

出國報告(出國類別：其他(開會))

經濟部科技專案綠色產業用金屬材料應用研究發展計畫-能源產業鍍膜及塗層材料技術出國報告

服務機關：國防部軍備局中山科學研究院

姓名職稱：聘用技正 倪國裕

派赴國家：美國

出國時間：102.08.24~102.08.31

報告日期：102.09.07

國防部軍備局中山科學研究院出國報告建議事項處理表

報告名稱	經濟部科技專案綠色產業用金屬材料應用研究發展計畫-能源產業鍍膜及塗層材料技術出國報告		
出國單位	第五研究所	出國人員級職/姓名	倪國裕 / 聘用技正
公差地點	美國	出/返國日期	102.08.24 / 102.08.31
建議事項	<ol style="list-style-type: none"> 1. 薄膜太陽能電池仍是太陽能開發相當熱中的項目，目前整體太陽能產業狀況雖不佳，但薄膜太陽能電池之研究仍是相當熱絡，相關之研究活動仍宜維持。 2. 下世代薄膜太陽能電池之開發首重降低成本，目前主要研究以銅鋅錫硫系半導體為主，相關之鍍膜技術與鍍膜材料之開發也應同步展開，一旦研發進展有突破，國內鍍膜材相關技術要適時到位。 3. 太陽能產氫是太陽能源應用之另一領域，光電化學產氫所需電極之製作與鍍膜材料及塗膜技術相關，目前產業雖未形成，但可依本院現有塗層技術基礎作適度之研發投入。 4. 雷射加工機具在太陽能電池開發上有許多用途，包括雷射劃線，雷射退火，雷射鑽孔，雷射蝕刻等，相關之機具開發及應用技術目前國內水準均呈落後，有須要引進或加速開發。 5. 鋁鈹合金具高比強度，評估可用於無人飛行載具，可考慮建立能量。 		
處理意見	<ol style="list-style-type: none"> 1. 薄膜太陽能電池屬產品，其相關之核心技術是鍍膜，現階段太陽能電池產業雖呈低迷，但鍍膜技術仍有許多用途，可依現況轉作開發其他有可撓性需求之品項以繼續維持研發能量。 2. 下世代薄膜太陽能電池之開發首重降低成本，相關者如可配合銅銻鎵硒半導體薄膜太陽能電池計畫作資料蒐集與先期評估，保持技術水平與國際同步。 3. 塗層技術是太陽能產氫所需電極中之一環，本院可利用已有之各項濺鍍、蒸鍍及電漿噴覆等技術再結合光電化學理論及結合學界去思考或開發衍生應用。 4. 雷射用途廣，國內相關單位已規劃進行相關機具之開發，未來將推動設備開發技術與應用技術之結合。 5. 鋁鈹合金之開發與應用，可先進行熔鑄至加工等程序相關之毒性管制程序，無工安環保顧慮後應可展開開發。 		

報 告 資 料 頁			
1.報告編號： CSIPW-102Z-D00 03	2.出國類別： 其他(開會)	3.完成日期： 102·09.07	4.總頁數：53
5.報告名稱：經濟部科技專案綠色產業用金屬材料應用研究發展計畫-能源產業鍍膜及塗層材料技術出國報告			
6.核准 文號	人令文號 部令文號	102.07.24 國人管理字第 1020012364 號 102.07.19 國備獲管字第 1020010320 號	
7.經 費	新台幣：148,894 元		
8.出(返)國日期	102年08月24日至102年08月31日		
9.公差地點	美國		
10.公差機構	2013(SPIE)太陽能源與技術研討會暨展示會		
11.附 記			

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：經濟部科技專案綠色產業用金屬材料應用研究發展計畫-能源產業鍍膜及塗層材料技術出國報告

頁數 50 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

國防部軍備局中山科學研究院/倪國裕/冶金組/聘用技正/03-4712201 轉 357221

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

倪國裕/國防部軍備局中山科學研究院/第五研究所冶金組/聘用技正/03-4712201 轉 357221

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他:開會

出國期間：

出國地區： 美國

102/08/24~102/08/31

報告日期：

102/09/07

分類號/目

關鍵詞：

薄膜太陽能電池、雷射應用、太陽能產氫、鋁鈹合金

內容摘要：

此報告為參加在美國舉辦 2013 年(SPIE)太陽能源與技術研討會暨展示會心得報告。報告內容包括薄膜型太陽電池，下世代太陽電池發展，雷射加工在太陽能電池之應用，太陽能產氫相關光電化學技術發展，太陽能電池模組壽命評估，鋁鈹合金及展示會場展品參觀心得等主題。除了現行市場習知之各式鍍膜方法，也包括太陽光譜吸收改善之抗反射纖構設計方式與方法，光譜上調與下調之材料與方法等，銅鋅錫硫、銅鋅錫硒等新吸收層材料之特性評估結果，提供未來研發方向重要參考。

目 次

壹、目的.....	(9)
貳、過程.....	(10)
參、心得.....	(51)
肆、建議事項.....	(53)
附 件.....	(無)

經濟部科技專案綠色產業用金屬材料應用研究發展 計畫-能源產業鍍膜及塗層材料技術出國報告

壹、目的

本次目的為執行經濟部科技專案綠色產業用金屬材料應用研究發展計畫-能源鍍膜及塗層材料技術，派員赴美國參加 2013 年(SPIE)太陽能源與技術研討會，研討與蒐集太陽光電科技、節能及鍍膜技術等相關材料與市場發展等資訊，俾利本院加速在能源與節能領域有關鍍膜材料與技術之研發。

1. 透過與國外專家及學者直接交換研究心得及進行實務問題討論後，以提昇本院在相關議題的研究能力，並突破現有技術瓶頸。
2. 掌握太陽能及節能元件最新研發趨勢及方向，以提昇本院在開發太陽能及節能元件鍍膜材料所需之製程適當性評估與研提改善方案的能力。
3. 配合本院既有之光電靶材關鍵技術能量，以增進對太陽能及節能元件鍍膜材料開發之能力，以減少研發過程的試誤，並協助本院及產業界太陽能及節能元件鍍膜材料研製技術的研發。
4. 蒐集技術領先國家在鍍膜材料發展及太陽能產品應用等相關資訊，以有助於未來計畫之建案及精進技術能力。

貳、過程

SPIE 是一知名國際性之學術組織，常態性的籌辦各種科技研討會，其在光學及光子領域可屬執牛耳的層次，此次由 SPIE 籌辦之光學與光子總會議中，太陽能源與技術研討會暨展示會算是整體會議之一項極要主題，同會場仍有多項光學與光子之會議。SPIE 在號召力、規劃組織能力均顯示出優質的水準。此次研討會在美國加州聖地牙哥市會議中心舉辦，聖地牙哥市會議中心相當大，有許多個會議廳，其他會場有奈米科學、傳統與非傳統光學技術等在進行，會議內容部分與綠能相關，但因時間有限，因此仍依原規劃行程只參加太陽能源與技術主題下之各項研究發表及展示會作主要之資訊蒐集。

國防部軍備局中山科學研究院出國人員工作計畫表						
日期	星期	行程		公差地點	工作項目	備考
		出發	抵達			
102.08.24	六	桃園	聖地牙哥	美國加州聖地牙哥	去程。	夜宿聖地牙哥
102.08.25	日			美國加州聖地牙哥	1.報到及註冊。 2.研討薄膜太陽能技術，蒐集銅銦鎵碲太陽能電之製造與特性，薄膜光伏發展，窗層及接觸層材料，薄膜光伏中之奈米結構及進階光處理發展現況等資訊。 3.研討下世代光子及元件技術用於太陽能之轉換，蒐集有機光伏元件之光處理。	夜宿聖地牙哥

102.08.26	一		美國 加州 聖地牙哥	<p>1. 研討下世代光子及元件技術用於奈米線與量子點電池開發，太陽能之轉換有關奈米結構及光處理等之設計與發展趨勢資訊。</p> <p>2. 至太陽能大會研討太陽能光電發展趨勢，太陽能源與再生能源之未來之挑戰等趨勢發展資訊，作建築方向評估。</p> <p>3. 至海報展場與作者討論及蒐集薄膜元件，鍍膜設備與材料及技術發展資訊。</p>	夜宿聖地牙哥
102.08.27	二		美國 加州 聖地牙哥	<p>1. 研討有機光伏發展，蒐集新聚合物材料應用於有機光伏，新的層疊架構與著手方式，作為功能性塗層技術開發參考。</p> <p>2. 研討光伏電池及系統可靠度，蒐集太陽電池朝向效率及穩定等新構想，下世代元件之創新想法，作為未來鍍膜與光電元件開發參考。</p> <p>3. 展示現場參觀，蒐集太陽光電及半導體相關廠商、商品及設備等產業及市場資訊。</p>	夜宿聖地牙哥
102.08.28	三		美國 加州 聖地牙哥	<p>1. 研討太陽能產氫及奈米技術，蒐集於金氧中缺陷與無序驅動光電化學，瞭解及工程化介面電子結構及化學等用於水分解，水分解用之複合氧化物，作為新材料設計及新技術開發之評估參考。</p> <p>2. 研討雷射材料製程用於太陽能元件，蒐集雷射設備與光伏產品之正在冒出及未來將出之技術發展等相關資訊，作為未來計畫研提之參考。</p>	夜宿聖地牙哥

102.08.29	四			美國加州聖地牙哥	1. 研討雷射設備鍍膜材料製程於元件表面改質，切割，及結構化等及相關特殊議題，評估雷射工具應用於提升元件效率、產率、降低成本及薄膜元件製作等資訊。 2. 研討太陽能產氫及奈米技術，蒐集以X光光譜來探究材光電化學材料特性，新的可能用於產氫之材料與方法等資訊，作為未來計畫研提之參考。	夜宿聖地牙哥
102.08.30	五	聖地牙哥			早上由聖地牙哥搭機赴洛杉磯國際機場搭中華航空公司CI006號班機返國	
102.08.31	六		桃園		回程	

本次所參加之在美國舉辦2013年(SPIE)太陽能源與技術研討會暨展示會是一以材料與光電為主題研討與展示會，此會議場址在聖地牙哥會議中心，如圖 1，各地來與會之學者專家參與者甚眾，如圖 2。SPIE 會議實質主題包括太陽能、奈米材料，光學科技、發光二極體 Light emit diode(LED)等多項內容，本報告則以太陽能相關者為主要內容。本報告內容大致分成為光電化學產氫，薄膜太陽能電池、下世代太陽能電池，太陽能光電板壽命評估，雷射加工在太陽能之應用，大會綜合討論會，展示會所見等細項。



圖 1：會場外場景

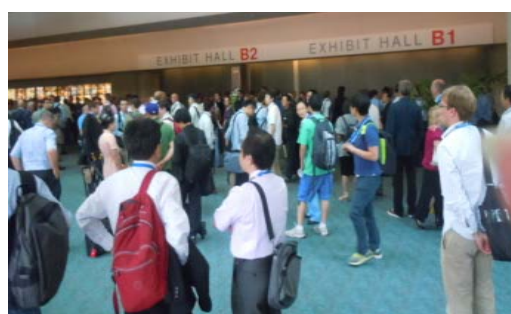


圖 2:會場內盛況

一、光電化學產氫

美國能源部 DOE(Department of Energy)被邀在會中報告，依能源部之報告，DOE 在 2002 年以來之過去十年已在燃料電池技術上有相當進展，其亮點是在車用燃料電池

成本上降低了 80%以上。下一階段之挑戰為可廣泛進行且可負擔得起的再生氫生產，為此 DOE 已開始進行氫產製之短期與長期之研究規劃。在其長程願景中主要是太陽能產氫製程，可能之方式包括光電化學法，生物化學法，熱化學法等。發展過程中也許需經由新的材料或新的奈米結構或介面等來突破。經由 DOE 與聯邦之各項研究計畫之交互運作與共同研究已在產氫技術上有相當之進展。

本次會議印度理工學院提出了用電漿輔助化學氣相沈積法 PE-CVD(Plasma enhanced chemical vapor deposition)來製造金屬氧化物奈米結構薄膜，可由調整組成與製程參數製作各種金屬氧化物奈米材料，為新材料開發打開了一新領域。用還原氫電漿處理製作無序奈米結構金屬氧化物，並於相關之光學，光電化學性質及在產氫應用上進行研究，結果顯示其方式具有相當潛力。

美國 Stony Brook 大學提出如要使半導體表面得到高的光催化氧化活性，並用於太陽能，首先的選項條件是要能吸收太陽能之光，此只是一，半導體之導帶與價帶邊緣必須與水分解反應之能階要配合，此報告是以 GaN 半導體與水之界面作模擬分析，計算水的電子能階與半導體能階之對準狀況與模式，以便以後能估計調整半導體之組成或結構時所導出之電子能階與水分解反應能階相近，以有效應用於陽光分解水產氫技術。

在研究用光電化學電池將太陽能用於裂解水，將水分解後用作產生氫的方法中，赤鐵礦結晶結構之阿爾發型氧化鐵(α -Fe₂O₃)已廣泛的被測試及使用。其原因包括其在水性環境中之化學定性，無毒性，含量豐富，在太陽光譜中具有很好的吸收，最重要的是價格低。美國 Nebraska-Lincoln 大學之報告是有關以低壓電漿及低溫電漿等二種方法用於鍍製氧化鐵薄膜。低壓電漿實質上可為脈波磁控濺鍍，也包括高功率脈波磁控濺鍍方法 HiPIMS(high power impulse magnetron sputtering)。在此研究中進行不同程度之脈波功率，不同程度之脈波頻率等參數之實驗並探討其對所鍍製成薄膜性質之影響，如膜層之結晶結構，光學性質，表面組織形貌，孔洞量與形貌等。其進行了三種條件，100 Hz 與 1 kHz 頻率之時間同為 100 微秒，50 kHz 頻率之時間為 50 微秒。經由使用雷曼光譜儀，X 光繞射 X-Ray Diffraction (XRD)儀等之檢測，顯示此三種頻率下之鍍膜結果均呈赤鐵礦相之結晶結構。但是對特定之脈波頻率而言，不同

之波頻有不同之結晶方向。第二種鍍膜方法使用了低壓直流脈波式空心陰極電漿噴射系統，此方法對多孔質結構之物件特別方便。各種條件下所製備之薄膜均對物理性質作比較，各薄膜之物理特性均使用大範圍之方法用各儀器作分析，包括 XRD，雷曼光譜儀 Raman, X 光發光光譜 X-ray photo spectrometry(XPS)，原子力光譜 Atomic force spectrometry(AFM)，電子顯微鏡 electron scanning microscopy(SEM)，橢圓儀 Ellipsometry 等。量測太陽光所致之光電流被用來評析此些赤鐵礦結構之電極在光電化學上的表現。

德國 Thomas Emmler 先生報告了用冷噴塗 Cold gas spraying(CGS)方法製作光化學電極之研究，過程中將粒子在特殊噴嘴中加速後經由衝擊形成有效之結合並逐步堆積成所需之厚度，此法是直接於工件表面上形成塗層，並不需添加其他如粘結劑等添加物。以二氧化鈦為例，以冷噴塗法所製之塗層其活性與一般用溼化學法所製塗層之活性相當。此研究可再進一步拓展到以赤鐵礦及赤鐵礦與二氧化鈦來進行實驗。

氧化鈾已用在固態燃料電池，也用在汽車之廢氣淨化模組內以控制廢氣之排放。傳統的適知有關氧化鈾之功效被歸屬於其容易形成氧缺陷的特性，但並不是唯一的功效。依瑞典 Uppsala 大學之報告，奈米化之氧化鈾顯示出明顯的氧儲量 oxygen storage capacity(OSC)增加，將氧化鈾奈米微粒置於水中可以發現有氧被放出。此奈米粒子主要有棒狀、立方八面體等，瑞典的報告主要以八面體研究為主，奈米粒子易形成聚落 cluster，聚落尺寸與其在液態中之穩定度相關，基本上尺寸大則不穩定。奈米粒子之 OSC 增加經 Density functional theory(DFT)計算評估應與其表面之超壓充填氧離子 O^{2-} 相關，也因此造成奈米粒子之穩定性下降。氧化鈾分解水程序是先將水分解形成氫氧基鍵結，八面體氧化鈾只在純氧化鈾狀態下才安定，經歷充填反應後結構會變形，經由結構變化及水分解之氧化與還原反應形成循環。目前奈米氧化鈾之分解水效果尚不及氧化錳為催化劑之結果，但奈米化之氧化鈾仍有許多的研究改進空間。

用噴塗熱裂解鍍膜方法鍍製鈮酸鈹 $BiVO_4$ 薄膜以製作光陽極，並研究此法所製之鈮酸鈹薄膜在光電化學上之功能。研究結果顯示鍍製薄膜之前驅層化學溶液之配方，鍍膜基材之材質，鍍膜後之處理方法均對光電化學功效有影響。在鍍後未退火時，膜層為非晶且質地細密，但經退火後則顯示許多微孔形成。研究中再進一步配製不同之

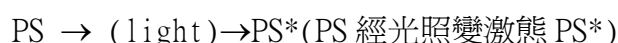
前驅溶液，以將鎢摻雜於鈳酸鈳薄膜中。結果顯示此摻雜鎢之想法不成功，鎢摻雜量之加會降低鈳酸鈳在光電化學上之功效。之後又進行了鉬摻雜，效果也是不佳，研究中討論除鍍膜組成外，膜層與基材之交互作用在未來也要進一步之探討以求改進。

如前，在光電化學裂解水之研究領域中，採用鈳酸鈳材料製作光陽極已吸引了許多研究者之研究興趣，但是依據文獻與報告，大多數之研究中，鈳酸鈳之合成是採溶液方式。採溶液方式鍍製鈳酸鈳膜層有品質不佳之顧慮，對其在電子學，光學及電化學上之影響有待進一步之基礎研究。

美國 Lawrence Berkeley 國家實驗室採行了濺鍍法及化學蒸氣沉積法等來鍍製鈳酸鈳，以期達高品質膜層之效果。由於鈳與鈳之熱傳導性質差異很大，因此化學組成比之準確性控制是此二方法中之重要關鍵，也是主要挑戰。研究發現膜層化學組成比之變化對其在電子傳導及光電化學功效上變化相當重要。膜層之組成與結構在此研究中採用 XRD, Raman, SEM, XPS 等儀器進行分析，其在光電化學功效則在有光照及無光照環境中進行電流電壓曲線之測量。膜層之表面性質則採用表面光伏 SPV(Surface Photo voltage)及暫態吸收 TAS(Transient Absorption Spectroscopy)等儀器進行基礎性研究，包括擴散距離、表面狀態，載子動力等。提出未來要進行增加電洞阻隔層之想法，也提出要於鈳酸鈳中進行摻雜鉬或鎢與氧反應 OER(oxygen evolution reaction)催化劑之結果共同評估。

在光電化學電池中，因氧化與還原之的產出物是分別在分開的電極側，如此產出物之再回復可以容易的防止。但在光化學反應中，因氧化還原反應發生在同一微粒子上，也在同一溶液中，依熱力學理論產物之回復會自動發生，因此要防止就相對困難。光敏化物採用是克服此問題的一方向，一般的反應涉及光敏化物

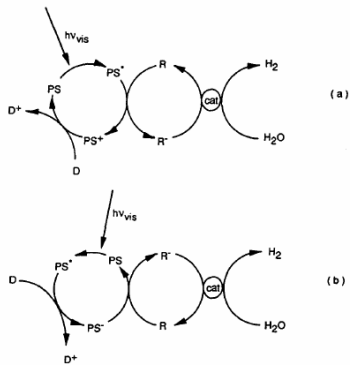
PS(photosensitizer), 反應物 R(reactant), 電子供應者 D(donor)等，其反應如下：



$D^+ \rightarrow \text{products}$. (形成不再回復反應產物)

反應循環模式如圖 3，如果建立一個系統，例如以 TiO_2 半導體為基材，表面要製作成如沸石般之多孔質，可用 TiO_2 與沸石以凝膠方式製作，孔徑約奈米尺寸，且為線形，內部有鉑金屬作催化，表面再吸附比孔徑大許多之光敏化合物

PS(photo-sensitizer)。此系統在光照環境，電子供應者 D(electron-donor) 可將電子傳給敏化物，光照使敏化物激發，激發態敏化物於熄火時將電子傳至半導體之導帶，電子由半導體傳到催化劑 Cat(catalyst) 鉑之導帶，此時電位也接近水分解之電位，可容易的造成放氫結果，如圖 4 與圖 5。



Schematic representation of the redox catalytic cycles in the photoreduction of water to hydrogen by visible-light irradiation of a four-component model system PS/R/D/Cat: (a) oxidative quenching mechanism, (b) reductive quenching mechanism.

