

出國報告(出國類別：其他(開會))

經濟部科技專案-CIGS 太陽電池關鍵技術
開發計畫-可撓式金屬箔基板技術開發之卷
對卷連續濺鍍鉬電極技術出國報告

服務機關：國防部軍備局中山科學研究院

姓名職稱：聘用技士 吳政翰

派赴國家：德國

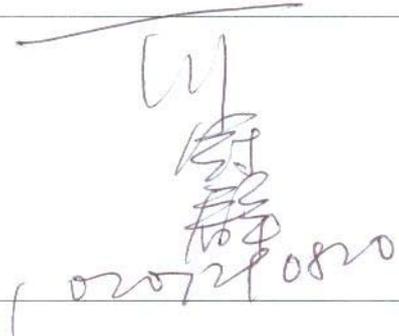
出國時間：102.06.16~100.06.23

報告日期：102.07.16

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-CIGS 太陽電池關鍵技術開發計畫-可撓式金屬箔基板技術開發之卷對卷連續濺鍍鉬電極技術出國報告		
出國單位	第五研究所	出國人員級職/姓名	聘用技士 /吳政翰
公差地點	德國	出/返國日期	<u>102.06.16</u> / <u>102.06.23</u>
建議事項	<ol style="list-style-type: none"> 1. 持續精進可撓式太陽電池之技術，並針對模組產品應用進行深入了解，包含可攜式 3C 電子產品充電配備、BIPV(建築一體)模組規格及建築法規測試，並與國內 CIGS(銅銦鎵硒)太陽電池廠共同結合推廣 CIGS 可撓式產品。 2. 籌建 R2R-CIGS(卷對卷-銅銦鎵硒)模組封裝產品，包含 30cm 幅寬之 R2R 雷射切割及機械切割設備、R2R 金屬電極網印塗佈設備，打造具量產規模的可撓式 CIGS 整線製程，並與國內業者共同結合降低開發成本，落實設備本土化及產業自主化之目標。 3. 規劃未來於院內自行開發可撓式 CIGS 太陽電池產品，包含應用於無線電通訊器材的鋰電池充電器、飛艇表面充電蒙皮及臨時緊急發電系統等，創造軍民通用的複合式產品，朝向國軍人員裝備或機具之能源補充系統發展。 4. 尋洽國際著名研究單位或 R2R-CIGS 生產廠商，安排來台灣進行 R2R 技術交流並尋求建立合作關係，儘速切入未來趨勢及發展重點。 		
處理意見	<ol style="list-style-type: none"> 1. 103 年完成 R2R-CIGS 實驗線，初步可完成 30cm x 30cm CIGS 元件製作，及結合國內廠商完成模組封裝，並與國內出海口廠商商討未來電子產品規格、BIPV 模組樣態，共同推廣 CIGS 撓性產品。 2. 規劃 104~105 年新建案中投入 30cm 幅寬之 R2R 雷射切割及機械切割設備、R2R 金屬電極網印塗佈設備，並積極尋找國內業者以業科方式共同開發，落實設備本土化及產業自主化之目標。 3. 初步向院內軍種委託案單位共同研發 37A 或手持式通訊器材之可攜式充電能源包；後續朝向大型高空飛艇或緊急發電系統進行建案規劃。 4. 邀請國外著名的太陽電池研究人員來院參觀及演講，並與其請教技術瓶頸之處及未來發展趨勢，期望建立良好合作關係。 		

國防部軍備局中山科學研究院 102年度出國報告審查表

出國單位	第五研究所	出國人員 級職姓名	聘用技士 吳政翰
單位	審查意見		簽章
一級單位	<p>一、積極尋找 CIGS 太陽能電池產品出海口，並規劃未來計畫中將納入模組產品封裝設備籌購。持續與院內單位共同合作可撓式 CIGS 太陽能電池軍用產品，提升國軍裝備。綠能產業及相關技術性的演講會經常性的舉辦。</p> <p>二、本技術報告屬公開資訊，無涉及機密。</p>		<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid red; padding: 2px; margin-bottom: 5px;"> 第五研究所 冶金組組長 倪國裕 10207171618 </div> <div style="border: 1px solid red; padding: 2px; margin-bottom: 5px;"> 中山科學研究院 第五所副所長 薄慧雲 10207181450 </div> <div style="border: 1px solid red; padding: 2px;"> 中山科學研究院 第五所所長 葛平亞 10207182220 </div> </div>
計品會	<p>1.本案參加歐洲 2013 國際太陽能研討會及展示會，對本院未來科專 CIGS 太陽能電池計畫開發有實務助益。</p> <p>2.報告所提 PI 較其他基板之 CIGS 太陽能電池有較高轉換效率，可考量與國內業者合作發展。</p>		<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid red; padding: 2px; margin-bottom: 5px;"> 計品會 專任委員 許文榮 10207191520 </div> <div style="border: 1px solid red; padding: 2px;"> 中山科學研究院 計品會副主委 萬紹正 10207191600 </div> </div>
保安處	<p>案內出國報告(經濟部科專_CIGS 太陽能電池關鍵技術開發計畫...電極技術)已完成保密檢審作業，對於貴所將本件列為一般性資訊，本處敬表同意，無附加審查意見。</p>		<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid red; padding: 2px; margin-bottom: 5px;"> 保防安全處 保防官 洪哲惟 10207221020 </div> <div style="border: 1px solid red; padding: 2px;"> 中山科學研究院 保防安全處處長 高學文 10207221040 </div> </div>
企劃處	<p>一、案列本院 102 年出國計畫 102014 案，說明赴德國參加「國際太陽能研討會與展示會」與國外專家學者交流等心得，符合核定出國計畫主旨。</p> <p>二、公差建議事項，納入規劃未來科專建案、協調國內業者尋求開發產品，及軍種委託案建立軍事產品應用等參考。</p> <p>三、請將奉核報告電子檔及紙本裝訂 5 份送本處續辦。另請於返國後 3 個月內，將報告電子檔登錄行政院資訊網及本院圖書館工作報告資訊網。</p>		<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid red; padding: 2px; margin-bottom: 5px;"> 企劃處 科技組秘書 梁瓊真 10207260845 </div> <div style="border: 1px solid red; padding: 2px; margin-bottom: 5px;"> 企劃處 科技組副組長 吳銘燦 10207260900 </div> <div style="border: 1px solid red; padding: 2px;"> 中山科學研究院 企劃處副處長 葉德華 10207260804 </div> </div>
批			示
<div style="text-align: center;">  10207210820 </div>			

國外公差人員出國報告主官（管）審查意見表

針對吳員赴德開會之建議事項，本院已在未來新建案當中納入模組封裝設備規劃，並積極與國內業者共同開發自主化設備，並尋找產品出海口。此外，本計畫也開始與院內軍種委託單位共同設計可撓式 CIGS 太陽電池於軍事產品上的應用，包含 37A 或手持式通訊器材之可攜式充電能源包、大型高空飛艇或緊急發電系統等進行建案規劃。

本院未來將經常性的邀請國內外著名學者來院進行技術性演講及觀摩，藉此引發同仁之間的共鳴以及並與學者的交流激發創意。

第五研究所 倪國裕
冶金組組長
10707781400 分

中山科學研究院
第五所副所長 薄慧雲
10707781400 分

附件二

出國報告審核表

出國報告名稱：經濟部科技專案-CIGS 太陽能電池關鍵技術開發計畫-可撓式金屬箔基板技術開發之卷對卷連續濺鍍鉬電極技術出國報告

出國人姓名 (2人以上, 以1人為代表)	職稱	服務單位
吳政翰	聘用技士	國防部軍備局中山科學研究院

出國類別 考察 進修 研究 實習
 其他 開會 (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)

出國期間：102年06月16日至102年06月23日 報告繳交日期：102年07月16日

出國人員自我檢核	計畫主辦機關審核	審核項目
----------	----------	------

<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1. 依限繳交出國報告。
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2. 格式完整 (本文必須具備「目的」、「過程」、「心得」及「建議事項」)。
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	3. 無抄襲相關資料。 訂管組：
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	4. 內容充實完備。 第五研究所 楊嫻嫻 計管組資訊員 10207180850
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	5. 建議具參考價值。 第五研究所 陳彥良 計管組副組長 10207180925
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	6. 送本機關參考或研辦。
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7. 送上級機關參考。
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8. 退回補正，原因：
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(1) 不符原核定出國計畫。
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容。
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) 內容空洞簡略或未涵蓋規定要項。
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(4) 抄襲相關資料之全部或部分內容。
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(5) 引用其他資料未註明資料來源。
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(6) 電子檔案未依格式辦理。
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(7) 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔。
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	9. 本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表：
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	(1) 辦理本機關出國報告座談會 (說明會)，與同仁進行知識分享。
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 於本機關業務會報提出報告。
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	(3) 其他本報告已於 102 年 6 月 25 日辦理知識分享。
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	10. 其他處理意見 (凡勾選項 3 者，請於「建議事項」明確說明不予刊登理由)：
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(1) 報告內容屬 (機密、密) 件，嚴禁上傳出國報告資訊網。
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	(2) 報告內容屬普通件，不涉機敏，資料可對外公開。
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) 報告內容屬普通件，唯部分章節述及限閱資訊，為避免遭有心人士不當運用而產生後遺，請准比照機密資訊，不予刊登出國報告資訊網。

