽電池模組。為順利達成研究目的，本實驗流程規劃如下：



圖一、實驗流程架構圖

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目前國內唯有專利可參考的，即為本計畫主持人艾和昌教授所有[9]，專利名稱為「太陽電池之封裝方法」，專利權號碼：202474，該專利所使用之材料層疊順序(圖二)由下至上，依序為Backsheet、EVA、不鏽鋼太陽電池、EVA、杜邦ETFE薄膜。因不鏽鋼太陽電池與封裝材料EVA膠合特性與熱傳導性與矽晶太陽電池不同，為了能成功地製作出成品，使用之封裝材料物化性質與厚度，均可能影響封裝後的太陽電池模組電氣特性與壽命。



二、 樣品製作材料

本實驗採用之表面材料為杜邦ETFE薄膜(圖三)，具有97%以上之高透光度，厚度125 μm 之薄膜，為目前最輕薄且高透光之封裝表面材料。Backsheet則使用台虹科技所生產之複層(TAPE)材料(圖四)，其材料層疊順序為Tedlar、膠層、鋁箔、膠層、PET基材，總厚度約為380 μm ，與標準型太陽電池模組所使用之Backsheet(TPE) (圖五)最大差異性在於夾層中使用20 μm 鋁箔，主要目的為提升抗刮、阻絕水氣及耐候之特質，且實驗選用之TAPE在水份穿透率實驗中遠低於標準型模組所使用之TPE。EVA採用Bridgestone EVASKY之Fast cure型EVA(圖六)作為模組填充材料，此填充材厚度為0.46mm。

EVA為醋酸乙烯與乙烯共聚物，其特性為高透光性、高交聯固化度、優越的黏著強度、極高的容積電阻性、機械強度良好、光熱穩定性佳等，為一般太陽電池模組常用之封裝材料[10]。封裝材料

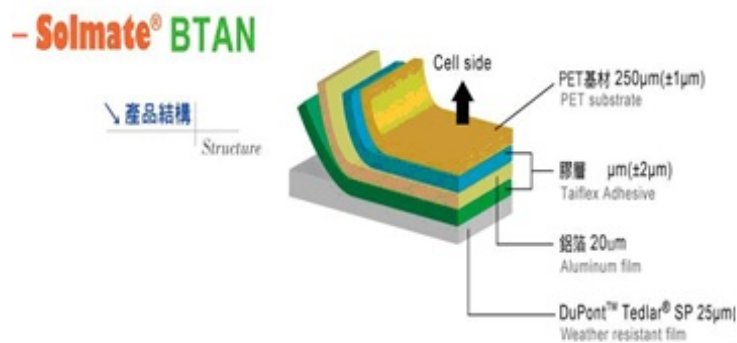
EVA部分可分為fast cure與standard cure類型之EVA，其差異性在於封裝熱固化時間上的不同，標準固化(standard cure)EVA在封裝熱固化時間約為30分鐘左右，而快速固化型(fast cure)EVA則只需15分鐘[11]。因熱固化時間上的差異，快速固化型(fast cure)EVA比起標準固化型(standard cure)EVA的熱穩定性較佳[12]且所需要的熟化時間較短，故較為業界普遍使用。

填充材料的特性為太陽電池模組中最關鍵的部分，好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。聚合材料、矽基太陽電池與太陽電池金屬電極之熱膨脹係數有很明顯的差異，在熱壓循環中容易產生熱應力，造成太陽電池裂損、金屬電極損壞或是造成填充材料破裂、分離。為了避免這些問題，填充材料必須能適應不同封裝材料的熱膨脹係數，而不會對太陽電池及其金屬電極產生過大的應力，填充材料本身也必須能不產生破損的現象。所以，填充材料必須是低模數、彈性材料。因為EVA具有模組填充材料的所必需的物理化學特性，故常作為一般商業化的層壓模組程序之內層材料。

