

只要太陽在地球的表面照射一小時所得到的能量有效地轉換成電力，就足以供應全球一年的電力。



太陽電池

張品全



自從西元 1800 年義大利人伏特發明第一顆電池後，人類的生活就註定要與「電」結下密不可分的關係。1879年美國人愛迪生發明電燈，不僅點亮了黑暗的夜晚，更照亮了人類光明璀璨的歷史文明。電的產生方式有很多種，包括：石油、瓦斯、煤、鈾、等。但是這些能源的存量有限，在人類高度的開發利用下，終有消耗殆盡的一天。因此，世界各國無不積極地研發新的替代能源，太陽電池就是一種最佳的選擇。目前太陽電池已經在電力、通訊、電子產品及交通運輸等方面，占有舉足輕重的地位，尤其在太空及部分偏遠地區，更是扮演無可取代的角色。

取之不盡、用之不竭的能源—太陽能

隨著人類文明的進步，各種不同的能源：石油、天然氣、瓦斯、煤、鈾等一一被採用，雖然這些能源的出現，帶給人類物質生活上很大的享受，但是由於大量使用的結果，不僅使這些能源即將消耗殆盡，更使人類生活的環境受到嚴重的破壞。眾所皆知的溫室效應，就是因為燃燒效應所產生的熱與二氧化碳引起的異常現象。目前人們已經警覺到此一問題的嚴重性，並且積極著手開發新的能源。

根據國際能源代理業者估計，目前全球的石油儲存量只剩下 40 年，天然瓦斯只剩下 50 年，鈾礦只剩下 60 年，而煤礦也只剩下 120 年。因此，積極尋找新的替代能源，實在是刻不容緩。目前普遍受到國際矚目的一種能源，就是再生能源。再生能源主要包括：太陽能、風力、水力、地熱及生物能等，它們不僅具有環保的優點，其中的太陽能更是取之不盡，用之不竭。

根據科學家的研究，從太陽表面所放射出來的能量是來自於核融合反應，每秒鐘約有 6×10^{11} 公斤的氫轉變成氦，其中有 4×10^3 公斤的質量損失，由愛因斯坦的關係式：能量 = 質量 \times 光速平方，這 4×10^3 公斤的質量可轉換成 3.6×10^{20} 焦耳的能量，這些能量藉由電磁輻射的方式發射出來，我們再把它換算成電力的單位，則約有 1.7×10^{14} 千瓦，就算太陽光經過一億五千萬公里的距離，穿過大氣層到達地球的表面，也還有 1.2×10^{14} 千瓦。只要太陽在地球的表面照射一小時所

得到的能量能有效地轉換成電力，就足以供應全球一年的電力需求。如果我們能夠有效地運用此能源，那麼不僅能解決能源問題，連環保問題也可一併解決。

太陽能主要有兩種能量形式：光能與熱能。而利用太陽能來發電的技術主要有三種，第一種是利用特殊的半導體材料，製造出太陽電池，太陽電池經由光線照射後，把光能直接轉換成電能。第二種方法是把太陽能轉換成熱能，然後再利用熱能發電。第三種方法是利用太陽能與化學能間的轉換，把水分解成氫和氧，然後利用氫來發電。近年來，由於半導體工業的蓬勃發展，使得製作太陽電池的技術快速進步，製造成本亦逐漸降低，其在未來的電力結構中必會占有一席重要的地位。

太陽電池的產生

太陽電池是一種能量轉換的光電元件，它是經由太陽光照射後，把光的能量轉換成電能，此種光電元件稱為太陽電池（solar cell）。從物理學的角度來看，有人稱之為光伏電池（photovoltaic）。

太陽電池的種類繁多，若依材料來區分，可分為單晶矽；多晶矽；非晶矽；三至五族，包括：砷化鎵、磷化銻、磷化鎵銻；二至六族，包括：碲化鎘、硒化銻銅等。

第一個太陽電池是在 1954 年由美國貝爾實驗室（Bell Lab.）所製造出來的，當時是希望能替偏遠地區的通訊系統提供電源。不過由於效率太低（只有 6%），而且造價太高（357 美元 / 瓦），因而缺乏商業上的價值。

就在此時，開創人類歷史的另一項計畫—太空計畫也正如火如荼地進行著，而因為太陽電池具有不可取代的重要性，使得太陽電池得以找到另一片發展的天空。從 1957 年蘇聯發射第一顆人造衛星開始，太陽電池就肩負著太空飛行任務中一項重要的任務，一直到 1969 年美國人登陸月球，太陽電池的發展可以說達到巔峰。

