

出國報告(出國類別：考察)

(薄膜太陽能製程設備及模組關鍵技術研究發展)

計畫

義大利米蘭 2010 光伏技術展覽出國報告

服務機關：國防部軍備局中山科學研究院

姓名職稱：潘文珽 技正

派赴國家：義大利

出國時間：99 11 14-99.11.20

報告日期：99.12.20

## 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	薄膜太陽能製程設備及模組關鍵技術研究發展計畫義大利米蘭 2010 光伏技術展覽出國報告		
出國單位	二所結構熱傳組	出國人員級職/姓名	技正 / 潘文珽
公差地點	義大利米蘭	出/返國日期	<u>99.11.14</u> / <u>99.11.20</u>
建議事項	<p>太陽能產業由於中國大陸積極發展，近幾年產生了極大的變化，晶片型太陽能電池，基本上已由中國壟斷了市場。因此，能夠提供更低成本以及更低耗能生產條件的薄膜型太陽能電池，已經成為先進太陽能電池生產國間競爭的焦點。在薄膜型太陽能電池中又以 CIGS 物理法製備薄膜太陽能電池在發展上最為接近全面性生產階段，其模組生產成本現階段介於 \$1.5~2.0/W。但為達成 2015 年模組生產成本低於 \$1.0/W 且於 2020 年低於 \$0.5/W 之產業競爭目標下，在材料以及製程成本降低之需求上，化學法製程設備開發以及捲繞式軟性基板製程技術的發展將成為最重要的發展趨勢。</p> <p>現場展覽中，主要以元件及模組的技術展出為主，在成熟商業化產品中，可以感受到晶片型(多晶矽或單晶矽)，已經不是技術競爭的焦點且已為單一國家所壟斷。因此，就太陽能發展趨勢而言，薄膜型太陽能電池電池才是未來法人科專可以著墨發展的方向。一種含銅銦硒三元素(簡稱 CIS)，或一種含銅銦鎵硒四元素(簡稱 CIGS)。由於其高光電效率以及高吸光效率 (<math>\alpha &gt; 10^4 \sim 10^5 \text{ cm}^{-1}</math>)，所需光電材料厚度不需超過 <math>1 \mu\text{m}</math>，可以有 99% 以上的光子均可被吸收，物料成本可壓縮得相當低。並且可以相當低成本的捲軸式生產方式進行生產，可想見未來在各國開始降低或取消現有的太陽能電力強制收購補貼費率 (Feed-in Tariff, FIT) 【Reuters 報導，德國環境部長 Norbert Roettgen 12 月 1 日表示，該國不能保證 2012 年之後現有的太陽能電力強制收購補貼費率 (Feed-in Tariff, FIT) 規定還會存在】，成本將會是未來太陽能電池多種技術競爭能夠勝出的最重要因素。</p> <p>展覽會場顯現的 CIGS 技術並不多見，該製程比較複雜，放大製程後，技術成熟度降低，設備技術供應練相當分歧，各站並</p>		

無制式化設備，組成成分比率、均勻度、晶界、各層間之介面關係以及緩衝層採用無鍋技術等等都是技術發展瓶頸所在。以技術發展的角度而言，其必要性也是顯然的。

以 CIGS 薄膜太陽能電池製程設備開發的角度來觀察，總結而言，以成本及技術觀點來看，我們可以有的選擇包含：化學法/物理法、軟板/玻璃、捲軸式製作/單片製作等等，可能整合的選擇為：

1. 物理法玻璃基板單片製作法(目前已經量產之技術)
2. 物理法軟板單片製作法(中科院材發中心製作方式)
3. 物理法軟板捲軸式製作法(Global Solar 為代表)
4. 化學法玻璃基板單片製作法(-)
5. 化學法軟板單片製作法(ISET 為代表)
6. 化學法軟板捲軸製作法(Nanosolar 為代表)

基於資料分析及參展所見所聞，提出建議如下：

1. FY101 科專以第六項技術為發展標的；
2. 中國大陸已經在晶片型太陽能電池產能上取得優勢，在薄膜製程上之基礎技術，同樣也取得相當多的成果。兩岸之間簽署 ECFA 後，經濟部也有所謂兩岸的搭橋計畫，合作開發市場的趨勢將愈趨明顯，中科院應該在科專這個領域上盡快鬆綁，包含參訪、洽談、技術合作等層面上以及在科專研發上的採購區域限制上鬆綁。
3. 銮、鎳等稀有及昂貴之金屬材料，未來如果 CIGS 太陽能電池大量生產，由於其稀有性將會有成本昂貴及為少數具儲量國家壟斷之虞，但是最近發展之由銅、鋅、錫及硫構成的太陽能電池稱為 CZTS 型(或“鋅黃錫礦構造的太陽能電池”)，卻有可能解決這個問題。對於化學法製程設備開發的開發上，初步估計應該影響不大，但是對元件/結構/製程開發上，建議應該特別注意此型太陽能電池之後續發展。
4. 展覽會場中上有一個重要的競爭亮點，相當多的系統公司展出模組的 mounting 技術。有些先進模組產品，利用模組具有的大寬跨架設能力，其面板和傳統模組面板比較，可

	<p>節省 40%架設材料、30%架設人力、85%佈線時間。由此可了解到，模組架設技術的研究，對於有效發揮太陽能電池模組之功效上，極為重要，值得相關單位進行分析研究。</p>
處理意見	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 第一項建議，評估未來太陽能再生能源發展之低成本趨勢，軟板捲軸可印製的塗佈技術應為台灣相關產業發展的重要趨勢，亦為本單位於科專研發上重要的方向之一。將依此建議推動 101 年科專建案。</li> <li>2. 第二項建議有其必要性，但涉及與大陸產業定位問題，提供相關單位參考。</li> <li>3. 第三項建議為成本競爭及新技術開發所需進行發展之技術，法人科專應可積極推動。</li> <li>4. 第四項建議為模組架構技術開發，此項技術層次雖然不高，但涉及與元件整合製作的問題，並對最終系統之成本有重大影響，建議本院系發中心軍通計畫通盤考量其研發可行性。</li> </ol>

# 報 告 資 料 頁

1. 報告編號： CSIPW-99B-F000 1	2. 出國類別： 考察	3. 完成日期： 99.12.20	4. 總頁數： 52
5. 報告名稱：薄膜太陽能製程設備及模組關鍵技術研究發展計畫義大利米蘭 2010 光伏技術展覽出國報告			
6. 核准 文號	人令文號  部令文號	99 年 11 月 11 日國人管理字第 0990016272 號 令)	
7. 經 費		新台幣： 97274 元	
8. 出(返)國日期		99.11.14 至 99.11.20	
9. 公 差 地 點		義大利米蘭	
10. 公 差 機 構		2010 PV Tech. Milano , fieramilano 2010 光伏技術米蘭非拉米蘭若	
11. 附 記			

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：薄膜太陽能製程設備及模組關鍵技術研究發展計畫義大利米蘭 2010  
光伏技術展覽出國報告

頁數 47 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/許瑞娟/351372

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

潘文珩/國防部軍備局中山科學研究院/二所結構熱傳組/技正/356460

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：99.11.14~99.11.20 出國地區：義大利 米蘭

報告日期：99.12.20

分類號/目

關鍵詞：

光伏技術、銅銦鎵硒、薄膜太陽能電池、晶片型太陽能電池、模組組裝

內容摘要：(二百至三百字)

本次公差為參加義大利米蘭 fieramilano, 16 ( Conference), 17 -19 November 2010 相關光伏技術的展示，主要目的為參加先進國家所展出之相關光伏產品以及研討會，並以現今光伏市場及技術發展趨勢，研析評估據以推動未來(FY101 再生能源科專計畫)之相關法人科專計畫。本次展覽主要之產品及技術包含：

1. 晶片型太陽能元件製造技術及產品；
2. 薄膜型太陽能元件製造技術及產品；
3. 太陽能模組組件安裝技術及產品；
4. 智慧型電動車輛及電池技術及產品；
5. 未來太陽能電池市場及技術發展趨勢。

# 目次

壹、目的 .....	8
貳、過程 .....	8
參、心得 .....	39
肆、建議事項 .....	48

# 報告名稱 薄膜太陽能製程設備及模組關鍵技術研究發展 計畫義大利米蘭 2010 光伏技術展覽出國報告

## 壹、目的

本次公差為參加義大利米蘭 fieramilano, 16 ( Conference), 17 -19 November 2010 相關光伏技術的展示，主要目的為參加先進國家所展出之相關光伏產品以及研討會，並以現今光伏市場及技術發展趨勢，研析評估據以推動未來(FY101 再生能源科專計畫)之相關法人科專計畫。

## 貳、過程

本次公差為參加義大利米蘭 fieramilano, 16 ( Conference), 17 -19 November 2010 相關光伏技術的展示(如下圖 本次展覽之網路首頁)，主題為太陽能電池光伏技術：一種前進中的科技，製造鏈的最佳化。



本次展覽之網路首頁

展示場的基本資料如下所示：

位置:米蘭展場中心 第 10 館 伽利略 研討室 Milan Fair Centre, Hall 10, Galileo Conference Room

進場:入場憑票 研討會免費 The access to the conference is free, upon payment of the fair ticket.