圖 3：反應循環模式

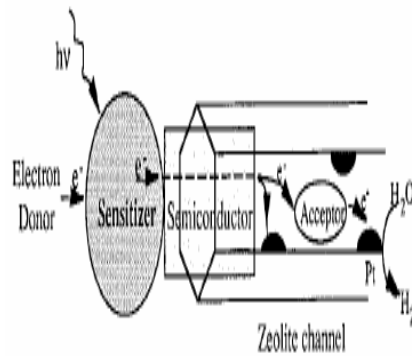


圖 4：沸石多孔通道結構

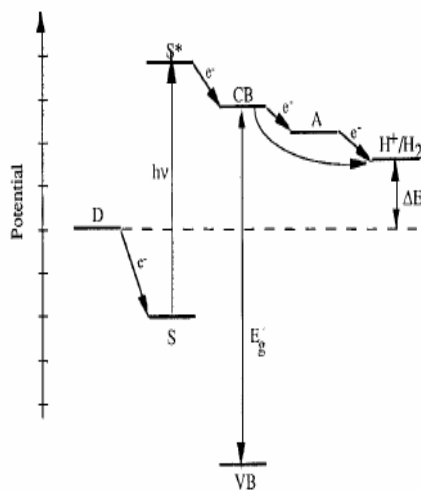


圖 5：電位分解圖

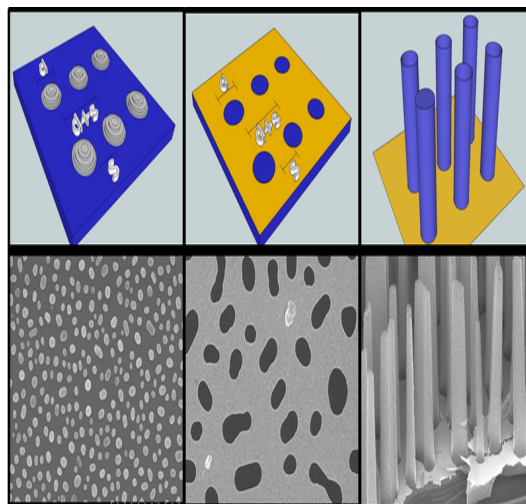
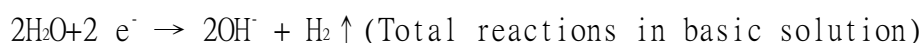
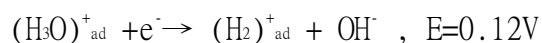
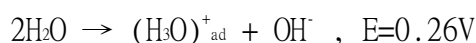


圖 6：金屬輔助化學蝕刻圖

許多用太陽能產氫的製程在發展，此報告則是將多晶白金電極表面之產氫及氧化作用以質量及電荷之傳輸，表面吸附，立體空間，熱力學理論等多項因數來分析及說明反應發生的步驟。於報告中新提出分子氫離子 $(\text{H}_2)^+_{ad}$ 是產氫與氧化過程中之中間物而

不是氫原子之吸收。此多步驟反應可以驗證產氫與氧化之可逆特性，整個產氫與氧化用此分子氫離子說法可以定量的由數質分析及實驗結果之吻合來驗證。



矽奈米線半導體有可能成爲用於太陽能產氫之潛力材料，因矽奈米線可大爲降低水分解之啓始電位，再因氫比矽更爲負電性，因此 Si-H 鍵會於奈米線內吸引電子，導致奈米線呈強化之 P 型摻雜。評估用高純度電子級矽 EG-Si (Electronic grade) 價格貴，不太能被市場接受，因此馬丁路德大學展開用價廉之冶金矽 MG-Si (Metallurgical grade) 來製矽奈米矽線材。長奈米矽之方法也要排除習知如 CVD 等昂貴製程，採用製作黑矽之金屬輔助之化學蝕刻 MACE (metal assisted chemical etching) 法。MACE 其本上是半導體表面與蝕刻溶液之電化學反應，蝕刻矽材之溶液含氫氟酸及過氧化氫並以金屬作催化劑，一般常用銀。如圖 6，催化用之金屬與半導體分別成爲電化學反應之陰極與陽極，使得有催化劑之位置蝕刻速度特別快，依被蝕刻與殘留量之比例可以形成奈米孔道，奈米線之結構。實驗中原採用一般冶金矽作原料，但所形成之奈米線上有許多缺陷，一則是因冶金矽本身之結晶結構缺陷，二則是所含之雜質元素，因此改用純度較佳之 UMG-Si (Ultra metallurgical grade)。過程中也將銀用其他金屬，如鉻、銹、等取代，研究結果顯示用 UMG-Si 後已可得到不錯之奈米線。將所製之奈米線結構之矽用在光電化學產氫電池上去評估其各項光電特性，結果顯示已有效果，隨著蝕刻時間之增長，其光電化學之效果也增加，表示奈米線長度隨時間增加，不過整體而言，其與 EG-Si 之結果比仍是較差的。

二、薄膜太陽能電池

有關薄膜太陽能電池之研究方向以降低成本爲主要述求，此報告是研究用較便宜之電鍍製程來製作銅銻鎵硒 Copper Indium Gallium selenium (CIGS) 電池吸收層，

其作法是電鍍含有 CIG 等主要元素之前驅層，但因所形成結構為極細小之奈米晶組織，且組成與結構不均勻，因此之後須再以加熱方式進行退火處理以改善前驅層結構之結晶性與光電特性，在此研究中是使用雷射掃描方式去加熱希望能發揮退火效果。實驗結果顯示，此作法產生了許多雜相，這些雜相會對元件之效率不良之影響。由於一般 X 光會對材料進行大深度之穿透，用一般之 XRD 作表面特性分析時不靈敏，Grazing Incidence Diffraction (GID) 是低入射角之繞射分析，可解決一般 XRD 儀分析的困難，GID 可用於分析薄膜表面之結構，結果顯示這些雜相包括了富銮二次相，此富銮二次相橫跨穿過整個薄層厚度，膜層表面則出現缺銅相。經由分析鑑定這些相的出現及組成並研究前驅層整體組成及退火處理參數等，可以將雜相之形成以降低。

韓國 Cheongju Univ 大學發表了用反應式濺鍍製作 CIGS 之新方法，一般用 H_2Se 氣體較易控制硒化反應，如圖 7，但本實驗採用硒裂解槽進行硒化反應，如圖 8，進行硒裂解之裂解槽，由圖 9 可看出裂解溫度與硒通量有明顯關係。過程中採用非 H_2S 了兩組靶材，一組是用銅銮與銅鎳合金靶，比例為 $Cu_{0.6}Ga_{0.4}$ and $Cu_{0.4}In_{0.6}$ ，另一組是用銅元素與比例為 $(In_{0.7}Ga_{0.3})_2Se_3$ 之銮鎳硒合金靶，含銅靶是在 20-40W 之間作改變，銮鎳硒靶則是固定在 100W。進行銅、銮、鎳等金屬元素濺鍍之時同步以熱裂解之高活性元素硒進行反應以化合成 CIGS，硒儲槽溫度為 320 度 C，裂解溫度為 900 度 C。CIGS 層在 500 度 C 一生長在鍍鉬之鈉鹼玻璃基板上。此方法可以容易的控制銅、鎳與 III 族之比例，如 0.71-0.95, 0.10-0.30 for Cu/[III] and Ga/[III]，如果增加銅/III 族比則膜層結構之結晶增加，但表面粗糙度也會增加。以此方式製作之 CIGS 也製作成結構順序為 grid/ITO/i-ZnO/CdS/CIGS/Mo/SLG 之太陽電池，微米尺寸電池之主要性質經測量後二元靶為 $V_{oc} = 0.45 V$ ， $J_{sc} = 35.6mA$ ， $FF = .535$ ， $efficiency = 8.5\%$ ，一元與三元靶所得之 $V_{oc} = 0.54V$ ， $J_{sc} = 30mA$ ， $efficiency = 8.6\%$ ，由電池性質來看此方法雖不同於共蒸鍍，但在效率上並未有突出之表現。

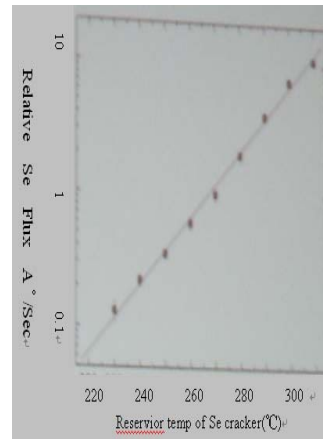
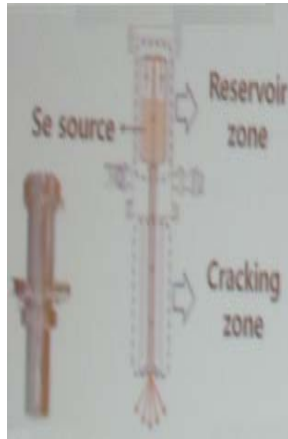
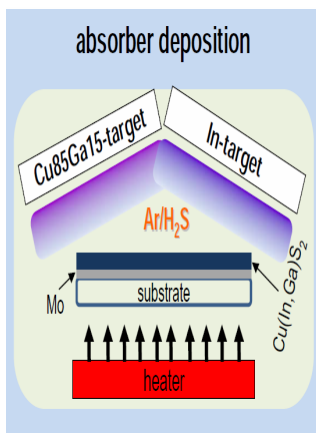


圖 7：反應式濺鍍 圖 8：硒裂解槽 圖 9：溫度與通量關係

盧森保大學用一階段之共蒸鍍法來研究硒活性對 CIGS 電池之影響，其做法是先加熱至 300 度 C 再持溫於 590 度 C 下進行，之冷卻，其研究發現硒活性對富銅之銅銻硒吸收層之巨觀結構及電池效能等均有強烈影響。於銅/銻比>1 時，載子之移動性增加， $E_{fn}-E_{fp}$ 增加，表示能隙有變大。硒通量增加則 FF 值可增加，變化硒/銅銻鎵之比值由約 1-5 可得到不同之效率約 12-18%，但於銅/銻比>1 時，硒通量則以低硒通量為佳，過去有報告顯示在富銅時有可能形成有害之銅硒相，所以採低硒通量是合理的。評估一階段共蒸鍍程簡單但整體效率是不佳的。

一般疊層太陽電池(Tandem solar cells)其上層電池吸收低能光之特性會對整體電池之電流產出形成關鍵影響，因此一般疊層電池已在各層電池中加一中間反射層以期增加高頻光之反射與低頻光之穿透。矽基疊層電池之上電池為非晶矽，下層為微晶矽，德國發表了具有光學及方向性選擇性之中間反射層用於疊層太陽電池之光學管理改善。其作法是用一疊由組成為 SiO_x 微晶矽微層，各微層之折射率不同，經交互相疊後形成具有光譜性及方向性選擇力之中間反射層，如此將高頻光反射回上層電池並將低頻光導向下層電池可改善上層電池之電流密度並增加下層電池之光吸收，整體而言比單層式中間層之效果好。

德國之 Veit Preidel 發表了用電子束加熱方式進行非晶矽薄膜之液相結晶化 LPC(Liquid phase crystallization)研究。其所用之方法是將玻璃基板上之液相非晶矽材用電子束退火方式，使形成高品質之多晶矽結晶，如此可以製成由非晶矽與多晶矽所形成之異質界面，此結構所形成之太陽電池可具有極高之開路電壓，約 580 毫伏

特。但是此系電池之光電流仍只是中等的，因此在此研究中試將奈米網印蝕刻(nano imprint lithography) 與液相結晶化結合，其基本構想是用二維週期性之結構製成可散射並具改善光陷效果之纖構結構。在液相結晶化時用高溫之電子束加熱，之後以習用之工業光蝕刻製程將結晶矽作纖構化處理。如此所形成之多晶矽吸收層不但具有高的結晶性也可在近紅外線波段區具強的吸收。

美國西北大學發表了一種以基因演化為基礎的有系統的發展模式去設計光散射图案，以有效的設計光捕捉結構。此法是源自於自然演化之靈感，經由已有設計之交互作用逐漸改善光捕捉之效能，最後達到最佳之結構以具有最低之反射，也是實質上最大的吸收。如圖 10，顯示由初始簡單之圖案可演化成複雜之圖案。經由可減少反射之圖案設計，可以增加光在薄膜中之光路徑，光路徑增長可視作薄膜之厚度增加，也是光吸收之增加，其吸收可超過 Yablonoitch Limit，此極限是 1980 年依熱力學所計算之結果。實際上用主動層厚度為 30nm 之有機薄膜太陽電池去作測試，以最佳化之散射图案設計條件下，可達約 50%之光譜吸收率，所得到之短路電流約為一般平板型未經圖案化者之三倍。

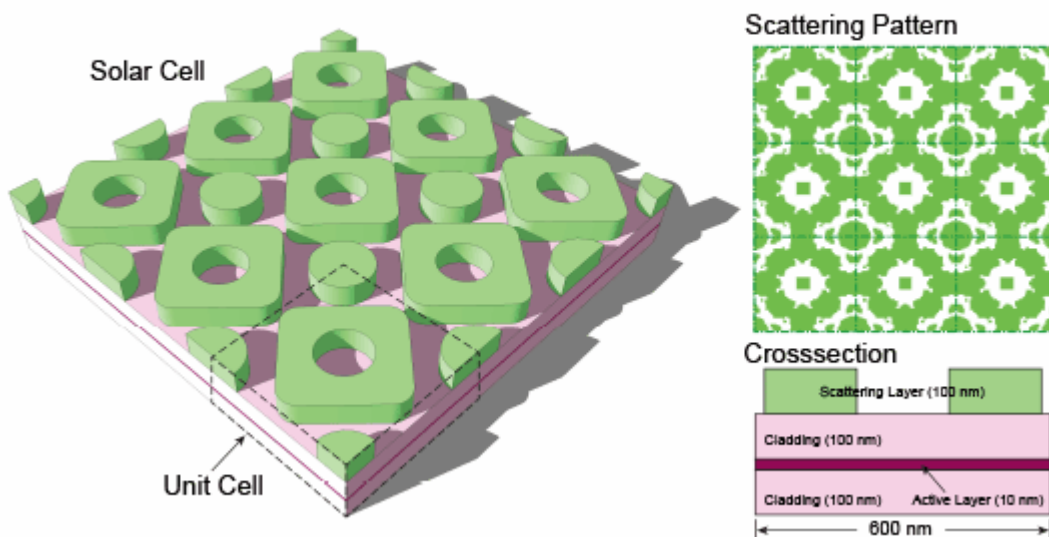


圖 10: 光捕捉圖案

於室溫下以濺鍍方式所鍍製之非晶含鋅氧化銻 a-IZO(In-Zn-O)具有耐溼及耐溫性質，且此種膜具有高電導及透光性，是良好之透明導電膜，可用於 CIGS 及 Epi-Si

(epitaxially grown silicon)等光伏系統中。但是陶瓷形式之 IZO 濺鍍靶材價格高，因此其在光伏產業中之廣泛用作透明導電氧化物層就受到限制。在此研究報告中嚐試用不同方式來製作 a-IZO 透明導電膜。其方法是用銻鋅合金靶材取代氧化物陶瓷靶材，形成透明導電膜層方式是採反應式濺鍍，過程中控制氬氧氣氛比例，於濺鍍過程中所合金元素反應形成透明氧化物膜層。實驗例中於 2 吋*2 吋平方之玻璃基板上鍍製約 70 奈米厚之 a-IZO 透明導電膜，所用之靶材為 3 吋銻鋅合金靶，銻鋅合金重量比約為 87：13，氬氧比約 4 比 1，氣體流量約 20SCCM，鍍膜之工作壓力為 2.5mTorr。鍍膜實驗中分別採用了直流 DC，射頻 RF 及直流與射頻穿插式之方式，比較起來仍是以直流之結果較佳。由於合金靶之熔點低，因此濺鍍過程中需小心控制功率密度，同時靶板也要有良好之冷卻循環設計以防止靶材於鍍膜過程中熔損。為了控制鍍膜之品質，鍍膜前需要將靶材表面作預鍍處理，在濺鍍過程中，氣氛組成也是重要控制因素，氬氧比組成，如果氧量少則所鍍出之膜呈金屬灰色，此時透光度差，可能低於 80%，如果增加氧量，鍍層可變透明，大於 90%不是問題。於應用上必須同時兼顧透光與導電特性，目前結果可達導電性 2100S/CM，透光率>90%。經用 XRD 去分析，膜層結構為非晶結構。由此究顯示，透明導電膜層性質與靶材組成及鍍膜時之氣氛組成均相關，對靶材開發者而言，不僅要開發靶的組成與組織，也要研究鍍膜參數對膜層性質之影響，如此方可教育靶材使用客戶正確的進行鍍膜作業，如此對靶材供者之品質形象與信譽會有正面之效果。

