



輕量化太陽光電模組技術

The Light-weight Photovoltaic Module

賴瑞千 R. C. Lai¹、徐義盛 Sunny Hsu²、陳博學 Phil. Chen³、
溫尚燁 S. Y. Wen⁴、彭成瑜 C. Y. Peng⁵、林士源 Swean Lin⁶
同昱能源科技股份有限公司¹高級工程師、²經理、³副總經理、⁴執行長
工研院綠能所(GEL/ITRI)⁵副研究員、⁶經理
綠能科技股份有限公司⁶總經理

本論文提出輕量化太陽光電模組技術，以光波導材料替代傳統玻璃，並達到自潔效果。在性能上以廣角吸光提升發電量，波導材料替代傳統玻璃達到輕量化，金屬背板強化機械負荷，整體模組結構具有防火試驗C級與隔音功能，並通過IEC 61215和IEC 61730國際認證。

This paper proposes the light-weight technology for photovoltaic module by using waveguide encapsulation material. The waveguide encapsulation material replaces the traditional glass of module and provides self-clean performance, wide-angle electricity enhancement, light-weight benefit and mechanical load enhancement. The module structure reveals performance abilities of fire test, acoustic insulation test and photovoltaic module certification.

關鍵詞/Key Words

輕量化(Light-weight)、太陽光電模組(Photovoltaic Module)、技術(Technology)

前言

由於太陽能板架設於屋頂會造成強光反射，強烈太陽光經由玻璃帷幕反射進屋內，使社區或住家民衆飽受困擾（如圖一），因此需要解決太陽光電模組(Photovoltaic Module)強反射的問題⁽¹⁻⁴⁾；另外，在每年接力襲台的颱風或強風壓影響下，易造成太陽光電設施嚴重損失，如圖二，因此需要解決太陽光電模組抗風壓的問題，建立符合台灣環境的安全設計⁽⁵⁻⁶⁾。為了擴大太陽能板設置與提高民衆使用意願，本研究

透過標檢局高效模組補助，開發低反射、抗風壓的新型高輸出功率模組，以強化國內模組產業經濟規模與產品差異化⁽⁷⁻⁸⁾。

輕量化與光波導特性

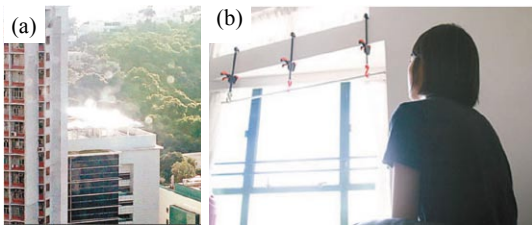
傳統的太陽光電模組一片約18~20公斤，玻璃佔了約2/3的重量，若模組以光波導新材料及新結構技術將玻璃替代，可將模組重量降低至15公斤以下；而新型表面層透明前板材料替代玻璃後，同時會有低反射效果來解決模組表面的反光問題。本研究即採用光波導(Waveguide)透明前板材



料取代表面層玻璃，這項光波導太陽光電模組(Waveguide Solar Module)產品由大同集團旗下的太陽能製造商攜手國內頂尖工業設計團隊—奇想創造公司(GIXIA Group)共同發表，新創的輕量化(Light-weight)模組產品設計榮獲2016年紅點設計大獎(Red Dot Award)。紅點設計大獎主要為透過產品設計(Product Design)來傳達設計以及設計概念的國際競賽，每年吸引了超過60個國家，1萬件作品投稿參賽，而此輕量化光波導太陽光電模組更是擊敗了眾多參賽者獲得了2016年紅點獎的殊榮，如圖三所示。

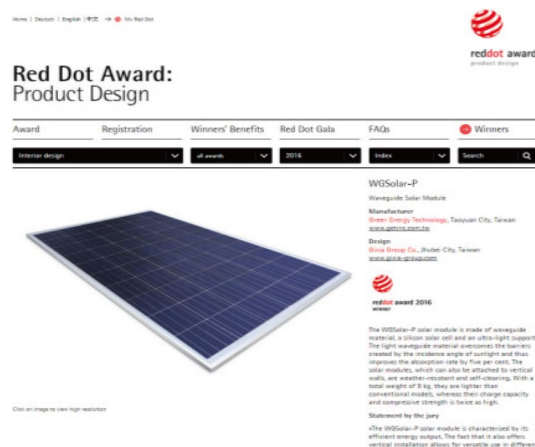
典型太陽模組的封裝結構為：空氣/玻璃/EVA/太陽電池/EVA/背板/空氣，太陽

