



價廉、潔淨、可再生的能源——軟性太陽能電池

文・圖／林唯芳

人類已警覺到化石能源將於 50 年內耗盡，所以可再生潔淨能源的發展勢在必行，政府在 2005 年時設定到 2010 年，國內的再生能源要達到全部能源使用的 10%。由於太陽能電池是再生潔淨能源重要技術之一，因此近來全球太陽能電池市場快速成長，這 5 年來已超過 300% 的成長率，生產數量以日本領先，歐洲次之，美國第三。

太陽能電池從 1954 年發明至今已進入第三代，第一代的太陽能電池為晶圓技術，材料以矽元素為主，其技術已發展得相當成熟，目前占全部各類太陽能電池生產量 98% 以上，其元件壽命預期超過 25 年，而目前第一代太陽能電池之最高效率為 22%，由美國 Sun Power 公司生產。目前市場主流為價格較低之多晶矽太陽能電池，其效率約在 15% 左右（占產量約 56%），而臺灣所量產之多晶矽太陽能電池其效能已達到此水準。III-V 族材料可以製作更高效能太陽能電池（效率 > 25%），但其昂貴的製造成本，已使產品朝向高效率聚光型之太陽能電池發展，歐洲已有 500 倍聚光（500X）產品，效能約為 25%，臺灣核研所的 III-V 聚光型太陽能電池目前亦已達到 19% 效率。

第二代太陽能電池為薄膜技術，製作程序較矽晶圓技術變化多且成本低。然而達到可供電力用的只有 CuInSe(CIS) 太陽能電池，歐洲已量產，效率約為

13%。其他較廉價但中等效率的微晶矽（約 8%）、非晶矽（約 10%）、II-VI 族（約 10%）已廣泛用於消費電子產品，如手錶與計算機。也有多種可撓性之電池產品，如瑞士 Flexcell 公司的 Sunpack 7W，售價為美金 180 元左右。由於薄膜技術程序多變，可經由能隙工程設計 (bandgap engineering)，改進太陽光吸收效率，進而增加光電轉化率。

第三代太陽能電池包含所有創新、起萌中的新太陽能電池技術，分成兩大類：第一類是極高效能（> 31%）新型太陽能電池，第二類是價廉可製作大面積之有機太陽能電池。前者有利用 GaSb 或 GaInSb 等熱能轉化晶體加在 GaAs 光電池之上，可使效能增至 30%；另，疊層太陽能電池是以 GaAs 為基材的電池，效率可達 39%，已接近商品化；而中隙能太陽能電池 (Intermediate band solar cell IBSC) 其理論模擬銦元素之量子點在 GaP 或 GaAs 中可達到 63.2% 效率，還有待實驗的驗證。

至於有機太陽能電池，以染料敏化電池為代表，含液態電解液，在實驗室的疊層電池可達 11% 的效率，商品化產品效率 8%，保證 15 年壽命。但有漏液的問題，所以全世界轉而將注意力集中在導電高分子製作的全固態太陽能電池，在含 C_{60} 的摻合系統，效率最高可達 5%。2007 年在日本舉行的世界太陽能會議



林唯芳小檔案

林唯芳教授於 1978 年取得美國麻州大學博士學位，畢業後，在美國西北大學材料中心擔任博士後研究 1 年。之後成為美國西屋科技中心的資深研究員，6 年後晉升院士，總共服務達 16 年，榮獲 6 項研究獎。1990 年在日本三菱電機材料及元件研究中心客座學者 1 年。於 1996 年起，受聘為臺灣大學材料系的教授，致力於新穎的光電材料研究，2004 年受邀於瑞士理工學院客座教授。

林教授的研究專注於材料的分子結構對其光性、電性、磁性、介電性質及熱性的關係。近 10 年的研究包括：自我強化的液晶複合材料、高功效的有機—無機複合材料、奈米材料等，其所研究的材料均有廣泛的應用價值，如牙科器材、發光二極體、光波導、微波通訊、太陽能電池等。

林教授於 1997 年及 1999 年獲國科會研究獎，2003 年榮獲徐有庠紀念基金會奈米講座獎，2004 年獲扶輪社百週年優秀專業人事教授獎。目前的研發成果共計 SCI 論文 58 篇、專書 5 本、國內外專利 25 項。林教授亦熱心國內外公益服務，以培育世界領袖人才為志，並針對當前地球所面臨的能源、環境、醫學等問題，致力於先進的研究，期促進世界之和平美好，也願臺灣大學同仁為遠景共同努力。