在薄膜太陽電池系統中，銅銻鎵硒電池是產業開發之主流。於銅銻鎵硒電池中，其中銻與硒二種元素在地球中含量均不多而價格高，長遠來看，一旦銅銻鎵硒電池完成量產應用後，則銻與鎵的原料供給可能有來源不足之問題。以銅銻鎵硒化合物半導體為基礎，在銅銻鎵硒化合物中之主要是以 I-III-VI 族元素為主，承襲化合物半導體之概念，新一代之電池材料採用地球上資源豐富且價格低之鋅與錫取代銻與鎵，如此形成以 I-II-IV-VI 元素為主之半導體化合物系。目前研究最熱門者為銅鋅錫硫 Copper Zinc Tin Sulfur (CZTS) 半導體。於此報告中，銅鋅錫硫薄膜是用反應式共濺鍍方式及後續硫化處理合成。前驅層中所含之銅鋅錫是採共濺鍍方式，所用之濺鍍靶材則是用銅、鋅、錫個別金屬靶，濺鍍過程中，銅採直流電濺鍍，鋅與錫則用射頻電濺鍍。前驅層之鍍率控制在 7 奈米每分鐘左右，膜層約 800-1000 奈米。前驅層形成後之硫化

處理是用水平式管形爐進行，硫的來源是用氫氣稀釋之硫化氫氣體 H_2S ，硫化氫與氫氣比約 15-85 體積比，流量約 12.5SCCM。加溫處理程序於第一段採快速，室溫至 400 度，約 10 分鐘，第二段 400 度至 550 度再花 10 分鐘，第三段於 550 度持溫 25 鐘。所形成之薄膜用 XRD 分析後可證明是銅鋅錫硫純相，結晶結構為 Kesterite，在(112)面上有最強之峰值。再用拉曼光譜分析，峰值在 $336CM^{-1}$ ，也可証其結構為 Kesterite。用 EDS(Electron dispersion spectroscopy)分析，顯示只含有銅、鋅、錫、硫等元素，未含有其他元素。用 SEM 觀察，薄膜呈均勻緻密之表面晶粒組織，斷面則呈大粒之柱狀晶組織。分析其能隙值約 1.5eV，電阻值約 $6.4\Omega \cdot CM$ ，活化能約 16meV，由此層之性質可以研判是合適於作為太陽電池之吸收層。

美國 Toledo 大學發表了有關高效率硫化鎘 CdS/CdTe 系薄膜太陽電池之最近之進展與分析結果。此硫化鎘系電池是在鍍有 $SnO_2:F$ 之鈉鹼玻璃基板上製作，硫化鎘吸收層是採密閉空間昇華(Close-spaced sublimation)方式鍍製，以此法所製電池，小面積之效可達 15.5%，在 AM1.5 之光條件下，其開路電壓為 844mV，短路電流為 $24.0mA/Cm^2$ ，填充因子值為 76.6%。此系電池之光電特性用各種儀器進行了分析，包括電流與伏特曲線，量子效率等量測，使用之儀器如 CL(cathode luminescence)，EDS, XRD 等。硫化鎘電池在薄膜電池中是最具成本效益的，但因有毒性之鎘，未來發展仍有許多疑慮。

美國 Nebraska 大學報告了其研究有關銅銦鎵硒膜層用 HiPIMS(high power impulse magnetron sputtering)及 DCMS(DC-magnetron sputtering)等方式來進行前驅層之鍍製，所使用之靶主要為三元合金靶，組成比為 $Cu_{0.45}In_{0.40}Ga_{0.15}$ 。也試了二元靶 $Cu_{0.45}In_{0.55}$ 及 $Cu_{0.45}Ga_{0.55}$ 來進行不同成分靶材之 HiPIMS，濺鍍時所量測到的陰極電壓及放電電流，如圖 11，可知成分是一重要因數。前驅層之硒化是在硒或硒加氫氣氛中進行。所形成之 CIGS 層分別用 SEM，EDX，XRD，Raman 等方法進行特性分析。在此研究所示之結果顯示，濺鍍時之激發方法對前驅層之特性並未產生明顯之差異，但硒化過程中，採用硒加氫之硒化處理較易得到較大之晶粒及較佳之結晶性。

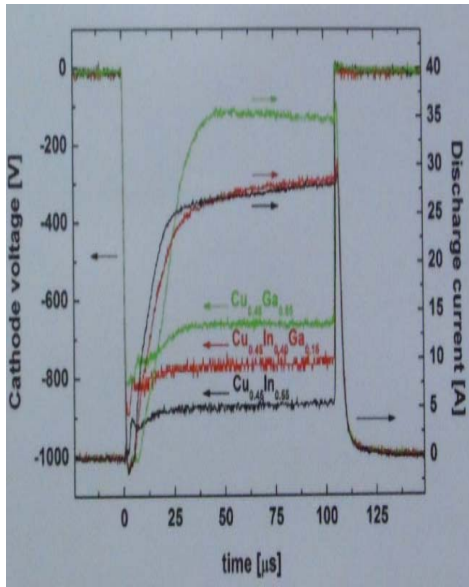


圖 11: 電壓及放電電流圖

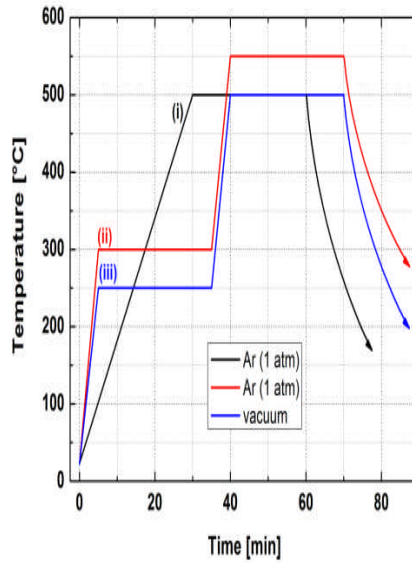


圖 12: 硒化處理圖

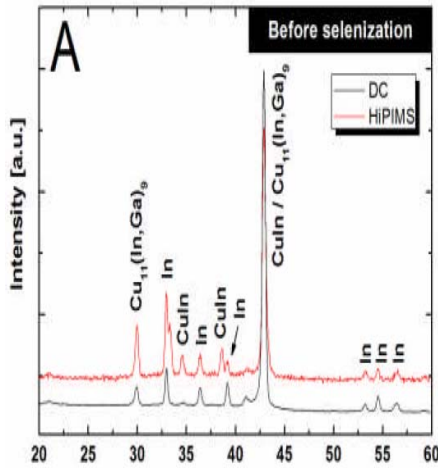


圖 13: XRD 測試圖

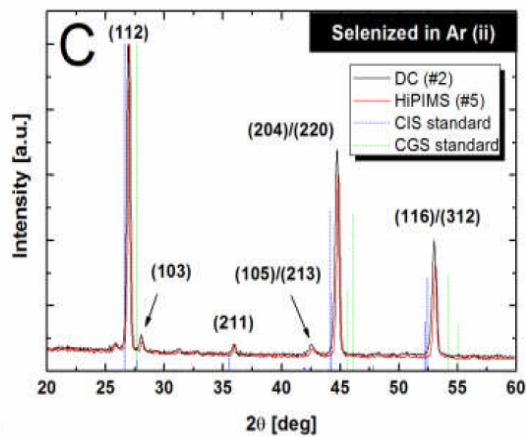


圖 14: XRD 測試圖

各前驅層採不同製程之硒化處理，如圖 12。前驅層在硒化前用 XRD 分析可看到與靶材成分相近，如圖 13，於硒化後再用 XRD 分析，不論在氬氣或真空下，則只看到 CIGS 相之峰，如圖 14 及圖 15。將 CIGS 之吸收主峰(112)放大，可看到各不同條件下之 XRD 分析結果略有峰移現象，如圖 16，表示各不同條件下之晶格常數會略有不同，如圖 17。前驅層在不同濺鍍方法及不同硒化條件下之組織如圖 18。

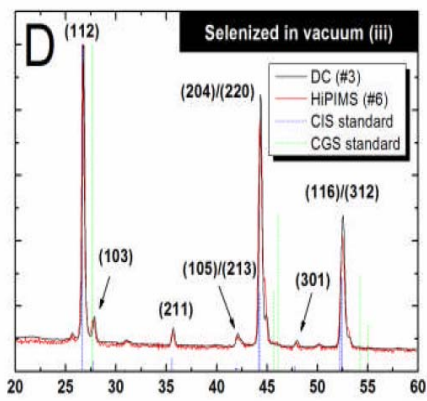


圖 15: XRD 測試圖

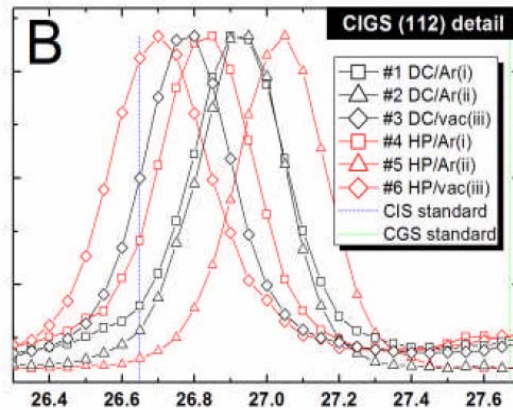


圖 16: XRD 放大圖

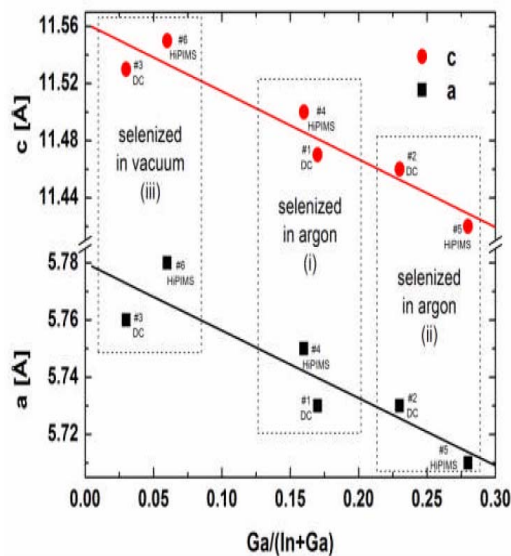


圖 17: 晶格常數

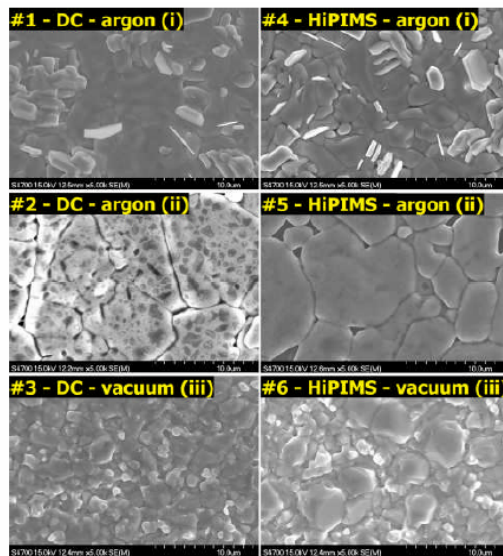


圖 18: 各硒化條件下組織

電漿是物質一般固液氣三相之外之離子態。電漿子是屬於準粒子，可視作電漿之振動，有如光子是電磁波動、聲子機械振動之量化表示，其中光子已不是準粒子。電漿子對金屬之光學性質有相當大影響，頻率小於電漿頻率之光，因金屬之電子雲會遮蔽光之電磁輻射之電場，因此被反射。頻率大於電漿頻率之光因金屬之電子雲之反應速度不夠快，不足以遮蔽光，因此光會穿透。大多數金屬之電漿頻率在 UV，一般可見光之頻率對金屬來說均呈反射而顯出亮晶晶的現象。但像金與銅等，因具有中間能階致部分可見光可穿透吸收，因此展示出其特定之色澤。

韓國 Yonsei 大學發表了將電漿子奈米點製作在 ITO 表面上之方法，期以用於改善有機薄膜太陽電池之效率。奈米尺寸之金屬奈米點陣列可以經由鋁陽極氧化製程 AAO(anodic aluminum oxide)所製之模板遮罩完成。不同之奈米點結構可用不同之鋁陽極氧化製程條件所製之各不同之模板遮罩來完成。此報告研究不同結構之金屬奈米

點陣列對有機薄膜太陽電池性質之改進，期以研究出最佳之奈米點陣列結構。圖 19 為有機光伏 Photo Voltaic(OPV)電池之架構及其上金屬奈米點陣列之示意圖。於 AM1.5 之光照條件下，測量不同光波長所對應之光電流作成圖 20，分析實驗結果，Am1.5 之最大可得光電流為 $29.84\text{mA}/\text{cm}^2$ ，平板無奈米陣列時光電流為 $12.05\text{mA}/\text{cm}$ ，將金質奈米陣列最佳化後，可得光電流約 $15.35\text{mA}/\text{cm}^2$ ，此約為最大電流量之 51%，相較於平板狀況則增加約 27%。奈米點陣列所致之光電流增加可由在奈米點附近所觀查到之電磁場強化來說明，此增加的吸收是因局部表面電漿子協振 Localized surface plasmonic resonance(LSPR)所致於奈米點周圍之電場 E-field 增強，如圖 21，E-field 增強可增加入射光之捕捉，也是光子之吸收。

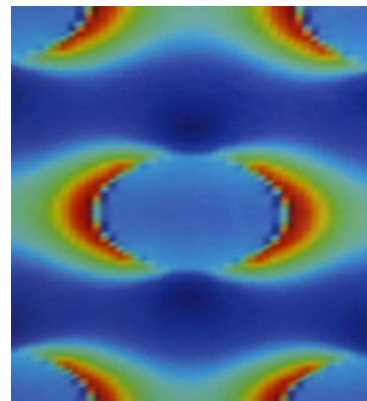
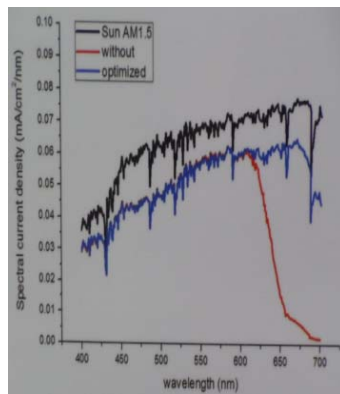
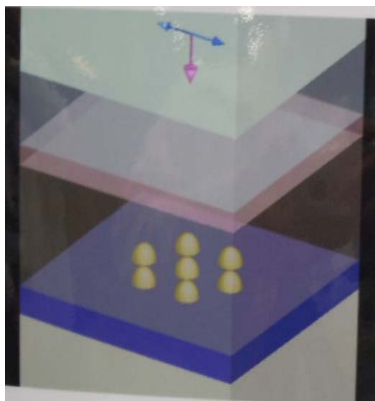


圖 19: OPV 電池架構

圖 20: 波長與光電流圖

圖 21: 奈米點周圍電場

相較於銅銦鎵硒或碲鎘等化合物半導體材料，銅鋅錫硫系半導體之組成中不含有如鎘之毒元素及稀少價貴如銦、鎵、硒等元素，因此銅鋅錫硫化合物已引起許多研究者之興趣。烏克蘭之 Anatoliiy 先生發表了以共蒸鍍方法於鍍有鋁層之玻璃基板上製作銅鋅錫硫薄膜。所製薄膜經用 XRD 等分析其結構為單一相之四面體結構，織構方向為 [211]，晶格數變化在 $a=(0.56640-0.56867)$ nm, $b=(1.13466-1.13776)$ nm ($b/2a = 0.9983-1.0017$) 範圍內，並用 PIXE(Particle-induced X-ray emission) 分析成膜條件與所得到化合物組成之關係。不同之化學成配比，如正好計量，或缺銅缺鋅，缺銅富鋅，富銅富鋅等所形成之組織不同，如圖 22-25，元素分布也因組成與製程之不同有不同之分布，如圖 26。

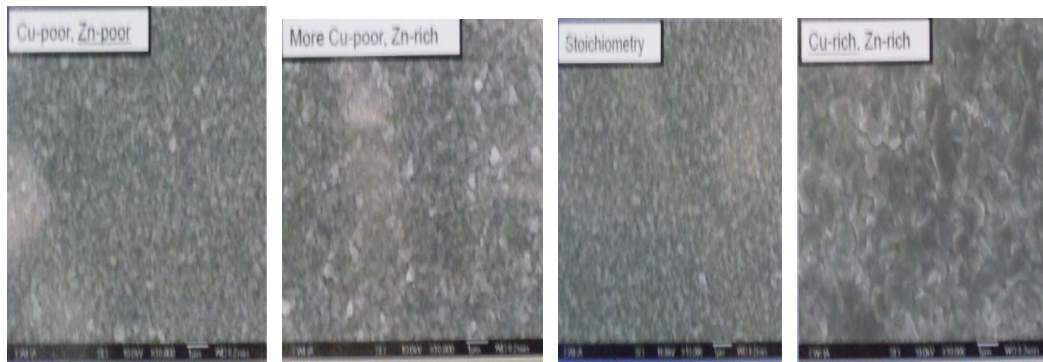
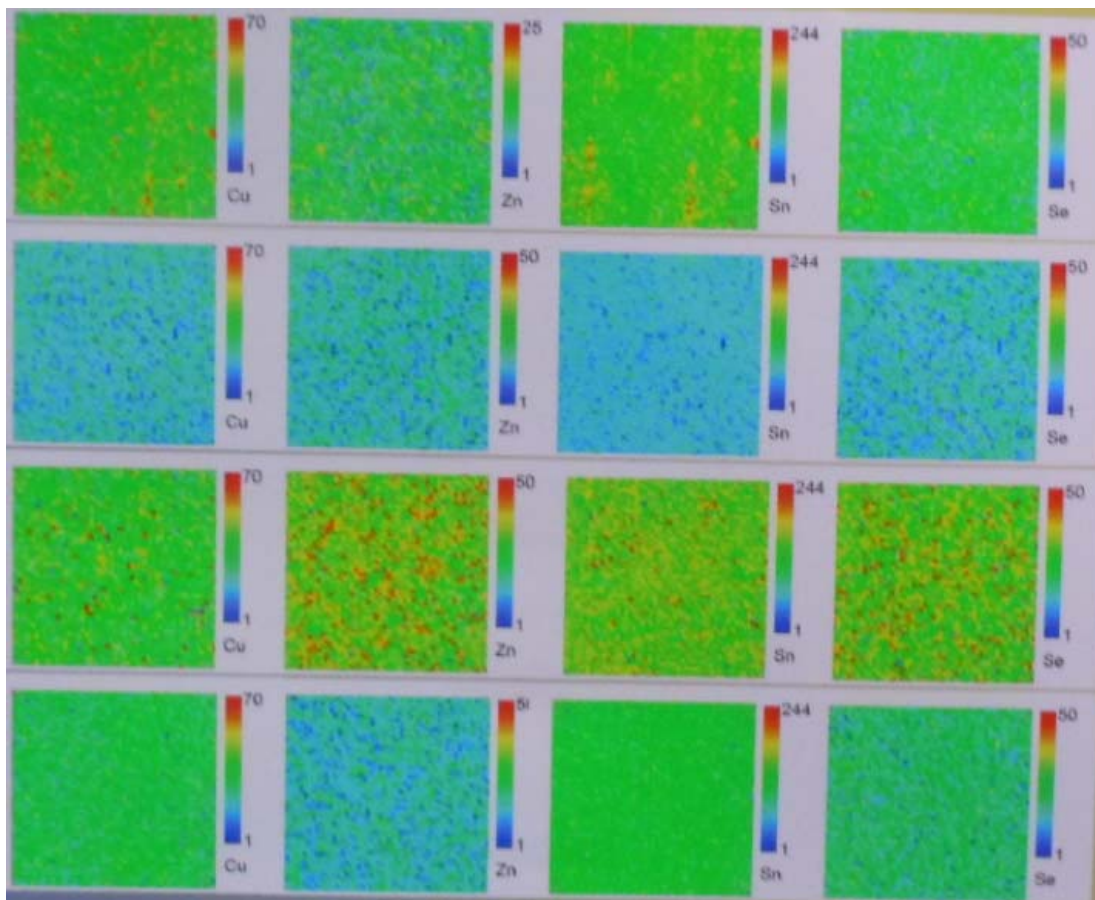


