

高輸出功率太陽光電模組的技術發展趨勢

The Technology and Trend for High-Power PV Module

彭成瑜 C. Y. Peng¹、溫尚燁 S. Y. Wen²、紀仲嘉 Z. J. Ji³、
黃振隆 C. L. Huang⁴、林福銘 F. M. Lin⁵

工研院綠能所(GEL/ITRI) ¹資深研究員、²副研究員、³研究助理、
⁴專案經理、⁵組長

本文介紹最新國際半導體設備與材料產業協會(SEMI)的國際太陽光電技術指標趨勢(Roadmap)，探討新型太陽電池、模組技術與相關關鍵材料的未來發展與技術預測，並且針對高輸出功率太陽光電模組的功率提昇研究做探討，期以新型高效率電池的快速發展中，預先了解模組技術發展及其項目，帶動未來相關模組技術與組件材料、整合電池模組以及材料技術，開發符合高輸出功率、低成本與高可靠度的模組技術。

This paper reports the technical summary of SEMI's International Technology Roadmap for Photovoltaic to discuss technology developments of solar cell progress, photovoltaic module technology and related key materials. Base on the analysis of the technology and trend for high-power PV module, the technical items of new module technology can be expected to develop modules with high-power, low-cost and high-reliability for further years.

關鍵詞/Key Words

高輸出功率(High Power)、太陽光電模組(Photovoltaic Module)、技術(Technology)

前言

依據國際半導體設備與材料產業協會(Semiconductor Equipment and Materials International; SEMI)的國際太陽光電技術指標趨勢(International Technology Roadmap for Photovoltaic; ITRPV)，指出目前至2025年的發展預測趨勢，並分別以2014與2015年ITRPV演進的版本中，針對未來模組用的新太陽電池技術預測趨勢整理⁽¹⁻²⁾，其中預估射極鈍化及背電極電池(Passivated Emitter

and Rear Cell; PERC)、雙面電池(Bifacial Solar Cell)、異質接面太陽電池(Heterojunction; HJT)、背電極(Back Contact Solar Cell)、非銀電極電池(Non-silver Solar Cell)為主流趨勢，針對2015年後的未來新電池市場，因應市場快速變化的新電池、新材料與模組製程進化的技術需求，亟需快速導入新模組封裝技術、關鍵材料與組件技術、自動化模組設備、模組驗證測試能力；太陽電池封裝與模組相關材料分別包含太陽電池、玻璃、封裝膠EVA、背板，串接(In-

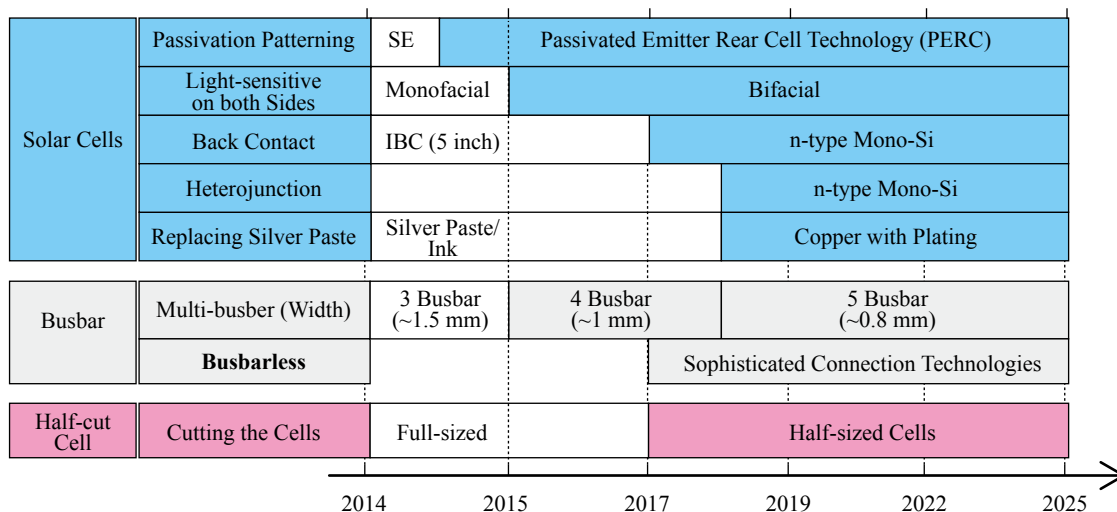
terconnection)陣列分別包含焊線(Ribbon)、串接線、接線盒(Junction Box)等，電池至模組損失涵蓋範圍包含各種材料的光電性能與結構缺陷，需要提早佈局如何減少電池封裝至模組的CTM(Cell to Module)功率減損技術。舉例而言，近兩年(2014~2015)已將PERC技術導入量產，效率提升達20%以上，多晶p型PERC電池世界紀錄效率20.8%，模組功率為335.2 Wp，而採用單晶p型PERC電池為20.6%，模組可達零封裝損失，各國太陽光電技術仍快速跟進，若無持續推進高效率技術便喪失優勢⁽³⁻⁴⁾。