語言:一般以義大利與爲主

比較重要的研討會題綱:

### 1. 主題 光伏產品之製造鏈: 工業以及量產技術

子題

1.1. 銅銦鎵硒光伏製作品質及其供應鏈 Plant and machinery for a quality photovoltaic supply chain with CIS/CIGS e Si-cell

1.2. 薄膜模組終端對終端量產線 End-to-end thin film module production lines

- 1.3. 太陽能電池玻璃基板量產技術之解決方案及趨勢 Production technology of solar glass: solutions and trends
- 1.4. 2010 年光伏元件之預測 Photovoltaic cells: predictions for 2011
- 1.5. 光伏模組量產技術:模組化及市場預測 Technology in the production of photovoltaic modules: modularity and market prospects

## 2. 主題 光伏產品之製造新設備：性能品質與驗證

### 子題

- 2.1. IEC 測試驗證之預測 IEC tests: tests foreseen for certification
- 2.2. 光伏板品質保證之驗證 Certification of photovoltaic panel for quality assurance
- 2.3. 光伏板以模擬及即時量測估計實際能量的方法 Estimation of the real potential of photovoltaic panels by models and measurements on site
- 2.4. 光伏系統改善效率及可靠度的研發 Research and development to improve the efficiency and reliability of PV systems

## 3. 主題 光伏電廠的壽線週期：性能、成本以及衰減

### 子題

- 3.1. 光伏系統維護：高點維持高性能 Maintenance of photovoltaic systems: tips to maintain high performance
- 3.2. 達到最佳化之監測性能及光伏系統診斷 Monitoring of performance and diagnostics of photovoltaic systems for an optimum evaluation
- 3.3. 光伏電廠性能總能達到需求嗎 Does the performance of a photovoltaic plant always meet expectations?
- 3.4. 光伏電廠壽線評估：怎樣量化能量及環境成本 Life cycle Assessment of Photovoltaic Plants: how to quantify energy and environmental costs

## 4. 主題 從第一代到第三代的光伏技術：發展及應用的研究

### 圓桌會議

參展之製造技術，量產線，材料以及元件/模組/系統組裝等商業化產品，系佈項目包含：

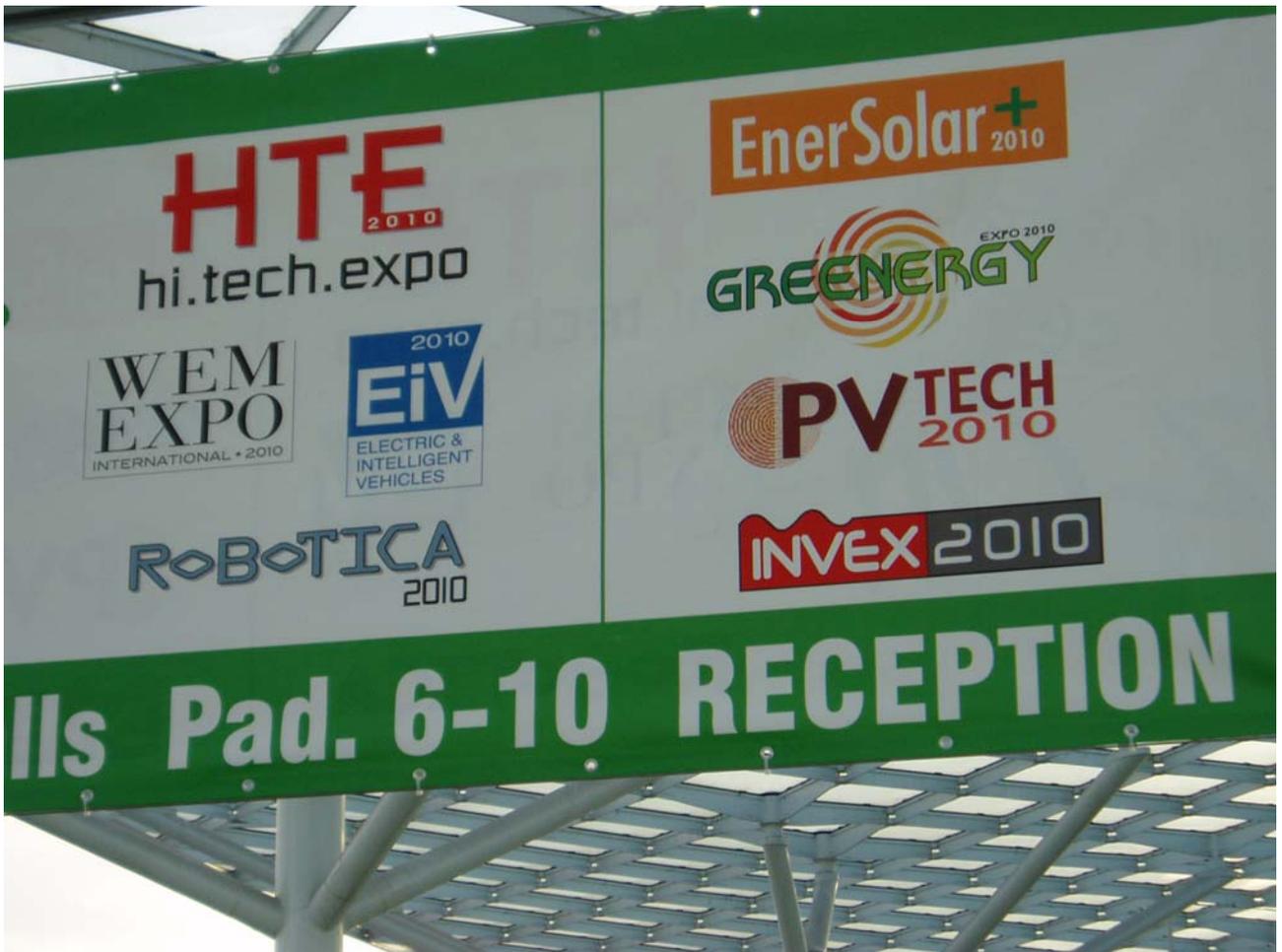
- Anti-reflective coatings 抗反射膜
- Batteries 電池
- Battery-charge controllers 充電電池控制器
- Cast materials
- Cell fabrication lines 元件製作生產線
- Cell cutters 元件切割

- Cell testers 元件測試儀器
- Cells 元件組
- Coating lines 鍍膜線
- Deposition lines 沉積線
- Electronic instruments and controls 電子儀器及控制器
- Incapsulation materials and equipment 封裝材料及設備
- Etching equipment 蝕刻設備
- Sealing films and laminates 封膠薄膜及層壓
- Furnaces 爐體
- Ingot production lines 矽錠生產線
- Integrated manufacturing systems 整合製造系統
- Laminators 層壓機
- Laser machinery 雷射切割
- Laser systems 雷射系統
- Metrology systems 量測系統
- Module fabrication lines 模組生產線
- Module testers 模組測試儀俱
- Photovoltaic system production engineering 光伏系統及量產工程
- Positioners and aligners 定位儀俱
- Screen printing lines 網印產線
- Soldering machines 焊接機
- Thick film metallization systems 厚膜金屬化系統
- Wire saw equipment 線切割設備

參加米蘭 2010 PV-TECH.展覽之過程列表如下

時間	地點	內容
99.11.14-99.11.15	台北-米蘭	去程 前往米蘭
99.11.16	米蘭	光伏技術及 EIV 電子智慧車輛研討會
99.11.17	米蘭	光伏產品展覽及研討會與 ABLINK/REN/等公司洽談
99.11.18	米蘭	光伏產品展覽及研討會 ABLINK/REN/等公司洽談
99.11.19-99.11.20	米蘭-台北	回程 返回台北

展覽 標示(99.11.16)