圖 22:富銅缺鋅 圖 23:缺銅富鋅 圖 24:正如計量 圖 25:富銅富鋅



Sample size 200mm*200mm, (Grid 50*50pixels, scanning step of 4microns)

圖 26: 銅鋅錫硫化合物元素掃瞄分析圖

ZnO 薄膜可用在銅銦鎵硒系太陽能電池中之取代 CdSe 作為無鎘系緩衝層，ZnO 可用鍍也可用化學浴方式進行鍍膜，化學浴之方式如圖 27。過去有人用硝酸鋅及六甲撐四胺 hexamethylene tetramine 溶液以化學式製作 ZnO 膜，烏克蘭 Sumy State 大學則以較易獲得之硫酸鋅($ZnSO_4$)與硫尿($CS(NH_2)_2$)等來配溶液製作 ZnO 膜層，實驗所用之各溶液組成如圖 28。所製膜層以 XRD 及高解析度 SEM 等分析其結構及微組織。結果顯

示膜層組織與製程參數相關，於圖 28 之第一組 4 個試樣之 XRD 果顯示較不明顯的峰，如圖 29，顯示可能出現 $Zn_4SO_4(OH)_6$ 之三斜結構，第二組 5 個試樣則相對較明顯，顯示結晶性較好，可屬 ZnO 六面體結構，如圖 30。圖 31，32 所示分別為 90 分與 120 分鐘成膜用 SEM 照膜層表面之圖像，顯示增加成膜時間則表面鬆散的晶粒逐漸連結。形成的膜層如在大氣下作退火則易有氧化現象，合宜的退火條件也是得到好膜層需要控制的參數。圖 33 所示為六面體之晶格常數，其中 L 為一致性散射區 coherent scattering domain (CSD) 之尺寸值，此 CSD 與次晶粒相關。在此實驗中顯示成膜時間太短與太長均不佳，化學浴 ZnO 膜之控制後續仍有許多需研究。

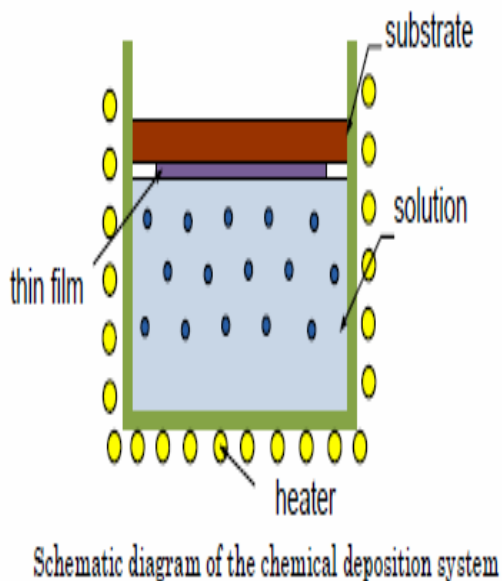


圖 27: 化學浴之方式

First series of samples						
N_2	ZnSO ₄ (0,1 mol), ml	CS(NH ₂) ₂ (1 mol), ml	NH ₄ OH, ml	pH	T_r , °C	τ , min
1	20	4	2	9-10	85	20
2	10	1	1		20	
3	20	20	2		20	
4	10	1	1		85	
Second series of samples						
1	50	5	7	10	85	20
2						30
3						60
4						90
5						120

圖 28: ZnO 膜層製程參數

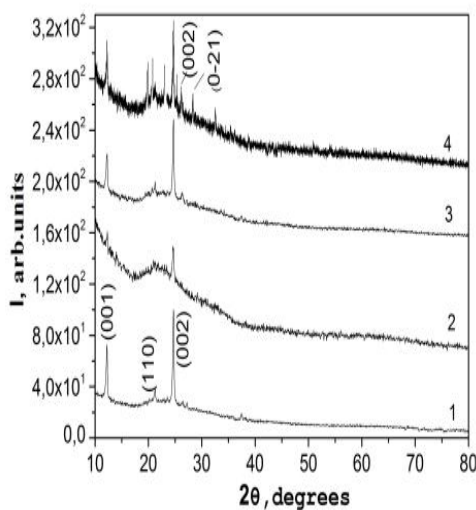


圖 29: XRD 吸收峰

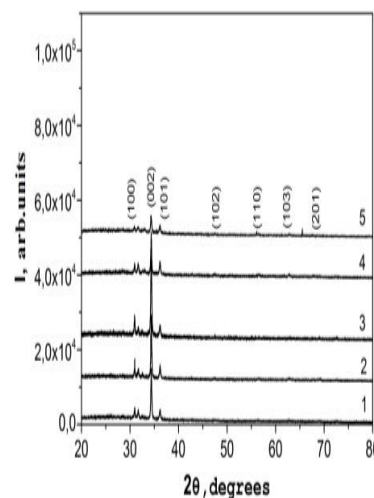


圖 30: XRD 吸收峰



圖 31:90 分成膜組織



圖 32:120 分成膜組織

τ , (min)	Lattice parameters, (nm)			CSD size, L (nm)	
	a	c	c/a	hkl	
				(100)	(002)
20	0.37645	0.57117	1.517	40.1	45.0
30	0.33407	0.50727	1.518	35.9	46.4
60	0.33895	0.51446	1.517	92.9	43.1
90	0.32168	0.48838	1.518	49.1	54.3
120	0.33425	0.50696	1.516	35.5	40.8
Ref. [13]	0.34298	0.52066	1.520		

圖 33:晶格常數

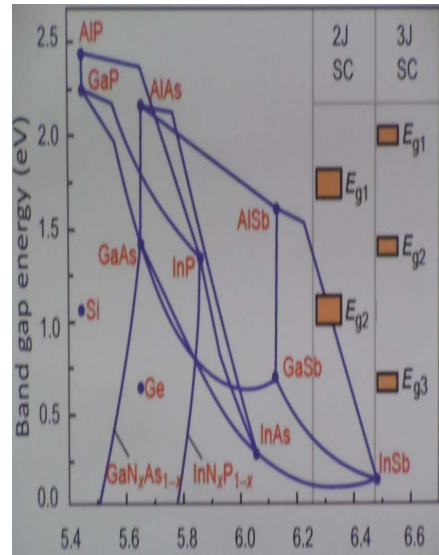


圖 34:能隙調變

薄膜矽基太陽能電池一般可吸收量低，因此效率也低。因此許多之構想是要增加太陽光之吸收，要改變頻段之吸收則須改變能隙，如 III-V 族並導體以不用之組成可以調成具有不同能隙之材料，如圖 34，此不同能隙材料之光譜吸收頻段不同，因此已知之方式是疊層電池，如圖 35 可以於上層電池吸收高頻光，逐步到下層再吸收低頻長波長之光，如圖 36，使整個疊層電池能將太陽光之各頻段作最佳的吸收。如圖 37，單層矽只能吸收部分，疊層電池則可作多頻段之吸收。如果頻段不能改，對薄膜矽而言則有必要增加光吸收，作法之一是增加光射入並減少反射。將表面製成奈米結構也可經由有效的光捕捉改善電池效率。於矽層表面形成奈米結構及或採用其他比矽性質

好的半導體材料等是具可行性之方法。澳洲 RMIT 大學提出使用 FDTD(finite difference time domain)方法來模擬不同表面奈米結構及複合膜層結構之太陽電池，其各模擬之表面結構如圖 38 是於矽基板上以模擬蛾眼所設計之結構，此方式仍有部分光會反射回去。圖 39 是類似之矽基板結構，表面再鍍上 InAs 層作抗反射層 AR(anti-reflection)層，入射光絕大部分會被 AR 層吸收，已可見明顯之改進。圖 40 則是以 GaAs 為基板再鍍上 InAs 抗反射層，總吸光之效果是佳的。

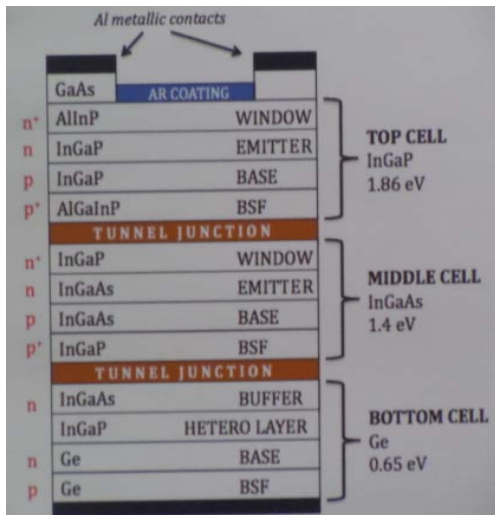


圖 35: 疊層電池結構

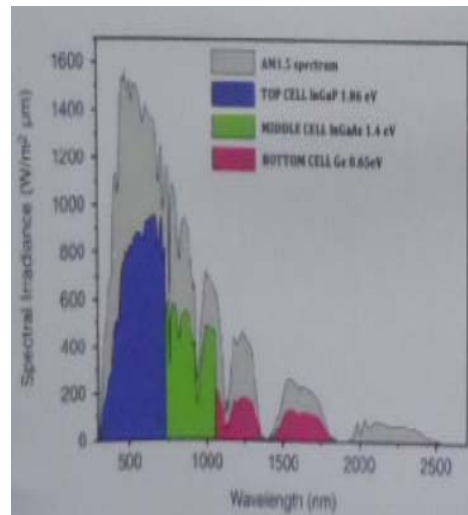


圖 36: 不同吸收頻段

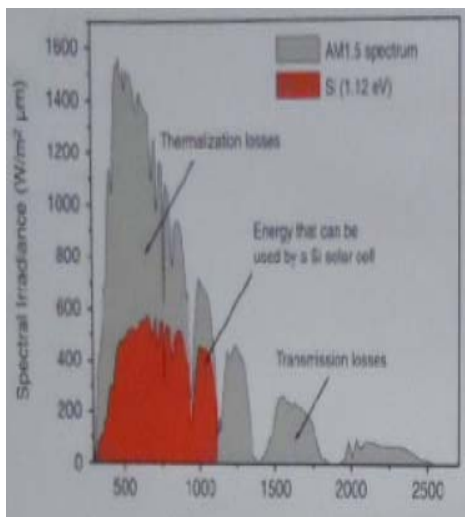


圖 37: 矽可吸收頻段



圖 38: 模擬蛾眼設計結構

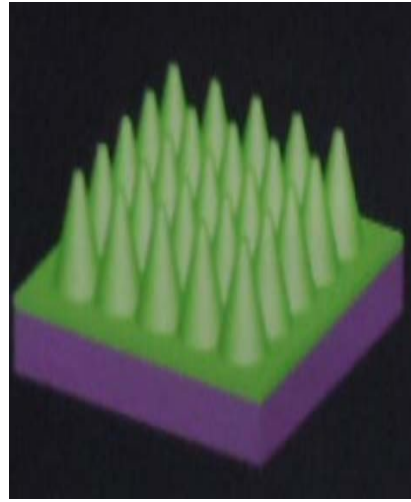
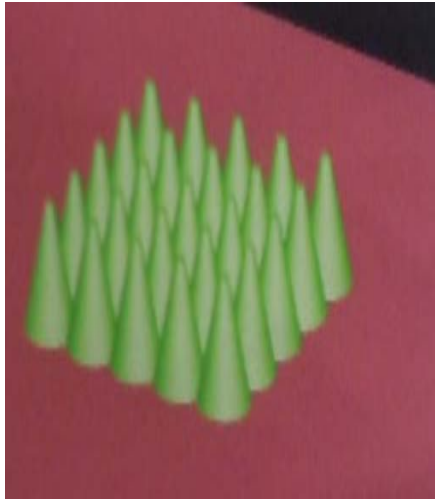


圖 39:矽基板表面鍍 InAs

圖 40: GaAs 基板鍍 InAs

不同之半導體材料之發光壽命不同，其變化範圍相當廣，對矽基為微秒至毫秒級，但對薄膜型式之 III/V 或 II/VI 族半導體材料則發光壽命將大幅下降到小於奈秒級。對特定之晶圓試樣，發光壽命並不是固定的，可能被某些因數影響，例如材料內之缺陷。德國發表了其所建置之可直接觀察之新式 TRPL(time-resolved photoluminescence)在定時間範圍內結合一新的光子計數單元，並顯示此裝置用在 CdTe 系樣品及矽基奈米點等材料上之效果。

非晶與晶矽所組成之太陽電已知是可具有不錯的效率。義大利之 Luca 先生提出可用表面光伏法 SPV(Surface Photovoltage) 作為非接觸式之量測工具，其裝置如圖 41，量測介面狀態密度及能量分布。提出其將薄層非晶矽鍍在結晶矽上之步驟分成之前作氫化處理與之後作氫化處理等不同處理時機，並評估所致氫化效應。由表面再回復及結晶矽之體狀壽命相關之異質介面處缺陷密度與表面光伏暫態現象等在報告中作說明，並討論加氫電漿處理來改善介面區電子品質之有效性。圖 42 所示為雷射開與關所致之電荷重分布形成之偏壓與暫態 SPV。各不同狀態如下：(State 1: As grown State 2:As annealed State 3:48hours after annealing State 4:hydrogen plasma State :one month after hydrogen plasma)，由圖 43 所示為各不同狀態下偏壓與 SPV 之關係，可以看出經氫電漿處理後之 SPV 相對於初生長時有明顯之不同。由圖 44 可看出非晶與結晶矽介面處之能態密度與各狀態之關係，此報告提出熱退火及氫電漿處理均可減緩少介面能態密度及易形成暫時不穩態，使處理後之性質退回至原有狀態，但

經氫電漿後處理後之狀態則相當穩定，可維持約一個月。

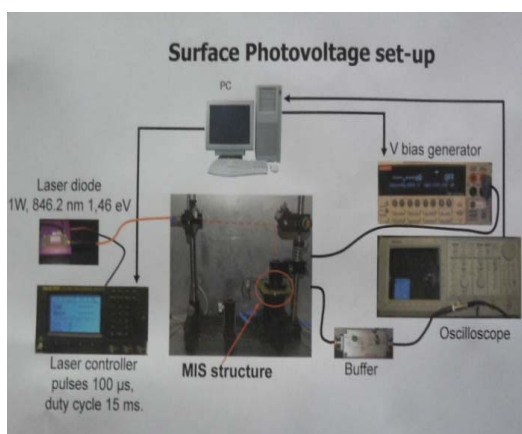


圖 41: SPV 量測裝置

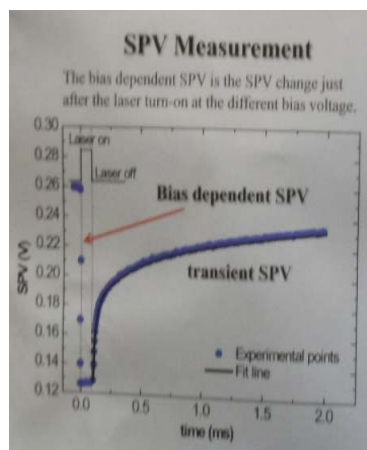


圖 42: SPV 量測結果

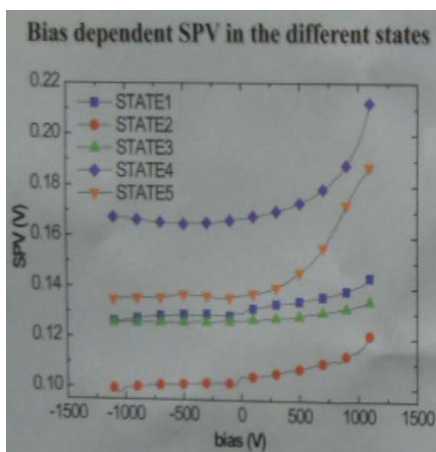


圖 43: SPV 偏壓

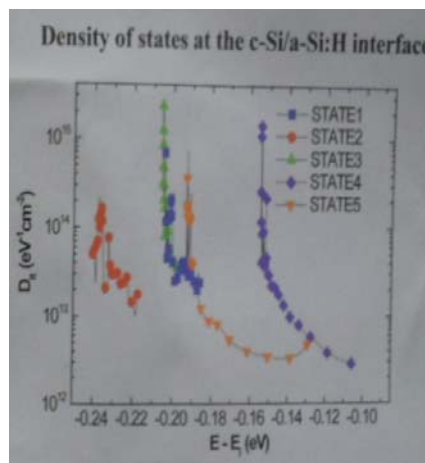


圖 44: 非晶/晶矽介面能態密度

三、下世代太陽能電池

奈米結構之背接點提供了許多改善有機光伏 OPV 電池效率之可能方式。美國再生能源研究室 NREL (National Renewable Energy Lab.) 發表了一方法可結合預製之奈米結構接點於有機光伏元件上，如此打開了主動層 Active layer 中光子管理之許多可能性。光子活動結構之設計、製作與特性等可能加強次能隙光子之吸收，並克服呈光子激發態之電子供給者於傳輸電子與接受者步驟時至之能量限制與損失。

量子點太陽電池在光伏研究領域中算是快速成長的項目，愈來愈受到研究者之重視。以量子點作為光伏吸收層材料是不同於習知如純元素之矽基或化合物之銅銦鎵銻，鎘碲等大體積材料。量子點之能隙是可以經由調變量子點的尺寸來調變，調變範圍算是相當的寬。大體積材料的能隙範圍可調範圍甚窄，在組成固定下一般均相當固