太陽電池技術發展趨勢

近年快速發展高效率電池，如圖一所示，導入射極鈍化及背電極電池可提升效率約0.5~1%，多晶PERC太陽電池效率已達20.8%，若改善光捕捉與電極遮蔭，如電池表面織化(Texture)與細線網印最佳化，進一步可提升至21.3%⁽⁴⁾；其他需要整合新電池模組結構以及材料技術，如①雙面玻璃製

作透光型模組封裝雙面電池，若設置於屋頂容易重量過載，需要發展輕量化背板可降低模組重量約40%；②異質界面太陽電池的發展重點在於低溫模組化技術；③背電極考量低成本的整線自動化設備及其產品可靠度；④銅電極電池(Copper with Plating)是非銀電極、銀膠減量的一種發展技術，如電鍍銅技術、銅膠開發等，預計2025年每片太陽電池的銀膠將減少至0.04g；⑤多電極(Multi-busbar Solar Cell)，近年模組廠商積極投入四電極整線設備自動化，提升四電極焊接的四條1 mm窄電極製程與窄焊線材料技術，但需要同時提升太陽電池的網印精密度，確保焊接製程的品質穩定性；減少晶片用量的(超)薄電池將是未來趨勢，相對應需求為焊接與封裝的低溫技術，發展(超)薄電池封裝結構及其製程與材料技術。

多電極技術(Multi-busbar Technology)即是以網版印刷(Screen Printing)方式製作太陽電池的電極(Busbar; BB)，電極數目(寬度)