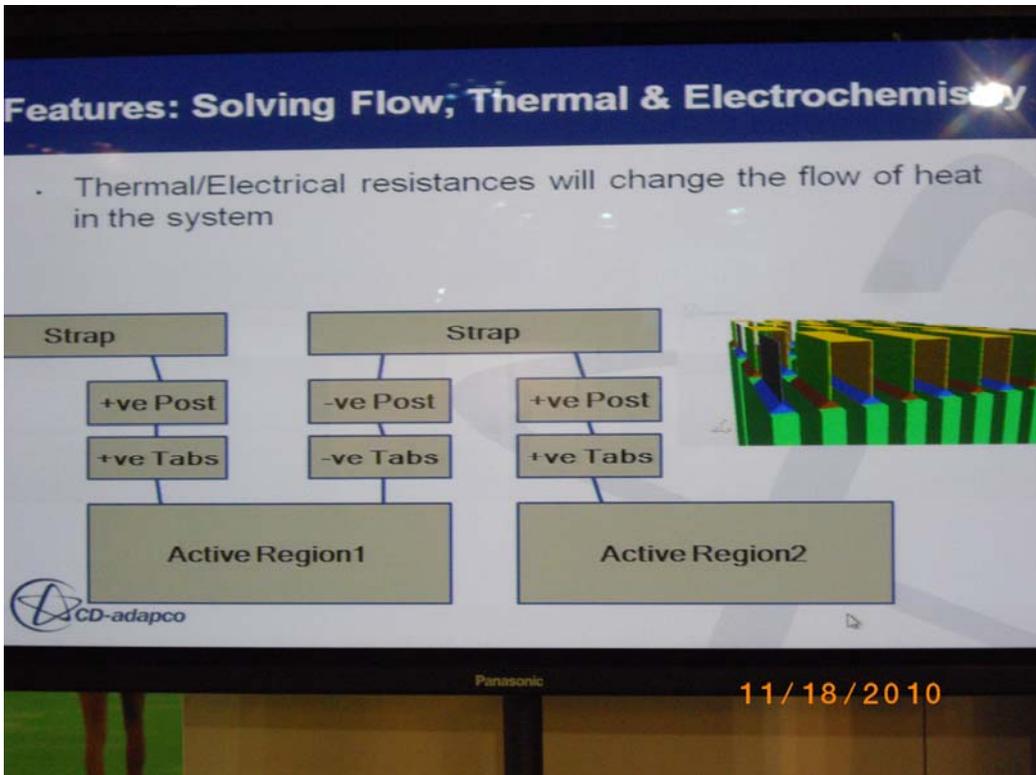


註 部分相片因使用之相機無日期顯示，將以文字標明

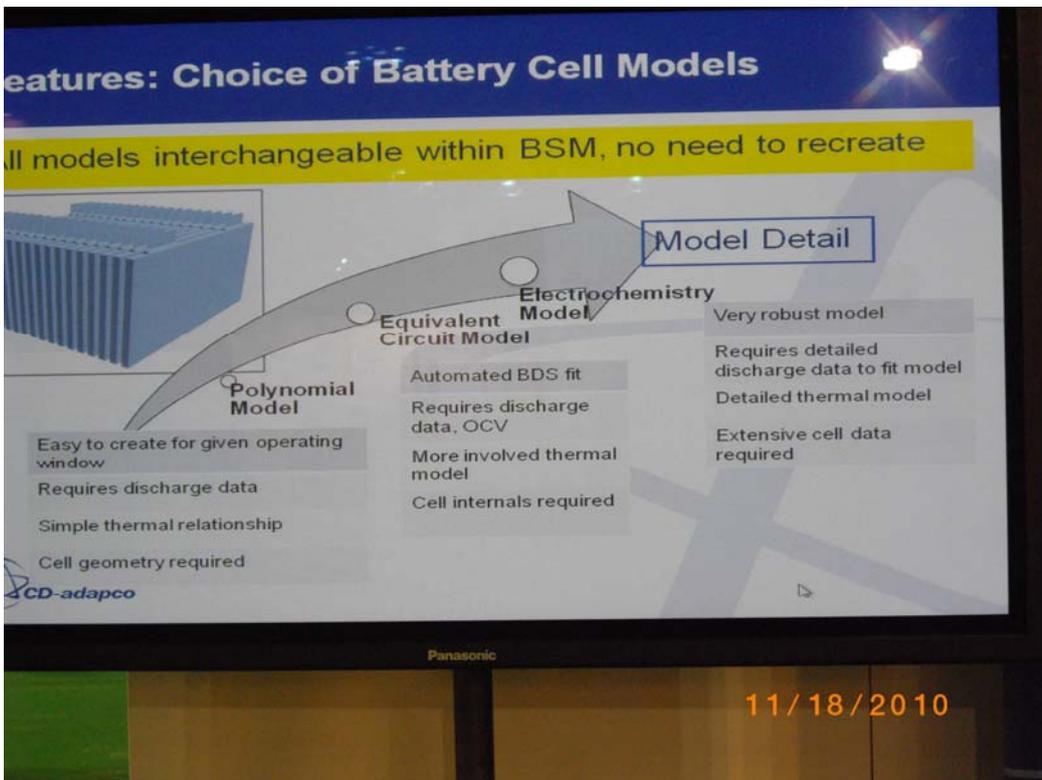
參與過程獲得重要圖片資料

## 智慧型電車及電瓶

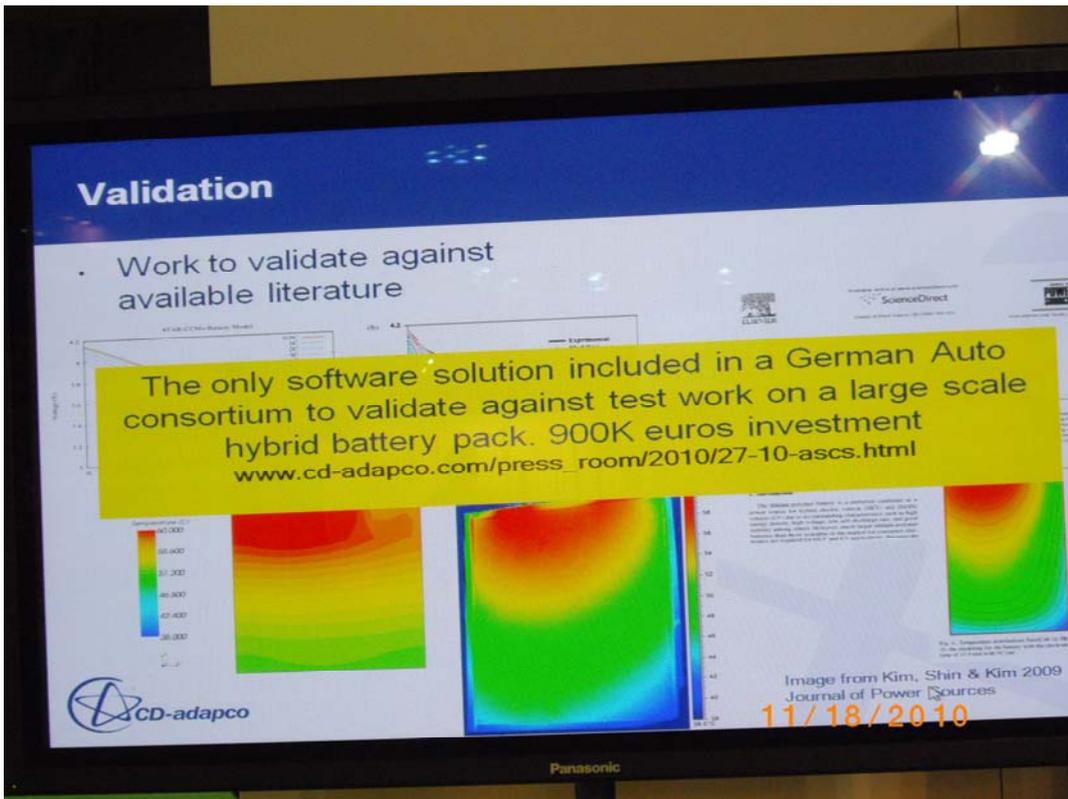
圖一 智慧電車電池相關解決電流/熱/電化學之技術



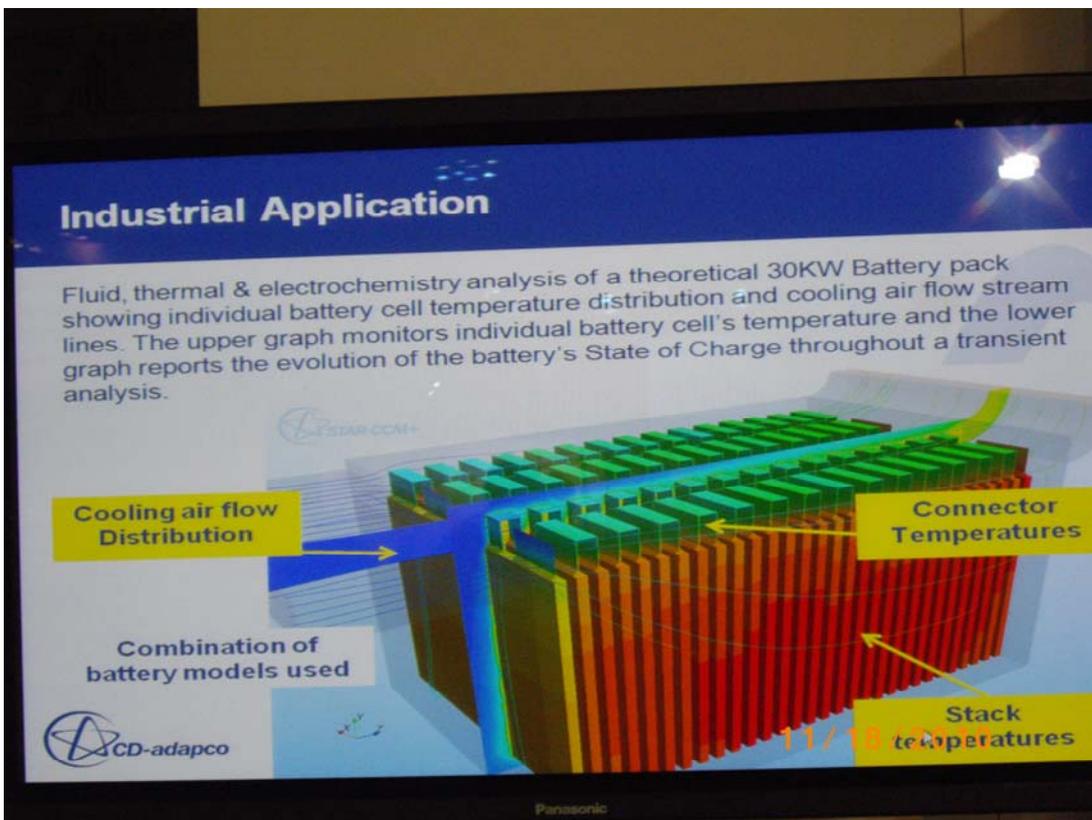
圖二 智慧電車電池元件模組的選擇



圖三 智慧電車電池元件模組的驗證



圖四 智慧電車電池元件模組的應用



圖五 智慧電車電池元件模組的驗證



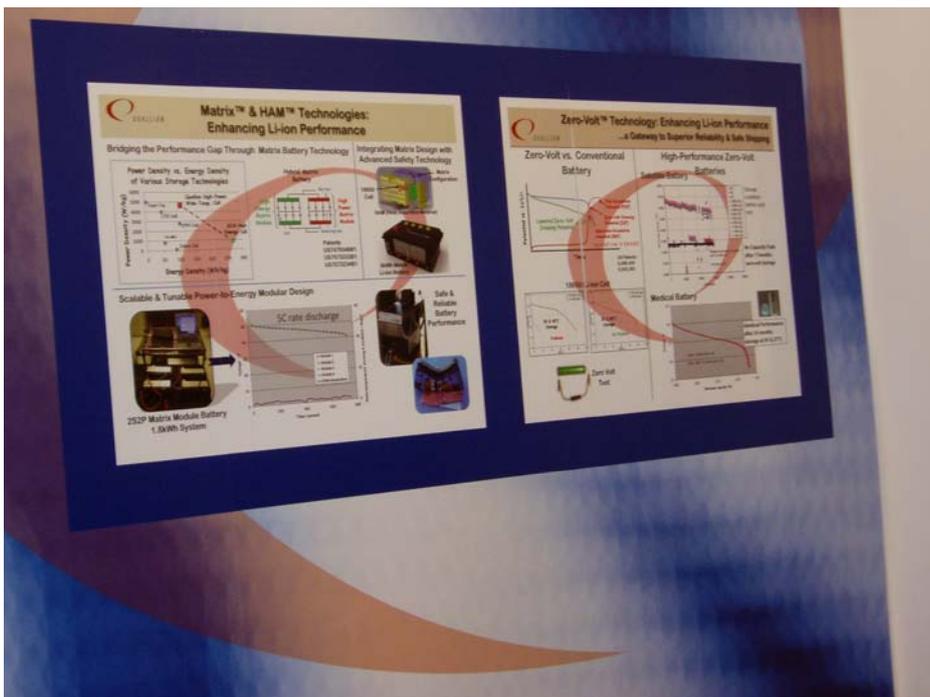
圖六智慧型電動車輛及電瓶(一)



圖七智慧型電動車輛及混合式電瓶技術(99.11.16)



圖八智慧型電動車輛及矩陣式模組電瓶技術(99.11.16)



## 晶片型太陽能電池

圖九 晶片型太陽能電池參展廠商 MAGE



圖十 晶片型太陽能電池參展廠商 Globus Coperture



圖十一 晶片型太陽能電池參展廠商



圖十二 晶片型太陽能電池參展廠商 JS Solar



圖十三 晶片型太陽能電池參展廠商 Chinalight Solar



圖十四 晶片型太陽能電池參展廠商



圖十五 晶片型太陽能電池參展廠商 ALBASOLAR



圖十六 晶片型太陽能電池參展廠商 Tianwei New Energy



圖十七 晶片型太陽能電池參展廠商 Solaria



圖十八 晶片型太陽能電池參展廠商 Zhejiang Solar Best Energy Co.

