

# 太陽電池

## — 21世紀的新能源



許巧玲／工研院材料所

### 產品概述

#### 產品定義

太陽電池是直接將光能轉換成電能的元件，其基本構造是運用半導體之pn接合而成，將光照射在太陽電池上，使半導體內部產生多數帶負電之電子與帶正電之電洞，再利用 p 層與 n 層分別將電子與電洞導出形成電流。

#### 產品種類

太陽電池之產品種類，依材料可區分為矽、化合物半導體，及有機半導體等材料，依材料製程型態則可分為塊狀（Block）及薄膜型。（表一為各種太陽電池材料性能比較）

#### (1) 晶矽材料

目前世界主要商品化之太陽電池多以矽為主要材料，結晶矽太陽電池產品約佔全世界太陽電池年產量的 80% 左右，其中約 40% 為單晶矽太陽電池，60% 為多晶矽太陽電池。

##### ■ 單晶矽

由於單晶矽具有均勻一致的分子結構，有利於光電轉化，因此單晶矽用作太陽電池材料的最主要優點是太陽電池的轉換效率高，世界最高效率已接近 25%，一般商品化產品的轉換效率約在 15-20%。此外單晶矽具有生產技術成熟及性能穩定可靠等優點，但單晶矽太陽電池的製造成本昂貴，為了節省成

本，目前全世界太陽電池產業所用的矽材料都為半導體工業的次級品或其頭尾料，但矽晶片仍占了整個太陽電池元件生產成本的 50% 左右。

##### ■ 多晶矽

多晶矽由許多單晶晶粒組成，單晶晶界的存在阻礙了電子的流動和產生，降低了電池的輸出功率，因此多晶矽太陽電池的轉換效率較單晶矽太陽電池為低，一般商品化多晶太陽電池的轉換效率多在 10-14% 之間，由於多晶矽的生產過程省去了昂貴的單晶拉晶製程且矽片厚度可以切到只有單晶矽的三分之一，所以多晶矽太陽電池的製造成本較單晶矽太陽電池要低許多。

##### ■ 砷化鎵（GaAs）

砷化鎵具有類似晶矽材料的晶體結構，屬於化合物半導體材料，乃為最高轉換效率的太陽電池，其轉換效率高達 25-30%，具太陽光吸收效率高、晶片的厚度只要幾個微米即可、熱阻較高等特性唯因材料及製作成本高，僅適用於特殊用途如太空人造衛星上，故大量生產之商品化產品不多。

#### (2) 薄膜材料

薄膜材料的特性是具有比晶體材料更高的光吸收效率，它可以鍍在低成本的基材上如玻璃、金屬、塑膠箔片上，只需幾個微米

的半導體層，其製造過程中原材料和能源的消耗量少，因此薄膜太陽電池的製造成本低，雖然其能源轉換效率相對低，但薄膜太陽電池視為最有發展潛力的太陽電池之一，也是目前全球太陽電池研的主要領域。

#### ■非晶矽

非晶矽材料是在 1974 年以後才被發現可用作太陽電池的薄膜材料，它的光吸收效率是單晶矽的 40 倍，其 1 $\mu\text{m}$  厚的沈積層相當於單晶矽 200 $\mu\text{m}$  的光吸收率，基材可以是不鏽鋼、玻璃和塑膠等，並可採用低溫、大面積連續生產，具有低成本的優勢，唯其能量轉換效率低，只有 5-10%，戶外可靠性和穩定性差，非晶矽太陽電池暴露在陽光下幾個月轉換效率會有 5%-15% 的損失。非晶矽太陽電池主要應用於功率輸出較小的各種消費性電子產品上，如手錶、計算機等，約佔全世界太陽電池元件總產量的 5-7%。

#### ■碲化鎘 (CdTe)

碲化鎘太陽電池屬於 II-IV 族化合物半導體，其作為太陽電池具有與非晶矽材料相似的特點，光吸收率高、製造成本低及性能不穩定等。CdTe 薄膜電池在室溫下的理論能量轉換效率為 27%，唯鎘的污染問題是另一隱憂。