良好的封裝材料必須有以下幾個特點：(a)在模組製造、安裝、搬運、存放或是在地面級的環境運作時，必須提供良好的結構特性；(b)在固定的光譜範圍內達到並能維持90%的光線穿透率，而且在20年內之損耗<5%；(c)在模組運作的環境中，維持良好的物理絕緣特性，隔絕可能造成模組損壞或降低模組品質之各種因子，例如：灰塵和濕氣；(d)在模組運作及安全性方面，確實達到並且維持太陽電池模組各部電子單元的絕緣性；(e)不同模組材料間需有好的黏著力。



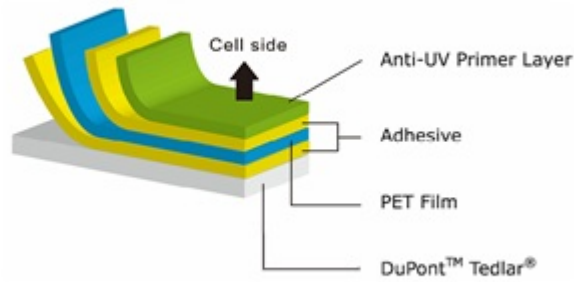
圖三、杜邦ETFE薄膜



	Method	
Weather Resistant Film(WR. Film)		Tedlar PVF Film
EVA Film Thickness	Micro Meter	60 μm ± 1
WR Film Thickness	Micro Meter	25 μm ± 1
Aluminum Foil Thickness	Micro Meter	20 μm
PET Film Thickness	Micro Meter	250 μm
Adh. Thickness	Micro Meter	7-9 μm
Total Thickness	Micro Meter	377-381 μm
Peel Strength with Module EVA	ASTM D1876	>30N/cm
Peel Strength Tedlar/Al	ASTM D882	>6N/cm
Peel Strength Al/PET	ASTM D882	>7N/cm
After 100°C/100%RH 96hr Peeling Tedlar/Al	ASTM D882	>6N/cm
After 100°C/100%RH 96hr Peeling Al/PET	ASTM D882	>7N/cm
After 85°C/85%RH 1200hr Peeling Tedlar/Al	ASTM D882	>5N/cm
After 85°C/85%RH 1200hr Peeling Al/PET	ASTM D882	>6N/cm
Water Vaport Permeability 38°C/90%RH	ASTM D1249	<0.1g/m ² day
Dimensional Stability (length/cross)	ASTM D1204	<1.5%
UV Radiation Resistance (at 500hrs)	ASTM G154	PASS (No yellowing)
Damp Heat (85°C/85%RH at 1200hrs)	IEC61646	PASS (No yellowing)