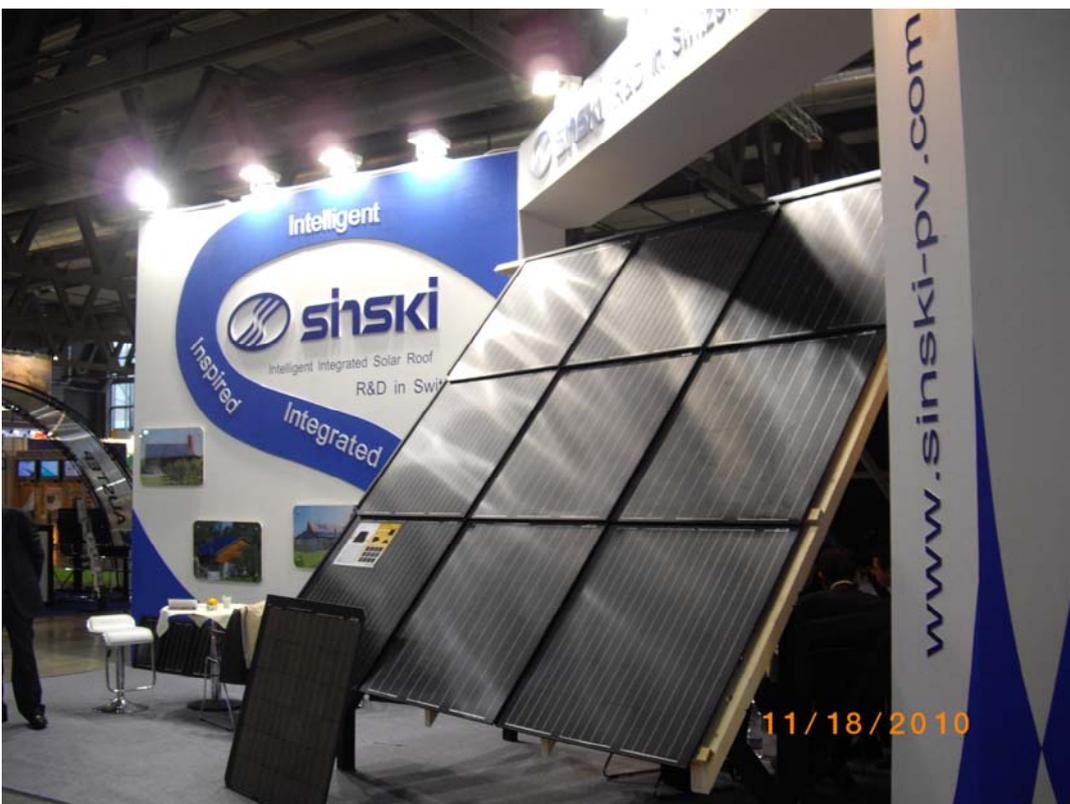


## 薄膜型太陽能電池

圖十九 薄膜型太陽能電池參展廠商 ESC



圖二十 薄膜型太陽能電池參展廠商 SINSKI



圖二十一 法國太陽能工業參展廠商



圖二十二 薄膜型及晶片型太陽能電池參展廠商 Solarpan Plus



圖二十三 薄膜型(CIS & CIGS)太陽能電池參展廠商 DW EUROPE(包含 AVANCIS/SOLYNDRA/SULFURCELL/abound solar)



圖二十四 薄膜型(CIS & CIGS)太陽能電池參展廠商 DW EUROPE(包含 AVANCIS/SOLYNDRA/SULFURCELL/abound solar)



圖二十五 台灣綠晷公司 CIGS 產品



圖二十六 台灣綠晷公司 CIGS 產品



圖二十七 薄膜型(CIS & CIGS)太陽能電池參展廠商  
(99.11.17)



圖二十八 杜邦公司薄膜型(CIS & CIGS)太陽能電池  
(99.11.17)

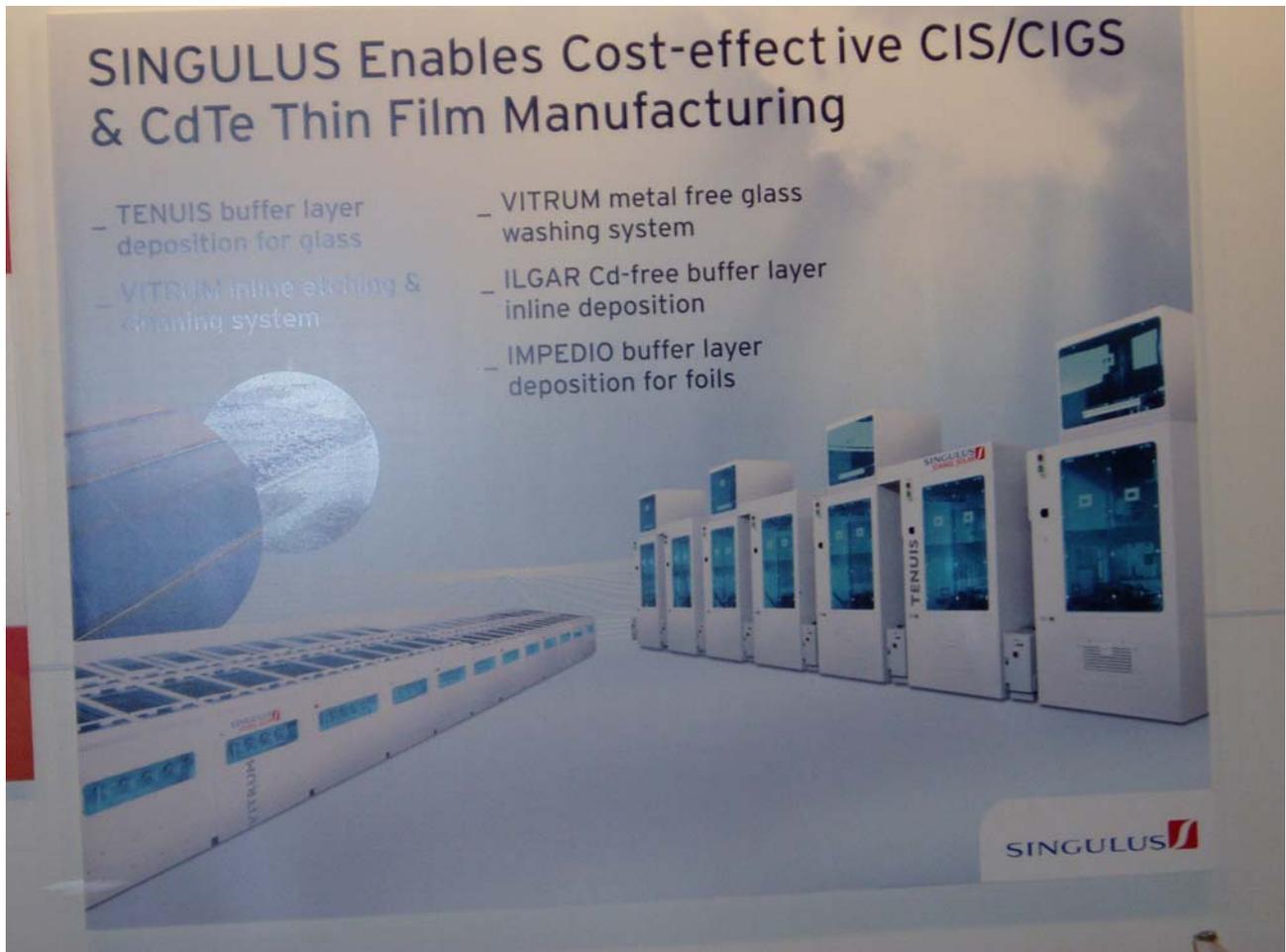


Dupont DA 130-C1

- Nominal Power  $P_{nom}$ : 130 Wp
- Module Efficiency: 8.31 %
- Power Tolerance:  $\pm 5$  %
- Technology: Tandem
- Dimensions: 1409x1110x35 mm
- Weight: 20.0 kg

## 可量產之製造技術及設備

圖二十九 SINGULUS 公司薄膜型(CIS & CIGS & CdTe)太陽能電池已可量產之製造技術 (99.11.17)



圖三十 薄膜型(CIS)太陽能電池 Cd free 於玻璃或金屬薄基板之製造技術 (99.11.16)



圖三十一 SINGLUS 公司薄膜型(CIS)太陽能電池溼式捲軸式之製造技術  
(99.11.17)



圖三十二 SINGLUS 公司薄膜型(CIS)太陽能電池 ICP-PECVD 反射膜製造技術  
(99.11.17)



The image shows a large industrial machine, the SINGULAR ICP-PECVD, which is used for manufacturing anti-reflection coatings on solar cells. The machine is primarily blue and white, with a large circular window showing the internal processing area. A circular inset above the machine provides a magnified view of the wafer surface, showing a textured, anti-reflective coating. The machine is positioned on a light-colored floor, and the background is a plain wall.