#### ■銅銦硒 (CuInSe<sub>2</sub>，簡稱 CIS)

CIS 為三元素 (銅銦硒) 化合物太陽電池，其光吸收效率高、戶外性能穩定，是目前國際上薄膜太陽電池的研究重點，實驗室的轉換效率高達 17.7%，唯其製程比較複雜，能夠商業化大規模生產的企業只有非常少數幾家。

此外還有有機半導體材料，如有機奈米電池材料、二氧化鈦電池材料等也日益受到重視，但因轉換效率極低及壽命等問題，仍停留在研究階段。

表一 各種太陽電池材料性能比較

太陽電池種類	半導體材料	轉換效率	製造技術	製造成本	戶外壽命	
矽	單結晶 (晶圓型)	15-20%	成熟	高	高	
	多結晶 (晶圓型、薄膜型)	10-14%	成熟	中	高	
	非晶矽	a-Si、a-SiO、a-SiGe、薄膜型	5-10%	中等	較低	低
化合物半導體	2 元素	GaAs (晶圓型)	25-30%	成熟	高	高
		CdS、CdTe 薄膜型	7-10%	不夠成熟	低	較低
	3 元素	CuInSe <sub>2</sub> (薄膜型)	8-10%	不夠成熟	低	高
有機半導體		1%	不夠成熟	低	低	

資料來源：工研院材料所 (2003/05)

#### 應用領域

太陽電池的應用範圍相當廣泛，舉凡需要電力的地方都可以搭配應用，下表二為太陽電池的各種應用產品。太陽光發電系統包括了太陽電池模組、支撐模組的架台、接線箱、直流轉換器、配電盤和電錶，若有蓄電池則需加裝充放電控制器。一般太陽光發電系統類型可分為獨立型 (Stand Alone System)、混合型 (Hybrid System) 和併聯型 (Grid-connected System) 三種，其系統示意圖如圖一。以系統型式而言，根據國際能源組織 (IEA) 的統計，早期多以獨立系統為主，至 1998 年以後併聯型系統即大幅超越獨立型而躍升為市場的主流，至 2001 年甚至佔有 67% 的市場比重。在消費電子領域，除了傳統太陽能手錶、計算機和玩具等外，近年來，太陽電池應用在汽車空調、行動電話等電子領域的需求也呈現成長態勢。

表二 太陽電池的應用領域與應用產品

應用領域	應用產品
住宅設備	庭園燈、車庫燈、門燈、換氣風扇、住宅用太陽光電系統
道路管理設施	各種道路標識、電子顯示看板、街燈、路燈、警報裝置
海上標識設施	燈塔、各種浮標、投餌器、海洋牧場、
通信設施	無線中繼站、衛星接收站
農業施設	抽水及灌溉給水動力系統、昆蟲誘殺燈、溫室換氣裝置
民生機器	計算機、計時器（時鐘）、手電筒、電池充電器
運輸機器	空氣清淨器、換氣裝置、太陽能車、充電系統
防災保安機器	雨量、水位、風向計、地震檢測儀器
公共設施	移動式照明電源、公園洗手間抽風裝置、照明裝置、電子式公車站牌
能源供電設施	太陽光電發電廠、混合型發電系統
太空發電	各種衛星發電裝置、氣象觀測裝置電源