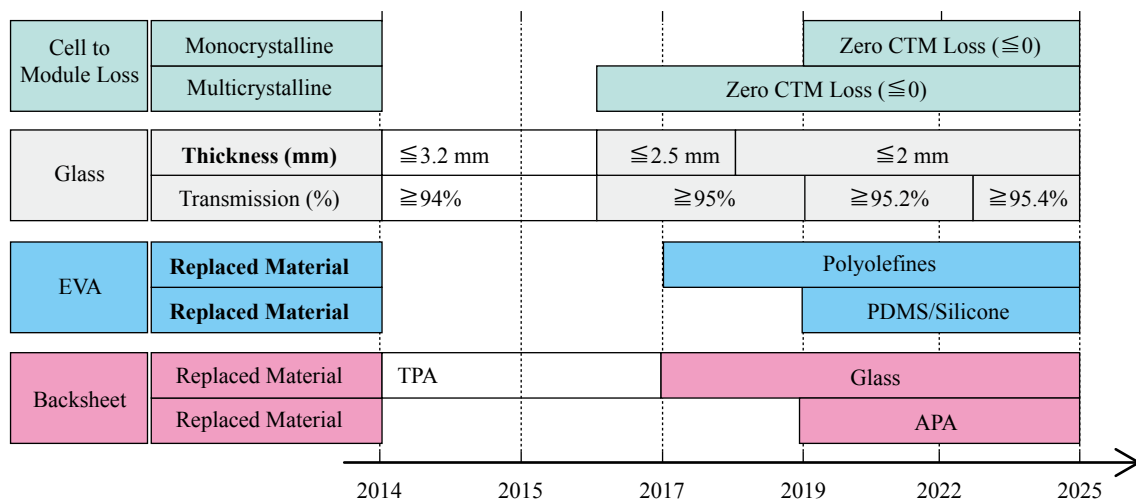
▲圖一 太陽電池技術發展整理圖

由過去的二電極(2BB, 2 mm)陸續發展為三電極(3BB, 1.5 mm)、四電極(4BB, 1 mm)、五電極(5BB, 0.8 mm)等，2015至2018年電池廠商的4BB電池產品將大幅成長，模組廠商相繼提升焊接技術，修改或新購自動化焊接設備符合4BB技術，4BB相較3BB減少電池銀膠遮光區域，提高短路電流(Short-circuit Current)可增加功率輸出約1~1.5%，且減少電池銀膠用量也是降低電池成本的方法。半電池模組技術(Half-cut Solar Cell Module)，將太陽電池在串接方向藉由切割方式分離為二片半電池，半電池僅為全電池串接尺寸的一半，可提高電流匯集能力與減少內部阻抗，相較於全電池有短傳導距離與低歐姆損失的優勢，可提高模組填充因子(Fill Factor)，預計2017年由目前量產的全電池模組，可能開始出現半電池模組產品。

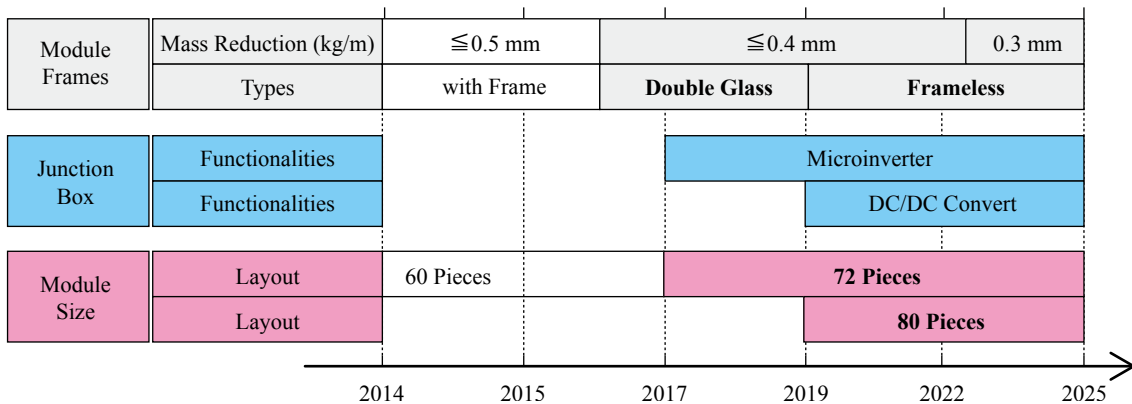
模組技術發展趨勢

圖二為模組封裝及其關鍵材料發展整

理圖，減少電池至模組的封裝損失(Cell to Module Loss; CTM Loss)是亟為重要的課題，目前國際大廠的研發重心皆是如何減少CTM損失。目前單晶電池CTM損失約3~5%，多晶電池CTM損失約1~3%，預計2016年多晶電池可達零封裝損失，2018年單晶電池可達零封裝損失。隨著太陽電池效率提升，同步帶動日新月異的模組相關新封裝技術與關鍵材料開發，如①薄型玻璃將由厚度3.2 mm減薄至2.5 mm~2 mm，可減輕重量15%~30%與減少材料吸收，並發展提升模組輸出功率的抗反射玻璃表面；②封裝材料其一為發展高性能特性(如添加螢光轉換或紫外光短波長高穿透)，其二發展取代EVA材料的無醋酸析出材料，如聚烯烴(Polyolefin)，其優勢有：高體積電阻率(Volume Resistivity) $> 10^{15}$ ohms·cm (EVA $> 10^{14}$)，低水滲透率(Water Vapor Transmission Rate) < 5 g/m²/day (EVA > 30)，具有減少電勢誘發衰減(Potential Induced Degradation; PID)與耐候阻隔特性。