# SINGULAR

Static Inline Tool for  
High Uptime ICP-PECVD  
Anti Reflection Coatings

Coating of Anti-reflective and  
Passivation Layer

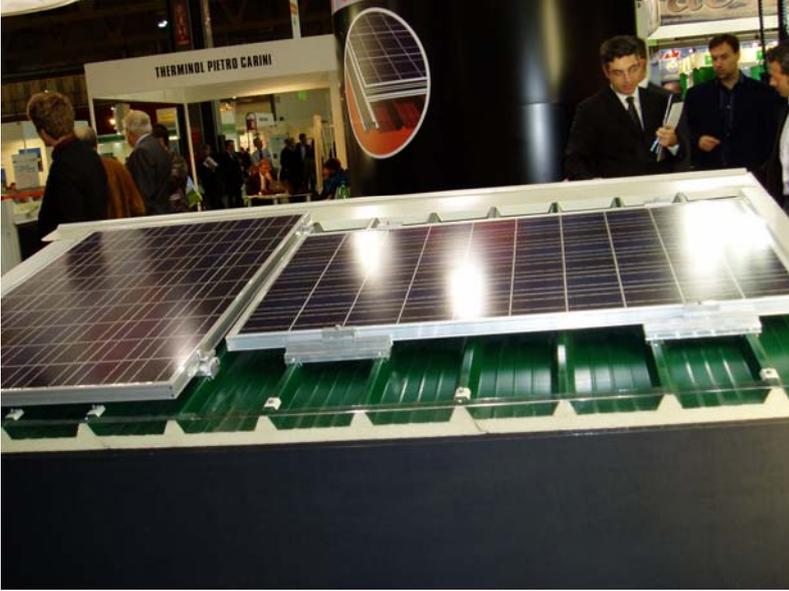
- \_ For cells 125 x 125 mm and 156 x 156 mm
- \_ Output 1500 wafers/h, 3000 wafers/h or 4500 wafers/h
- \_ High uptime due to inline chamber cleaning
- \_ Efficient raw material consumption
- \_ Integrated automatic loading/unloading system
- \_ Short installation and ramp-up time
- \_ Small footprint

SINGULAR

SINGULUS

## 太陽能電池系統組裝 mounting

圖三十三 晶片型太陽能電池系統組裝 mounting 組件(一) (99.11.17)



圖三十四 晶片型太陽能電池系統組裝 mounting 組件(二) (99.11.17)



圖三十五 晶片型太陽能電池系統組裝 mounting 組件(三)



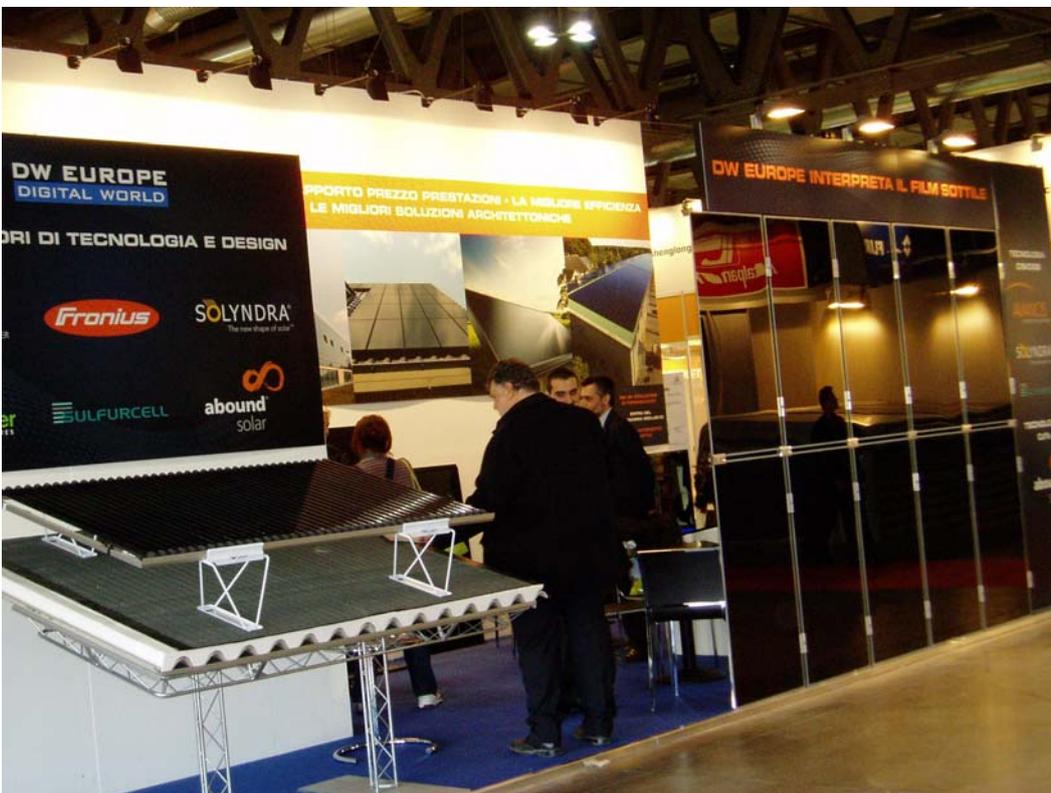
圖三十六 晶片型太陽能電池系統組裝 mounting 組件(四)



圖三十七 晶片型太陽能電池系統組裝 mounting 組件(五) (99.11.17)



圖三十八 晶片型太陽能電池系統組裝 mounting 組件(六) (99.11.17)

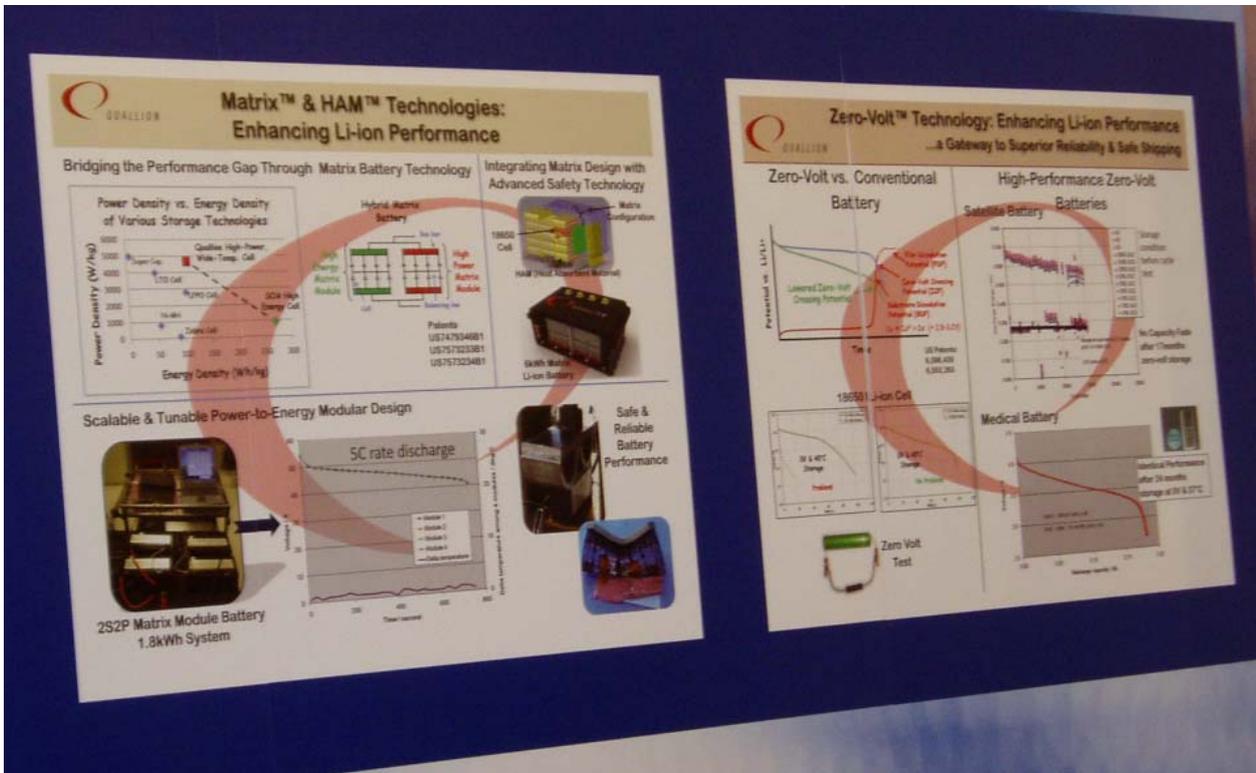


## 其他

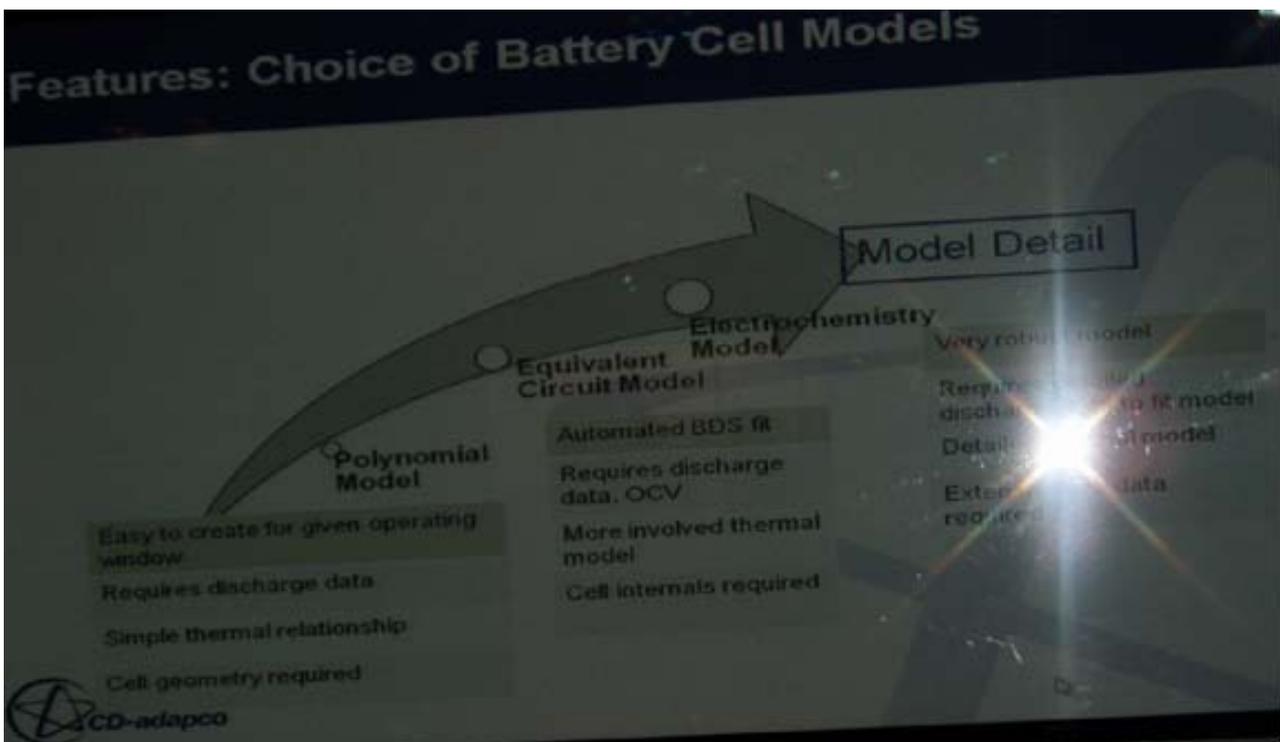
圖三十九 光伏技術及智慧電動車研討會(99.11.16)