定。量子點能隙之易調變特性使得其在多接點太陽電池之應用上具有良好前景，可調變之能隙特性使其對太陽光譜之多色光性質具有更大的光能吸收效果。

在各種汲取綠色再生能量之方法中，太陽能電池已是各種方法中最重要者之一。影響太陽能電池效率之重要因素之一即為有效的將太陽光能作充分吸收。太陽光譜中含有許多頻段之光，但太陽電池中用於光電轉換之吸收層材料通常只能對特定頻段產生光電轉換效果。據此韓國於會議中發表了以傳統之 CdSe 材料形成之量子點來作下調效果之研究，希望能增加太陽電池中電子洞對之產生。其作法是製作奈米尺寸之 CdSe 粒子為量子點核心，表面再製作 ZnS，如圖 45，經與作者詢問其作用是因 CdSe 核心表面易有許多懸垂鍵而性質不穩定。此量子點材料具有將紫外光作下調功效，也就是可吸收高頻之紫外光再放出較低頻之藍光。其報告是以 GaAs 單接面太陽電為基礎，電池製作程序如圖 46。量子點材料可用旋轉塗布法鍍在入光側之金屬電極之間，來研究量子點材料作下調之效果，如圖 47。研究中用各分析方法包括 TR-PL (time resolved photo luminescence) 等來評量太陽光譜調整之效果，由於 GaAs 之再回復速度在室溫下太 快，因此測試時是將試樣以氮冷卻幫浦冷卻至 15 度 K，以 830nm 光激發進行 PL 量測，結果如圖 48，顯示量子點尺寸對 PL 有一些影響。

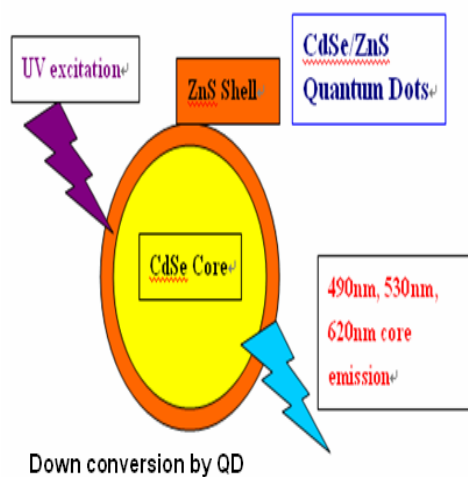


圖 45: 量子點

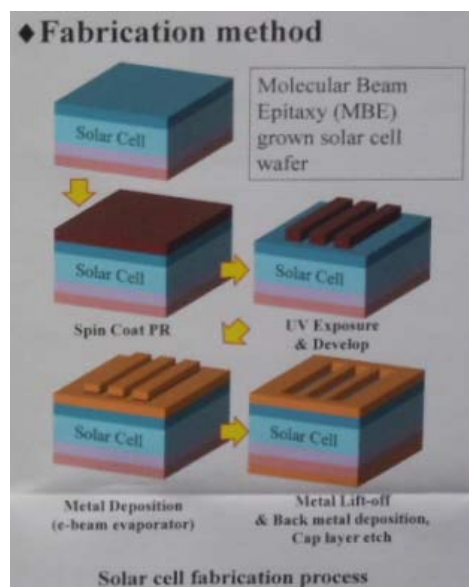


圖 46: 電池製作程序

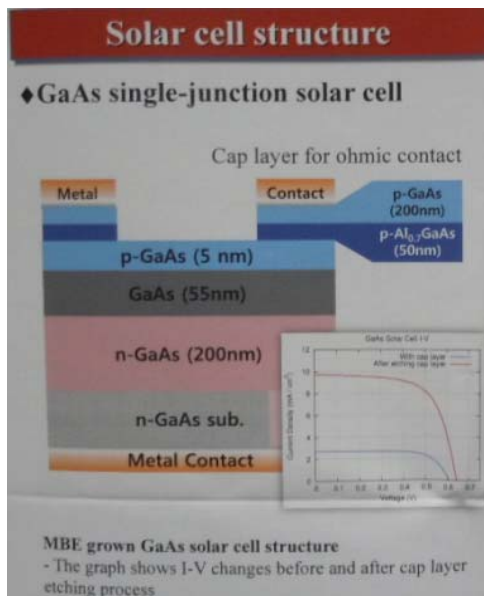


圖 47: 太陽電池架構

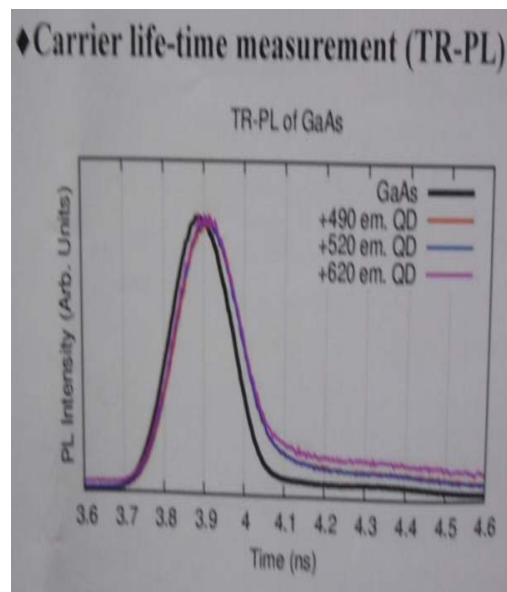


圖 48: PL 量測結果

如圖 49 所示大部分之太陽光能量均未有效利用，可被用到的約只 33%，再此光譜於高頻區有相當大量未用到，因此有必要去設法增加利用量。因此美國國家再生能源實驗室 NREL 著手研究有關以多重激子產生 MEG(multiple exciton generation)方式並結合量子點材料來增加藍光子之吸收。一般之激發如果光子能量與並半導體材料之能隙耦合，則能量之利用最大，但就寬頻光源而言是不易達到的，一般超過能隙的光子能量除產生電子電洞對，也會造成晶格之熱振動，對光電轉換是不利的，MEG 可促使高頻光子吸收後產生多個電子電洞對，其機制如圖 50。將量子點 QD(quantum dot)應用於太陽能電池上，因量子點容易調整，形成有如多重介面狀態，此方式是一以穿隧大量之光子能量以產生許多電子電洞對，而不是用熱，期以強化太陽能量之轉換。研究有摻雜及未摻雜之鉛銻量子點 PbSe QDs，耦合之 PbSe QDs 陣列，膠體化之 Si QDs 等其超快速暫態吸收現象及 MEG 效果。

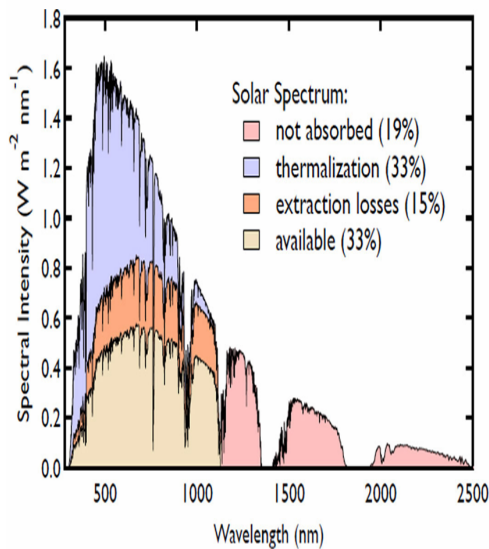


圖 49：太陽光之利用頻段

Exciton Generation

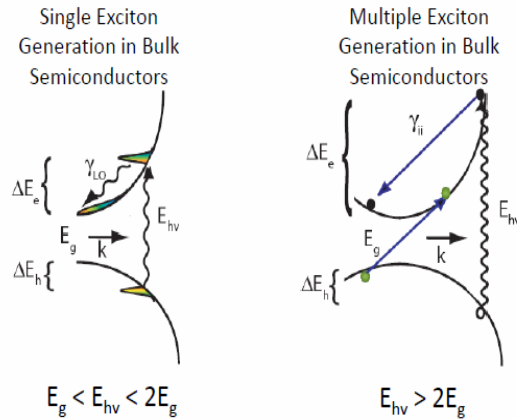


圖 50：MEG 機制

陣列天線在星戰宇宙中可算是一具有掃描及追蹤之天線陣列。陣列天線屬天線之修改型，可被用來將微波能量換成直流電。陣列天線可被用作無線電力傳輸系統，可用於將射頻電磁波能量作傳輸。一簡單之陣列天線元件含有二極體天線並以射頻之二極與二極體相連接。二極體可用於將微波所誘發之交流電予以整流進而產生直流電力，並提供直流電力予與二極體相接之負載。蕭特基二極體因其具有切換速度快及壓降小等特點而常被使用，使其在傳導與切換程中之電力損失最小。大型之陣列天線含有許多之如此之二極體元件。

由於陣列天線具有將電磁波轉換成電力之效果，最近已激發許多實驗室在研究以陣列天線之潛力去設計製造一低成本、高效率之太陽電池來有效的吸收太陽能。太陽光輻射屬電磁輻射，其能量可以被微米級天線吸收及被高速之二極體整流。分析光譜頻率，量化調整理論及太陽光輻射之一貫性等可估算其換效約可達 44%。二極體中常被探討之型式以平行板之金屬／絕緣體／金屬 MIM (metal/insulator/metal) 結構為主，但是此平行板結構二極之阻抗與天線間之匹配不佳，仍需要開發新的二極體設計。

美國賓州州立大學也發表了一新的光學整流方法，可以用來發展成應用於電磁輻射之可實用之整流元件。此方法之基礎並不如一般是靠材料與溫度之不對稱性，如 MIM 或蕭特基二極體，而是單純的靠天線尖端之幾何特性。陣列天線，含天線及穿隧界面(tunnel junction)，可用作輻射能量之吸收與整流，使用原子層沈積法 ALD(Atomic Layer Deposition)小至一奈米之界面間隙可以被製造出來，頻率之整流可以達到光譜之

藍光區域。

一般無線天線可以接收各種來自天線發射台，手機等電波之訊號，接收之訊號可經整流成半波或全波之直流電，太陽光也可屬電磁幅射之一種，天線接收之光線經電橋線路整流即可形成輸出，整流所得效率為直流輸出與交流輸入之比值 $\eta = P_{out,dc}/P_{in,ac}$ 。會中有用軟體模擬方式報告其在假設無內部消散，無速度限制，無需啓動等等狀況下推導在不匹配下之廣頻段整流之基本效率界限。

Scitech 發表了奈米陣列天線，不若市場上或主流上已有阿其光學整流二體具有提升現有產品效率之潛力。此光學整流技術有潛力造出新一代高效率能量轉換元件。由 Scitech 提出之奈米陣列天線結構如圖 51，並估計未來可比半導體的能量轉換效率高且成本低，因其使用較簡單之元件，天線以地球上蘊藏量豐富且無毒之元素製造，壽命長，能耐高的操作溫度及熱穩定性佳，天線不若半導體材料受能隙限制，要大面積化也不成問題，其優點說明如圖 52。Scitech 之奈米陣列是用 ALD 製程形成，控制天線形成成微細之尖端並形成點接觸情況，所以在造形上是不對稱之整流二極體。元件尖端與平板形收集陽極相接增加穿隧電流，此二基本上是由外形上之不對稱達到整流之效果，因此溫度或材料之不對稱相較於 MIM 或蕭特基二極體較不重要。此種小且反應快速之穿隧式二極體可以將太陽光自紅外到可見光區之能量均作轉換，已將太陽能大部分能量予以轉換，因此能量收集效率是很高的。

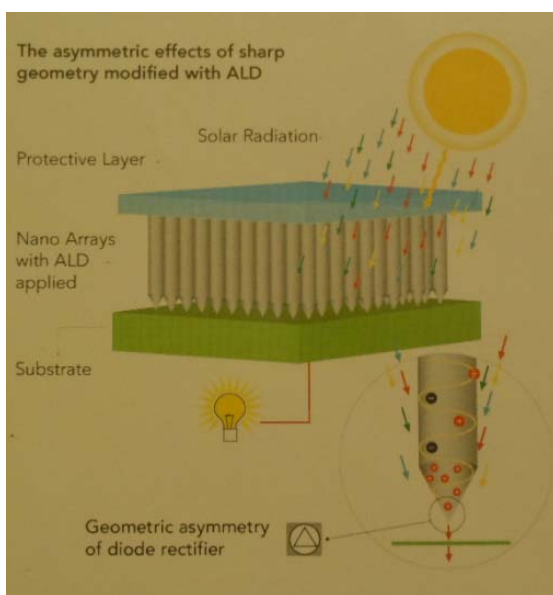


圖 51: 奈米陣列天線結構

Advantages	Current Technology	Optical Rectification Diode
Absorption and rectification occur in a single robust element		✓
Band-gap independent, in fact, no semiconductors		✓
Response times of the order of femto seconds		✓
Temperature enhanced operation can increase electron current and power output		✓
Maximum theoretical efficiencies from the IR through the visible not subject to the Shockley-Queisser limit		✓
Ability to use alternate materials if a shortage of any one type of material occurs		✓
Technology can be adapted to a variety of manufacturing techniques		✓

圖 52: 奈米陣列天線優點

美國 RICE 大學發表了經由太陽光照射，分散於液體中奈米金屬微粒子可作廣泛的吸收以產生蒸氣，並不需要將全部液體予以加熱。由奈米粒子之收割光能特性將太陽光能吸收並直接導入水分子之蒸氣化，排除一般電熱方式需要大量之能量。奈米粒子所產生之蒸氣可用於蒸餾，脫鹽，殺菌及衛生等用途。此為非平衡蒸發製程，相較於快速加熱蒸餾，RICE 大學展示了用奈米粒子加熱，以太陽光為能源進行乙醇蒸餾試驗，得到高莫耳分率之結果。此外，此蒸發製程所導至之飽和蒸氣生產對醫療器材及廢棄物之殺菌是非常理想的。飽和蒸氣之可快速的將熱傳送而將蛋白質變性，也可以破壞大多數之已知傳染源(如細菌，病毒)。

韓國發表一模仿生物特性之抗反射鋁銦磷 AlInP 奈米結構層，過程中用 ICP(inductively coupled plasma)蝕刻及銀質蝕刻遮罩，此銀質蝕刻遮罩可以容易的用銀墨水以旋轉塗布及接續的以熱板進行燒結後製成，此法不需任何應用於如化合物半導體太陽電池之石板印刷製程及精密的設備。由圖 53, 54 可顯示不同銀含量比之銀墨水可以形成圖案不同之遮罩，圖 55 顯示由此種方法所製遮罩經蝕刻後所形之結構形貌。此不含平板印刷製程之方法是一簡單，低成本且高產率之方法。所製出之鋁銦磷 AlInP 奈米結構層可以大幅的減少太陽光反射 SWR(solar-weighted reflectance)到 2.96%，如圖 56 所示，一般巨體型之鋁銦磷在 300-870 奈米波段反射率約為 28.75%，經奈米結構處理後之反射值已大幅降低。與入射角度相關之 SWR 對鋁銦磷 AlInP 奈米結構層而言，角度在 50 度以內時仍可保持在 5%以內。