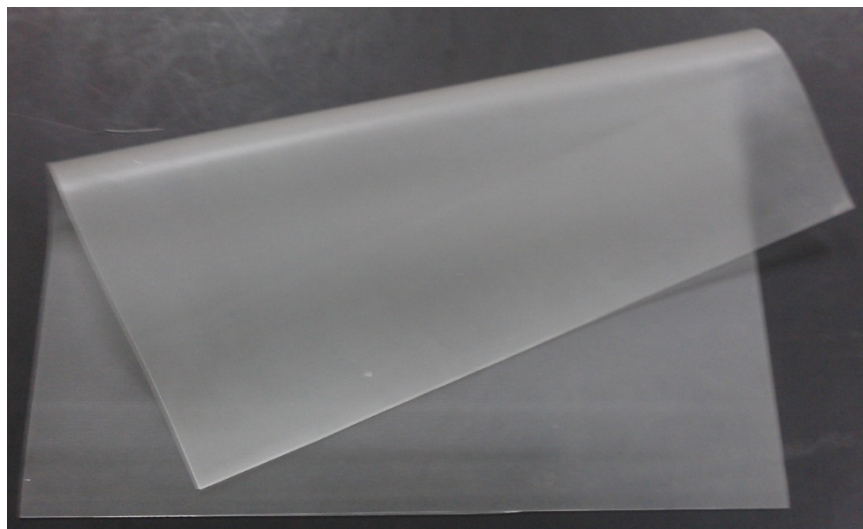
圖四、TAPE複層材料疊層與規格表

Scimate® TPE



產品規格書_BTNE501025 Technical Data Sheet_BTNE501025		
厚度 Thickness	台虹規格 Taiflex Spec.	300um±10%
層間剝離強度 Interlayer Peel Strength	IPC TM-650 No. 2.4.9	≥ 0.6kgf/cm
與 EVA 剝離強度 Peel Strength with EVA	台虹規格 Taiflex Spec.	≥ 4kgf/cm
尺寸安定性 Dimensional Stability	IPC TM-650 No. 2.2.4 (160°C / 30min)	< 2%
破放電壓 Breakdown Voltage	ASTM D-149	≥ 15KV
局部放電測試 Partial Discharge	IEC60664-1 IEC61730	1050VDC (from TÜV)
水分穿透率 Water Vapor Permeability Rate	ASTM F1249 40°C / 90%RH	≤ 4.0g/M ² .day

圖五、TPE複層材料疊層與規格表



圖六、Bridgestone 快速固化型醋酸乙烯與乙烯共聚合物(EVA)

三、 實驗參數水準設定

可撓式基材封裝利用本研究室太陽電池模組真空熱壓封裝機 (Spire Laminator 1222S)進行完整的加熱循環，實驗控制因子與其設

定值如表一所示，固定參數泵抽真空時間(Vaccum Time)及保溫保壓維持時間(Hold Time)設定為4分鐘與11分鐘，且採用Design-Expert軟體反應曲面法之全因子設計如表二及表三，封裝後之品質特性，可分為杜邦ETFE薄膜(Frontsheet Peel strength)及Backsheet(Backsheet Peel strength)與EVA之拉力強度，兩種品質特性為望大(期望最大值)。實驗相關數據使用Design-Expert軟體計算來進行因子重要性分析，並依因子重要性分析結果，限制或期望因子水準，再進行參數優化，挑選出期望之參數組合。

依照Design-Expert軟體設計之實驗架構，製作16組，寬2公分、長20公分不同壓力及溫度之試片(圖七)，找尋具最佳拉力強度之封裝參數組合。

表一、實驗因子與水準設定

實驗因子		水準
A	封裝壓力(kpa)	70、80、90、100
B	底板溫度(°C)	125、135、145、155

表二、全因子法規劃

Select	Std	Run	Factor 1 A:Temperature °C	Factor 2 B:Pressure kpa	Response 1 Peel strength(Frontsheet) N/cm2	Response 2 Peel strength(Backsheet) N/cm2
	3	1	145	70		
	14	2	135	100		
	4	3	155	70		
	8	4	155	80		
	10	5	135	90		
	11	6	145	90		
	1	7	125	70		
	15	8	145	100		
	13	9	125	100		
	5	10	125	80		
	9	11	125	90		
	12	12	155	90		
	2	13	135	70		
	6	14	135	80		
	16	15	155	100		
	7	16	145	80		

表三、全因子法規劃表

Design Summ											
Study Type	Factorial	Runs	16								
Initial Design	Full Factorial	Blocks	No Blocks								
Center Points	0										
Design Model	2FI										
Factor	Name	Units	Type	Low Actual	High Actual	Levels:					
A	Temperature	°C	Categoric	125	155	4					
B	Pressure	kpa	Categoric	70	100	4					
Response	Name	Units	Obs	Analysis	Minimum	Maximum	Mean	Std. Dev.	Ratio	Trans	Model
Y1	Peel strength(Fr)	N/cm2	0	Factorial	No Data	No Data	No Data	No Data	NA	None	No model chose
Y2	Peel strength(Be)	N/cm2	0	Factorial	No Data	No Data	No Data	No Data	NA	None	No model chose



圖七、試件(溫度155 °C、壓力80 Kpa)