圖四十 鋰電池性能說明一(99.11.16)



圖四十一 鋰電池性能說明二(99.11.16)



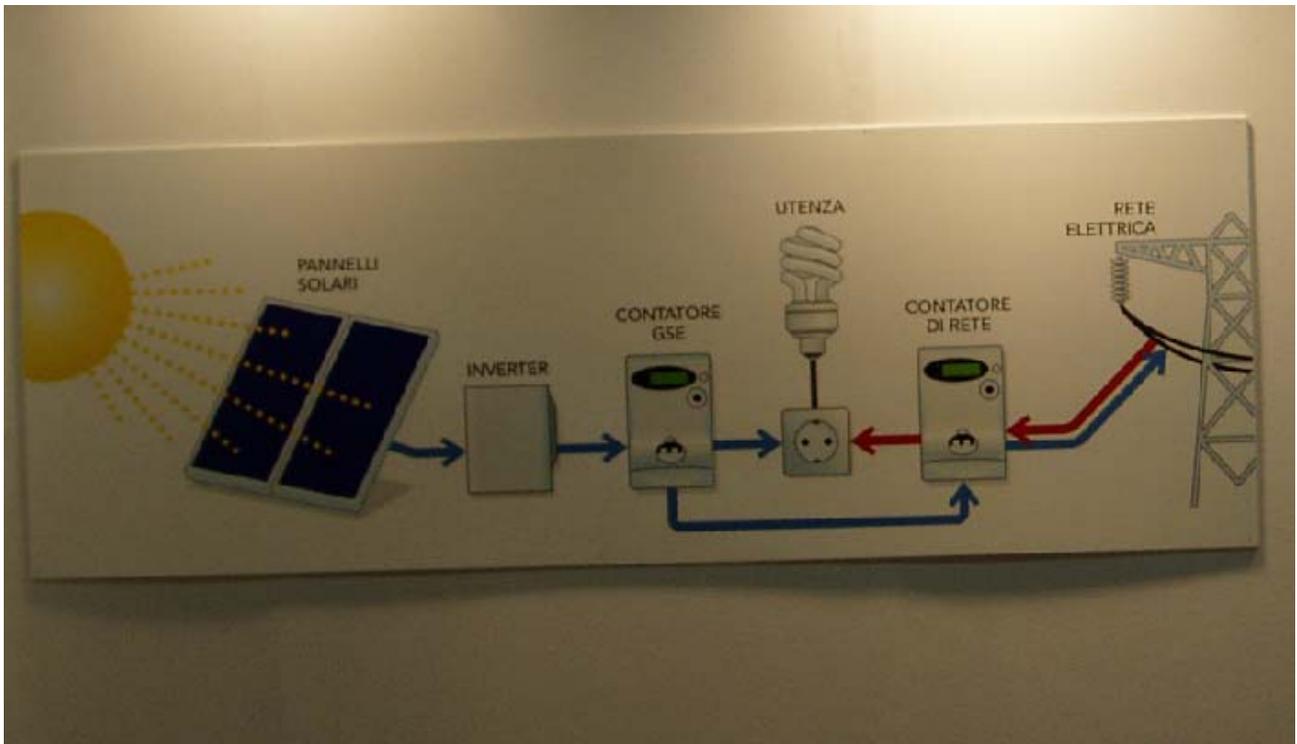
圖四十二 智慧電動車輛及電瓶展示 (99.11.17)



圖四十三 智慧電動車輛及電瓶展示 (99.11.17)



圖四十四 太陽能電廠系統規劃 (99.11.16)



圖四十五 太陽能建築應用及示範(99.11.17)



圖四十六 太陽能電池一般應用及示範(99.11.17)



圖四十七三洋公司高性能 HIT 太陽能電池(99.11.17)



## 叁、心得

由於永續發展的趨勢，各國的替代能源研究皆積極進行中，尤其是太陽能電池之相關研究。美國歐巴馬政府提議美國自 2012 年起每年給予乾淨能源(如太陽能、風力發電)市場 150 億美元的發展基金；日本經濟產業省宣布家庭用太陽能發電設備導入補助金制度將自 2009 年 1 月 13 日起上路：每 kW 將補助 7 萬日圓。以標準家庭用太陽能發電系統的輸出約為 3-3.5kW 計算，平均每戶申請安裝太陽能發電系統的家庭將可獲得 21-25 萬日圓的補助金。更激發產業蓬勃發展的聯想。

在各項發展政策利多下，近年由於太陽能再生能源技術快速發展，中國政府對在生能源大力投資下，生產成本大幅降低，因此包含德國政府及若干歐洲國家(西班牙)對相關補助採取了降低措施)【Reuters 報導，德國環境部長 Norbert Roettgen 12 月 1 日表示，該國不能保證 2012 年之後現有的太陽能電力強制收購補貼費率(Feed-in Tariff, FIT)規定還會存在】，造成太陽能生產成本的生存競爭壓力，台灣相關產業在此種環境下勢必要尋求一個突破及發展的機會，以延續及推展綠色能源的國家政策目標。

在現場展出之光伏產品主要分為下列二類：

### 1. 晶片型太陽能電池

目前技術最成熟並在市場上具最大量的製造方法，其製作上為採用 P-型矽晶片進行表面蝕刻、P/N 接面擴散、表面抗反射鍍膜、網印製做金屬電極等製程。此種技術目前雖為太陽能電池製作之主流技術，但是由於生產成本高以及製作電能高於電池壽命產出電能等不利因素，其未來發展勢必受限。

晶片型太陽能電池是以矽晶圓片為主要基材，其中結晶矽太陽能電池更為現階段太陽能電池市場之主流，主要原因在於矽晶圓太陽能電池的製造原理和半導體製程相似，因此在半導體製程技術、設備成熟及人才充足之優勢下，其生產技術已成熟化。如表 1.所示，2009 年之單晶矽及多晶矽太陽能電池即達市佔率之八成以上「主要生產廠商有 Sharp、Q-Cells、Kyocera、BP solar、無錫尚德、茂迪、昱晶、益通等。其中近年來在太陽能電池領域發展極為迅速之中

國亦普遍的發展結晶矽太陽能電池技術，至 2008 年底為止，共有 37 家多晶矽原料生產廠、143 家矽錠/矽棒生產廠、138 家矽片生產廠、357 家太陽能模組生產廠和上千家太陽能應用產品生產廠，市場競爭激烈。而當中佔有矽太陽能電池片主要市場之企業，如無錫尚德、南京中電、天威英利、常州天合等數家企業均具有先進生產技術、生產規模大、產品品質穩定及保證上游材料供應等特色，在國際上具有良好之競爭力。在本次義大利展覽中，矽晶片型太陽能電池亦為重要展出項目。其中，許多中國廠商均展示出相當成熟之晶片型太陽能電池製作技術。然而在未來的十年，世界的光電池模組(solar cells/modules)預測將會有大幅度的產量增加，遠超過在 2004 年後 Iion 將結晶矽(c-Si)的技術分享出來後的總產量(~1GW)。但由於多晶矽(poly silicon)的產量不足，許多報告大膽推測，結晶矽模組(c-Si module)的產量大約會在 3~4GW/year 左右達到飽和。此外，由於材料物理性質之緣故，商業化之結晶矽厚度至少要在 200  $\mu$ m 以上，且矽原料在製作過程中需消耗大量能源以及無法以快速的方式生產等原因，使得單位成本無法有效降低。因此，在製造大面積模組時，其在材料使用及成本的降低上，有著先天的限制。

表 1. 太陽能電池市場佔有率

太陽能電池種類	2008 年	2009 年
多晶矽	47.7%	46.9%
單晶矽	38.3%	34.1%
非晶矽	5.1%	6.1%
Ribbon-sheet c-Si	1.5%	1.4%
CdTe	6.4%	9.0%
CIS	1%	1.7%

資料來源：PHOTON

## 2. 薄膜型太陽能電池

薄膜型太陽能電池是將不同成份的薄膜材料鍍在基板上，這些材料可以為化合物半導體也

可以為矽薄膜。而其基材一般可以使用玻璃、箔金屬以及塑膠等。一般的化合物半導體，例如銅銦鎵硒(CIGS)太陽能電池，可以用蒸鍍或者低成本的塗佈或噴墨印刷的方式以捲繞式(roll to roll)方式進行軟基板之大面積、低成本之方式製作。

由現有研究顯示， $Cu(In_xGa_{1-x})(S_ySe_{1-y})_2$ ，(CIGS) 因為其有高光學吸收係數以及可調整的能帶差(band gap)，同時有些好的晶界，使得 CIGS 在薄膜吸收物質中，成為現有研究之重點。習慣上，CIGS 太陽能電池的組成為：molybdenum (Mo)的背電極、CIGS 吸收層、一層薄的 CdS、ZnS 或  $In_2S_3$  的緩衝層、由 aluminium 摻雜 zinc oxide 而形成的透明導電層(transpart conductive oxide ,TCO)之表面電極。傳統上以鈉玻璃(soda-glass)作為基板，並堆疊沉積不同層狀結構於其上，而近來的趨勢則趨向使用可撓式的基板，如高分子或金屬的薄片。可撓式基材對於許多的應用，如光電池組合而成的建築、太空的產能等，都會比較適合，同時其亦能夠允許 roll-to-roll 的生產方式，使得生產所需成本降低。