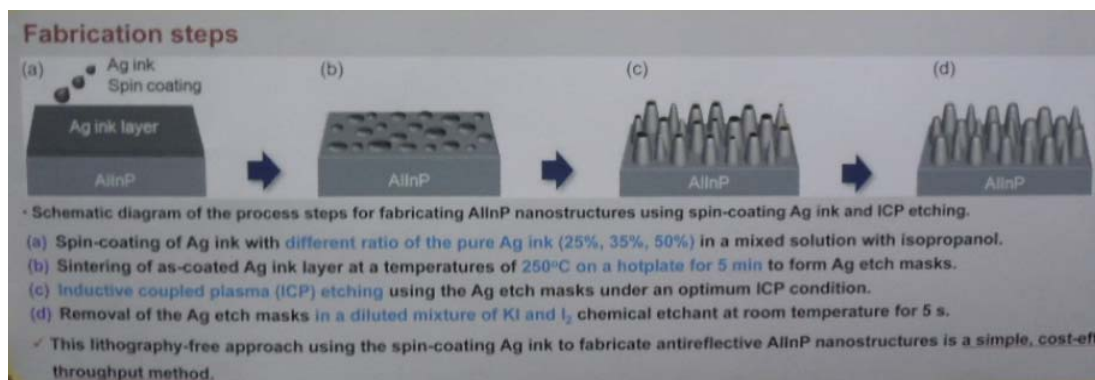


圖 53: 不同銀含量比之銀墨水形成不同之結構

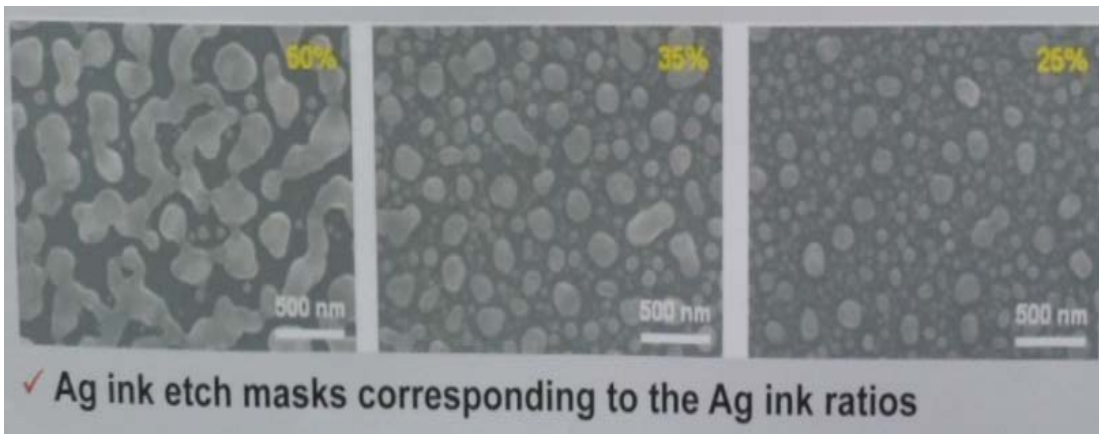


圖 54: 不同銀含量比之銀墨水形成圖案不同之遮罩

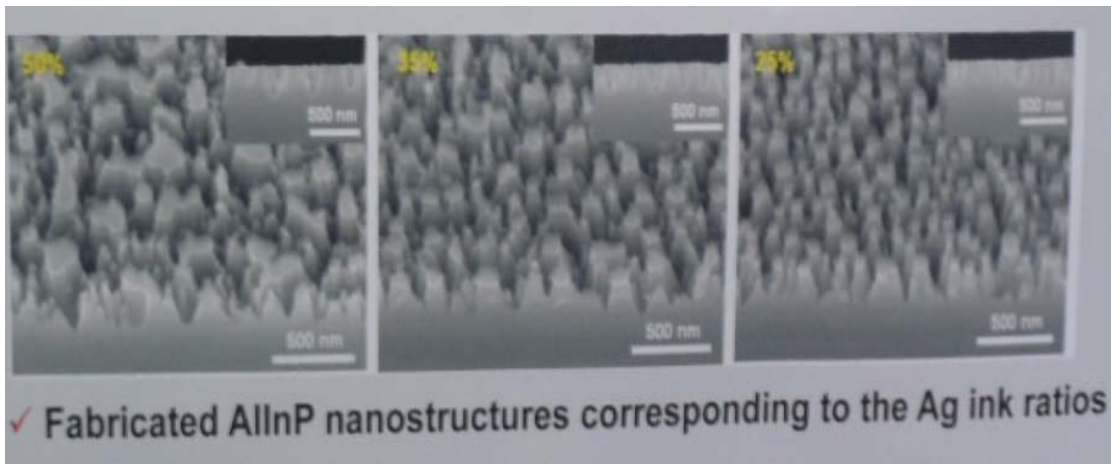


圖 55: 不同遮罩經蝕刻後所形之結構形貌

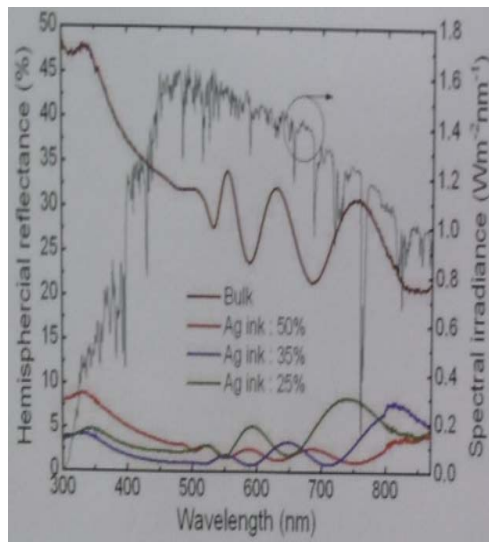


圖 56: 奈米結構層之光反射

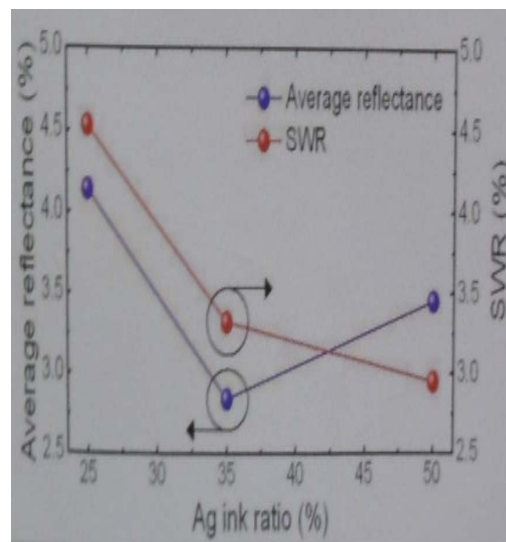


圖 57: 奈米結構層之 SWR

有關表面纖構之製作方法，韓國發表了製作具有排列之負向錐孔之矽質模板以用於壓印技術。此矽質模板具有互補的錐孔結構且深寬比大於 2.5，各種不同之造形均可由電子束平板印刷蝕刻及二步驟蝕刻等來實現。矽模板之製造流程如圖 58 所示。所

製出之矽模板及次波長結構 sub wavelength structure(SWS)之 polymethyl methacrylate (PMMA)材質複製品如圖 59。有關 SWS 之光學性質可由圖 60 看出具 SWS 者之反射率明顯較低。經利用 SiO_2 之溼蝕刻特性可以創造出不同之蝕刻記號並對矽蝕刻具有高的選擇性，如此在乾蝕刻矽材時可促進其創造出具有外觀獨特且為高深寬比之結構，圖 61 所示為各種不同之蝕刻條件可製出不同之蝕刻遮罩。圖 62 所示為溼蝕刻 SiO_2 時之時間效應，顯示時間愈長則蝕子愈大，且有準確的定量關係，可作精確的控制，故此種由二步驟蝕刻所製成之週期式奈米結構可用作模板給壓印使用。

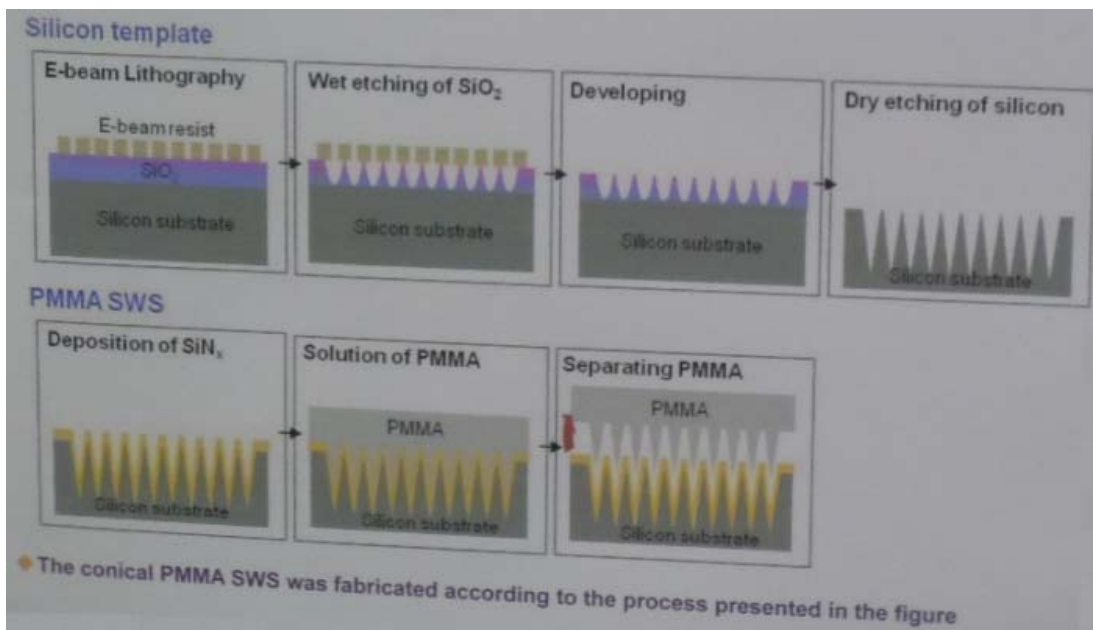


圖 58: 矽模板之製造流程圖

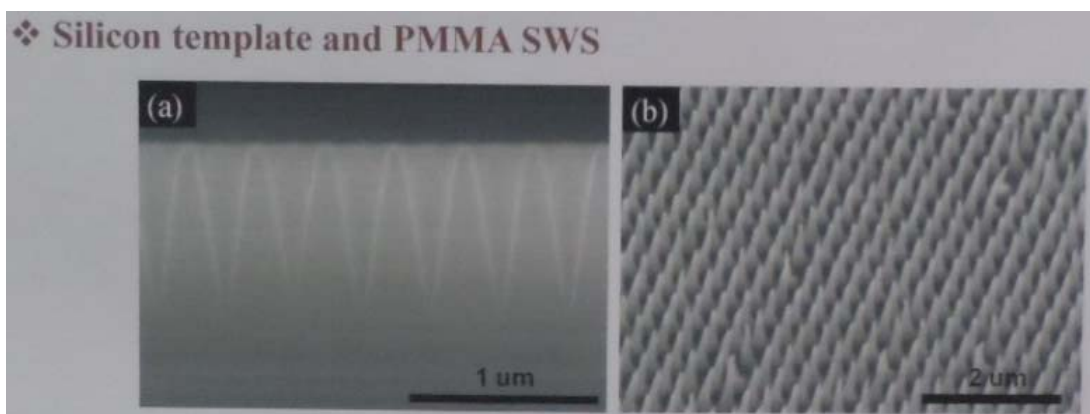


圖 59: 矽模板 PMMA 材質複製品

❖ Optical properties

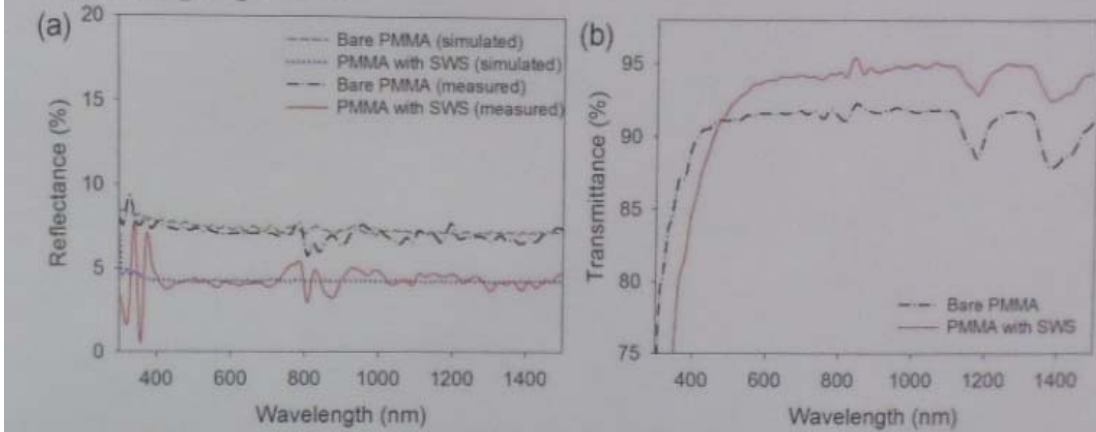


圖 60: SWS 之光學性質

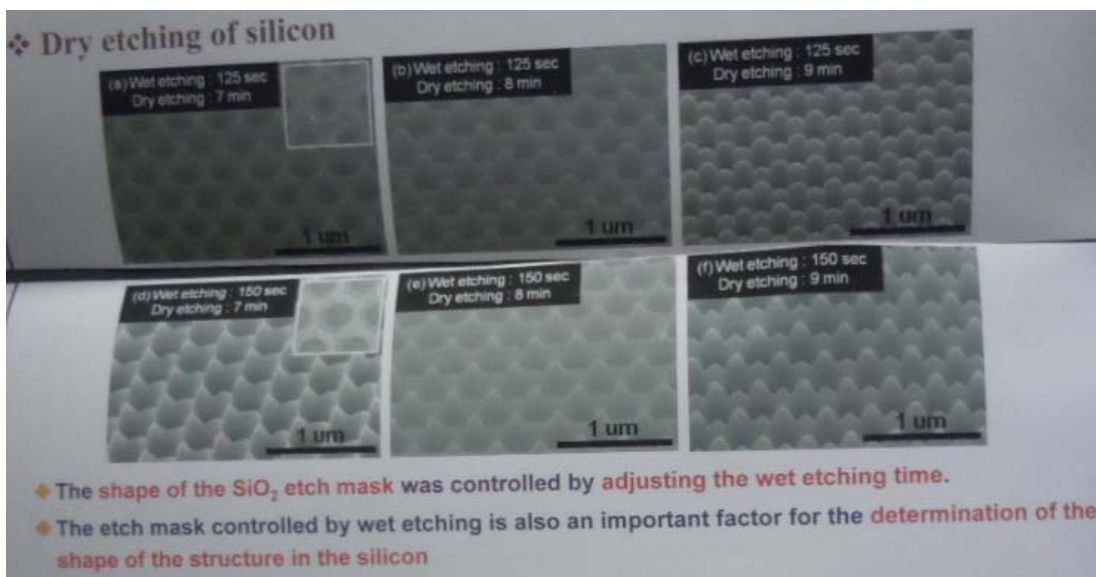


圖 61: 乾蝕刻矽材高深寬比結構

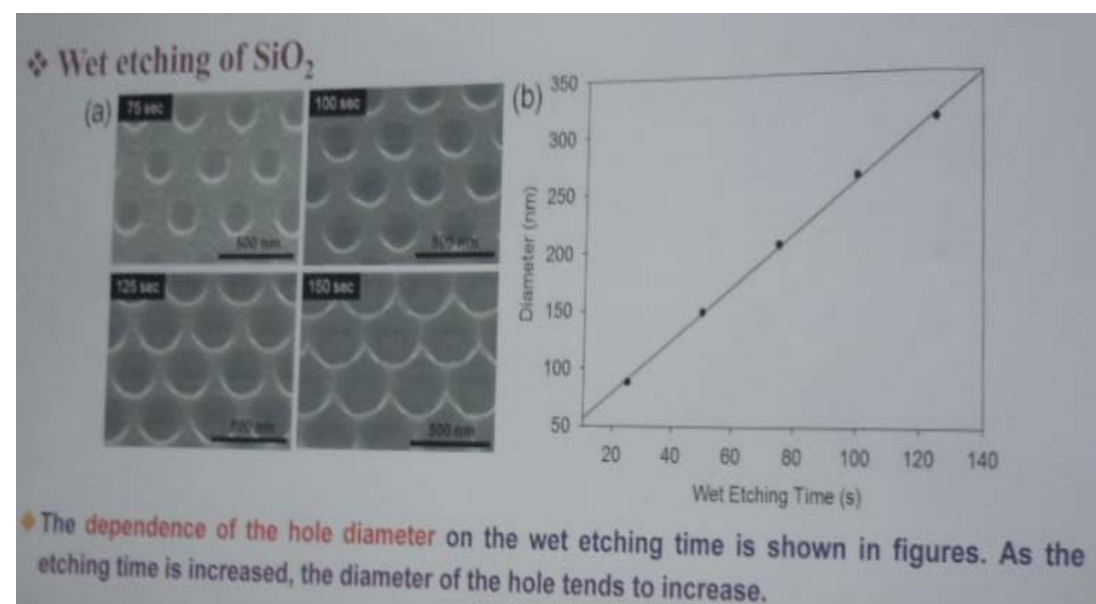


圖 62: 溼蝕刻 SiO₂ 時之時間效應

由於太陽能光譜中含有許多之波頻之能量，而一般以半導體材料作太陽電池之吸收層時受材料能隙性質之影響只能吸收特定波頻以上之太陽光，較低頻的光只會穿過不會被吸收作光電換，只有特定之波頻可有效的作光電轉換，更高頻的光雖會被吸收但只有部分能量可作為光電轉換。為了減少太陽光能量之損失，有必要將可吸收範圍作調整，向低頻長波長方向調整時為下調 downconversion，反之為上調 upconversion。在下調時，如果可由二光子吸收 TPA(Two photon absorption)機制則可能將低頻光調整至與半導能隙值相符狀態，以充分利用低頻光能量。上調時如果可將高頻光吸收後之過度激發調整成二光子發射，則可增加被半導體材料之吸收量。美國 Fisk 大學發表了於玻璃中同時摻雜鈹 Tb^{3+} , 鈦 Tm^{3+} , and Yb³⁺ 釷等稀土元素離子以研究太陽光譜上調與下調之現象，並發現上調與下調之效率與摻雜之稀土元素的量相關，也與入射光之量相關。此結果可歸因於玻璃中所摻入之稀土元素離子之激發態可配合與能量轉換相關之光譜吸收機構。如圖 63 所示為 2 Yb³⁺吸收促成 1 Tb³⁺激發，也可如圖 64，逐步由 3 Yb³⁺之發光促成 1 Tb³⁺激發。

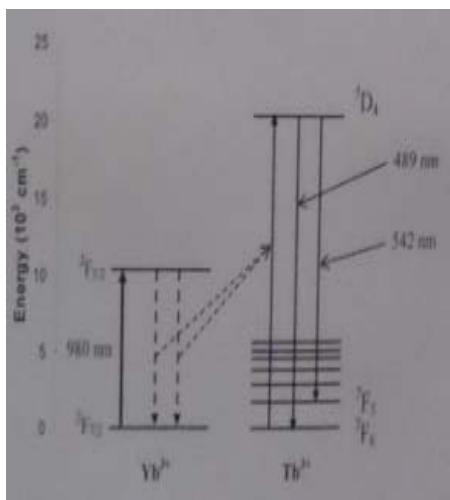


圖 63: 2 Yb³⁺促成 1 Tb³⁺激發

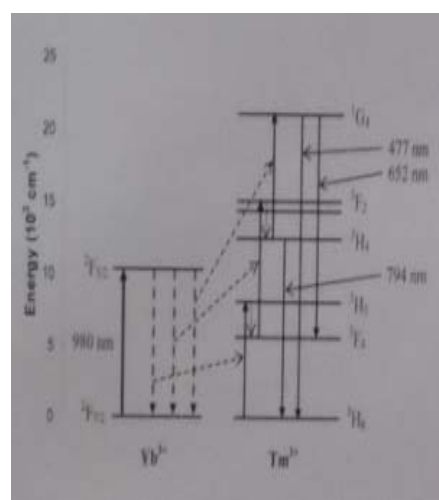


圖 64: 3 Yb³⁺促成 1 Tb³⁺激發

烏克蘭 Ivan Franko 大學發表了一微燃料電池 MFC(Microbial fuel cells)，MFC 之結構概念圖如 65。MFC 是以細菌當作催化劑去氧化有機或無機物質以產生電流。於建構雙室燃料電池中用去硫單細胞乙醯氧基細菌 *Desulfuromonas acetoxidans* bacterium 當作陽極生物催化劑。在微燃料電池中，為促進細菌生長分別使用了醋酸鹽 acetate、乳酸鹽 lactate 及富馬鹽 fumarate 等作為有機性的電子供應者。實驗顯示

在以去硫單細胞乙醯氧基細菌作陽極之微燃料電池中，使用醋酸鹽於三天之後所得到之電力產生值，最大可達 $71.5\mu\text{W}$ 。於細菌生長之培養介質中添加乳酸鹽與富馬鹽則可於第二天即得到最大之電力產生值，分別為 $74.5\mu\text{W}$ 及 $75.2\mu\text{W}$ 。MFC 產生之電力與培養時間相關，但如圖 66 所示並不是正相關，時間長了會再下降，此可能與參與反應之細菌生長壽命有關。