四、 實驗設備

太陽電池模組封裝主要設備為本系現有之真空封裝機 (Laminator)，生產公司為 Nisshinbo(日清坊公司)，型號為 Lam1222S(圖八)，機台可使用之封裝範圍，長度最大為 2200 mm，寬度為 1200 mm，一般封裝機可作最大厚度為 25 mm 的封裝製程，本實驗考慮學術研究，所以特別訂購，為量產型，但最大厚度達 35 mm 的機台。該機器的操作溫度最大為 180°C，誤差值約在±5°C 左右，加熱速率從 30°C 至 150°C 可在 30 分鐘內完成，溫度控制是透過 PID 去控制，冷卻方式可利用空氣自然冷卻，亦可注入純水做液態冷卻，最大工作的壓力值介於 0 到 1 大氣壓之間，工作台面全開至全閉合所需時間僅需 20 秒。



圖八、真空封裝機

本實驗量測 EVA 與不鏽鋼太陽電池之拉力值，係使用昇群科技

公司所製造之太陽電池拉力試驗機(圖九)，其型號為 MOGRL009，該試驗機上採 AIKOH 公司所製造之電子拉力計，可量測拉力範圍為 $\pm 50\text{Kg}$ ，精度為 $\pm 0.2\%$ ，另搭配昇群開發的軟體介面可即時記錄拉力值。由於研究上需要，設置三種不同角度之拉力量測平台，分別為 45° 、 90° 、 180° ，其中 45° 與 90° 主要為材料黏著度實驗用， 180° 為純材料破壞點拉力實驗使用。



圖九、拉力測試機

五、 拉力強度

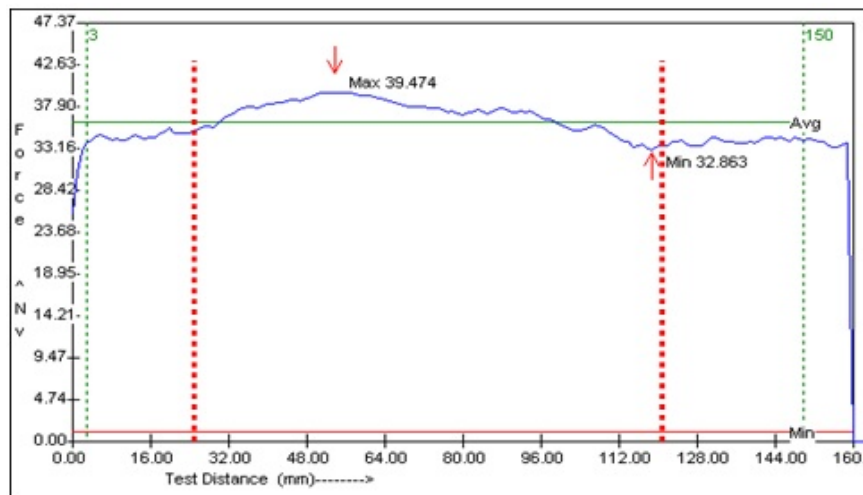
G. Oreski 和 G.M. Wallner針對太陽電池模組的不同封裝材料承受之拉力去作其性質的探討，文中採用拉力實驗之拉力角為 180° ，且也做出各種實驗材料之應力與距離之拉力圖表，結果顯示封裝材料的拉力實驗為必要的，才能了解材料的特性[13]。EVA與其他封裝材料的膠合性，將會影響到模組內部的真空程度，膠合性特性愈強，耐候性也愈好、模組壽命較長。

本實驗以Mogrl ST-RX N002拉力測試機配合AIKOH數位式拉力計量測EVA與杜邦ETFE薄膜及Backsheet 180° 之Peel Strength(圖

十)。先使封裝完畢後之樣本杜邦ETFE薄膜及Backsheet與EVA分離，再將拉力計之夾頭以180°夾持並固定，以120 mm/min 之速度進行拉力測試，取樣長度為20 mm~120 mm，如圖十一。分別量測不同的封裝壓力及底板溫度與EVA間的Peel Strength，並計算其平均值。



圖十、拉力設置



圖十一、材料拉力取樣長度為 20mm~120mm

肆、 結果與討論

太陽電池模組化過程中，影響太陽電池壽命關鍵技術為封裝，雖然封裝技術在太陽電池模組產業已應用多年，但耐候及阻絕水氣仍有其問題存在，但台灣製造太陽電池模組之廠商卻對封裝之研究缺少深入認知，進而影響太陽電池模組使用壽命。