光電模組之玻璃與太陽電池類似三明治夾層方式以黏膠EVA膠合組成，構成太陽模組的結構，此種封裝結構的玻璃表面會造成反射的問題。新結構模組表面採用光波導設計，經由光波導表面層材料取代模組玻璃，將會改變模組疊層結構設計。而反射率取決於模組的表面波導層，當材料決定後即表示折射率已決定，疊層由於材料折射率不一致，在材料界面會產生反射損失，基於有限的封裝材料種類，需要針對



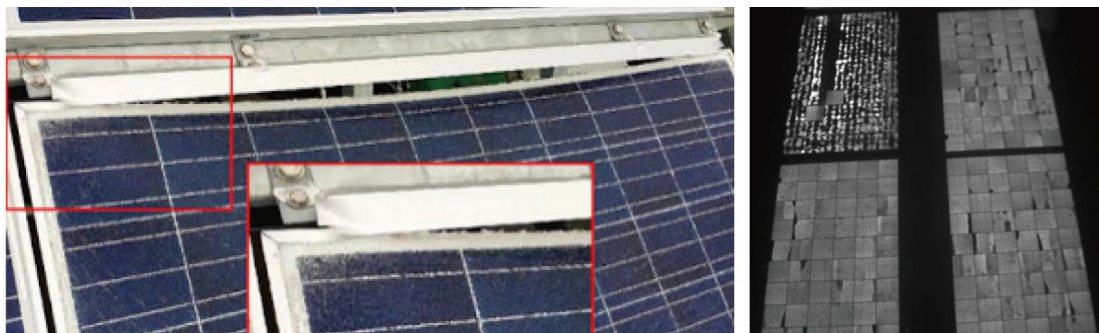
資料來源：http://orientaldaily.on.cc/cnt/news/20130817/00176_049.html

▲圖一 (a)太陽能板架設於屋頂的強光反射；(b)強反射光照射到屋內



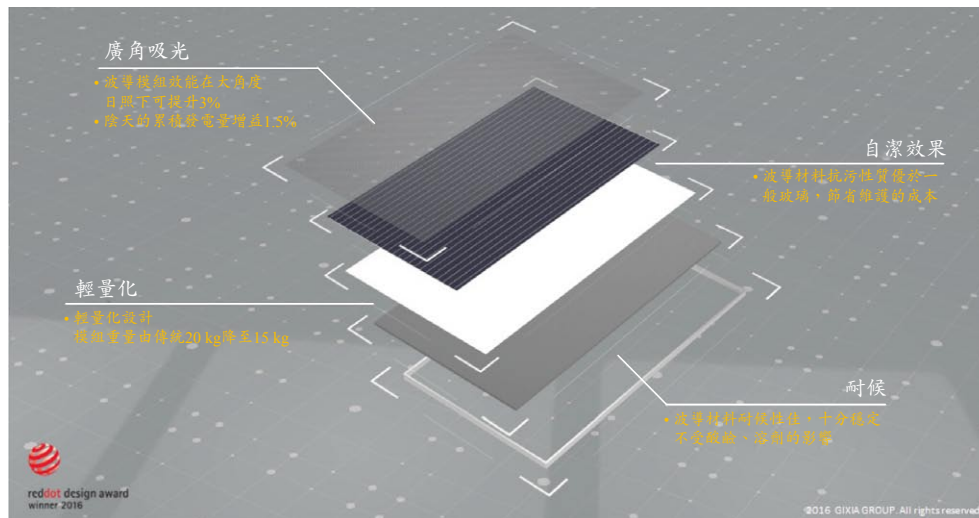
資料來源：<http://red-dot.de/pd/online-exhibition/?lang=en>