請加印 **第五研究所 楊建勳 傑出貢獻獎 10207181020**

出國人簽章	計畫主辦機關審核人	一級單位主管簽章	機關首長或其授權人員簽章
第五研究所 吳政翰 冶金組技士 10207161345	第五研究所 倪國裕 冶金組組長 1020717018	中山科學研究院 薄慧雲 第五所副所長 10207181400	中山科學研究院 葛平亞 第五所所長 10207182020

報 告 資 料 頁			
1.報告編號： CSIPW-102Z-D0001	2.出國類別： 其他(開會)	3.完成日期： 102.07.16	4.總頁數： 30
5.報告名稱：經濟部科技專案-CIGS 太陽電池關鍵技術開發計畫-可撓式金屬箔基板技術開發之卷對卷連續濺鍍鉛電極技術出國報告			
6.核准 文號	人令文號 部令文號	102.05.23 國人管理字第 1020008483 號 102.05.17 國備獲管字第 1020006828 號	
7.經 費		新台幣：111,299 元	
8.出(返)國日期		102 年 06 月 16 日至 102 年 06 月 23 日	
9.公 差 地 點		德國	
10.公 差 機 構		德國慕尼黑 2013 國際太陽能研討會與展示會	
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-CIGS 太陽電池關鍵技術開發計畫-可撓式金屬箔基板技術開發之卷對卷連續濺鍍鋁電極技術出國報告

頁數 30 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/吳政翰/冶金組/聘用技士/03-4712201 轉 357258

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

吳政翰/國防部軍備局中山科學研究院/第五研究所冶金組/聘用技士/03-4712201 轉 357258

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：德國

102/06/16~102/06/23

報告日期：

100/07/16

分類號/目

關鍵詞：

矽晶型太陽電池、可撓式 CIGS 太陽電池、薄膜型太陽電池、聚光型太陽電池

內容摘要：(二百至三百字)

參加 2013 歐洲國際太陽能研討會與展示會，與國外學者研討未來矽晶型太陽電池的發展方向包含 1.如何降低設備資本 2.每片太陽能電池耗費的製程成本 3.太陽電池的最終售價。關鍵技術突破包含 1.擴散阻絕層 ICP-Al₂O₃ 2.內拋光技術 3.減少 Ag 漿導電材使用 4 離子植入的均勻性分佈 5 以雷射製程方式製備元件技術。薄膜型太陽電池則以 EMPA 研究單位製作的 CIGS 模組商品最為成功，PI 膜 8 片式模組：Voc-5.5V、Jsc-32.9mA/cm²、FF-65.3%、平均效率為 14.8%、模組面積為 13cm²。國內廠家台積電製作 CIGS 太陽電池模組尺寸為 656mm(寬) x 1656mm(長) x35mm(厚)，最大模組功率為 155W、Voc-63.4V、Isc-3.46A、 η -14.3%。漢能公司開發可撓式充電能源包具有可達 8Wp-USB 介面及 96Wp-DC 介面，預期未來行動式電源將成為市場主要趨勢。

目 次

壹、目的.....	(9)
貳、過程.....	(10)
參、心得.....	(28)
肆、建議事項.....	(30)
附 件.....	(無)

經濟部科技專案-CIGS 太陽電池關鍵技術開發計畫-可撓式金屬箔基板技術開發之卷對卷連續濺鍍鉬電極技術出國報告

壹、目的

2013 國際太陽能研討會及展示會(英文全名為 Intersolar 2013 conference & exhibition)是僅次於 2103 法國-世界國際太陽能會議(簡稱為 PVSEC),但本次研討會及展示會仍舊吸引 400 多家太陽能廠商及 8000 多人外賓蒞臨,討論議題包含有太陽能的全球市場動向、太陽能成長率、未來的太陽能電池技術方向、模組封裝及系統安裝技術、電力儲存及電網系統、大面積化的熱電電站、量產模式及熱電式太陽電池發展狀況等諸多面向討論。

職出訪期間為 102/6/16~102/6/23,參訪的工作內容有三點:

1. 與國外學者研討結晶型及薄膜型太陽電池製程技術、可撓式鍍膜系統設備與新材料研究,瞭解未來製程及商品應用發展方向。
2. 與國外業者研討薄膜型太陽電池元件及模組封裝技術,針對高單價 3C 電子產品、太空用品、軍事產品、太陽電池電廠或家用建築等,作為計畫未來產品應用評估。
3. 參觀參展廠商最新的產品資訊,汲取目前銅銦鎵硒太陽能電池之產製製程、材料與技術發展現況,俾利後續計畫執行與規劃作業。

貳、過程

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			
102.06.16	日	桃園			去程	夜宿機上
102.06.17	一		慕尼黑	德國 慕尼黑	1. 辦理註冊報到。 2. 研討太陽能電池新材料研究、量產設備及製程技術會議，並與國際學者、專家交流太陽電池結構等設計方式。	夜宿慕尼黑
102.06.18	二			德國 慕尼黑	1. 研討結晶矽太陽能電池技術會議，瞭解未來製程及商品應用發展方向。 2. 與國外學者進行薄膜型太陽電池製程技術及可撓式鍍膜系統專業研討。 3. 與國外業者研討薄膜型太陽電池元件及模組封裝技術，朝未來太陽電池商品應用趨勢開發。	夜宿慕尼黑
102.06.19	三			德國 慕尼黑	1. 研討薄膜型太陽電池電廠或家用建築商業化的技術可行性。 2. 蒐集國外已架設的大型電站和薄膜型太陽電池建物等應用實例，作為計畫未來產品應用評估。	夜宿慕尼黑
102.06.20	四			德國 慕尼黑	1. 研討聚光型及薄膜型太陽電池技術及市場需求，特別針對高單價 3C 電子產品、太空用品及軍事產品進行討論。 2. 研討全球太陽能電站架設構想、模組封裝及系統架設等做為計畫未來產品執行參考。 3. 參觀參展廠商最新的產品資訊，汲取目前製程、材料與技術發展現況。	夜宿慕尼黑

102.06.21	五			德國 慕尼黑	<ol style="list-style-type: none"> 1. 參觀參展廠商最新的產品資訊，汲取目前可撓式產品應用及建築一體式太陽電池。 2. 尋訪晶圓型或聚光型太陽電池設備設計及銅鋁鎵硒太陽能電池之產製製程、材料與技術發展現況，俾利後續計畫執行與規劃作業。 3. 參觀參展廠商之可撓式基板材料、模組、封裝製程或設備及線上檢測分析能量，做為後續計畫評估使用。 	夜宿慕尼黑
102.06.22	六	慕尼黑			回程	夜宿機上
102.06.23	日		桃園		回程	

德國慕尼黑是靠近德國南邊的大城，屬於陸地型氣候，沿途可以看到畜牧業十分盛行，加上德國是推動太陽能電池最早的國家，因此，無論在民宅的屋頂上架設太陽能板、畜牧屋頂搭建太陽能板，甚至是整各社區在社區外圍搭建太陽能發電系統，供給整各社區用電，都十分輕而易見，據說在德國南部陽光充足之處約有 1/3 的家庭均裝設有這樣的太陽電池板，也充分顯示出這國家對於推動節能減碳的政策落實的十分徹底，(如圖一所示)。



圖一、居家型太陽能電池板

研討會國際會議中心坐落於德國慕尼的東邊，鄰近於太陽電池展示會場，國際會議中心共具有 4 塊演講廳，分別功能為-太陽能市場趨勢及座談會、太陽能技術(材料、設備、單多晶、薄膜)、太陽能系統(追日、BIPV-建築一體、模組封裝、系統安裝)、集熱式太陽能電池，(如圖二、三所示)。