本實驗經由 Design-Expert 軟體分析過後，由剝離強度之變異分析(表四、五)與殘差分析(圖十二、十三)找出重要影響因子，表面材料杜邦 ETFE 薄膜與 EVA 膠合實驗中，利用數學模型方差和與線性回歸方式求出 Temperature 之 p-value，F 因子 $\alpha=0.0098$ 小於顯著水準 $\alpha=0.05$ ，表示此實驗之參數，溫度影響剝離強度比重最大，調整壓力反而較無具體效果，背面材料 TAPE 與 EVA 膠合實驗中，溫度與壓力對膠合程度並無顯著影響，此結果，於實驗後發現，主要原因為 EVA 黏著強度遠大於台虹科技所生產 TAPE 複層材料中之膠層，導致拉力測試時 TAPE 複層材料中膠層與 Tedlar 產生剝離(圖十四)，故在實驗中無顯著重要因子。經由軟體找出，剝離強度之響應重要因子後，將此關鍵因子以符合實務需求之條件，達期望目的之最大值、最小值與平均值，產生參數優化組(表六)。

求出優化參數組合後，即可與不鏽鋼太陽電池進行可撓式模組(圖十五)封裝，此模組長度約為 1.5 m，寬度約為 0.3 m，且太陽電池表面鍍上不同厚度 ITO 導電層讓太陽電池產生不同顏色之效果，使太陽電池模組更具美觀脫離一般制式之印象，且此研究亦為本實驗室目前所做最大尺寸之可撓式模組。

表四、表面材料變異分析表

Use your mouse to right click on individual cells for definitions.

Response 1 Peel strength(Frontsheet)

ANOVA for selected factorial model

Analysis of variance table [Classical sum of squares - Type III]

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	153.15	6	25.53	4.43	0.0232	significant
A-Temperature	121.52	3	40.51	7.03	0.0098	
B-Pressure	31.64	3	10.55	1.83	0.2117	
Residual	51.84	9	5.76			
Cor Total	204.99	15				

The Model F-value of 4.43 implies the model is significant. There is only a 2.32% chance that a "Model F-Value" this large could occur due to noise.

Values of "Prob > F" less than 0.0500 indicate model terms are significant.
In this case A are significant model terms.
 Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant.
 If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model.

Std. Dev.	2.40	R-Squared	0.7471
Mean	32.46	Adj R-Squared	0.5785
C.V. %	7.39	Pred R-Squared	0.2008
PRESS	163.84	Adeq Precision	6.184

表五、背面材料變異分析表

Use your mouse to right click on individual cells for definitions.

Response 2 Peel strength(Backsheet)

ANOVA for selected factorial model

Analysis of variance table [Classical sum of squares - Type III]

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	59.25	6	9.88	1.91	0.1847	not significant
A-Temperature	55.81	3	18.60	3.59	0.0593	
B-Pressure	3.44	3	1.15	0.22	0.8793	
Residual	46.65	9	5.18			
Cor Total	105.90	15				

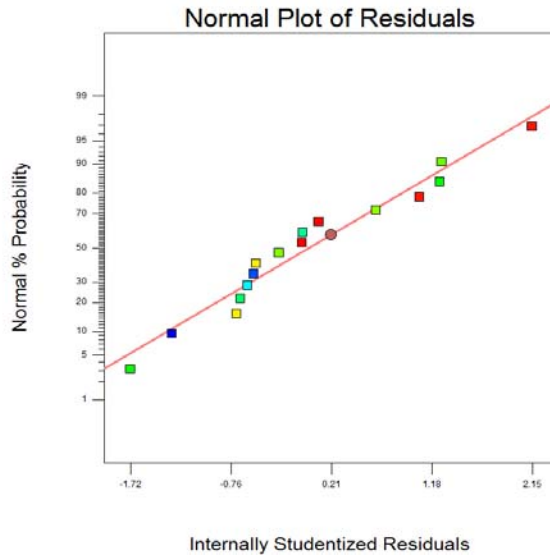
The "Model F-value" of 1.91 implies the model is not significant relative to the noise. There is a 18.47 % chance that a "Model F-value" this large could occur due to noise.