資料來源：工研院材料所（2003/05）



太陽能時鐘



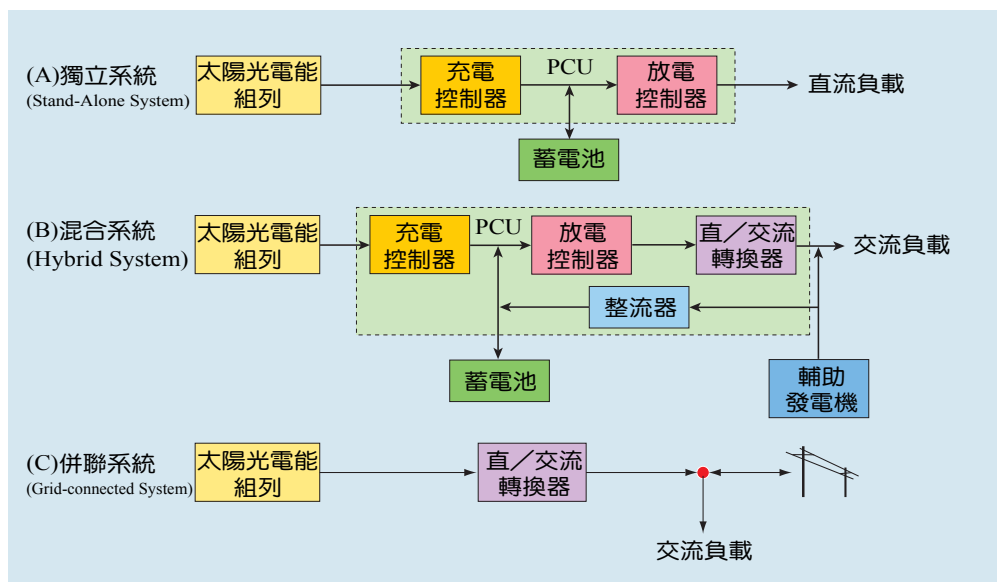
太陽能停車棚



太陽能投幣機



太陽能隔音牆



▲圖一 太陽光電發電系統類型

資料來源：工研院材料所（2000/08）

### 荷蘭的分散式太陽光電系統

荷蘭 Amersfoort 的年日照時數為 1,477 小時，平均每天的日照時數為 4.05 小時。

Amersfoort 為一個全新的社區（見圖二），整個太陽光電系統採建材一體型的方式，由荷蘭 REMU 電力公司所主導規劃。大部份的系統裝置在 500 戶的住宅屋頂上（見圖三、四），此外部份裝置在公共設施如運動中心、學校及幼稚園內，這個計畫分

階段規劃，分階段執行，從 1997 年到 1999 年，歷時三年。計畫鎖定在(1)示範推廣建材一體型太陽電池模板與建築藝術結合的可行性與潛

力。(2)透過大量的應用 BIPV 模板，以降低模板、支架及附屬配件的成本。(3)透過委託的程序尋求最佳系統設計，強化系統效率以達到系統品質控制的目標。(4)透過此計畫建立成熟的 BIPV 太陽光電產業技術，並為未來的建設奠定良好的公設基礎，提供市民、工商業活動一個充滿光能應用的產業基礎。(5)讓地方政府、計畫開發者（REMU 電力公司）、建築師與建商透過計畫，證實太陽光電系統與建築結合的可行性，同時建立民眾對光電系統的信心。

這個計畫不同於以往的作法，是由 REMU 電力公司主導規劃將許多建材一體型的太陽光電系統裝置在許多的住宅屋頂。由於太陽光電系統在荷蘭並不常見，因此電力公司、新市鎮開發者、建築師、建商間必須有充份的溝通並透過責任施工的方式，要求系統設計安裝者負責保證系統的品質與效率，並將此列為合約的一部份，讓住戶、委託者、建築師都能對此系統信賴。此外也採用一戶使用一個直交流轉換器的觀念，及大片的太陽電池模板以降低封裝及串併接線等系統成本，也節省了系統所佔用的空間。所有創新的太陽光電技術與新的模板都經過測試及認證，當太陽電池要成為市場的主流，相關零配件的測試條件要明確，並自然而然成為產品的基本要件，如此則可以省略產品開期冗長的測試過程，才有助於被大量的採



▲圖二 Amersfoort 的全區景觀



▲圖三 Amersfoort 與建築結合的各式應用設計



▲圖四 Amersfoort 與建築結合的各式應用設計

用。而設計者參與監造整個建築與系統的興建與安裝過程，以確保品質的落實。有了這樣的經驗，讓建築師及相關的建設開發公司願意在他們自己其他的開發案中把建材一體型太陽光電系統設計進去，這是這個計畫的另一項擴散效益。