圖二、三-慕尼黑國際歐洲太陽電池研討會會場

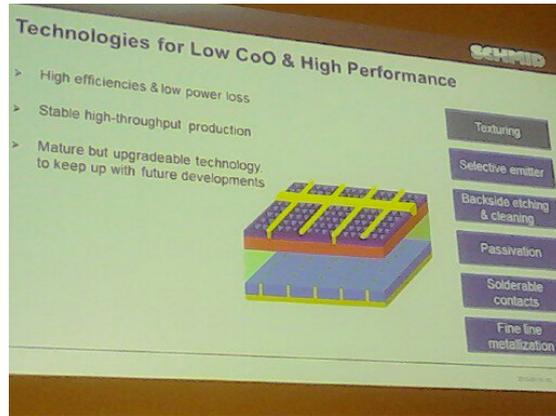
職將針對此次研討會、展示會及與國外學者專家討論的內容進行說明，其中汲取到的資訊分為五大部分：

一、結晶矽太陽電池：結晶性太陽電池生產至今，討論的議題就是成本，誠如 SCHMID 的 Dr.Ralf Ludemann 所說 1.如何降低設備資本 2.生產每片太陽能電池所需耗費的製程成本 3.消費者拿到手上時太陽電池每瓦售價為何，(如圖四所示)？若以目前結晶矽的技術來看，降低成本或效益的提升要點將會落在高轉換效率技術、減少漏電損失的手法、穩定且高輸出產能、開發成熟且有進步性研發技術，(如圖五所示)。一般矽晶型太陽電池分為 P-型及 N-型，以 P 型來說提升目前量產製程技術的關鍵技術包含有 1.擴散阻絕層 ICP(離子偶合電漿)-Al₂O₃ 2.內拋光技術 3.減少 Ag 漿導電材使用；而 N 型則是著重在 1.離子植入的均勻性分佈 2.以雷射製程方式製備元件技術，(如圖六所示)。而目前最為被廣泛應用減少成本支出的方式就在於原材料的品質控制及增加照光面積兩種方式，第一、透過檢測儀器分析矽晶棒或矽晶圓的組織缺陷，判定缺陷數量是否超過製程標準，避免製程重工及製作過低效率

的太陽電池元件，(如圖七所示)。第二、採用 MWT-PERC 的製程技術，減少電極造成照光面積的損失(如圖八所示)，且以這樣的方式製備的太陽電池元件效率可以達 20.6%(V_{oc} -661mV、 J_{sc} -39.9mA/cm²、FF-78.3%、量測面積-148.5cm²)，(如圖九所示)，因這樣的技術難度不高已成為現今各大廠家模組發展主流方式，(如圖十所示)。



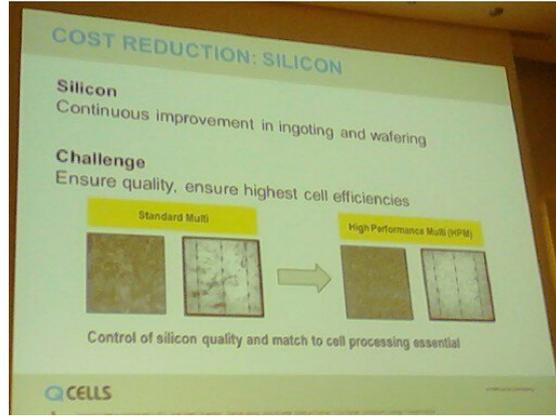
圖四、太陽電池成本議題



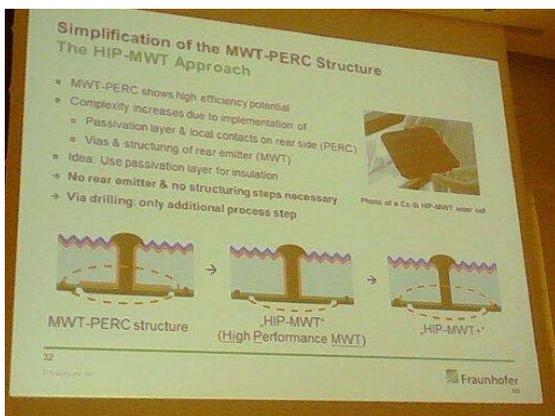
圖五、矽晶太陽電池技術提升方向



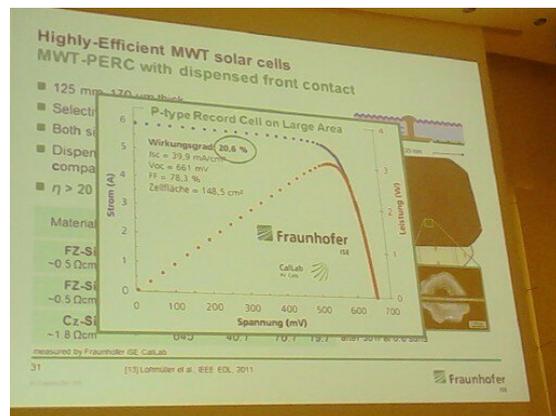
圖六、P 型與 N 型矽晶電池技術改善方式



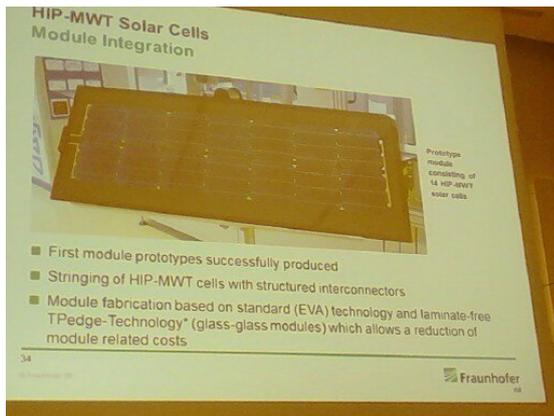
圖七、原材缺陷技術分析



圖八、MWT-PERC 技術



圖九、MWT-PERC 之矽晶元件效率分析

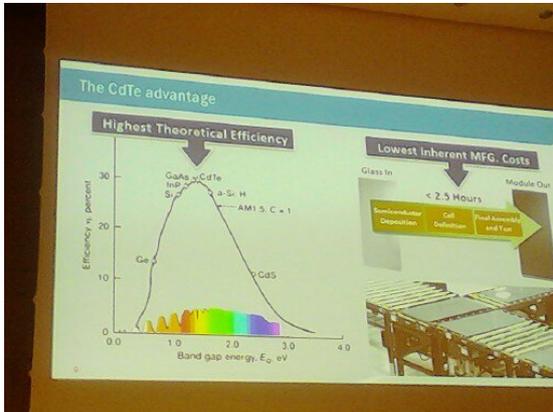


圖十、MWT-PERC 矽晶模組原型

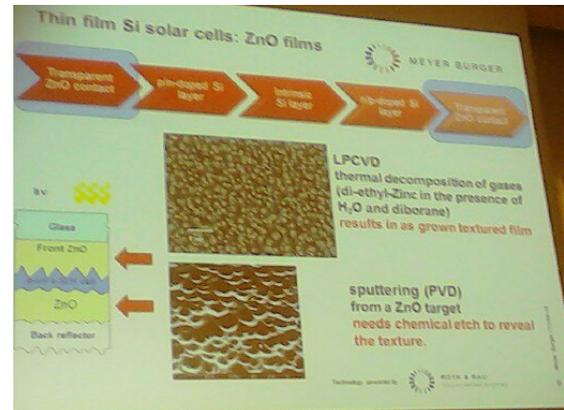
二、銻化鎘(CdTe)與非晶矽薄膜太陽電池

- a. 銻化鎘太陽電池-能隙約 1.5eV 是目前最適合太陽光吸收的太陽電池，而製造時間 (Cycle-Time)也是目前薄膜型最短的，從玻璃原料到模組封裝完成僅需耗費 2.5 小時，相當符合量產的生產條件，(如圖十一所示)，也造就其目前裝設數最大宗的薄膜型太陽電池。然而其鎘化物的材料是其致命的弱點，這部份 First-Solar 公司也早已有所因應做好回收的應變機制，將近 90%玻璃素材及 95%半導體材料全面回收再利用，減少各種有毒物質流落在外的可能性，但也因回收道次致使其成本調降不易。
- b. 非晶矽(Amorphous Si)太陽電池-已從早期的單層技術轉為異層堆疊太陽電池 (HJT-Hetero Junction Technology)，且預解決的技術層次包含有上下光窗導電層品質改善及非晶矽材(Amorphous-Si)與微晶矽材(Micro-Si)的介面接合，以上層窗層而言採用 LPCVD 製備 ZnO 會容易在 H₂O 或硼氫材料的環境下產生熱裂解導致有紋路薄膜 (textured film)；而下層 ZnO 窗層雖是以濺鍍方式製備但因轟擊方式沉積導致後續需以蝕刻製程去除紋路現象(texture)，(如圖十二所示)。而非晶矽與微晶矽的介面接合更是各家製程機密，僅能透過鍍膜參數控制製備出最佳化的接合介面，(如圖十三所示)。因此，Dr.Bernd Rau 認為現階段雖非晶矽太陽電池與微晶太陽電池均可達 10%效率，接合型 a-Si 與 μ -Si 可達 12.5~14.1%，但這都僅止於實驗室規模階段，欲達到量產規模仍需想辦法從 1cm² 尺寸大小突破可製備 1m² 的量產尺寸，並維持量產基本門檻的效率 10%，成本則需控制在 35 歐元/m²，(如圖十四所示)。Fraunhofer ISE Lab.也提出該單位目前所製作的 Si-HJT 元件其 P-type 電池 Voc-722mV、Jsc-38.4mA/cm²、FF-77.1%、