Values of "Prob > F" less than 0.0500 indicate model terms are significant.
In this case there are no significant model terms.
 Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant.
 If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model.

Std. Dev.	2.28	R-Squared	0.5595
Mean	16.69	Adj R-Squared	0.2659
C.V. %	13.64	Pred R-Squared	-0.3922
PRESS	147.42	Adeq Precision	4.230

Design-Expert?Software
Peel strength(Frontsheet)

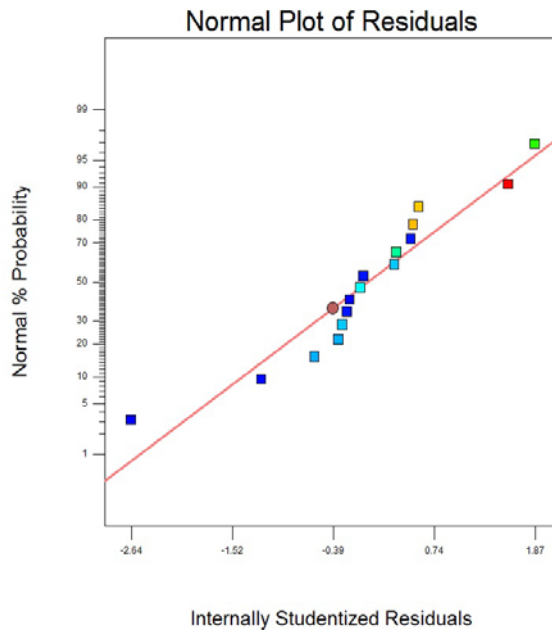
Color points by value of
Peel strength(Frontsheet):
37.21
25.63



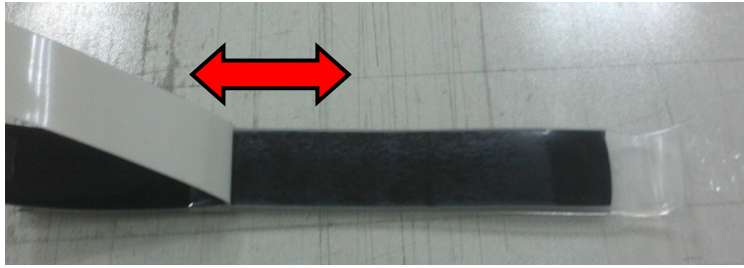
圖十二、表面材料殘差分析

Design-Expert?Software
Peel strength(Backsheet)

Color points by value of
Peel strength(Backsheet):
22.46
14.37

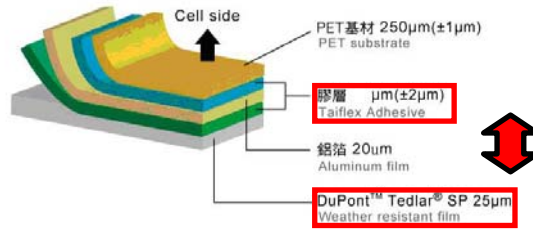


圖十三、背面材料殘差分析



- Solmate® BTAN

產品結構 Structure



圖十四、TAPE 複層材料脫層

表六、優化參數組

Constraints						
Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Lower Weight	Upper Weight	Importance
Temperature	is in range	125	155	1	1	3
Pressure	is in range	70	100	1	1	3
Peel strength(Fr)	maximize	25.63	37.21	1	1	3
Peel strength(Ba)	maximize	14.37	22.46	1	1	3

Solutions for 16 combinations of categoric factor levels						
Number	Temperature	Pressure	Peel strength(Frontsheet)	Peel strength(Backsheet)	Desirability	
1	125	90	35.79	20.0956	0.788	Selected



圖十五、不鏽鋼太陽電池可撓式模組

伍、 結論與未來工作

本實驗利用全因子法進行實驗後，求出實驗參數中，底板溫度控制於 125 °C，壓力 90 kpa 時，在本次實驗所有參數組合中，表面材料與 EVA 膠合強度達最大拉力約 17 N/cm，且已可與不鏽鋼太陽電池結合，封裝成兼具發電及美觀功能之太陽電池模組。