▲圖二 模組封裝及其關鍵材料發展整理圖

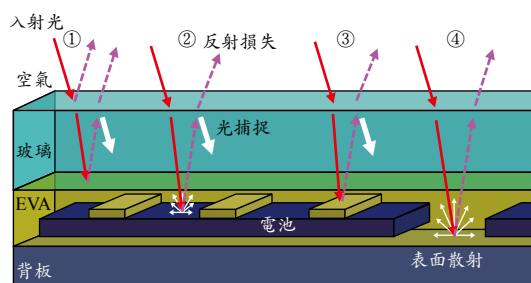


▲圖三 模組結構與型式發展整理圖

模組結構與型式發展整理如圖三所示，
 ①模組結構設計達到模組外框減重目的（如鋁擠型、蜂巢狀等），並同時符合國際規範 IEC 61215/61646 10.16機械負荷測試，預計接續發展結構為雙面玻璃模組、無外框模組，達到兼具輕量化、高可靠的模組技術；
 ②開發智慧型模組(Smart Module)，如接線盒功能包含優化器(PV Smart Optimizer)，最大功率追蹤優化與遮蔭減損、減少落塵衰退、破裂減損、減少熱斑(Hot Spot)損害、監測衰退率與回饋發電資訊，模組產品開發導向系統發電量與可靠度提升；
 ③以擴大模組尺寸增加模組效率與發電效率，模組將由60片電池封裝漸增為70片電池、80片電池，對於國際規範驗證而言，增加模組尺寸會提高可靠度測試難度，並需要同時發展如薄型玻璃的輕量化模組，符合作業規範的單片模組重量上限(25 kg)。

高輸出功率模組技術

圖四為模組光學損失示意圖，模組陣列安排可分為電池的主動區域(Active Area)與無電池的非主動區域(Non-active Area)，

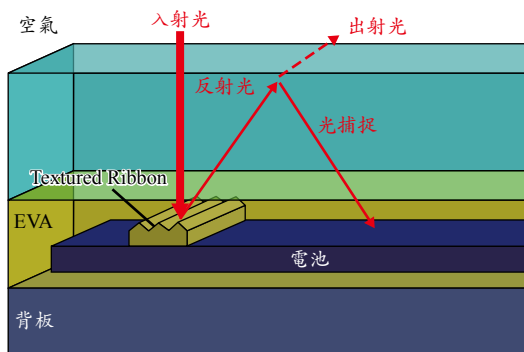


▲圖四 模組光學損失示意圖

依照不同區域需求可發展封裝材料最佳化選用技術，其中主動區域包含①封裝材料疊層損失（模組結構：空氣/玻璃/EVA/太陽電池），空氣/玻璃與玻璃/EVA分別存在約4%與0.3%的界面反射損失，而玻璃與EVA有2.5%與1.7%的材料吸收，需要封裝材料選用最佳化⁽⁶⁾；②太陽電池表面EVA/電池界面約3.4%的光學損失，包含電池/EVA界面因折射率不匹配造成的表面直射(Specular)反射，而電池利用表面壓花結構(Texture)可產生光學散射(Diffuse)的光捕捉效果⁽⁷⁾；③模組主動與非主動區域面積比例約為89.3%與10.7%（多晶三電極之60片電池模組計算），電池可發電的主動區域為模組面積