▲圖三 輕量化光波導太陽光電模組榮獲2016紅點設計大獎



資料來源：<http://solar543.blogspot.tw/2015/10/22.html>

▲圖二 受颱風影響損壞的模組狀況



▲圖四 輕量化太陽光電模組特性：輕量化、廣角吸光、自潔效果、耐候

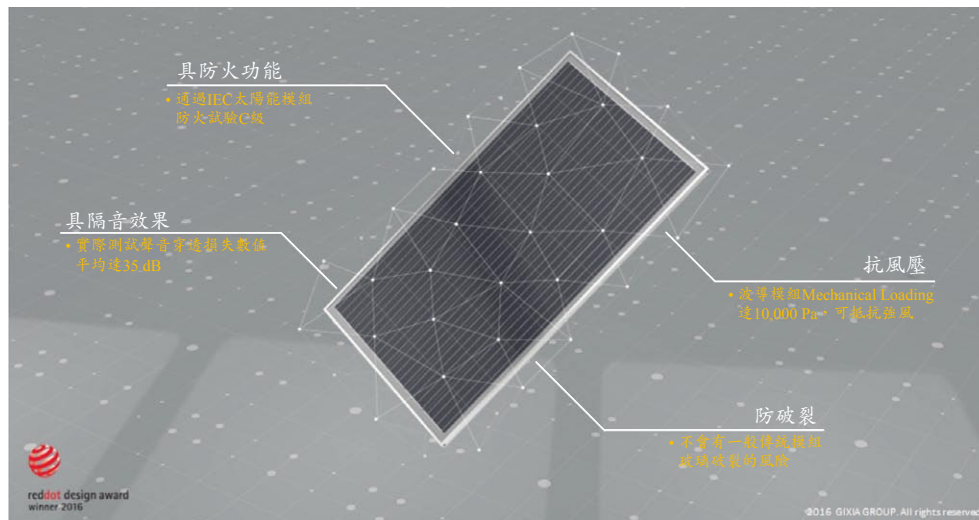
模組結構界面層的折射率匹配，降低模組疊層的界面損失，傳統玻璃模組的反射率為9%，而光波導透明前板材料的反射率則為0.7~0.8%。

輕量化太陽光電模組技術

單就現今太陽光電模組產品的升級研發而言，模組研發幾乎都著重在發電效率的提升，較無突破性的技術發表，而輕量化太陽能模組希望能從銷售端的競價惡戰中尋求一條差異化的新路，讓台灣研發的軟實力更加大步地邁向海外市場。從輕量化太陽能產品的模組特性來看，發電元件仍是矽晶太陽電池，圖四以專利光波導材料取代傳統太陽模組表面層玻璃，大幅降低模組重量，總模組厚度可降至約1.5公分，輕量化設計可降低重量至15公斤以下，最輕設計可由傳統重量20公斤最低可降至標準模組的65%。光波導材料具自潔效果，可節省部分維護成本，並且材料耐

候特性十分穩定，不易受酸鹼、溶劑的影響，波導結構效能在光線大角度入射時可提升3%發電增益。

輕量化太陽光電模組的防火功能具有IEC太陽能模組防火試驗C級，通過二項測試：①火焰散布試驗(Spread of Flame Test)：確保太陽能模組對外部火焰具備耐火性能，火焰溫度達 $704 \pm 28^\circ\text{C}$ ，測試時間4分鐘；②木堆燃燒測試(Burning Brand Test)：模擬鄰近建築物或生物遭遇火災以及未預期的外來火源，掉落或揚起的燃燒物體落在太陽能模組上的影響，木堆尺寸 $38.1\text{ mm (W)} \times 38.1\text{ mm (L)} \times 57\text{ mm (H)}$ 。一般在戶外環境85分貝(dB)算是吵雜的，若室內60分貝則是相對安靜，依據CNS 10486 A3196 隔音窗檢驗法，由音源產生1/3八度音程，其測試頻率範圍為125~4,000 Hz，以該聲音進行各中心頻率聲音透過損失測試，由此確認不同頻率的聲音在經過待測物時聲音損失的大小，而模組設計的隔音減噪效果



▲圖五 輕量化太陽光電模組特性：防火、隔音、抗風壓、防破裂

達到35 dB。如圖五所示，輕量化太陽光電模組設計採用表面層高分子複合的波導材料，除了可避免傳統玻璃表面容易破裂毀損問題，整個背板設計改由金屬複合材料打造而成，支撐結構的背板大幅提升模組的結構強度，經測試後的模組抗風壓能力達到7,000 Pa，機械荷重達10,000 Pa。