計畫總系統容量為 1,323kW，分別裝置在 500 戶住宅上，其中有 44 戶裝置有監測設備，太陽電池則採用 Shell Solar 所生產的多晶矽太陽電池，直交流轉換器則採用 Mastervolt 每戶 2500W 的直交流轉換器，由於遮蔭的問題或非最佳傾斜角所造成的設計誤差與最佳系統設計間只允許最大 5% 損耗，因此光電系統傾斜角多採為 20-50 度；若傾斜 70 度。估計將造成 16% 的損失。

全區使用了 1.3M 的太陽光電系統總經費為 9,227,621 歐元，其中 1M 的太陽光電系統的

設置費用為 860 萬歐元，另外的 0.3MW 由建築師分擔，太陽光電系統的造價為 7,441,542 歐元，監測系統費用為 152,016 歐元，併聯界面的設備費用為 99,378 歐元，與建築結合的相關結構材料費用為 451,965 歐元，安裝費為 306,302 歐元，計畫管理與工程監造費用為 776,418 歐元，換算每度電的價格約 1.15 歐元。

這個案例最特別的地方是未來電力的產出必須與預期的一致，因此設計者在系統規劃時花了很多的精力評估計算各種安裝傾斜角與方位及與建築物美學觀點的最佳搭配設計，因此根據 2000 年實際監測所產生的電力，平均每一千瓦的年發電量為 1681KWh，系統故障或儲運損耗為 0，完全符合規劃所預期的產出，這也是在很多民眾、觀光客、專業記者參觀後，都躍躍欲試的最佳宣導案例。

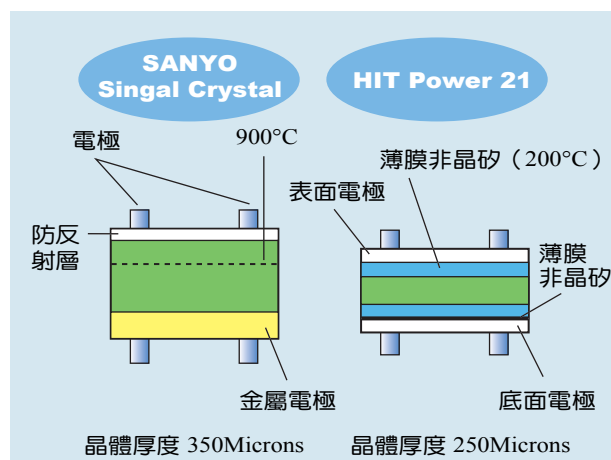
## 產品與技術發展動向

### (一) 全球

提高太陽電池的轉換效率和降低太陽電池的製造成本一直都是太陽電池產業研發的最主要目標，在降低成本方面，除積極開發矽薄膜太陽電池技術外，也有以既有之結晶矽太陽電池為主軸，尋求上游材料—晶片價格降低，這並不是從原料及成長晶錠著手，而是從晶錠的切割技術尋求改進，以往 wire saw 機台切割用線徑為 180um，目前新機台已改用 150-160um 切割線，短期內更會朝 120 um 發展，線徑減小後材料利用率大幅提升，約可增加 30% 的產量，這並不包括晶片變薄的增加量。而這個技術所帶來的降價空間，給薄膜太陽電池業者帶來相當大的衝擊，像 Kaneka（鍾淵化學），就評估其多晶矽薄膜型太陽電池模板產能必須達 40MW/年以上，在價格上才有競爭優勢，這無異是給積極開發矽薄膜太陽電池業者當頭棒

喝，但即便如此，許多業者仍不敢輕意放棄矽薄膜太陽電池的開發，畢竟以長遠角度來看，究竟鹿死誰手仍未可知。

在提升太陽電池轉換效率方面，三洋公司最近所發表效率高達 21% 的 HIT（Hetrojunction with Intrinsic Thin-layer）太陽電池，其結構是以單晶矽晶片及非晶矽薄膜結合，其結構如圖五所示，其所利用的是低溫、低功率的 PECVD 技術以達到較佳的 passivation 效果。Sharp 也以 selective emitter 結構開發出效率高達 19% 的太陽電池，只是這些仍處於開發階段，尚未真正商品化。