中，歐洲訂出高分子太陽能電池的里程碑為 2010 年效率達 10%，2015 年用在建築物，2015 年後將用在發電，以供應價廉的電力。

我們於 3 年前開始高分子太陽能電池的研發，以含金屬氧化物的參合系統為主，因其比 C_{60} 的參合系統具有較高的熱穩定性。目前已研發出價廉、無毒、質輕的導電高分子—金屬氧化物奈米粒子混成太陽能電池（圖 1），其材料為液態、透明、加工簡易，可製作在可撓性大面積的基板上^[1]成為軟性的太陽能電池，應用多元化，不只是如硬質 Si 基太陽能電池放在屋頂上，還可以如油漆般的刷在車子或建築物的牆壁及玻璃，收集太陽能轉變為電能，也可以製成可攜帶的電能供小型電器用，或用在衣物、帳篷等。我們的技術在世界居於領先地位，正申請多項美國及臺灣專利，

已獲臺灣專利 1 項（I275598 號）。我們並深入研討混成太陽能電池的光電機制，發現奈米粒子可增加導電高分子的有序排列，使其載子傳輸速度增加 100 倍以上^[2]。並以光激發螢光光譜，呈現奈米粒子，可促進非常有效的電荷傳送^[3]（本論文接受 Nanotechweb.org 的訪問，獲選為該期刊 2006 傑出精彩論文）。美國科學雜誌曾報導這類太陽能電池未來將應用於美觀、節

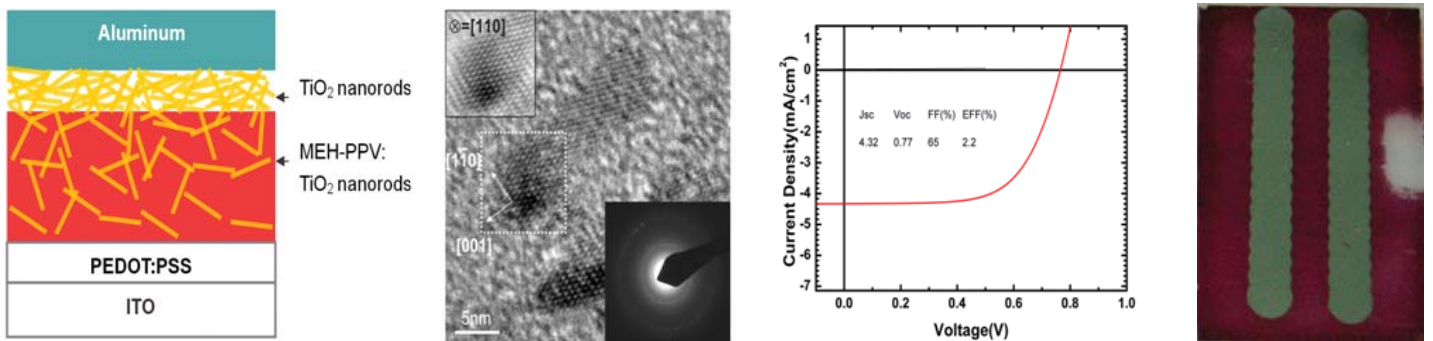
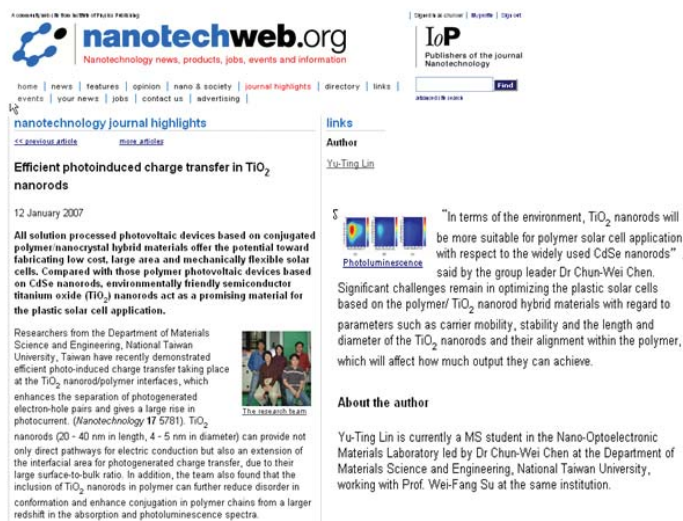


圖 1：導電高分子—奈米粒子混成太陽能電池，由左而右：示意剖面圖，奈米粒子 TEM 分析圖，電池效率圖，實體圖。



Materials for Aesthetic, Energy-Efficient, and Self-Diagnostic Buildings
John E. Fernández, et al.
Science 315, 1807 (2007);
DOI: 10.1126/science.1137542

As electricity consumption increases, harvesting energy from solar radiation is an important research area. Silicon-based photovoltaics (PVs) account for more than 99% of production. Single-crystal and amorphous cells on the market account for an average efficiency of 12.5% (29). Alternative materials, including CuInSe₂ and CdTe cells with efficiencies of 20% and organic cells, are providing some novel research pathways. Recently developed PV devices use TiO₂ nanorods together with the conjugated polymer MEH-PPV (poly[2-methoxy-5-(2'-ethyl-hexyloxy)-1,4-phenylene vinylene] (30) or use silicon and silicon dioxide to produce quantum dots that absorb a wide range of light wavelengths (31).

titanium light (35) coatings fungus gr quality in climates.