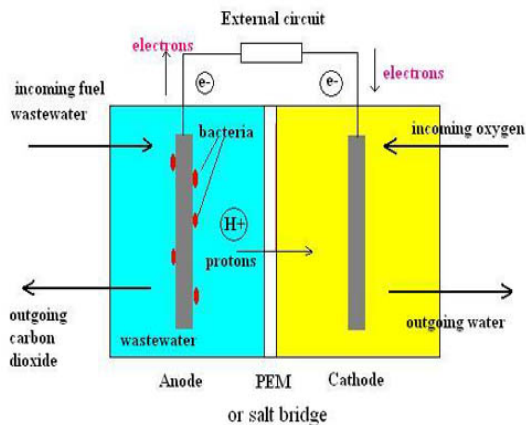


圖 65: MFC 之結構概念圖

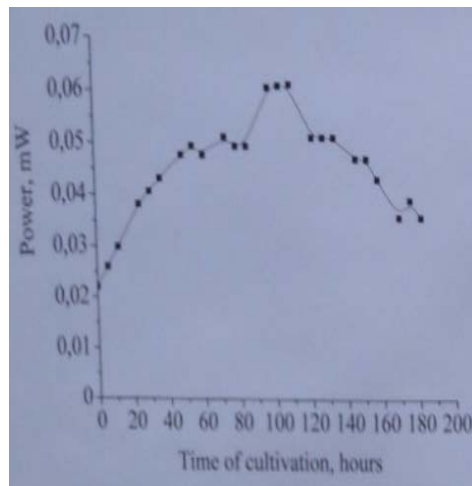


圖 66: MFC 產生電力與時間關係

四、太陽能光電板壽命評估

除了太陽能電池與模組之降低成本，愈來愈多的議題也發生在模組以外之平衡系統 BOS(balance of system)。目前在歐洲已開始在增加電力系統電壓，舉例來說，系統電壓已有 1000 伏增至 1500 伏。當電壓增加後，太陽能電池模組之可靠度可能受到高電壓應力 HVS(high voltage stress)之影響而需要作重新評估。一般已知 HVS 可能引發電位所致劣化 PID(potential induced degradation)效應，圖 67 所示為國內工研院以 EL(electro luminescence)進行 PID 測試之結果例。無論如何，PID 與其他環境條件等對太陽能電池模組效應尚未納入國際電力技術委員會 IEC(International Electrotechnical Commission)之品質標準內。

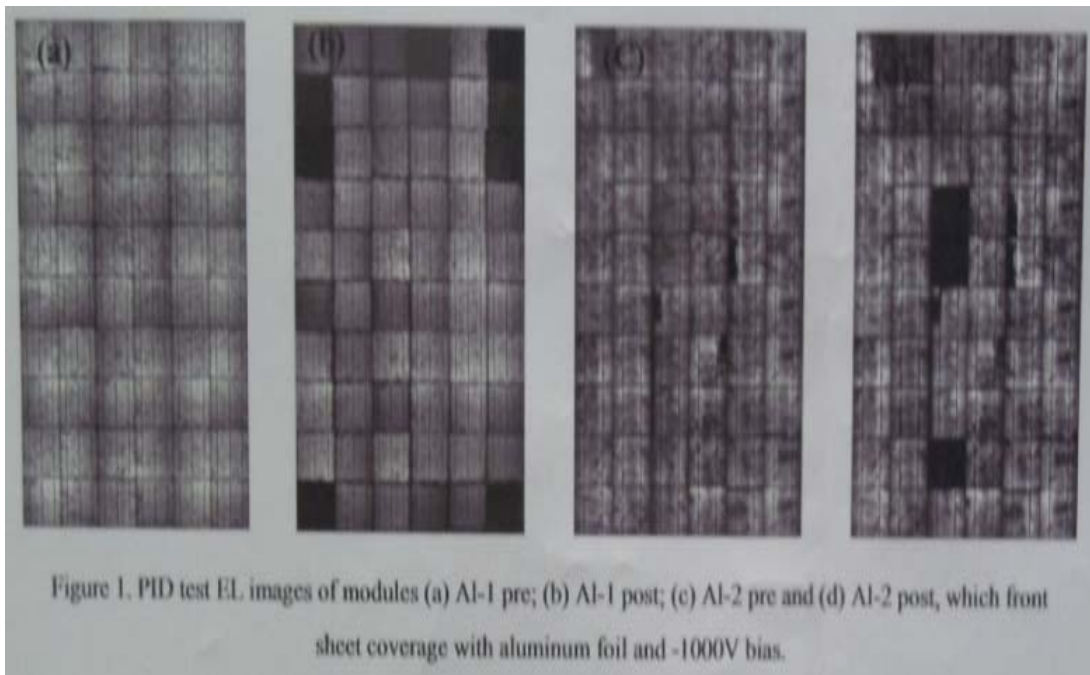


圖 67: EL 進行 PID 測試之結果

太陽能板一般要求壽命至少 20 年以上，一般測試是不可能等個數十年再看結果，如何加速評估是大問題，美國亞利桑納大學發表了將全尺寸之單晶與多晶矽模組作加速環境測試，在一個太陽光照度，溫度與溼度條件仿美國西南區之冬天與夏天期間之月份。其所用之環測室可以即時的測試光伏模組在測試期間內之效能，並能將時間相關之模組變化與物理上之變質等作測試與研究。其研究結果相關時間與效率關係如圖 68，可看出時間基本上造成效率降低。如圖 69，圖 70 也顯示溫度可加速電流，電壓及效率之降低。

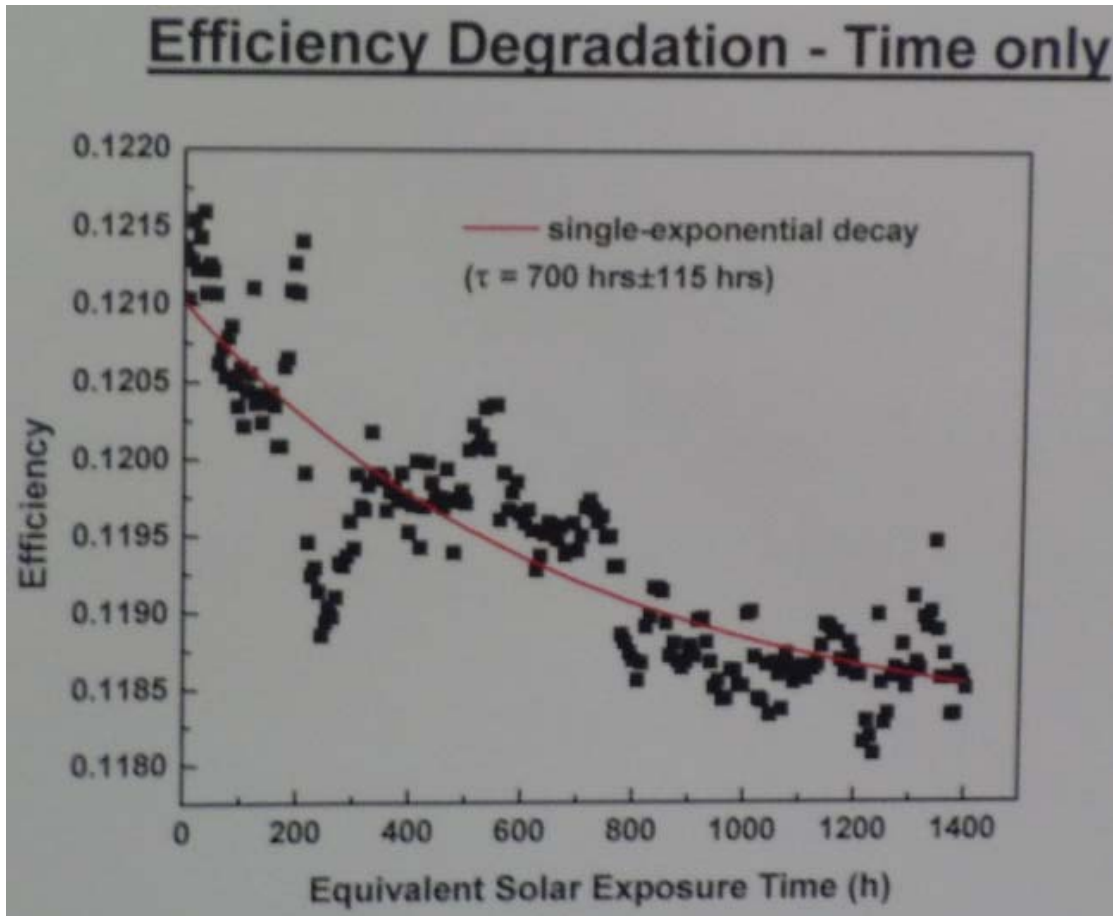


圖 68：等效曝光時間與效率關係圖

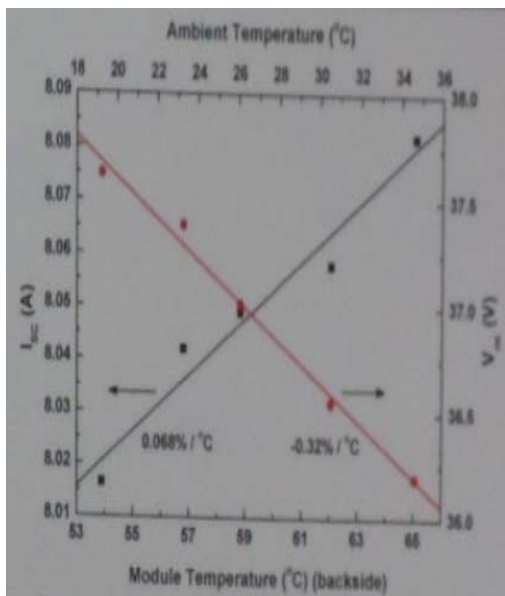


圖 69：溫度與 I_{sc} 關係圖

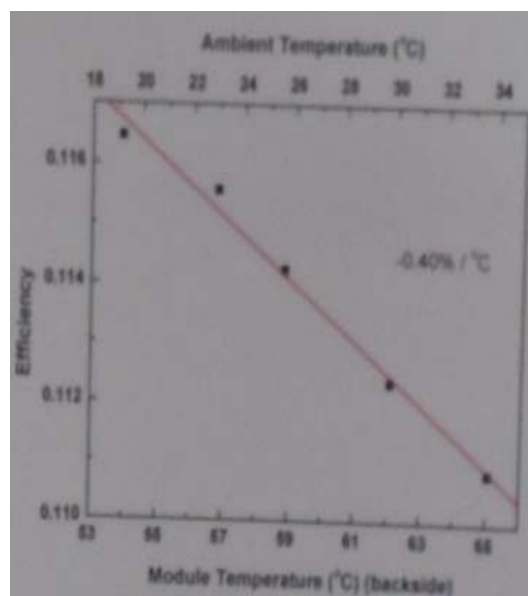


圖 70：溫度與效率關係圖

五、雷射加工在太陽能之應用

利用雷射能量於半導體材料內進行過度摻雜，此有可能形成一全新的材料，具有母材之能隙內插入一雜質能帶，此雜質能帶可能使材料對次能隙光有作用，增加新

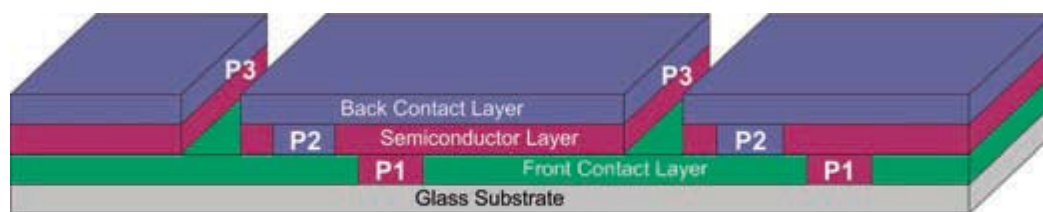
材料在感光或光伏應用上提升效率之潛力。使用雷射進行過度摻雜後可使雜質成分的含量超過平衡狀態之溶解度，形成及維持在過飽和狀態。此些經過度摻雜處理所形成之材料應用於光伏上，其組織內所具之中間能帶之功能與特性是此報告之研究重點，將材料作過度摻雜處理延伸到他具有中間能帶材料上也是研究內容。此研究是將硫摻於矽之表面，一般之表面雜可用離子植入法，但離子植入可能破壞表面，且摻雜層呈非晶組織，用雷射摻雜可將表面作快速熔化，過程中要控制雷射能量不要加熱到母材，實驗顯示可以控制熔解厚度在 400nm 左右。

雷射燒鋅技術具有不需真空即可進行，程序簡單以降低成本等優點，因此 Virginia 大學進行了用鋁箔作太陽電池背電極及模組化之研究。其實驗是將晶圓置於真空吸盤上，再附上鋁箔，由於鋁箔易有摺痕，因此表面蓋上鈉鹼玻璃，鈉鹼玻璃透明不會阻礙雷射鋅，表面平坦可壓平及固定鋁箔，也與封裝材時相同。鋅接選用波長為 1064nm 之雷射，時間 50ns。元件為經表面以氮化矽及氧化矽鈍化之矽基電池，電池之 P 型電阻為 2 歐姆。鋅接時分高功率雷射短時間掃描與低功率長掃描時間。高功率短掃描時間之鋅點呈窄且深結果，低功長時間掃描之鋅點呈寬淺之鋅區。經量測二者之電阻，高功率之電阻為 $3.7\text{m}\Omega/\text{sq}$ ，低功率為 $1.8\text{m}\Omega/\text{sq}$ 。此實驗電池於鋅完時之效率為 12%，如再經退火處理則為 15.7%。此法之模組化只須於晶圓上貼上鋁箔，壓上玻璃，雷射鋅，之後即可用 EVA 等封裝，相較於傳統製程，需要鋁膠印刷電極層，燒結後再印上接點墊塊，再燒結，接導線帶，之後才 EVA 封裝，可以看出製程簡單許多，降低成本潛力是相當的大。

雷射劃線製程已被廣泛的應用於銅銦鎳矽 CIGS 系薄膜電池之鉬電極上，CIGS 一般需要 P1, P2, P3 等三種劃線，如圖 71，於 P1 步驟主要是清潔的切斷鉬金屬層，經由雷射劃線可形成各別元件間之交互連接以形成整體之模組效果。此研究探討鉬電極層在沉積過程中各參數對膜層性質之影響及在雷射切割時之影響。在此研究設計中由控制鍍膜參數將膜層鍍成呈張應力與無應力之狀態，研究結果顯在張應力下，膜層中之殘留應力對雷射燒蝕過程有相當大之影響，一則鉬層邊緣易捲起造成局部剝脫，二參線槽邊緣也不平整。研究中是以 70-100 微米寬的雷射光點進行燒蝕，基本上要將鉬層完全燒淨。一般鍍鉬時會採雙層式鍍鉬，上下二層應力不同，對於不同之膜層，

經與作者討論，認為雷射能量甚大，相較於總厚約一微米之鉬層，雙層鉬之應力應不致太明顯。在雷射劃線時功率密度之選擇與控制是重點，必須將鉬層切斷，但不可燒傷下層之基板。功率高易燒蝕，但需要高率雷射，不利成本，功率密度低則製程時間長且易有殘存微粒子，影響後續製之品質。於玻璃基板上算是較容易的，在可撓性基板上如不銹鋼或PI膜等要精確控制不傷及薄薄的絕緣層有相當困難度。因CIGS電池所用材料熔點一般較高，相較於軟性基板之有機光伏雷射劃線，CIGS比較困難。國內可撓性基板之產線尚未建立，在軟性基板上之雷射劃線經驗尚待建立。應即時討論如何調整雷射劃線時之燒蝕控制以達到無缺陷之劃線結果。

雷射光源可以作精準之調控，其在位源點尺寸及位置度等均可精確之控制，再因在雷射劃線應用上可將燒蝕程度作精微控制，因此在許多領域之應用上，雷射劃線用在圖案化處理上，相較於機械式之劃線方式具有相當之優勢。特別是在處理量大之薄膜製品上，配合自動控制，其在連續輸送之系統上具有比機械式系統具有快速且品質可靠度高之優點。劃線技術應用在太陽電池產業中主要是各電池間之串並聯線路製作，配合劃線與鍍膜製程之設計規劃，可以將大面積之薄膜產品，依設計需要分隔成個別元件，以及將個別元件進行串並聯之連接，如圖71所示P1, P2, P3之線槽或線孔，整合成一體之模組成品。



Example: Patterning or Laser Scribing P1, P2 and P3

圖 71:P1, P2, P3 劃線位置圖

用雷射將太陽電池作微區處理以改善電池性質已被廣為應用，所用之雷射光點其發光分布需可調控成平頂式分布或特定之分布。雷射光點之發光分布可由光束成型模組及成像光學模組等來完成，其中包括掃描頭，聚焦鏡片組，對準系統等。為了將此些模組等組合成實用的系統，需進行縮裝成為光束成型單元BSU(Beam Shaping Unit)。此光束成型單元所具功能包括能將發光分布在高斯(Gaussian)及平頂間作轉換，可作對準，與雷射光源及掃描等相容。研究報告了BSU之設計及用於材料處理之

結果。

一般習知電池均有二個電極，太陽能電池也是有二個電極，接近太陽光源之電極一般稱作前電極。前電極基本上由透明導電層與網脈狀金屬質電極所組成，透明導電層兼具讓光線射入太陽電池內，也將所產生之載子作平面式之傳送，網脈狀金屬質電極則將載子作最終之收集，屬於實質之電極，常因形狀如手指，也稱作指狀電極，如圖72。網脈狀金屬質電極須具有高導電性，所以材質一般為鋁或銀等高導電性之金屬。金屬質電極會將入射光吸收或反射掉，因而減少了射入太陽池吸收層之光總量。爲了提高入射光之總量，有必要減少金屬質前電極之遮蔽面積。作法之一即是如图73將大部分之前金屬電極轉移至照光之背面，此作法需要將電池鑽成穿孔。雷射鑽孔並不是新技術，過去已有，穿孔的品質與效率等與成本相關，因此Fraunhofer公司提其新方法可在秒內鑽15000個孔。會場上所示之鑽孔可能之缺點是孔徑有些大小孔。

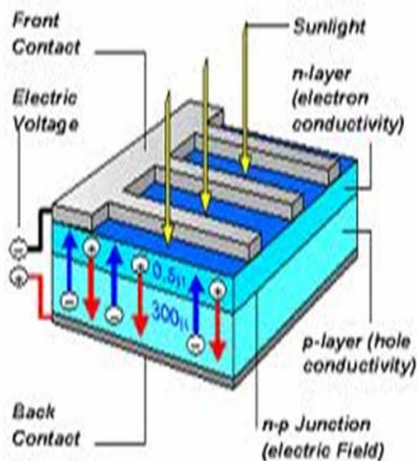


圖72: 指狀電極示意圖

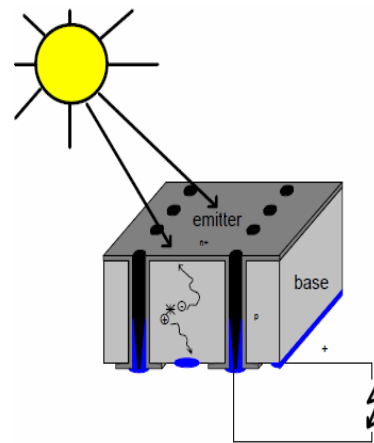


圖73: 前金屬電極轉移至照光背面圖

一般較長的雷射處理時間約在 1-500 奈秒，由於時間長，故輸入於材料之能大，除了會造成材料之局部熔化，相鄰區域也會產生熱影響區 HAZ(heat affected zone)，在熔化區附近因快速冷卻易造成微裂紋等，如果非必要應降低雷射處理輸入之能量。使用非常短的脈波時間，如皮秒或飛秒等極短之時間進行雷射燒蝕，因時間短所以溫度不致升高，故屬於冷燒蝕。如果將極短波雷射與基材之移動速度結合，使基材之接受能量低於燒蝕啓始能量，如此就可以進行快速且選區之熱處理。雷射熱處理應用於薄膜上更是特別具優勢。雷射熱處理可以精準的控制熱處理影響區之大小，配合材料特性及雷射參數，熱影響區圍小至數十奈米以內。如此精準之熱處理程序可以只進行