模組認證與耐候性能提升

如表一所示，輕量化太陽光電模組已通過IEC 61215及IEC 61730的TUV國際認證，也證明國內研發升級的輕量化太陽光電模組在競價惡戰中找到差異化的新路，讓台灣研發實力在性能、可靠度、安全特性與傳統模組沒有差別。輕量化太陽光電模組符合量產化製程程序，在目視檢查通過設計驗證和型式確認；絕緣測試通過模組中之載流零件與模組邊框或外部環境的良好絕緣，在6 kV電壓下持續通電超過120秒，測量到的電阻值大於9,999 MΩ，

對輕量化模組使用金屬背板需特別重視絕緣測試；室外曝露測試通過累積照度超過60 kWh/m²，測試後輕量化模組功率損失1.44%；熱斑耐久試驗通過模組承受熱斑加熱效應之能力，例如焊點熔融或封裝材料老化，使用超過700 W/m²的光線持續照射5個小時後，輕量化模組功率損失0.33%；紫外線前處理測試是非常重要的的一項測試，因將玻璃更換成波導材料，能否承受15 kWh/m²的UV光照射是不能忽視的議題，以確認可能會產生UV劣化之材料和黏著鍵結，輕量化模組在測試後功率損失0.54%；熱循環測試背板使用金屬材料情況，對於溫度造成的熱漲冷縮影響，需要針對材料、結構、製程進行調整，通過200次-40~85°C的循環測試之功率損失3.86%；濕冷凍測試抵抗在高溫和高濕下，模組內部受到水氣滲入時，低溫的時候會造成內部凝結與結凍，造成封裝材料界面的分離，通過濕冷凍測試項目的功率損失2.31%；濕熱測