A New Era
Recently a Church in centration vicinity (C. vered that large conc with nitro reaction, i the area, / ified for properties surprise to building. I efficacy : already st coatings it concentrat conditions

[39] Y-T Lin, T-W Zeng, W-Z Lai, C-W Chen, Y-Y Lin, Y-S Chang, W-F Su, "Efficient photoinduced charge transfer in TiO₂ nanorod/conjugated polymer hybrid materials, 2006, *Nanotechnology*, 17, 5781-5785

ncemag.org **SCIENCE** VOL 315 30 MARCH 2007

圖 2：美國奈米技術網(Nanotechweb)及科學雜誌(Science)報導太陽能電池的研究成果。

能的建築。(圖 2)

我們團隊的技術囊括從原材料的創新研究發展至特殊結構的太陽能電池元件的製作。在材料方面進一步開發奈米有序結構的高分子^[4]及金屬氧化物，可以增加 9 倍以上的光電流，並研製長波長吸收的導電高分子^[5]，增加吸收太陽光的能力，同時進行奈米金屬氧化物的表面改質，可以倍數增加電池的效率^[6]，如今已可匹配高分子-C₆₀的太陽能電池，且具有耐溫度改變及長壽命的特性，預期將會超越傳統的太陽能電池。

由於技術的領先，研究團隊還獲得美國空軍 3 年資助，開發太空用、質輕的高效能太陽能電池。美國西北大學 Prof. Robert Chang、美國華盛頓大學 Prof. Minoru Taya、美國奧羅岡州立大學 Prof. Alex Chang 及我國工研院材化所、國家奈米元件實驗室等陸續在 2007 年加入本團隊，希望能在 3 年內開發出廉價、大面積的太陽能電池 (<US\$0.3/kw, or <US\$100/m²)，讓取不盡、用不竭、無污染的太陽能電池普及化，成為人類能源的主要來源。 (本期本欄策畫／材料科學與工程學系莊東漢教授)

參考文獻：

[1] T-W Zeng(曾琮璋), Y-Y Lin, C-W Chen(陳俊維), W-F Su*(林唯芳), C-H Chen, S-C Liou, H-Y Huang, "A large intercon-

necting network within hybrid MEH-PPV/TiO₂ nanorod photovoltaic devices," 2006, *Nanotechnology*, 17, 5387-5392 (NSC 95-2120-M-002-0042).

[2] Yun-Yue Lin(林雲躍), C-W Chen(陳俊維), J. Chang, T-Y Lin, I-S Liu(劉翼碩), Wei-Fang Su(林唯芳), "Exciton dissociation and migration in enhanced order conjugated polymer/nanoparticle hybrid materials", 2006, *Nanotechnology*, 17(5), 1260-1263. (NSC 94-2120-M-002-012).

[3] Y-T Lin, T-W Zeng(曾琮璋), W-Z Lai, C-W Chen(陳俊維), Y-Y Lin, Y-S Chang, W-F. Su(林唯芳), "Efficient photoinduced charge transfer in TiO₂ nanorod/conjugated polymer hybrid materials," 2006, *Nanotechnology*, 17, 5781-5785 (Feature Article) (NSC 95-2120-M-002-0042).

[4] Chi-An Dai(戴子安), Wei-Che Yen(顏唯哲), Yi-Huan Lee(李宜桓), Chun-Chih Ho(何俊智) and Wei-Fang Su*(林唯芳), "Facile Synthesis of Well-Defined Block Copolymers Containing Regioregular Poly(3-hexylthiophene) via Anionic Macroinitiation Method and Their Self-Assembly Behavior," 2007, *J. Am. Chem. Soc.*, 129(36), 11036-11038.

[5] Bikash Pal, Wei-Che Yen(顏唯哲), Jye-Shane Yang(楊吉水), Wei-Fang Su*(林唯芳), "Substitute Effect on the Optoelectronic Properties of Alternating Fluorene-Thiophene Copolymers," 2007, *Macromolecules*, 40, 8189-8194.

[6] Yun-Yue Lin(林雲躍), Tsung Hung Chu(朱叢鴻), Chun-Wei Chen(陳俊維) and Wei-Fang Su*(林唯芳), "Improved Performance of Polymer/TiO₂ Nanorods Bulk Heterojunction Photovoltaic Devices by Interface Modification," 2008, *Applied Physics Letters*, 92, 053312.