83.7%，而電池柵線電極與指狀電極(Finger Electrode)佔有5.6%遮蔭面積⁽⁸⁾，改善遮蔭區域可提高電池發電面積；④無電池的非主動區域有電池間隙與鋁框區域，分別為模組面積的1.6%與9.1%，利用背板的散射或反射來增加光捕捉效果。

圖五所示電極串接焊線會產生光學遮蔭損失(3BB與4BB約為2.6%、2.9%之電池面積)，改善方法是將入射至電極遮蔭區域的反射光，藉由光捕捉效應(Light Trapping Effect)將遮蔭區域的光能量回收利用，如採用壓花焊線(Textured Ribbon)，於焊線

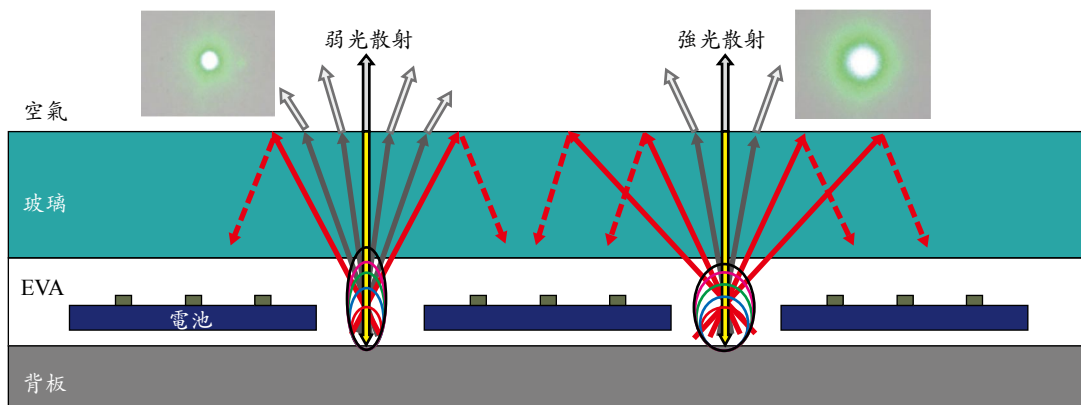


▲圖五 壓花焊線之光捕捉增益

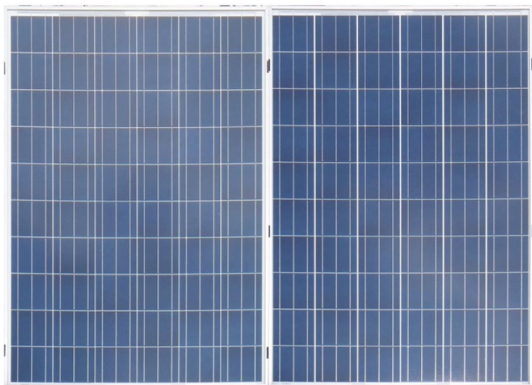
表面預加工為金屬反射結構，控制反射光角度而達到光捕捉目的，遮蔭改善可提升功率1~1.9%⁽¹⁰⁾；另外，低溫串接製程也是另一項技術重點，開發不同成分的低溫焊接合金焊料(Solder)，使降至電極串接焊線的製程缺陷，如微破裂、翹曲等，適應未來異質接面電池、(超)薄電池等技術發展。

圖六為背板散射的光捕捉增益考量，挑選背板強光散射分佈可獲得光捕捉效果，背板光散射能量描述可依據雙向反射分佈(Bidirection Scattering Distribution Function; BSDF)函數理論，探討背板朗伯表面(Lambertian Surface)的反射漫射體(Perfect Reflecting Diffuser)行為，散射模型可使用BSDF的ABg參數，商用背板範圍：A(0.10~0.59)、B(0.1~1.5)、g(0~2.5)⁽¹¹⁾，依背板不同材料的發展，兼具高可靠耐候特性與高性能光散射特性⁽¹²⁻¹³⁾。