本研究藉由實驗已求出優化封裝參數組合，但不知杜邦ETFE薄膜以及Backsheet與不鏽鋼太陽電池是否會在環境因素嚴苛考驗中與EVA產生排斥現象，使EVA產生黃化和氣泡之現象，造成水氣滲入形成不鏽鋼太陽電池模組無法完全絕緣封裝之情形。目前方案為將所有試件置入可程式恆溫恆濕試驗機(圖十六)中，以IEC61215 10.13 濕熱測試 (Damp heat test)條件，以條件85°C±2°C、85%RH±5%RH，持續測試1000小時來驗證所求出之參數組合是否符合預期之成效。



圖十六、可程式恆溫恆濕試驗機

陸、 参考文献

- [1] Martijn M. Hackmanna, Marcel H.H. Meuwissena, Tom L. Botsa, Jan A.H.M. Buijsa, Kees M. Broekb, RonaldKind ermanb, Olga B.F. Tanckc, Frank M. Schuurmans, “Technical feasibility study on polycarbonate solar panels”, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 84 , 105–115, 2004 ◦
- [2] Takeshi Kojima, Takeshi Yanagisawa, “The evaluation of accelerated test for degradation a stacked a-Si solar cell and EVA films”, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 81 , 119–123 , 2005 ◦
- [3] K. Agroui, A. Maallemi, M. Boumaour, G. Collins, M. Salama, “Thermal stability of slow and fast cure EVA encapsulant material for photovoltaic module manufacturing process”, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 90 , 2509–2514 , 2006 ◦
- [4] G.J. Jorgensen, K.M. Terwilliger, J.A. DelCueto, S.H. Glick,M.D. Kempe, J.W. Pankow, F.J. Pern, T.J. McMahon, “Moisture transport, adhesion, and corrosion protection of PV module packaging materials” , *Solar Energy Materials & Solar Cells* 90 , 2739–2775 , 2006 ◦
- [5] William H. Holley, Jr. , Susan C. Agro, James P. Galica, Robert S.,UV,“Stability and module testing of non-browning experimental PV encapsuiants” , 1996 ◦
- [6] Thomas Carlsson, Petri Konttinen, Ulf Malm, Peter Lund, “Absorption and desorption of water in glass/ethylene-vinyl-acetate/glass laminates” , *Polymer Testing* 25 , 615–622 , 2006 ◦
- [7] G.J.Jorgensen,K.M.Terwilliger,J.A.DelCueto,S.H.Glick,M.D.Kempe, WPankow ,F.J.McMahon, Moisture transport, adhesion, corrosion

- and protection of PV module packaging materials, 2006
- [8] G. Oreski, G.M. Wallner, Delamination behaviour of multi-layer films for PV encapsulation, 2005
- [9] 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。
- [10] K. Agroui, N. Benrekaa, "Characterisation of Etylene Vinyl Acetate for Photovoltaic Application, IEEE, 2009.
- [11] K. Agroui, A. Maallemi, M. Boumaour, G. Collins, M. Salama "Thermal stability of slow and fast cure EVA encapsulant material for photovoltaic module manufacturing process", Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol.90, pp.2509~2514, 2006.
- [12] G. Oreski, G.M. Wallner , " Delamination behaviour of multi-layer films for PV encapsulation", Solar Energy Materials & Solar Cells 89 , 139–151, 2005 。
- [13] G. Jorgensen, K. Terwilliger, S. Glick, and T. McMahon " Materials Testing for PV Module Encapsulation", Presented at the National Center for Photovoltaics and Solar Program Review Meeting, pp.1~4, 2006

柒、 附錄

一、 回歸模型之檢定

採用預測模型前必須先了解此模型是否顯著，再由預測模型產生預測值，實際值與預測值免不了會有誤差，誤差的大小能用方差和來表示，針對方差的來源做分析即為異變分析(Analysis of Variance；ANOVA)