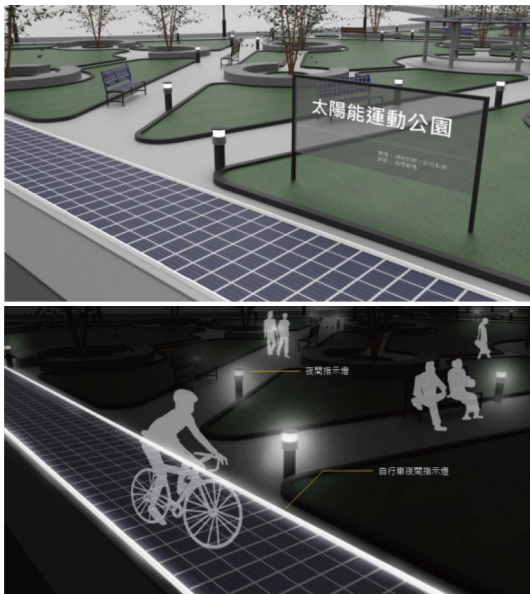


▼表一 輕量化太陽光電模組的認證測試

測試項目	測試方法	測試結果
目視檢查	依照詳細檢查表檢查模組內任何目視缺陷	無目視缺陷
最大功率之測定	測定模組之最大功率。測試之重複性是最主要的因素	>260 W
絕緣測試	在1,000 V d.c. +2倍之最大系統電壓下耐絕緣1分鐘	>9,999 MΩ
	若模組的面積小於0.1 m ² ，則絕緣電阻不得低於400 MΩ。若模組的面積大於0.1 m ² ，則在500 V或最大系統電壓下(以較大之為準)所測得之絕緣電阻乘以模組之面積不得低於40 MΩ·m ²	
溫度係數量測	由模組之量測來測定電流(α)、電壓(β)和最大功率(δ)的溫度係數。這些係數僅在量測時之照射度下有效。關於在不同照射度位準下，模組溫度係數之評估	α: 0.05%/°C β: -0.35%/°C δ: -0.47%/°C
標稱操作電池溫度(NOCT)之量測	總太陽照射度: 800 W·m ⁻²	45.28°C
	環境溫度: 20°C	
	風速: 1 m·s ⁻¹	
在STC和NOCT下之性能	電池溫度: 25°C和NOCT	STC: 259.37 W
	照射度: 1,000和800 W·m ⁻² ，且具有CNS 13059-3之參考太陽分光譜照射度之分布	NOCT: 188.05
在低照射度下之性能	電池溫度: 25°C 照射度: 200 W·m ⁻² ，且具有CNS 13059-3之參考太陽分光譜照射度之分布	50.10 W
室外曝露測試	60 kWh·m ⁻² 之總太陽照射情況下抵抗力做初步評估	Power Loss: 1.44%
熱斑耐久測試	在最差之熱斑情況下，曝露在1,000 W·m ⁻² 之照射度下5小時	Power Loss: 0.33%
UV預備處理測試	在由280 nm至385 nm之波長範圍內為15 kWh·m ⁻² 之總UV照射和在由280 nm至320 nm之波長範圍內為5 kWh·m ⁻² 之UV照射	Power Loss: 0.54%
熱循環測試	在50和200循環時，由-40°C至85°C，且具有STC最大電流下作200次循環	Power Loss: 3.86%
濕冷凍測試	由85°C、85% RH至-40°C下做10次循環	Power Loss: 2.31%
濕熱測試	在85°C、85% RH下1,000小時	Power Loss: 0.92%
引線端強度測試	測定引線端與引線端至模組本體上之附著是否能承受正常安裝和操作過程中所受的力	Power Loss: 0.04%
濕漏電測試	評估模組在濕操作條件下之絕緣性，且驗證由雨、霧、露水或溶化之雪水的濕氣不會進入模組電路之帶電部位	>5,300 MΩ
	若模組面積小於0.1 m ² ，則絕緣電阻不得低於400 MΩ。若模組面積大於0.1 m ² ，則在500 V或最大系統電壓下(以較大為準)所測得之絕緣電阻乘以模組的面積不得低於40 MΩ·m ²	
機械負荷測試	在2,400 Pa之均勻負荷下3次循環，輪流在前和後表面施加1小時。在最後一個循環時，可在前表面選擇性之施加5,400 Pa的冰雪負荷	Power Loss: 1.43%
冰雹測試	25 mm直徑之冰球，以23.0 ms ⁻¹ 速度直接撞擊11個撞擊位置	Power Loss: 1.14%
旁通二極體熱測試	在I _{sc} 和75°C下1小時	Power Loss: 0.11%
	在1.25倍之I _{sc} 和75°C下1小時	

試，在溫度85°C、濕度85% RH的環境下持續1,000小時，可測定模組抵抗濕氣長期滲透之影響能力，通過濕熱測試功率損失0.92%；引線端強度測試引線端與引線端至模組本體上之附著，是否能承受正常安裝和操作過程中所受的力，引線端強度測試後的輕量化模組外觀沒有任何變化，功率損失0.04%；機械負荷測試模組抵抗風、

雪、冰或靜負荷之能力，輕量化模組的複合式金屬背板能有效的提高模組的靜負荷能力，可承受風壓、雪壓、踩踏等負荷，在經過5,400 Pa荷重後輕量化模組功率損失1.43%；冰雹測試由於將堅硬的玻璃前板更換成較軟的波導材料，因此對與模組的抗衝擊能力也需要進一步的評估，冰雹測試使用直徑25 mm的冰球以23 m/s的速度撞擊



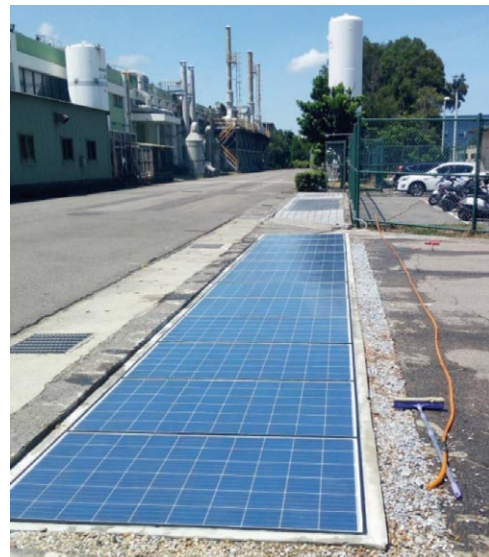
▲圖六 輕量化太陽光電模組之應用示意圖

模組表面，可測試模組在強大外力衝擊下是否能夠維持發電性能，經冰雹測試後功率損失為1.14%。

多種用途的輕量化 太陽光電模組

輕量化太陽光電模組具有應用的多樣性，不僅只應用於屋頂型輕量化市場，並可涵蓋至太陽能步道、太陽能隔音牆、太陽能建材等。安裝在步道、椅子、路燈、涼亭、告示牌、公車站等地方，如圖六所示。在波導材料專利的創新加值下，輕量化模組輕又薄並且安裝工法也更多元，能具有實證安裝測試與展示輕量化太陽光電模組的優點，實踐成為綠能生活的園區，讓民眾可以近距離的接觸將所有的自發電力自儲自用，加速太陽光電科技的使用與推廣。