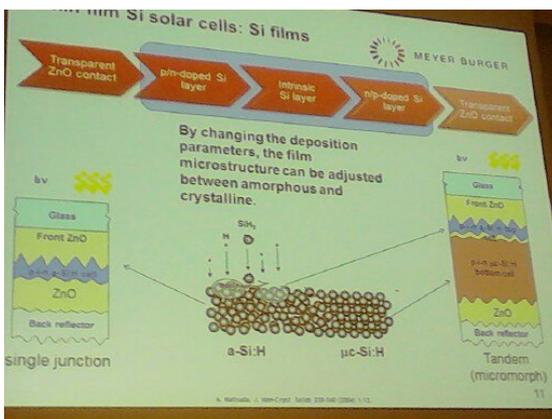
有效面積 3.98cm²、效率高達 21.38%，(如圖十五所示)，同時也期望在 2014 年能將生產成本從現有的 0.152 歐元/瓦降低至 0.08 歐元/瓦，預期主要道次包含有 PVD(濺鍍製程)及 Ag 漿塗料材料的減少方式以降低生產成本。



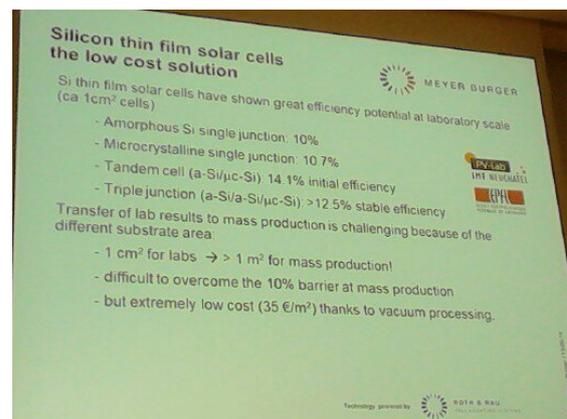
圖十一、CdTe 太陽電池優點



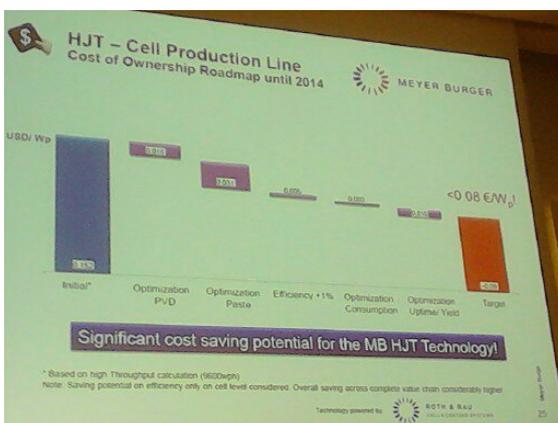
圖十二、非晶矽太陽電池問題(一)



圖十三、非晶矽太陽電池異質介面(二)



圖十四、非晶矽太陽電池量產的挑戰



圖十五、非晶矽太陽電池降低成本的路徑

三、CIGS(銅銦鎳硒)薄膜太陽電池

講者為現今 PI 膜撓曲式 CIGS 太陽電池效率最高紀錄擁有人-瑞士 Empa 太陽光電研究院 Dr.Ayodhya，他談到目前薄膜型太陽電池除了多種產品應用性及未來市場發展淺力商品，更低的生產成本與售價是市場必要的部分，目標模組 $< \$0.5/W_p$ 、系統 $\$ 1/W_p$ 方能與結晶型太陽電池競爭電站市場，(如圖十六所示)。日本 Solar Frontier 為目前世界最大的玻璃型 CIGS 太陽電池廠家，其轉換效率可達 19.7%，更在 2012 第四季營收高達\$83 億美金，(如圖十七所示)。玻璃式與撓曲式 CIGS 太陽電池差別在於，(如圖十八所示)，玻璃式除了 CIGS 元件外，還具有上下兩層 3mm 厚的保護玻璃，而撓曲式加含模組封裝僅需 200mm 厚，對於可撓性及輕量化具有相當良好的優點，(如圖十九所示)。此外，CIGS 太陽電池具有高轉換效率及低生產成本更是發展量產化的優勢，因此，如何維持量產時的高轉換效率及產品的耐久度是未來主要的課題。

而 EPMA 具備有現今 CIGS 撓性太陽電池元件轉換效率最佳紀錄-不銹鋼 17.7%、Al foil 16.2%、PI 20.4%，(如圖二十所示)。但因 550~580°C 高溫製程易導致基材變形使生產良率降低，因此，調降製程溫度至 400~450°C 則可有效避免基材變形的情形發生，但低溫製程也容易使 CIGS 結晶成長溫度不夠，導致晶界缺陷增多使轉換效率下降，由圖二十一中可看出低溫製程度與基材強度特性致使不銹鋼及 Al 基材對於轉換效率影響不大，而對 PI 膜卻有 2%影響，因此低溫製程對於 PI 撓性基材在量產上將是其關鍵。而 EMPA 投入 CIGS 製程已有長達 15~16 年，從最早期的蝕刻方式-轉換效率 6%到鈉的預先添加-轉換效率提升至 12%，導入最佳化緩衝層、光窗層、AR-coating-方將轉換效率突破至 16%，最終以調變 CIGS 組成並控制微結構組織才達到現今的 20.4%，(如圖二十二所示)。

Photovoltaics meeting the Market

- > Diverse applications and growing market potential
- > Cost competitive advantages in market is essential
- > Dependence on subsidiary and support programs is not sustainable
- > Price to customer is the key
- > Lower cost: Not only affordable but also profitable
- > Cos targets: Modules: < \$ 0.5/Wp
Systems: ~ \$ 1Wp

EMPA

圖十六、CIGS 太陽電池成本目標

CIGS on glass substrate gaining maturity for large volume industrial production



SOLAR FRONTIER

News of success from Solar Frontier:

- ... achieves 19.7% efficiency solar cell
- ... completed a new 900MW module factory producing 13% efficiency solar panels
- ... posted revenue of \$833 million in 2012 and recorded its first positive quarterly income in the fourth quarter

Source: <http://www.solar-frontier.com/engineering/2013/01/14/763.html> and other websites

EMPA

圖十七、Solar Frontier 世界最大 CIGS 太陽電池公司

Thin film solar modules: Glass vs foil

Mature technology: 3 mm Glass, 3 mm Glass

Emerging technology: Solar cell thickness ~ 4 μm, ~ 200 μm

Modules on foils: Flexible, Lightweight

Flexible and lightweight solar modules offer several advantages and paradigm shift

EMPA

圖十八、可撓式與玻璃式 CIGS 的差異

Multiple advantages for enabling low cost solar electricity

Advantages: High efficiency, Low cost, Flexible, Light-weight

- Lower module cost (€/Wp)
- Lower BOS cost (€/Wp)
- Lower cost of fully installed systems

Very important: High efficiency and long term performance stability

Flisom

EMPA

圖十九、可撓式 CIGS 太陽電池的優點

Why CIGS thin film solar cells

- > Highest efficiency amongst thin film solar cells
- > Efficiency comparable to m-Si wafer cells
- > Excellent performance stability
- > Excellent stability under space radiation
- > Monolithic interconnection
- > Large area coating on different substrates

Highest record efficiencies of solar cells (area: ~0.5 cm²)				
Substrate	Glass	Steel	Aluminium	Polymer
Efficiency	20.3%*	17.7%*	16.2%	20.4*
Institute	ZSW	EMPA	EMPA	EMPA