- (1) 總方差和：觀測值之平均值與觀測值相較的方差和，即由實驗得到之所有品質特性實際值與所有品質特性實際值平均之差值，其公式如下：

$$S_T = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

- (2) 迴歸方差和：預測模型產生的預測值與觀測值之平均值相較的方差和，即由分析軟體所預估得到之所有品質特性預估值與所有品質特性實際值平均之差值，其公式如下：

$$SS_R = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2$$

- (3) 殘差方差和：預測模型產生之預測值與觀測值的方差和，由實驗得到之所有品質特性實際值和藉由軟體所預估得到之所有品質特性預估值之差值，如公式如下

$$SS_E = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

其中 y_i 為實驗得知之實際值； \bar{y} 為實驗得知之實際值之平均； \hat{y} 為分析軟體所預估得到之預測值。而此三種方差和之間的關係式如下

$$S_T = SS_R + SS_E$$

完成異變分析後，可藉由判定係數 (Coefficient of Determination; R^2)，以判別實驗模型是否準確，其定義藉由因變數 y 與自變數 x 的迴歸關係，來解釋方差和佔總方差和的比例，即為迴歸模型間的適配度 (Goodness of Fit) 之指標；而判定係數介於 0 到 1 之間，判定係數越大則表示模型間的適配度越佳，亦即 \hat{y} 預測值越接近 y_i 實際值；其公式如下：

$$R^2 = \frac{SS_R}{S_T} = \frac{S_T - SS_E}{S_T} = 1 - \frac{SS_E}{S_T}, \quad 0 \leq R^2 \leq 1$$

F 統計值為判定因變數 y 與自變數 x 之間存在線性的關係程度，當 F 統計值越大時，則表示模型中因變數 y 與自變數 x 越有可能存在線性關係，當 F 統計值大於 F 統計臨界值 $F(\alpha, k, n, n-k-1)$ 時，迴歸模型是顯著的；其公式如下：

$$F = \frac{SS_R / k}{SS_E / n - k - 1} = \frac{MS_R}{MS_E}$$

其中 n 為數據數目； k 為自變數 x 數目； MS_R 為迴歸均方差； MS_E 為殘差均方差，另 k 及 $(n-k-1)$ 分別為所對應之迴歸方差和與殘差方差和之自由度， α 代表顯著水準，一般為 0.05， F 統計臨界值 $F(\alpha, k, n, n-k-1)$ 可由 F 分佈表查得。

二、 迴歸模型之診斷

當我們以建立迴歸模型後，除了檢驗模型的顯著性與充分性外，也需假設分析殘差是否滿足迴歸分析理論，其迴歸分析理論有下列四項基本假設：

- (1) 殘差變異常態：殘差變異之分佈為常態分佈。
- (2) 殘差變異常數：殘差變異大小與自變數值無關連。
- (3) 殘差變異獨立：殘差變異大小與實驗時序無關連。
- (4) 因果線性關係：因變數與自變數間為線性關係。

其驗證以上四項假設可由常態機率圖及殘差圖進行診斷，而常態機率圖可用來判定數據組是否呈現常態分佈；殘差圖可以用來判定迴歸分析之殘差變異常數假設或殘差變異獨立假設。

三、 參數優化

在品質設計問題中，其設計目標經常是追求反應最大化或最小化，但有某些反應必須滿足某先限制的要求。例如太陽電池焊接時，為了讓設備有最佳的稼動率，模組廠通常希望焊接時產量望大，焊接溫度望低，避免破片探針壓力望小，以上三種情況必須同時滿足，

此類具有因子間的組合必須限制某值，此問題稱為配比設計。

本實驗為了與實務上需求接軌，採用限制最佳化問題，此品質設計問題不但以期望最大值、期望最小值或期望目標值等需求，且有品質特性質需小於、大於或等於某值的限制，或者品質因子間的組合必須滿足某些限制。其最佳化模式為

$$\text{Min } F(x) \text{、Max } F(x) \text{、Min } (F(x)-m)^2$$

$$\text{Subject to } g_j(x) \leq 0 \quad ; j=1, 2, 3.., m$$