▲圖五 三洋發表的大面積 HIT 太陽電池與一般太陽電池比較

### (二) 台灣

近年來我國太陽電池的技術研發以開發低成本單晶矽太陽電池及低成本多晶矽薄膜太陽電池為主，為配合政府推動的示範推廣補助，在模板技術方面也以開發與建築物結合之太陽光電模板為主。以材料所單晶矽太陽電池的研製而言，轉換效率平均在 16.5 % 左右，而多晶矽廠商的轉換效率也在 12% – 14% 間，每瓦的平均生產成本也介於 2 – 3 美元間，若能有效整合 wafer、cell、module 廠，以降低生產成本，



▲圖六 彭小姐家中的太陽光電發電系統及太陽能熱水器

並擴大生產規模，將極具國際競爭力。

在系統技術方面則多停留在獨立系統的應用，有關併聯系統中直交流轉換器的產品規範國內尚付諸闕如，而在與建材結合的產品開發與相關的規範要求也仍待加強。

### (三) 2004 年展望

目前世界各國的研發重心都放在多晶矽、薄膜單結晶、薄膜多結晶、薄膜微結晶、非晶矽及化合物半導體材料的太陽電池技術開發。以日本近三年的開發重點包括先進的太陽電池技術開發、大量導入系統設置的共通性基礎技術研究開發與評估、創新的下一代太陽光電系統技術研究開發、易普及應用的太陽光電系統型式技術開發等四大重點方向。其中先進太陽電池以開發 60cm<sup>2</sup> 的薄膜結晶矽太陽電池，

其轉換效率在 12% 以上，且能符合大面積，高速生產，低成本的製造技術。CIS 系薄膜太陽電池則以開發低成本模組製造技術、高速生產、高接合品質的 PN 接合，電池面積達 60cm<sup>2</sup>，轉換效率達 13% 以上，另外有關集光型太陽電池其轉換效率達 40% 以上。此外針對短期即能提高效率的技術改進部份，則以高品質低成本的晶棒製造技術及薄型多結晶矽太陽電池的製造技術開發為主。至於下一世代的太陽光電系統技術研發則以色素增感太陽電池等新材料、新構造、新製程方法及如何大幅降低系統成本為研發的重點，日本每年在太陽電池的研發大約投入數百億日元的經費，不單日本，美國、德國每年也投入相當龐大的研發經費，希望能在國際未來的新能源產業扮演關鍵性的地位。此外各國更致力於研發低成本、與建材相結合的太陽電池，希望能廣泛運用在圍幕玻璃、露台、牆壁外牆和屋頂上，以期其應用更普及價格更容易被接受。

### 附錄 傳統能源蘊藏量及使用年限預估

	尚存蘊藏量	使用年限推估
石油	6.9 × 10 <sup>11</sup> 桶	34 年
天然氣	1.0 × 10 <sup>14</sup> 立方米	57 年
煤	5.1 × 10 <sup>11</sup> 噸	174 年

資料來源：工研院能資所（2002/08）

表三 我國太陽光電推廣申請設置狀況

年度	申請 (件)	申設容量 (KW)	核准補助件數 (件)	核准補助容量 (KW)	核准補助金額 (萬元)	完成簽約			完成設置		
						件數	容量 (KW)	金額 (萬元)	件數	容量 (KW)	金額 (萬元)
89	17	279	14	269	3987	8	59	851	8	59.4	845
90	34	275	32	262	3845	20	173.1	2517	20	173.1	2517
91	108	1074	19	125	3131	18	114	2973	17	107.2	2649
92	46	431	21	203	4272	7	51	761	3	19.6	285.7
93	14	170	—	—	—	—	—	—	—	—	—
合計	219	2228	87	866	15505	53	397	7102	48	359	6302

資料來源：工研院材料所（2004/02）