* Independently certified measurement at ISE-FhG

EMPA

圖二十、不同基板的 CIGS 元件最佳效率

High efficiency flexible solar cells on different foils

Low-temperature CIGS growth process

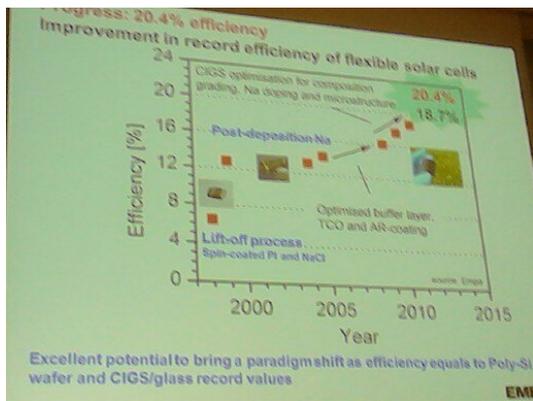


	V _{oc} [mV]	J _{sc} [mA/cm²]	FF [%]	η [%]
Polyimide	712	34.8	75.7	18.7*
Stainless Steel	699	34.2	73.9	17.7*
Aluminium	671	31.8	76.0	16.2
Mild Steel	667	30.1	72.4	14.5

* Independently certified measurements at ISE-FhG

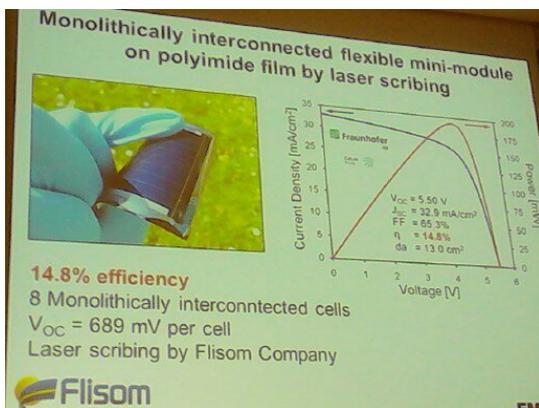
EMPA

圖二十一、低溫製程對於 CIGS 元件效率影響

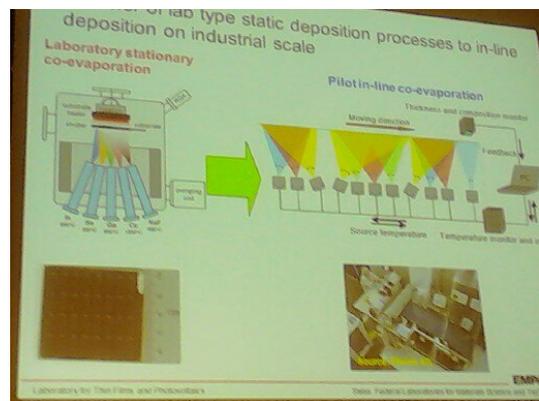


圖二十二、EMPA 的 CIGS 太陽電池發展歷程

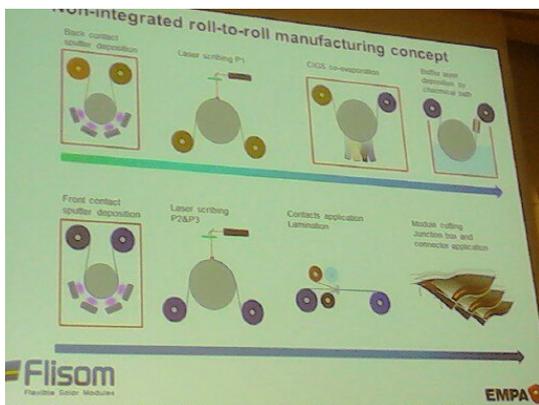
EMPA 研究單位現今也與瑞士 Flisom 公司進行技術合作發展 CIGS 可攜式模組商品，其雷射切割後的 PI 膜 8 片式模組： V_{oc} -5.5V、 J_{sc} -32.9mA/cm²、FF-65.3%、平均效率為 14.8%、模組面積為 13cm²，(如圖二十三所示)。以目前 Flisom 的資料來看其 R2R-CIGS 技術與本院發展方向相同均採用共蒸鍍控制 CIGS 成分比例，從點蒸鍍源發展至 Pilot-Line 的多階段點蒸鍍製程。而其模組製程分為 8 站 R2R 方式完成製備，模組產品則分為軟板式與硬板式，幅寬尺寸為 30cm，(分別如圖二十四、二十五、二十六、二十七所示)。



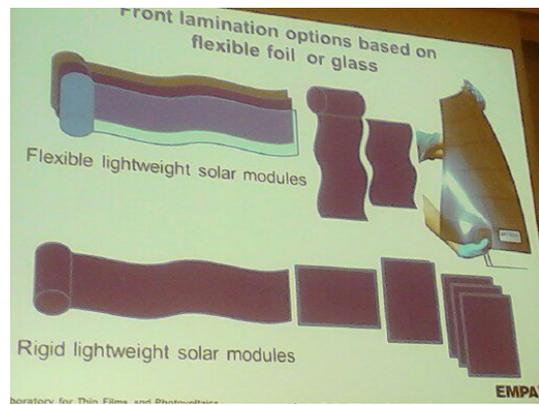
圖二十三、Flisom 的 CIGS 模組



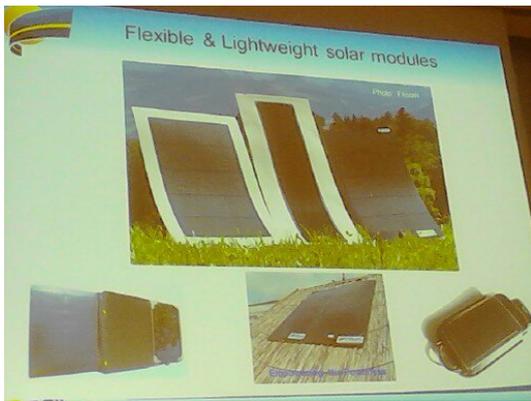
圖二十四、Flisom 的 R2R 共蒸鍍製程



圖二十五、Flisom 的 R2R 整線製程



圖二十六、Flisom 的 R2R 模組產品(一)



圖二十七、Flisom 的 R2R 模組產品(二)

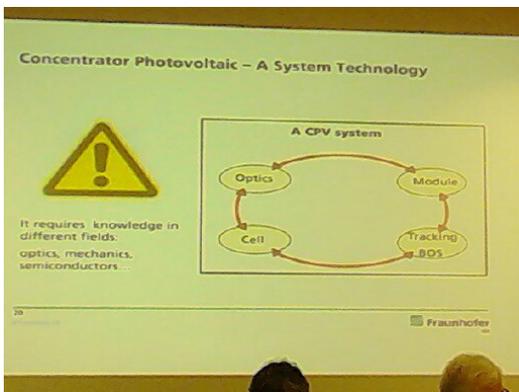
四、聚光型太陽電池與 BIPV 型系統

聚光型太陽電池(以下簡稱 CPV)系統除元件及模組封裝外，更須考量光學及追日系統提升其轉換效率，因此，團隊當中所具備的人才需具有四種不同領域方面專長，(如圖二十八所示)，方能兼顧效率、成本、介面、良率等生產面向。CPV 主要以砷化鎵(以下簡稱 GaAs)為主，目前最佳的 Triple-GaAs 太陽電池元件效率可達 42%，預計 2020 年可將效率提升到最大理論效率 49%，(如圖二十九所示)。現階段的 CPV 最大瓶頸在於成本過高，根據 Dr.Gerhard Strobal(AZUR 太空研究中心)論述，CPV 成本過高的主因在於全自動化產線過少導致產能過低，使得現今矽晶型太陽電池量產技術已達到 GW(十億瓦)規模，而 CPV 仍只在 MW(百萬瓦)規模，(如圖三十所示)。專家認為到了 2020 年當 CPV 效率提升至 49%且量產規模達到 3GW，其生產成本可由現今的 10 歐元/kWh 降低至 5 歐元/kWh，(如圖三十一所示)，屆時太陽能電站可能就會被聚光型太陽電池所取代。另外以實際安裝狀況來看，無論在世界何處結晶矽與 CPV 成本差距不到 0.01 歐元/kWh，(如圖三十二所示)，主要原因在於土地節省面積差約 1/3，使得系統成本安裝價格大幅降低。