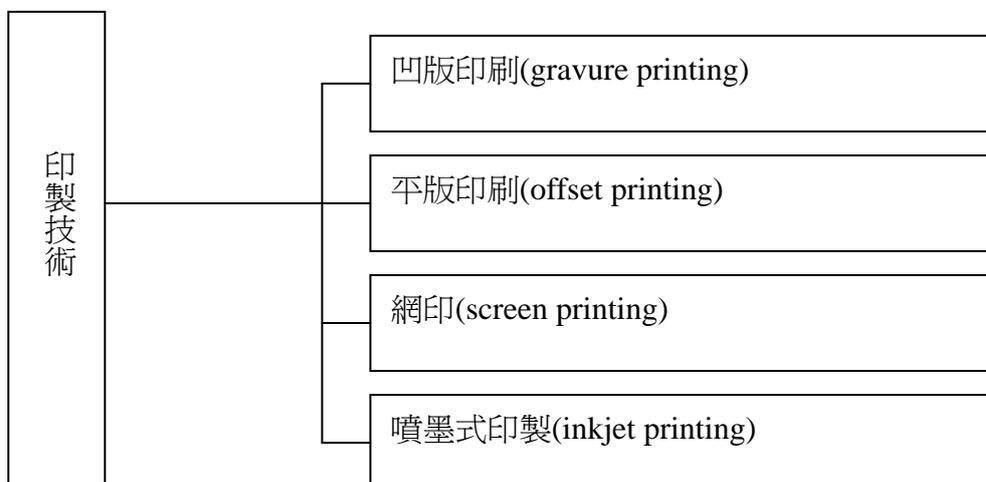
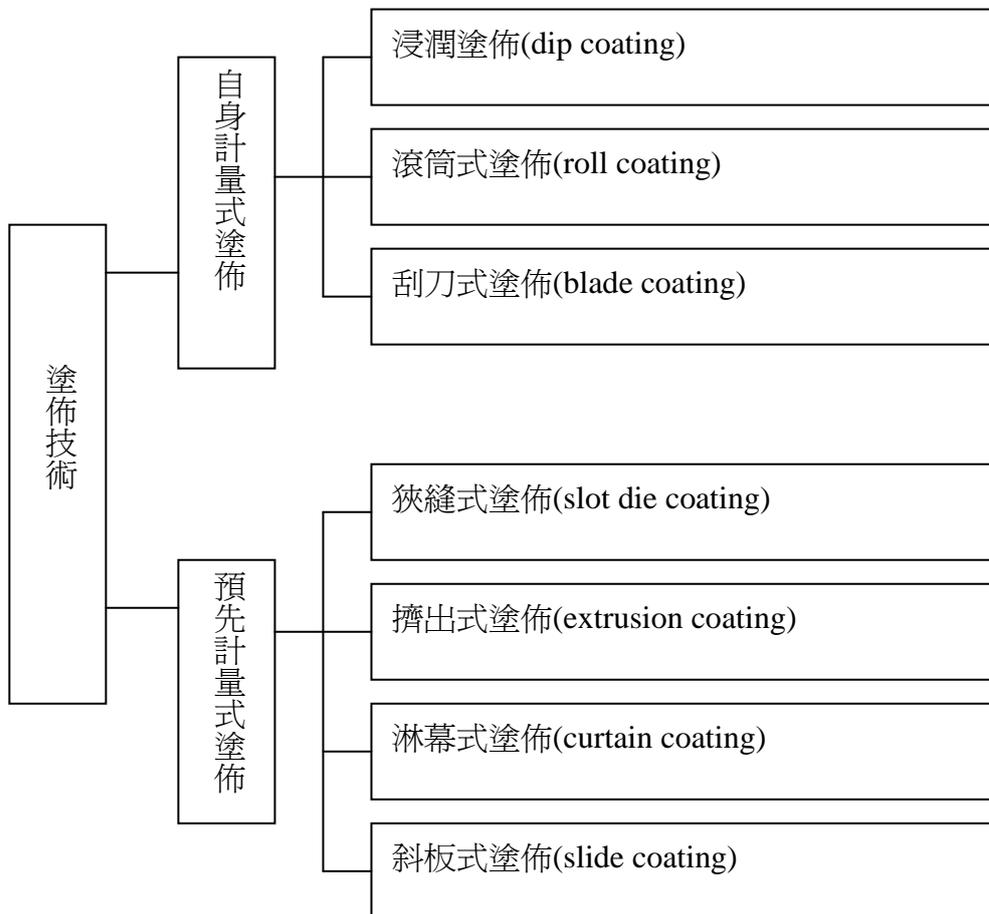
在低成本考量中，重要的是如何能夠使原料達到 100%的利用，以及讓材料的使用控制與將製程中物質的損耗達到最低。低成本製造技術的想法通常是利用連續式的方法生產，先利用化學反應在低溫下沉積出前驅物質，再經過一高溫迴火的程序。同時，在前驅物中便預先固定金屬元素比例，目標是快速而簡單的沉積技巧和盡可能降低設備的成本。

使用此方式製膜，若前趨物粒子夠小且控制好組成比時，大約可以達到 13.6%的轉化率，最高甚至可以超過 15%。和非真空法比較起來，可以很明顯看出真空法所做出之粒徑較大且均勻一致，晶粒和晶粒間堆積緊密，缺陷較少；非真空法中的 Paste coating 所製出之薄膜，雖然晶粒緊密排列，但晶粒較小且形狀較不均勻導致粒子間呈現多孔隙狀態，造成缺陷較大，電子在層內無法很順利的通過導致效率降低。非真空法的吸收係數也能達到很高，但整體看來在同波長下較真空法小。然而因為非真空法還有很多技術待改善，加上非真空法能夠有較便宜的成本且較技術較低廉的優勢，因此未來應能有更佳之發展。

一般而言，即使是便宜的非真空法亦可以製出高品質之 CIGS 薄膜，Paste coating 法從一開始完全不成功到轉換效率大於 10%也不過短短的五年而已。Paste coating 法以鈉玻璃(soda-lime glass)為基板成功將轉化率提升至 13.6%，並且在目前已經成功的用在可撓式基

板上。雖然在可撓式基板上之轉換效率較鈉玻璃上稍低，但是在改善使其最佳化(如膜厚、能帶寬等等)後，在使用上的用處將會擺脫以往的限制而得到更多的利用。同時非真空法簡單又可以有高(接近 100%)的材料使用率，大大降低了 CIGS solar cell 材料的製造成本。目前隨著生產製造技術的改進和日趨成熟以及銷售市場的快速擴張，太陽能電池普及的可行性取決於市場價格與耐用性，PV 光電板的生產成本從最開始約 US \$500/Wp 到 1997 降低到 \$1.50/Wp。現在 PV 發電成本可與煤料火力發電成本的 \$1.20-1.50/Wp 相抗衡。從另一個角度來看，目前 PV 電力價格大約是 \$0.20/kWh (和傳統發電的電力價格相當)，而 PV 電板的使用壽命則為 30 年。Past 也提供了相當多的資訊 e coating 在不需要真空環境的條件下，使得成本控制在一定程度以下，在大規模的生產底下甚至可以以 US\$1/Wp 達到轉化率 6~8% 的目標。low cost 的非真空法在初生成時較無法達到如真空法這麼佳的品質，雖然非真空法無法在初生成時有很高的轉換率，但可以有很高的產率，大幅提升工業量產的可行性。

本次展覽會雖然主要光伏電池產品之展覽，但同時對相關重要的製程及製程設備技術塗佈技術也提供了相當多的資訊。例如非常高精密的薄膜塗佈技術就是其中一個主題，塗佈技術的種類繁多，一般常用的塗佈技術，可以分為下列幾項：



在低成本的製造方法中，爲了達到快速獲得有效晶型，一般採用加入奈米晶的方式達到快速 CIGS 吸收層的製備。在黃銅礦晶型(chalcopyrite)的薄膜成型，組成成分比率的控制是其中最重要的一環，尤其在大面積薄膜成形中更爲重要。前驅物的成型，經由不同的鍍膜技術，可能會有不同厚度非均勻性的結果，但是如果採用奈米晶粒的鍍膜技術，則厚度非均勻性對成份均勻性的影響，基本上關連性是較小的。

成分控制是 CIGS 薄膜成型最重要的因素，在所述之粉末微粒成型乃是利用球型研磨的方式以獲得適當之奈米粉末。前驅物於基板上的沉積則是以刮刀成型之方式獲得濕膜，以降低孔洞比率以及具有較佳的形貌。

但如果我們想太陽能之價格如傳統能源般便宜，現階段還是有其限制的存在，光電池技術是其中唯一且能夠有低成本的方法。在最近幾年，光電池的市場有著快速而顯著的成長率，在近 10 年時成長率便超過 35%。薄膜太陽能電池的技術由於其製作的過程具有較低成本，使得光電池將有辦法和傳統的能源相比。但目前因爲其製成機器的成本仍然昂貴，使得世界的產量與預期中相比是偏低許多的。

基本的CIGS太陽能電池之結構，以鈉玻璃(soda-line glass)作爲基板，由實驗顯示，鈉可以使CuInSe<sub>2</sub>晶粒變大，並且減少晶格缺陷，並增加p型CuInSe<sub>2</sub>的導電性，減少CuInSe<sub>2</sub>薄膜的串聯電阻，連帶降低薄膜之串聯電阻，使元件之開路電壓(V<sub>oc</sub>)獲得增加。在soda-line glass上鍍上一層鉬(Mo)金屬薄膜做爲背部電極，因爲Mo能與CuInSe<sub>2</sub>產生很好的歐姆接觸。之後在Mo薄膜上鍍上p-type CuInSe<sub>2</sub>做爲主要的吸收層。

透明導電層則採用ZnO doping Al (ZnO:Al)，加入Al可以提升其電性，使電阻變低，但卻會降低透光率，如何在其中取捨達到一最佳質將是一考量。之所以採用ZnO:Al作爲n-type也是在數種可能的材料中研究後，得到最佳的組合，ZnO:Al和p-CIGS搭配下有較佳之轉換效率。最後採用與ZnO:Al有歐姆接觸之鋁金屬(Al)做爲正面電極。