表層之處理，但對處理層下之鄰接層幾乎不受影響，如此對於易被熱傷害之膜層或基材等均可用雷射熱處理，不會產生因熱所之損害。此研究進行了用皮秒雷射處理於氟硼平板玻璃上以 CVD 鍍製之厚度為 900 奈米之 SnO₂ 薄膜，處理後之薄膜其光與電性質均產生變化。經如此處理後之薄膜之透光性在可見光區及近紅外光區之穿透度增加，但導電性則微降。光學性質之改變可歸因於雷射退火熱處理於 SnO₂ 薄膜所致之表面週期結構 LIPSSs(Laser-Induced Periodic Surface Structures)，此週期結構被發現是疊加在初鍍或未經處理之結構之上。由於光學性質上之改變不是特別明顯，量測初鍍、高通量(high fluence)處理，低通量(low fluence)處理等不同膜層於各頻段內之絕對穿透度 T(Transmission)，因穿透度曲線相近有似重疊，不易看出三者間之差異，因此改用穿透度差(ΔT)作圖則顯示高通量時有比較大的變化。量測吸收或霧度等也是相同情形，經用雷曼光譜分析顯示全區仍為 ZnO₂，無 ZnO 出現，用 XRD 分析也顯示結晶性良好，無非晶區。量測面電阻，初鍍值為 13.5 Ω / CM^2 ，低通量值為 14.6 Ω / CM^2 ，高通量值為 16.1 Ω / CM^2 。電性之改變可歸因於雷射之快速加熱與冷卻引發出一些組織上微缺陷。無論如何此報告已顯示用極短時間之雷射處理對薄膜性質調整之效應可用於未來改善 SnO₂ 系膜層用於太陽能電池之電極或其他電子零件應用上。

六、大會綜合討論會

在綜合討論會上，主席 Christoph 先生提出 2030 年之能源需求約 30 兆瓦特 Terra watt(TW)，以三分之一之未來需求估約尚差 10TW，此 10TW 若以太陽能來供給，因太陽能板受時段限制，裝置容量效率以 21%計，則裝置總量約為 48 TW，此 48TW 以 30 年壽限計，則每年約 1.6TW 量，光電板轉換效率以 20%計，則每米平方太陽光電板只產出 200W，對應 1.6TW 量，每年約須產出 80 億米平方之光電板。所以太陽能光電板之未來在金融情況轉好時仍是有極好的未來。

會場中美國 NREL 之 Andrew 博士提出分子呈色劑 Molecular chromophore(MC)可用於下世代太陽光子之收集，研究目的是突破單層太陽能電池之所謂蕭特基極限 Shockly-Queisser Limit，此極限是因半導體材料之特定能隙只能吸收部分之太陽光波長，如果用疊層電池雖可吸收較大頻寬之光能量，但電成本與市場需求不一致，為有效增加光能量利用，一種方式是用 MC 作光之上調，目前以光調方式外部量子效率

External Quantum Efficiency(EQE)已可超過百分之百。美國聖地牙哥氣電公司之 Thomas 博士則指出，再生能源之產出量相當不穩定，每天當中各時段之變化甚大，但以電力公司而言，電力輸出一定是持續的穩定，再生能源發展必須與智慧電網同步，否則所產生之能源在使用及儲存上都有問題。美國 Semprius 公司副總 Scott 先生報告了其公司在集光太陽電池上之發展，會後與其討論目前集光太陽電池比薄膜電池之成本效益還差，有什麼前途，他表示目前集光太陽電池雖成本高，但改善空間最大，集光太陽電池之效率達 44%，是所有太陽電池中最佳的，其所使用之半導體材料最少，集光器一般只是玻璃或金屬，不會比半導體材料貴。再討論像台灣地小人多用集光太陽電池是否可得到面積效益，其回答是遠東區因多雲多雨並不適合。

七、展示會所見

本次展示會主要包括光電及材料相關廠家愈百家，展場狀況如圖 74。在展場中看到金光閃閃的展示，如圖 75，立刻引起注意，再看到標題雷射黃金 Laser gold，所更引起興趣，與展示人員詢問才知所謂雷射黃金與雷射無關，該公司專業為鍍膜，所製產品中有可提供給雷射光學者使用。所展示產品金光閃閃確有黃金，但也有的則是銅，鍍的方式則說蒸鍍、濺鍍、電鍍等都有。如圖 76 所示之中空細管，深寬比相當大，不可能靠質量傳送方式成鍍層，其作法是電鍍成形 Electroforming，過程中需用到可消失之中型 Mandrel，主要為鋁，因易加工成極佳之表面光度，另也容易被去除。所展示之中空細管是先製成鋁實心棒，鋁表面鍍上薄層黃金，之後再於黃金上鍍上一定厚度之鎳以建立強度，之後用化學蝕刻法去除鋁，即形成內部光度極佳之中空工件，可供導光之用。



圖 74：展場狀況



圖 75：金光閃閃的鍍金展示

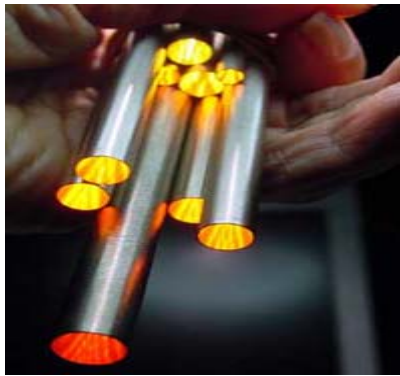


圖 76: 含鍍層之中空細管



圖 77: 不同造形鍍製品

在展場中以光學膜層鍍製者有數家，均可鍍製各不同造形上鍍製各種等級之產品，如圖 77。在展示場中，有關穩定平台之展示，如圖 78 所示，桌上酒杯中之酒會隨著桌子搖動上下搖動，但平台不會搖動，且平台上之酒杯內之酒液面平穩無波，經與展示人員詢問，該平台不含任何電控，全靠彈簧與懸吊設計等，展示品及展示方式均有相當說服力。



圖 78: 穩定平台

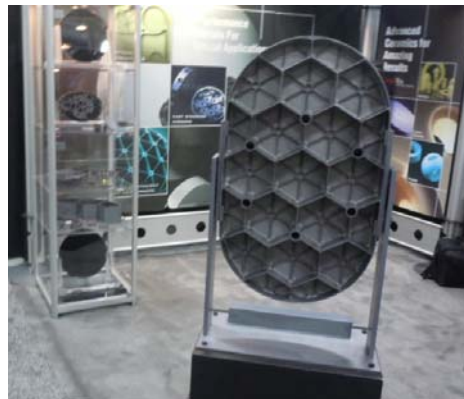


圖 79: 碳化矽 SiC 基座

展場有一家公展示碳化矽 SiC 基座，如圖 79，尺寸相當大，經詢問該產品特性，展示人員說，該公司產品多以直接燒結 SiC 製作，比一般反應式燒結者強度密度等均高甚多，因為直結接燒結需模具及壓機等，能做大型者相對較少。直接燒結之碳化矽基座在化學上，溫度上，強度上均有極佳之優勢，因此在光學基座上为主要材料，燒結品可直接加工研磨可光學鏡面，對要求高者，燒結碳化實表面可再用如化學蒸鍍方式於表面鍍製碳化矽或者其他金屬材料來達到光學精度要求。

展場中有一公司展示三塊材料，一強且重者是鋼，一輕且弱者是鋁，另一比鋁輕但強度如鋼，稱作 Beralcast 合金，經詢問後才知實為鋁鈹合金，由圖 80 可知其主要

成分含約 60%之鈹，少量矽或其他元素，餘為鋁。此合金之比強度甚高，如圖 81 所示，相較習知高比強度材料如鈦、鎂、鋁等均高出甚多。展示人表示此合金可用精密鑄造方式製出各種造形複雜之工件，如圖 82 所示之各種光電儀器之基座，經與展示人員討論如此高的鈹含量會有毒性問題，其表示在合金時是可以的，但加工或其他處理所產生之粉屑如會形成氧化物時則須注意，有關之人員與環境安全等程度或方法其不清楚，不過表示該系合金已用了多年，安全上應不致有問題。此鋁鈹合金之一些物理化學特性如圖 83 所示，熔點 585 度接近鋁鎂，比重 2.1 接近鎂，熱脹量每米 13.3 微米，接近鋼。此些特性使其可用在中溫且輕質高穩定度之應用上，展示人員說此合金非常適於如無人飛機 UAV(Unmanned aerial vehicles)等同時須要強度與輕質要求時之應用，UAV 或其他載具上之光電系統 Electro optical system(OES)之基座也是很好的應用所在。考量 UAV 及各項光電系統與本院之產品均相關，其特性與應用有必要作實質的評估。

Composition by Weight Percent:

Element	Min.	Max.
Beryllium	61.1	68.6
Aluminum	Remainder	Remainder
Silicon	1.65	2.50
Silver	1.65	2.35
Cobalt	N/A	0.20
Germanium	N/A	0.20
Iron	N/A	0.20

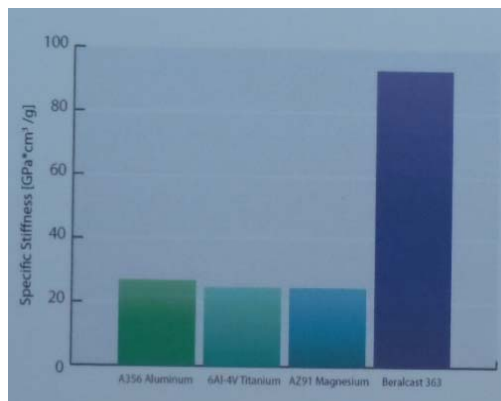


圖 80: 鋁鈹合金組成

圖 81: 鋁鈹合金比強度



圖 82: 鋁鈹合金工件

Physical and Chemical Properties:

Property Description	Units	Beralcast® 191
Density	g/cm³ @ 25°C lb/in³ @ 77°F	2.16 0.078
Melting Point (Liquidus)	°C °F	585 1085
Coefficient of Thermal Expansion	µm/m (ppm) @ 25°C µm/in (ppm) @ 77°F	13.2 7.3
Specific Heat	J/kg *°K @ 20°C Btu/lb *°F @ 68°F	1423.5 0.34
Thermal Conductivity	W/m *°K @ 25°C Btu/h-ft *°F @ 77°F	180.0 104.0
Modulus of Elasticity in Tension	Gpa @ 25°C Mpsi @ 77°F	202.0 29.3
Specific Stiffness (Modulus/Density)	Gpa-cm³/g @ 25°C Mpsi-in³/lbs @ 77°F	93.5 375.6
Poissons Ratio		0.20
Yield Strength	Mpa @ 25°C Ksi @ 77°F	137.9 20.0
Ultimate Tensile Strength	Mpa @ 25°C Ksi @ 77°F	196.5 28.5
Specific Strength (UTS/Density)	Mpa-cm³/g @ 25°C Ksi-in³/lbs @ 77°F	91.0 365.4
Elongation 2.54 cm [1 in] Gage	% @ 25°C % @ 77°F	1.7 1.7
Axial Fatigue (R=-1.0) 10⁷ Cycles	Mpa @ 25°C Ksi @ 77°F	- -

圖 83: 鋁鈹合金物理特性

參、心得

透過參加研討會及暨展示會，與國外專家、學者、展場業界人員詢問及討論目前能源鍍膜材料、製程與設備儀具之最新發展，由交換研究心得及意見以確實瞭解此領域相關之研發活動，對本院在能源鍍膜技術領域之研究能力提昇及確認正確研發方向等均有益，亦有助於計畫後續建案之規劃參考，整理如下：

一、心得概要

(一)於大會討論會上 Christoph 先生發表了評估資料說到 2030 年約有 30TW(Terra-Watt)之能源需求，與目前差距約 10TW，綠色能源要求下太陽能仍是填補此需求空間之最佳選項，目前以太陽能板需求面積約每年 80 億米平方，最近太陽能產業因投資過度再受歐洲金融風暴影響而顯出遲滯，但實質上太陽能技術仍有相當進展，電池與模組等均已效率及成本上有明顯進展，但進展的程度尚未到與傳統能源相比之程度，在投資過度所致削價競爭之情況下，結果產業上只有銀行團及 BOS(Balance of system)業者賺到錢，整體而言，未來太陽能發展要由材料到系統，包括鍍膜材料、製程與設備均需同步考量相關效率提升與降低成本。

(二)有關薄膜型電池之未來發展，由於過去幾年矽晶圓電池在成本與效率上均有相當增加，已使薄膜電池之應用空間受到限制，未來薄膜電池必須在可撓，可攜，易安裝，等特性下去結合可攜，可穿戴，的產品。在薄膜太陽電池中，雖然有多種型式之薄膜電池在發展，評估仍以非晶/微晶矽，及 CIGS 為主。職與 CIGS 作者討論其發表內容時也討論對 CIGS 未來發展之看法，回答說 CIGS 相關研究感覺上已不像幾年前如此熱門，可以感受到相關之研究發表數量在減少，顯示此系半導體在發展上遭瓶頸，目前主要之領導者仍以瑞典之 EPMA 團隊最積極且執著，也是單位內要努力追上之水準 Bench mark。由 CIGS 衍化出的 CZTS，CZTSe 化合物半導體在研究上仍有相當熱度，但效率上仍與 CIGS 有差距，其發展暫注意，不過評估仍應集中力量在 CIGS 努力紮根。

(三)近期太陽能相關技術之展望不佳可能與歐洲金融風暴相關，在大會討論如果 80 億米平方的太陽光電板需求，矽晶圓產能不能滿足的，但如有有機光伏，其效率雖比不上晶圓型電池，以捲對捲 Roll to Roll(R2R)製程一定可滿足此需求量。此可顯示目

前院內正在開發之 R2R 製程與設備在未來仍是有機會的。目前市場呈現低迷，但整體未來之市場趨勢並未有大的改變，與綠能相關之太陽能所需用之材料或製程技術研發不應停止，目前因需求不旺但要求嚴苛之環境反而可能增加改善破之激效果。

(四)有關下世代太陽電能之應用，因目前並無新的高性能半導體出現，所以研究方向主要在以現有半導體材料為基礎來改善太陽光之有效吸收與利用，方向上包括減低光反射及增加光路徑之各種方法，另為增加吸入光之量子效率，許多研究在開發新材料來調整光可接收頻段等，如具量子點效應之奈米粒子可作光譜下調增加半導體之有效吸收，分子呈色劑 MC 可用作光譜上調，可將穿過半導體之低頻光轉化成可吸收之高頻光後反射回去讓半導體再吸收，此部分目前單位內並未實質投入，但仍應隨時注意其發展狀況，以便及時評估將其成果納入正在開發 CIGS 系統中。

(五)雷射之應用主要在大尺寸，高精度，高可靠度，快速。雷射應用研究包括光線收集用之表面纖構化處理，改變上電極之穿孔加工，改善底電極接點性質之雷射摻雜，雷射模組化之銲點與銲線等，最終目標是品質可靠度與成本降低。目前多數研究仍是以硬質基板為主，可撓基板之相關資料並不多，在大會上 Martin 先生說其在有機光伏應用上 P1, P2, P3 等劃線製程均已完成，院內目前開發仍以電池為主，雷射劃線在可撓式 CIGS 模組化上仍需實質的開發。

(六)展示會場上，有公司展示一特殊合金，比鋁輕強度如鋼，經瞭解為鋁鈹合金。此合金可用精密鑄造成各種薄且造形複雜之工件，其輕量特性也可屬節能議題，可用於有輕量化，低溫度膨脹量及強度佳等光電系統之基座。經與該公司討論，此合金非常適合輕型且尺寸限制之應用，如 UAV 上，再與其討論鈹可能產生毒性問題，其回答是鈹合金之應用已有近 10 年，相關之安全措施要先瞭解及作好處置。目前院內已有精密鑄造製程，且院內也在開發 UVA，可直接評估是否需要用到此系合金並建立相關的技術能量。

二、成果

(一)與討論會主席 Christoph 先生研討未來綠能科技發展，認為太陽能仍是未來綠能科技之重點，目前矽基電池效率發展已領先成為電場應用主流，薄膜型電池則可朝具輕質、易攜帶之產品去開發，此可作為未來能源鍍膜與塗層提案方向參考。

(二)與 CIGS 太陽電池發表人員討論現今 CIGS 與 CZTS 薄膜池發展狀況，認為由 EMPA 團隊所建立薄膜 CIGS 效率 18%指標已具產業效益，未來要在量產技術上再求突破，另也要注意 CZTS 進展，此發展動向值得計畫參考，配合之鍍膜材料形式與技術也可是計畫可規劃開發方向。

(三)參觀展示會廠商蒐集最新的產品資訊，會場中展示出輕質鋁鈹合金，也討論到要注意鈹的毒性，評估可應用於無人飛行器或光電基座等有輕質與節能需求上，對規劃未來產品設計及應用方面有極大幫助。

肆、建議事項

- 一、薄膜太陽能電池仍是太陽能開發相當熱中的項目，目前整體太陽能產業狀況雖不佳，但薄膜太陽能電池之研究仍是相當熱絡，相關之研究活動仍宜維持。
- 二、下世代薄膜太陽能電池之開發首重降低成本，目前主要研究以銅鋅錫硫系為主，相關之鍍膜技術與鍍膜材料之開發也應同步展開，一旦研發進展有突破，國內鍍膜材相關技術要適時到位。
- 三、太陽能產氫是太陽能源應用之另一領域，光電化學產氫所需電極之製作與鍍膜材料及塗膜技術相關，目前產業雖未形成，但可依本院現有塗層技術基礎作適度之研發投入。
- 四、雷射加工機具在太陽能電池開發上有許多用途，包括雷射劃線，雷射退火，雷射鑽孔，雷射蝕刻等，相關之機具開發及應用技術目前國內水準均呈落後，有須要引進或加速開發。
- 五、鋁鈹合金具高比強度，評估可用於無人飛行載具，可考慮建立能量。