圖七為2017年2月於桃園觀音的廠區鋪設之6公尺長的「太陽能步道」，預計將再



▲圖七 桃園觀音的廠區已鋪設6公尺長的太陽能步道

延展至20公尺長，同時也計畫在台南「沙崙綠能科學城」再鋪設一條12公尺的人行步道，提供給民眾實際體驗使用。架設步道之前，為了確保路人用路的安全性，輕量化太陽光電模組的波導材料具有壓花紋路的特殊設計，如表二所示，在美國的ASTM 1679標準中，行走安全係數為0.5，輕量化太陽光電模組的摩擦係數測試結果為1.9，這個數值是非常安全的等級。

太陽能模組需要平放在路面上，為了符合步道的設計而無法依照過去所使用朝南23.5度的安裝方式，從2017年2月安裝到現在，過程中歷經下雨、行人走踏的髒汙、建築物的遮蔭等不利的條件影響，但經過系統的測試監控，仍有7成的發電率。依照每日實際發電來估算，每平方公尺的步道一年發電可達168度。若以此條件在南台灣建設兩條1.7公尺寬，1公里長的太陽能步道進行發電，可發電約7,446度，足以提



▼表二 美國ASTM 1679摩擦係數標準

摩擦係數	安全等級
0.00~0.34	極度危險
0.35~0.39	非常危險
0.40~0.49	危險
0.50~0.59	很安全
0.6以上	非常安全

供76戶四口之家一年的用電，而且較不會發生太陽光電推動障礙—「土地的承租與變更使用的相關問題」，這樣的結果也引發部分地方政府與廠商的高度興趣。

輕量化太陽光電模組裝設在高架公路、高鐵、火車、捷運、輕軌經過等容易出現噪音之地區，因應車輛快速通過時瞬間的氣壓變化，會造成強大的風壓與噪音，這時輕量化太陽能模組就能有效的阻隔強風與噪音。而光波導材料的低反射特性也可避免反光直射駕駛影響行車安全，若真的發生事故，輕量化太陽能模組的高機械強度也能成為安裝在兩側的保護裝置，防止車輛衝出車道造成更大的損傷，且非玻璃的設計也降低了撞擊時碎玻璃碎片產生的二次傷害。除了道路與隔音牆外，輕量化模組另一個研發重點著重在「太陽能BIPV建築系統」，也就是將太陽能模組取代一般的建材，融入建築物系統，成為能夠發電的綠能建築，突顯輕量化太陽光電模組的特點。未來可研發出各式的太陽能模組產品，其外型也可依使用的地點場所做客製化尺寸切割變化，不再受到玻璃尺寸的限制，非常適合用在建築物的設置。

建築物設計應用於牆壁、屋頂、窗戶，都可同時將太陽能系統納進設計圖中，透過取代建材而非另外加蓋設置的形

式，完全成為建築物的一部分，且發出的電力也可直接提供家用，輕量化模組本身也通過材料耐燃測試，防火等級達到C級，兼具安全與實用的特性。

結果與討論

輕量化太陽光電模組採用表面層高分子複合的波導材料，具自潔效果，可節省部分清洗維護成本，材料特性十分穩定，較不受酸鹼、溶劑的影響，不會有一般傳統模組的玻璃破裂風險，波導結構在大角度日照下具有廣角吸光特性，可提升發電量，波導材料替代傳統玻璃達到輕量化65%，整體模組結構具有防火試驗C級，金屬背板具有機械負荷10,000 Pa能力，隔音測試聲音穿透損失數值平均達35 dB，並通過IEC 61215和IEC 61730國際認證，成功研發出具有差異化的模組技術，強化國內模組產業技術，期許未來能擴大多樣化的輕量化太陽光電模組應用。☒

參考文獻

1. 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
2. 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I474492，中華民國
3. Michael J. Kardauskas, Solar module having reflector between cells, Patent number: US 5994641 United State.
4. Ronald C. Gonsiorawski, Steven Gonsiorawski, Photovoltaic module with light reflecting back skin, Patent number: US 20080000517 A1 United State.
5. 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
6. 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
7. International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV) 2015 Results, 2015, Semiconductor Equipment and Materials International.
8. International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV) 2017 Results, 2017, Semiconductor Equipment and Materials International.