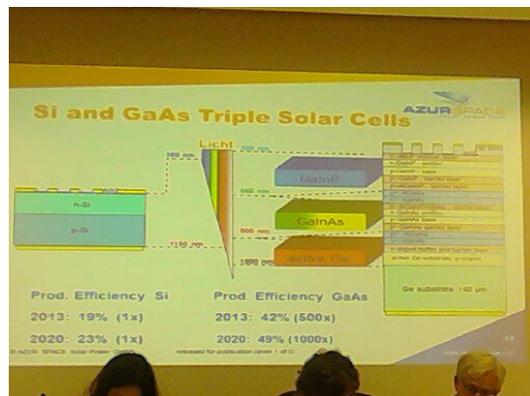
而 CPV 未來發展技術將會針對 Si/GaAs 之間的介面問題，包含導電性、穿透性、良好介面接合、低介面缺陷密度等，(如圖三十三所示)。在 CPV 聚光透鏡方面則須考量幾何形狀，將聚焦係數提高至 350~650%，此外整個模組散熱設計更是影響太陽電池壽命的關鍵，(如圖三十四所示)。以現階段 CPV 發展的 GaInP/GaAs/Si(磷銦化鎵/砷化鎵/結晶矽)三接太陽電池元件在 1.5AM 標準太陽光下效率可達 20.5%，而 GaInP/GaInAs/GaAs/Si(磷銦化鎵/砷銦化鎵/砷化鎵/結晶矽)四接太陽電池在 300AM 下，其轉換效率更可高達 43.6%，(如圖三十五及三十六所

示)；然而，元件與模組效率仍舊是目前 CPV 最不易克服的部份，效率損失約 20~25%，最高模組效率約在 34.9~32%，約略 52 片三接 GaAs 太陽電池串接而成，輸出電壓高達 38V、輸出電流 700mA，(如圖三十七及三十八所示)。

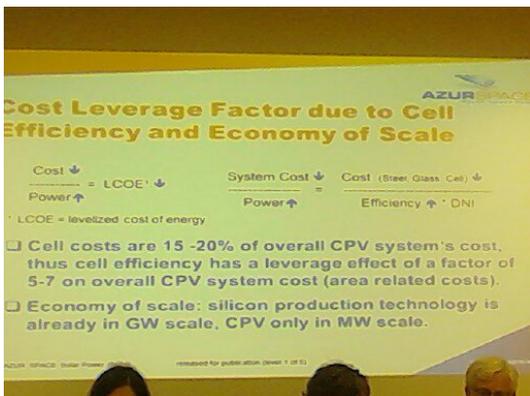
另外，CPV 雖具有高效率的效益，也因聚光造成元件容易過熱，往往需要製作許多的散熱系統。因此，有許多研究單位將 CPV 的光電及熱電共同結合，一方面熱交換器將 CPV 的熱帶走，另一方面將這些熱轉成電力，理論上這樣的系統可達到 75% 能量轉換，目前實際上測試效果約 63%，CPV 太陽電池可提供 49% 轉換效率、熱電系統則提供 14% 轉換效率，(如圖三十九及四十所示)。



圖二十八、聚光型太陽電池系統架構



圖二十九、GaAs 系列的串接型太陽電池



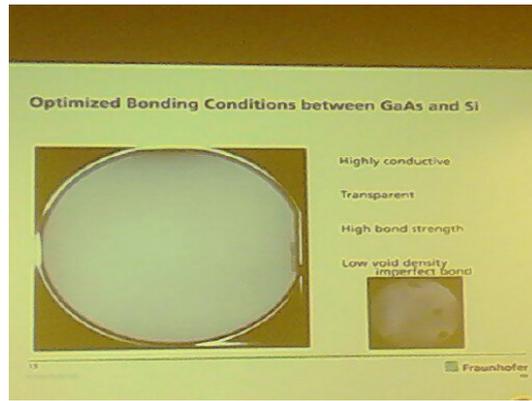
圖三十、CPV 成本因素



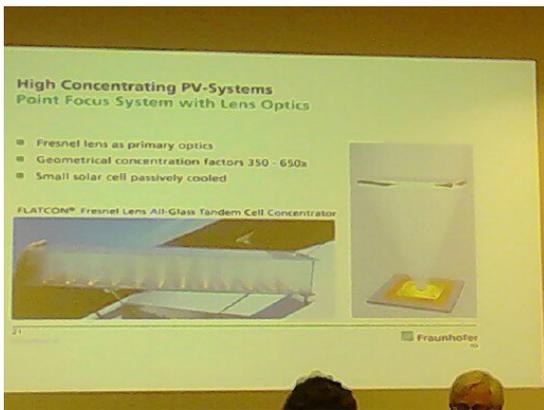
圖三十一、CPV 未來量產成本



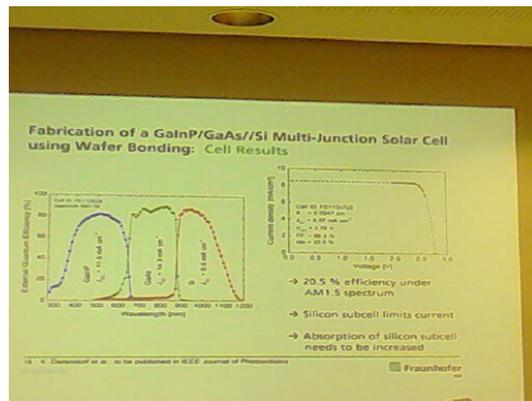
圖三十二、CPV 系統目前安裝價格比較



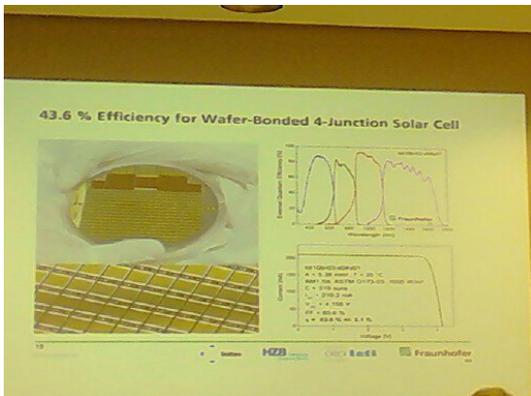
圖三十三、CPV 元件技術瓶頸



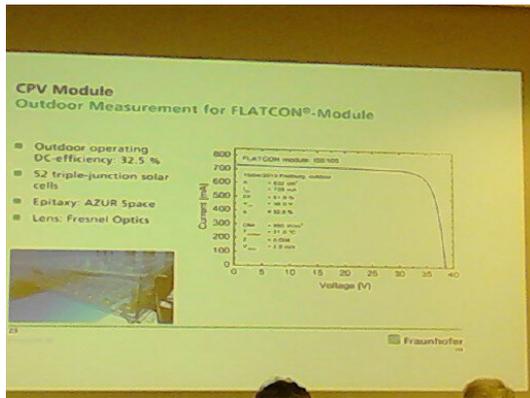
圖三十四、CPV 光學透鏡的設計



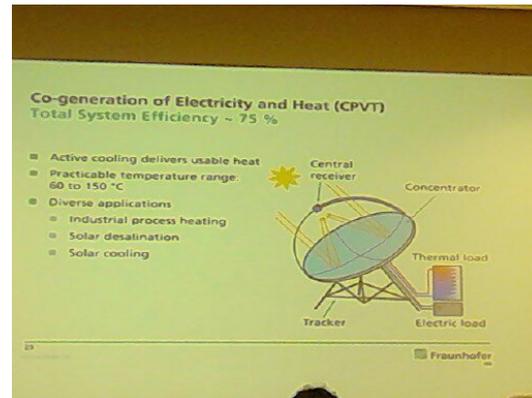
圖三十五、GaInP/GaAs/Si 元件效率



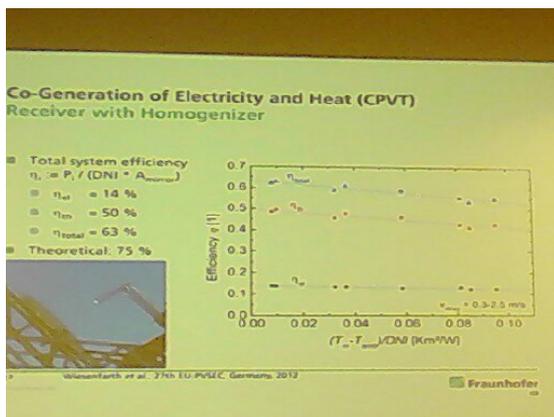
圖三十六、GaInP/GaInAs/GaAs/Si 元件效率 圖三十七、CPV 元件與模組效率發展歷程



圖三十八、CPV 模組效率分析



圖三十九、CPVT 發展應用



圖四十、CPVT 轉換效率分析

五、展示會-太陽能發電系統

展示會從 6/19 至 6/21，區域共分為 A1~A6、B1~B6 與 C1~C4 區塊，總計約有 600 多家廠商參展，職主要參觀 CIGS 太陽電池、可撓式太陽電池產品、BIPV 型建物、封裝材料及鍍膜設備等，以下針對幾項特色展示項目做介紹。