事實上，本次展覽比較成熟的技術仍在真空物理法的量產上，以下究所蒐集之資訊對物理真空法及化學法進行整理及介紹：

## 真空法 (Vaccum method)

真空法，又稱為物理沉積法，其中能夠達成加高之轉換效率技術為三階段共蒸鍍法，目前在工業上大面積生產並沒有顯著的進展，但其他的共蒸鍍法已經被Global Sola和Wurth公司利用於製造約 $1.2 \times 0.6 \text{ m}^2$ 的大小。相較下，Shell Solar和Showa Shell公司則選擇使用硒化法(Selenization process)來做為工業製造的方法，硒化法又同時被稱為二階段法(two-stage process)。硒化法由將沉積的前趨物在一定的氣氛中高溫迴火而組成。從前的做法是將濺鍍後的金屬前驅物質在 $\text{H}_2\text{Se}$ 和 $\text{H}_2\text{S}$ 的氣氛中硒化和硫化；近來亦有人將一層硒膜(selenium layer)蒸鍍在金屬前驅物表面上後，再快速的加溫之方式硒化。此方法相較於共蒸鍍法，比較難調整材料之能隙，但這硒化之步驟因為具有使用非毒性物質，並且具有光轉化率大於14% ( $30 \times 30 \text{ cm}^2$ )之效益，其處理的步驟使得此技術在生產上佔有一定之地位。

真空法雖然能有低價之製膜方法，但缺點是在一開始的機器生產成本就昂貴，同時此法亦要求在沉積時要有很大的真空度，所以需要很大的設備面積，因此無法有效的降低成本。

## 非真空製程(Non-vaccum method)

在低成本考量中，重要的是如何能夠使原料達到100%的利用，以及讓材料的使用控制與將製程中物質的損耗達到最低。低成本製造技術的想法通常是利用連續式的方法生產，先利用化學反應在低溫下沉積出前驅物質，再經過一高溫迴火的程序。同時，在前驅物中便預先固定金屬元素比例，目標是快速而簡單的沉積技巧和盡可能降低設備的成本。

非真空法，又稱為化學沉積法，使用簡單而低廉之設備，且能夠有快速的生產速度。其中由於缺少高純度的真空設備，則利用小心選擇的前驅物材料與添加物來彌補，避免不想要之污染發生。非真空法又可分為兩種不同的做法：一種是將前趨物直接沉積在基板上，直接形成CIGS化合物，如噴霧熱解法(spray pyrolysis)、電沉積法(electrodeposition)等。另一種是先沉積前驅物加熱再結晶化，如塗佈法(paste coating)、電沉積積層(electrodeposition of mental layers)。在這些作法中，即使在生成沉積時有預先的以固定成份比例製膜，但產物仍然是相對差的品質。Paste coating是一個快而且能夠使用roll-to-roll方法生產之程序。將

所需之前趨物材料(例如nanoparticles)以想要之化學計量以液態溶劑混合做為流動之介質。簡單來說就是像塗油漆一般，將溶液均勻塗於基板上。Paste coating可經由材料之重力與添加改變生成膜之厚度與均勻態。和spray比起來，spray會造成部份前驅物質之浪費；Paste coating可以有效的使用材料，能夠有效減少貴重金屬如In、Ga等的成本，並且能夠比spray有更高密度的堆積。在沉積完後，會再經過一燒結的程序，在受控的氣氛中將前驅物轉化為CIGS層。

使用此方式製膜，若前趨物粒子夠小且控制好組成比時，大約可以達到13.6%的轉化率，最高甚至可以超過15%。

## Mounting(大面積太陽能光電系統)

在本次展覽中，展示許多太陽能應用技術，其中大面積太陽能光電安裝技術為一展出重點。

常見的大面積太陽能光電系統安裝技術主要是應用於太陽能發電廠及屋頂型太陽能發電系統，其主要特色在於產生的電能要求較大，需要串接大量的電池模組以成為能大面積吸收光能的太陽能電池陣列，並結合相關輔助設備如蓄電裝置、電力調節裝置等，以形成一供電系統，其安裝工程十分浩大。此外，此類型的太陽能光電系統，一般均安裝於戶外，若要發揮太陽能真正的功效，一般均要求能長時間於戶外空間穩定的運作達數十年以上，因此，如何降低安裝費用及達成長時間戶外穩定運作，便是此類型應用技術重要的研究課題。

發展 CIGS 薄膜太陽能電池之 nanosolar 公司，即於 2009 發表一白皮書介紹其開發之薄膜太陽能面板 the Nanosolar Utility Panel™。該公司所製作之模組面板，相較於傳統薄膜太陽能電池之面板而言，可使光電系統總成本(balance-of-system cost BoS)在架設材料(mounting materials)、架設人力(mounting labor)、佈線材料及佈線人力(cabling materials and cabling labor)及運送成本(shipping cost)方面達到節省，並經 TUV 認證具有良好之可

靠度。其模組特點如下：

1. Nanosolar 模組面板與相同面積之傳統面板比較，具有較大之輸出電壓及電流。因此在組裝同樣輸出電壓及電流之太陽能電池陣列時，可減少所需安裝的電池模組數量，因而可以降低安裝材料及安裝人力。
2. Nanosolar 模組有別於傳統薄膜太陽能電池之面板以導線方式連接，設計 Nanosolar Edge Connector™ 使各模組直接以框架邊緣進行連接，具有節省佈線人力、材料成本及減少阻抗損失之優點。
3. 由於其電池製程特性，可利用兩片回火玻璃作為模組外殼。回火玻璃具有 120MPa 之強度，是一般玻璃的 3 倍，因此可以較長跨度架設於支撐架台上，因此可節省支撐架台之材料使用。
4. 其面板以兩片回火玻璃進行密合以阻止水氣進入，並保護太陽能電池免受外部環境的影響，其模組面板可靠度測試已通過多項 TUV 之認證。



nanosolar 利用模組具有的大寬跨架設能力，可節省 40%之架設材料

其面板和傳統模組面板比較，可節省 40%架設材料、30%架設人力、85%佈線時間。

由此可了解到，模組架設技術的研究，對於有效發揮太陽能電池模組之功效上，極為重要，值得相關單位進行分析研究。

## 肆、建議事項

太陽能產業由於中國大陸積極發展近幾年產生了極大的變化，晶片型太陽能電池，基本上已由中國壟斷了市場。因此，能夠提供更低成本以及更低耗能生產條件的薄膜型太陽能電池，已經成爲先進太陽能電池生產國間競爭的焦點。在薄膜型太陽能電池中又以 CIGS 物理法製備薄膜太陽能電池在發展上最爲接近全面性生產階段，其模組生產成本現階段介於\$1.5~2.0/W。但爲達成 2015 年模組生產成本低於\$1.0/W 且於 2020 年低於\$0.5/W 之產業競爭目標下，在材料以及製程成本降低之需求上，化學法製程設備開發以及捲繞式軟性基板製程技術的發展將成爲最重要的發展趨勢。

現場展覽中，主要以元件及模組的技術展出爲主，在成熟商業化產品中，可以感受到晶片型(多晶矽或單晶矽)，已經不是技術競爭的焦點且已爲單一國家所壟斷。因此，就太陽能發展趨勢而言，薄膜型太陽能電池電池才是未來法人科專可以著墨發展的方向。一種含銅銦硒三元素(簡稱 CIS)，或一種含銅銦鎵硒四元素(簡稱 CIGS)。由於其高光電效率以及高吸光效率 ( $\alpha > 10^4 \sim 10^5 \text{ cm}^{-1}$ )，所需光電材料厚度不需超過  $1 \mu\text{m}$ ，可以有 99% 以上的光子均可被吸收，物料成本可壓縮得相當低。並且可以相當低成本的捲軸式生產方式進行生產，可想見未來在各國開始降低或取消現有的太陽能電力強制收購補貼費率(Feed-in Tariff, FIT)【Reuters 報導，德國環境部長 Norbert Roettgen 12 月 1 日表示，該國不能保證 2012 年之後現有的太陽能電力強制收購補貼費率(Feed-in Tariff, FIT)規定還會存在】，成本將會是未來太陽能電池多種技術競爭能夠勝出的最重要因素。

展覽會場顯現的 CIGS 技術並不多見，該製程比較複雜，放大製程後，技術成熟度降低，設備技術供應鍊相當分歧，各站並無制式化設備，組成成分比率、均勻度、晶界、各層間之介面關係以及緩衝層採用無鎘技術等等都是技術發展瓶頸所在。以技術發展的角度而言，其必要性也是顯然的。

以 CIGS 薄膜太陽能電池製程設備開發的角度來觀察，總結而言，以成本及技術觀點來看，我們可以有的選擇包含：化學法/物理法、軟板/玻璃、捲軸式製作/單片製作等等，可能整合的選擇爲：

1. 物理法玻璃基板單片製作法(目前已經量產之技術)
2. 物理法軟板單片製作法(中科院材發製作方式)
3. 物理法軟板捲軸式製作法( **Global Solar** 為代表)
4. 化學法玻璃基板單片製作法(-)
5. 化學法軟板單片製作法( **ISET** 為代表)
6. 化學法軟板捲軸製作法( **Nanosolar** 為代表)

基於資料分析及參展所見所聞，提出建議如下：

1. FY101 科專以第六項技術為發展標的；
2. 中國大陸已經在晶片型太陽能電池產能上取得優勢，在薄膜製程上之基礎技術，同樣也取得相當多的成果。兩岸之間簽署 ECFA 後，經濟部也有所謂兩岸的搭橋計畫，合作開發市場的趨勢將愈趨明顯，中科院應該在科專這個領域上盡快鬆綁，包含參訪、洽談、技術合作等層面上以及在科專研發上的採購區域限制上鬆綁。
3. 銻、鎘等稀有及昂貴之金屬材料，未來如果 CIGS 太陽能電池大量生產，由於其稀有性將會有成本昂貴及為少數具儲量國家壟斷之虞，但是最近發展之由銅、鋅、錫及硫構成的太陽能電池稱為 CZTS 型(或“鋅黃錫礦構造的太陽能電池”)，卻有可能解決這個問題。對於化學法製程設備開發的開發上，初步估計應該影響不大，但是對元件/結構/製程開發上，建議應該特別注意此型太陽能電池之後續發展。
4. 展覽會場中上有一個重要的競爭亮點，相當多的系統公司展出模組的 mounting 技術。有些先進模組產品，利用模組具有的大寬跨架設能力，其面板和傳統模組面板比較，可節省 40%架設材料、30%架設人力、85%佈線時間。由此可了解到，模組架設技術的研究，對於有效發揮太陽能電池模組之功效上，極為重要，值得相關單位進行分析研究。