圖七是擴寬電池間隙的光學增益設計考量，依據國際規範對於帶電物體的最密間距要求，IEC 61730-1與UL1703規範分別要求太陽電池間隙不得小於2 mm與1.6 mm；若對擴寬電池間隙與選用背板散射最佳



▲圖六 散射背板之光捕捉增益



▲圖七 電池陣列擴寬間隙之光捕捉增益

化，適當安排電池串間隙由2 mm擴寬寬度為2~8 mm之間，僅增加約0.9~3.6%的模組面積(168~672 cm²)，即可增加功率輸出0.8~1.5%⁽¹⁴⁾。

結論與討論

統整ITRPV兩年的國際技術發展趨勢與產業發展技術，包含太陽電池技術發展趨勢、模組技術發展趨勢、高輸出功率模組技術，預估近年(2~3年)高輸出功率模組技術趨勢，技術疊加性項目可包含：半電池串接、多電極窄線寬焊接、改善焊線遮蔭、最佳化散射背板與封裝材料選用、擴寬電池串間隙之光捕捉增益，並考量整線設備自動化與產品驗證測試，通過國際驗證規範，並符合高輸出功率、低成本與高可靠度。長期(10年)預測技術方向：智慧型接線盒、大尺寸72片/80片電池模組、雙面玻璃/無外框模組、n型電池與銅電極電池封裝技術。在新型高效率電池的快速發展中，預先了解模組技術發展及其項目，帶動未來相關模組結構與組件技術、整合電池模組以及材料技術，符合高輸出功率、

低成本與高可靠度。☒

誌謝

本研究作者感謝能源局(經濟部)計畫支持，謹此致謝。

參考文獻

1. International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV) 2013 Results, March 2014, Semiconductor Equipment and Materials International.
2. International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV) 2014 Results, April 2015, Semiconductor Equipment and Materials International.
3. Weiwei Deng, Daming Chen, Zhen Xiong, Jianwen Dong et al., 20.8% Efficient PERC Solar Cell on 156 mm×156 mm p-Type Multi-Crystalline Silicon Substrate, 42nd IEEE PVSC, 2015, 14-19 June, New Orleans
4. Shu Zhang, Weiwei Deng, Xiujuan Pan, Haijun Jiao, Daming Chen, et al., 335Watt World Record P-type Monocrystalline Module With 20.6 % Efficiency PERC Solar Cells, 42nd IEEE PVSC, 2015, 14-19 June, New Orleans
5. 2014年能源產業技術白皮書，經濟部能源局，2014，五月
6. 彭成瑜、林福銘，“高效率矽晶太陽光電模組技術”，太陽能及新能源學刊，2008年6月
7. 彭成瑜、葉芳耀，“矽晶太陽電池模組光學技術”，太陽能及新能源學刊，2007年12月
8. Marius Peters, Liu Zhe, Guo Siyu, Rolf Stangl, Optical Losses in PV Modules, 29th EUPVSEC, 2014, 22-26 September, Amsterdam.
9. X. Pan, S. Zhang, et al., “Theoretical and experimental study of power loss in half-cell PV modules,” in Proc. SNEC, Shanghai, CN, 2014. 半電池
10. Emanuel M. Sachs, Light capture with patterned solar cell bus wires, Patent number: US20070125415 A1, United State.
11. 黃中騰，彭成瑜，林怡君，吳智傑，陳炳茂，模組光捕捉與背板光散射之最佳匹配設計，台灣光電科技研討會暨國科會光電學門研究成果發表會，2009，pp.IP078，20091211
12. Michael J. Kardauskas, Solar module having reflector between cells, Patent number: US5994641, United State.
13. Ronald C. Gonsiorawski, Steven Gonsiorawski, Photovoltaic module with light reflecting back skin, Patent number: US20080000517 A1, United State.
14. 彭成瑜、黃中騰、林福銘，增強光捕捉之太陽光電模組，2015，專利編號1474492，中華民國