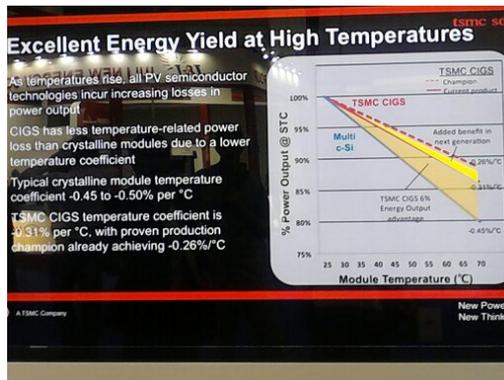
(1) TSMC(台積太陽能)CIGS 電池模組-

台積電所製作的 CIGS 太陽電池模組尺寸為 656mm(寬) x 1656mm(長) x 35mm(厚)，(如圖四十一所示)，最大模組功率為 155W、 V_{oc} -63.4V、 I_{sc} -3.46A、 η -14.3%、耐溫測試-最大功率損失率-0.31~-0.26%/°C，相較於非晶矽太陽電池-0.50~-0.45%/°C 為佳，(如圖四十二所示)，此外，在低照度環境測試下(800~250W/m²)，(如圖四十三所示)，其能量轉換比例均比非晶矽來的更好，加上一體成型的模組封裝技術減少電極造成 15%光損耗，均使 CIGS 太陽電池發電效果比非晶矽來得更好，預估 2014 年 CIGS 元件能達到 17%高轉換效率目標，(如圖四十四所示)。TSMC-CIGS 太陽電池結構底層為 3mm 厚的強化玻璃、阻絕層、

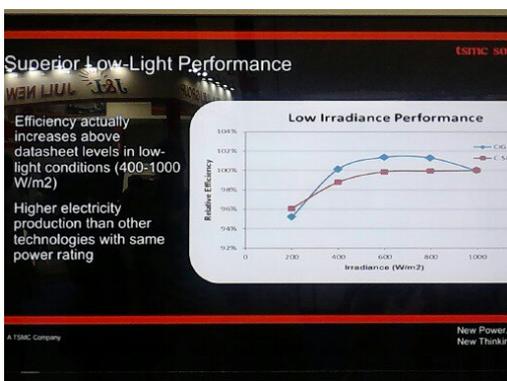
下電極-Mo(濺鍍-雙層結構)、CIGS(濺鍍+H₂Se 製程)、CdS(CBD 水浴製程)、TCO(MOCVD-化學氣相沉積製程)、EVA(封裝膠)、3mm 透光保護玻璃，(如圖四十五所示)。



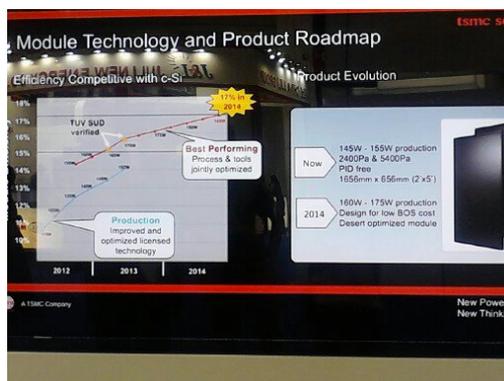
圖四十一、TSMC-CIGS 模組



圖四十二、TSMC-CIGS 受溫度而衰減分析



圖四十三、TSMC-CIGS 低照度分析



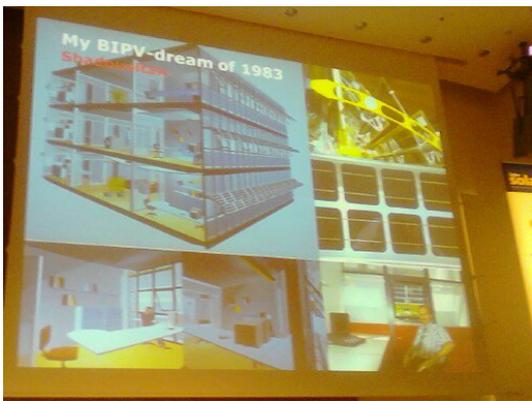
圖四十四、TSMC-CIGS Road Map



圖四十五、TSMC-CIGS 模組結構

(2) BIPV 型電池模組-

BIPV 型的太陽電池，早從 1983 年已有人開始構想，替換公寓大廈的透明玻璃窗戶(如圖四十六所示)，因此，展示會場中除一般典型的框架式矽晶型太陽電池外，最易見到的另一種趨勢產品就是 BIPV 型太陽電池，就一般的矽晶型太陽電池而言，因本身基材就是矽材料，僅能在材料上面加塊透明薄玻璃，作為結合式的 BIPV 型太陽電池，(如圖四十七所示)，而這類型的太陽電池缺點較多-1.為了美觀及拼裝方便採用四方型的基板，而四方形的矽晶在長晶過程中缺陷多，易導致太陽電池轉換效率較低的問題。2.BIPV 往往為居家美觀不會採用鋁框做為封裝，極易造成水氣進入或本身玻璃過薄容易破裂等，使得太陽電池衰退極快 3.BIPV 太陽電池除美觀外，因屬建築材質，需受到建築法規規定-防火試驗，需在 400°C 環境下耐燃 30min，(如圖四十八所示)。雖然 BIPV 規定較多，但因後續市場商機龐大，許多太陽電池業者早已開始佈局，而製作的樣態大多以半透光式的玻璃帷幕為主，(如圖四十九所示)，顧名思義就是基材玻璃可讓光線透過一半，另一半則作為發電使用，(如圖五十所示)，減少陽光造成室內溫度升高，並將光能轉成電能驅動建築物內的電器使用，而這樣的設計目前仍在研發更新的產品，就是能做到調變入射光線的多寡，而非現有固定式光線 BIPV，而這樣的產品尚在開發中。



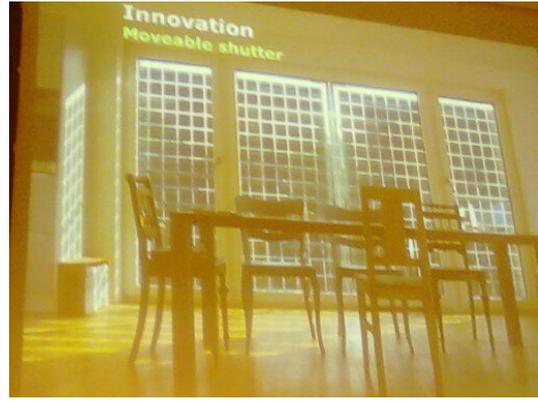
圖四十六、BIPV 構想



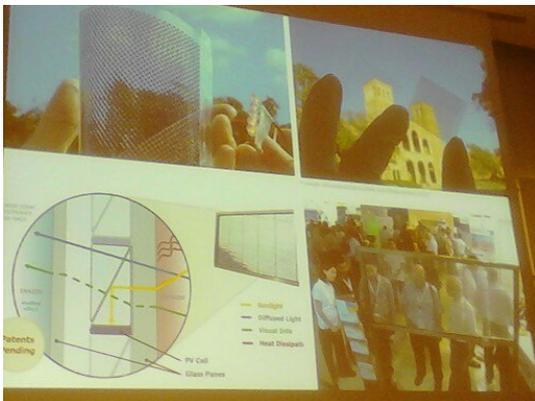
圖四十七、結合式的 BIPV 型太陽電池



圖四十八、太陽電池模組耐燃試驗



圖四十九、居家型 BIPV 應用(I)



圖五十、居家型 BIPV 應用(II)

(3) 可撓式 CIGS 型產品-

會場中最受人矚目的一家廠商，莫過於對岸的漢能公司，該公司成立於 2009 年，透過技術移轉及整線併購方式，主打薄膜太陽能市場，從早期重心於非晶矽薄膜型太陽電池至今發展 CIGS 薄膜型太陽電池，該公司先後於 2011 年買下德國 Silibro-CIGS 玻璃型太陽電池公司及 2012 年買下美國 Miasole-可撓式 CIGS 太陽電池產線，產能可達 140MW，目標 2017 年 400MW。

以漢能公司發展的玻璃式太陽電池產品來看，其模組尺寸為 1190mm(長) x 790mm(寬) x 7.3mm(厚)，重量約 16.5KG，以最大 120W 模組產品而言， V_{oc} -97.6V、 J_{sc} -1.69A、 Eff -12.8%，單片式元件效率則達 13.2%。目前商品上的應用將會著重於屋瓦式的建築及 BIPV 架構，本身因 CIGS 為全黑色系，CIGS 在建築美觀上較為優勢，因此，在歐洲許多國家均會有住家於屋頂上進行裝設，(如圖五十一所示)。而近年來隨著能源意識抬頭，許多太陽電池

不再是外掛式建物，而是逐漸融合至家用建築材料中，因此，BIPV 漸漸受到建商及設計師的喜愛，透過設計的巧思及加上 CIGS 穩重的黑色外觀，已開始逐漸成爲一種時尚及風潮，(如圖五十二所示)。除了建築物的商品外，該公司也有許多太陽能家具設計，像是太陽能桌上進行手機、I-Phone、筆電、檯燈，(如圖五十三所示)不僅可以減少小家電用電的消耗，更做爲一種時尚潮流的產物，而這產品受到許多參觀者的好評，不單在於太陽電池本身，而在於方便性，其關鍵就在於轉接頭，已從二極體電路接頭更改爲 USB 介面接頭，可針對現今各種消費性電子產品。

除了玻璃式的 CIGS 太陽電池產品外，可撓式的 CIGS 薄膜型太陽電池也是受人矚目的焦點，該技術是從 Miasole 開始引進，初步產品分爲 5V 及 12V，針對產品也不同，5V 的 CIGS 模組以 USB 爲接頭介面，可進行手機、GPS、PDA、I-Pod、I-Phone、數位相機(約略 2-3hr 完成充電)，(如圖五十四所示)產品項目有 M2~M8，最大功率爲 8Wp、Voc-5V、Jsc-1.6A，令職注意的是其電極封裝的方式，電極採用彎曲式單電極方式進行佈線，加上模組拼裝方式，推斷應是將 5cm x 30cm 進行模組串接式，而產品尺寸大小則透過不同數量的串接模組封裝而成，(如圖五十五所示)。因此 M12~M96 規格製品就是由更多小模組組裝而成的產品，輸出介面則改爲 DC、最大功率爲 96Wp、Voc-12V、Jsc-3.2A，可進行筆電、車用電視、車內空調之電源使用，(如圖五十六所示)。



圖五十一、CIGS-屋頂式 BIPV 應用



圖五十二、CIGS-窗戶式 BIPV 應用



圖五十三、CIGS-戶外桌充電器



圖五十四、可撓式 CIGS 能源充電包(I)



圖五十五、可撓式 CIGS 能源充電包(II)



圖五十六、可撓式 CIGS 模組

叁、心得

會後，職與 Dr. Ayodhya 交換名片時，並向其詢問對於可撓式 CIGS 太陽電池未來發展市場應用，Dr. Ayodhya 表示薄膜型太陽電池的優勢在於可撓性，而未來行動電源將會是世界趨勢，而 CIGS 正是最好的解決方案之一，(如圖五十七所示)；此外，博士認為目前太陽能市場雖不景氣，但 CIGS 應跳脫現有的電廠市場，朝向可撓式商品應用發展，並努力解決量產設備及製程之瓶頸，方能在未來市場急需時，滿足市場需求。交談中，博士也表示雖該公司目前發展的主要產品為 PI 膜 CIGS 太陽電池，但對於本院現階段發展不銹鋼 R2R-CIGS 技術感到十分有興趣，並表達有機會來台灣訪問將可進行可撓式 CIGS 技術交流。

展示會場中職於漢能公司之研發技術人員進行交流，詢問為何該公司朝向 CIGS 太陽電池產品進行開發，技術人員表示董事長認為電廠型太陽電池將會是矽晶型或高效率太陽電池的市場，而薄膜型應強調其重點為可撓性，因此，該公司已將重心發展於可撓性的應用上，包含 BIPV 或是可攜式能源充電包的產品開發。此外，技術人員也表示現階段的可撓式 CIGS 模組最高效率已可達 14.1%，未來高效率產品將會朝向屋頂地毯鋪設式進行開發規劃，(如圖五十八所示)，預期可大幅減少約 1/3 的安裝費用。

綜合長達五天研討會及展示會參觀之心得，整理如下：

1. 未來矽晶型太陽電池，主要發展技術將會著重在高轉換效率技術、減少漏電損失的手法、穩定且高輸出產能，未來量產關鍵技術包含有 1.擴散阻絕層 ICP-Al₂O₃ 2.內拋光技術 3.減少 Ag 漿導電材使用 4.離子植入的均勻性分佈 5.雷射製程方式製備元件技術。
2. EPMA 研究單位製備 CIGS 撓性太陽電池元件-不銹鋼 17.7%、Al foil 16.2%、PI 20.4%。其 CIGS 可撓式模組商品，8 片式模組：Voc-5.5V、Jsc-32.9mA/cm²、FF-65.3%、平均效率為 14.8%、模組面積為 13cm²。
3. 聚光型-Triple Junction 太陽電池元件效率最高達 42%。CPV 成本過高的主因在於全自動化產線過少導致產能過低，預期 2020 年效率提升至 49%，生產成本由 10 歐元/kWh 降低至 5 歐元/kWh，屆時太陽能電站可能就會被聚光型太陽電池所取代，主要在於土地節省面積差約 1/3，大幅降低安裝價格。未來 CPV 發展技術將會針對 Si/GaAs 之間的介面問題，包含導電性、穿透性、良好介面接合、低介面缺陷密度、散熱系統等。

4. BIPV 型的太陽電池，未來在設計上需考量水氣進入或本身玻璃過薄容易破裂等，使太陽電池衰退；成爲建築材質，需受到建築法規規定-防火試驗，400°C 環境下耐燃 30min。但後續市場商機龐大，許多太陽電池業者早已開始佈局，製作的樣態朝向可調變式透光玻璃帷幕爲主。
5. 玻璃式 CIGS 太陽電池模組，最大功率 120W、Voc-97.6V、Jsc-1.69A、Eff-12.8%，單片式元件效率則達 13.2%。未來應用著重於屋瓦式建築、BIPV 架構及太陽能家具設計，減少家電用電的消耗，且轉接頭已從二極體電路接頭更改爲 USB 介面接頭，可針對現今各種消費性電子產品。
6. 可撓式 CIGS 薄膜型太陽電池-小功率的 CIGS 模組以 USB 爲接頭介面，可進行手機、GPS、PDA、I-Pod、I-Phone、數位相機，最大功率爲 8Wp、Voc-5V、Jsc-1.6A。大功率產品輸出介面爲 DC、最大功率爲 96Wp、Voc-12V、Jsc-3.2A，可進行筆電、車用電視、車內空調之電源使用。
7. 與國外學者討論認爲薄膜型太陽電池優勢在於可撓性，行動電源會是未來世界趨勢，包含 BIPV 或是可攜式能源充電包的產品開發，當下應努力解決量產設備及製程之瓶頸，方能在未來市場急需時，滿足市場需求。

成果

1. 與國外學者 SCHMID 的 Dr.Ralf Ludemann 研討未來結晶型及薄膜型太陽電池製程技術方向，並針對量產手法及關鍵技術等進行討論，可作爲未來新能源提案作參考。
2. 與瑞士 Empa 太陽光電研究院 Dr.Ayodhya 博士研討 CIGS 撓性太陽電池元件技術現況，目前該單位已在塑膠型基板上製作 CIGS 太陽電池有重大突破，未來量產性及發展狀況動向值得計畫參考。
3. 參觀展示會廠商最新的產品資訊，會場中已有許多廠商積極投入可撓性薄膜型太陽電池產品，推估行動電源會是未來世界趨勢，包含高單價 3C 電子產品、筆電、車用電視、車內空調或家用建築等的產品開發，對於本計劃未來產品設計及應用方面有極大幫助。



圖五十七、未來太陽能的發展方向



圖五十八、建築型的可撓式 CIGS 太陽能電池

肆、建議事項

職赴德參加 2013 國際太陽能研討會與展示會，有幾點值得院內作為未來精進之目標：

1. 持續精進撓式太陽電池之技術，並針對模組產品應用進行深入了解，包含可攜式 3C 電子產品充電配備、BIPV 模組規格及建築法規測試，並與國內 CIGS 太陽電池廠共同結合推廣 CIGS 可撓式產品。
2. 籌建 R2R-CIGS 模組封裝產品，包含 30cm 幅寬之 R2R 雷射切割及機械切割設備、R2R 金屬電極網印塗佈設備，打造具量產規模的可撓式 CIGS 整線製程，並與國內業者共同結合降低開發成本，落實設備本土化及產業自主化之目標。
3. 規劃未來於院內自行開發可撓式 CIGS 太陽電池產品，包含應用於無線電通訊器材的鋰電池充電器、飛艇表面充電蒙皮及臨時緊急發電系統等，創造軍民通用的複合式產品，朝向國軍人員裝備或機具之能源補充系統發展。
4. 尋洽國際著名研究單位或 R2R-CIGS 生產廠商，安排來台灣進行 R2R 技術交流並尋求建立合作關係，儘速切入未來趨勢及發展重點。