可是因為太陽電池高昂的造價，相對地使得太陽電池的應用範圍受到限制。1970 年代初，由於中東戰爭，石油禁運，工業國家的石油供應中斷造成能源危機，

迫使人們不得不再度重視太陽電池應用於電力系統的可行性。

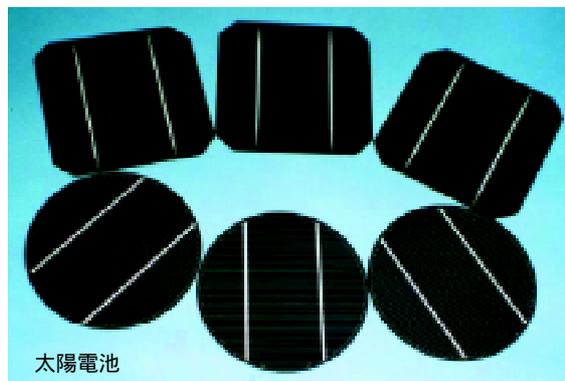
1990 年以後，人們開始將太陽電池發電與民生用電結合，於是「與市電併聯型太陽電池發電系統」（grid-connected photovoltaic system）開始推廣。此即把太陽電池與建築物的設計整合在一起，並與傳統的電力系統相連結，如此我們就可以從這兩種方式取得電力，除了可以減少尖峰用電的負荷外，剩餘的電力還可儲存或是回售給電力公司。此一發電系統的建立可以舒緩籌建大型發電廠的壓



架設於南台科技大學的 10 千瓦太陽能發電系統

士林電機公司

力，避免土地徵收的困難與環境的破壞。近年來，不斷研發出太陽電池的新結構與製造方法，其目的不外乎是希望能降低成本，並提高效率。如此，太陽電池才可能全面普及，成為電力系統的主要來源。



太陽電池

士林電機公司

只有 6%。

太陽電池的發電原理，可以用一個構造最簡單的單晶矽太陽電池來說明。所謂的單晶矽，就是指矽原子與矽原子間按照順序規則的排列。我們知道，矽的原子序為十四，其電子組態為 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$

太陽電池的應用

太陽電池應用的範圍非常廣，如(1)電力：大功率發電系統、家庭發電系統等，(2)通訊：無線電力、無線通訊等，(3)消費性電子產品：計算機、手表、電動玩具、收音機等，(4)交通運輸：汽車、船舶、交通號誌、道路照明、燈塔等，(5)農業：抽水機、灌溉等，(6)其他：冷藏疫苗、茶葉烘焙、學校用電等。

隨著電子科技的快速發展，各種電子產品也是日新月異，其中通訊與資訊產品，更成為人類日常生活中，不可缺少的用品，諸如手機、掌上型電腦與個人數位助理等，這些電子產品都必須要有電源供應才能發揮功能。因為電池沒電而英雄無用武之地的窘境，相信很多人都曾發生過，而這個問題即將在太陽能衣的上市後成為歷史。

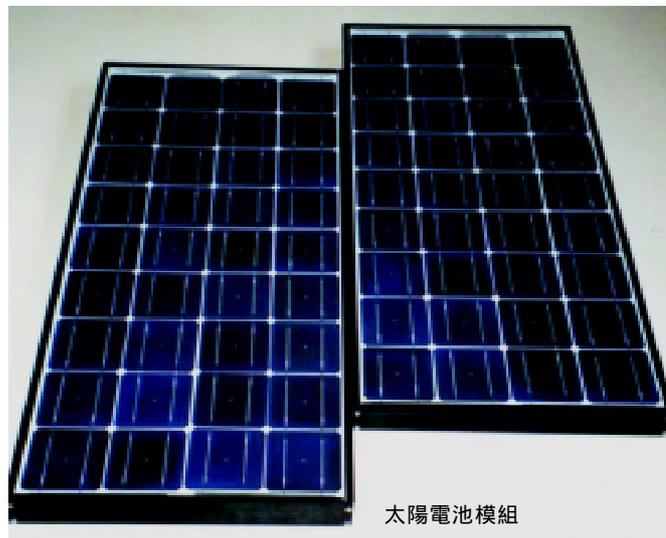
最近德國的科學家洛雅恩與拉恩林研製出一種太陽能纖維，是由三層非結晶矽與兩層導電電極所組成的。當太陽光照射時，上層的電極產生自由電子，再經由內建電場的作用，穿過中間的非結晶矽層而抵達下層的電極，即形成一個基本的電池結構。據說這種太陽能纖維製成的衣服還可以放入洗衣機內洗滌呢！未來只要人們穿上這種太陽能衣，就不用再擔心隨身攜帶的電子產品面臨沒電而停擺的命運了。

太陽電池的發電原理

早在 1930 年代就已發現電解質電池照光時電流將會增加，證明了光生電流的現象，但一直到 1954 年第一個矽製的太陽電池才產生，當時的效率

$3p^2$ ，其中內層的 10 個電子 ($1s^2 2s^2 2p^6$)，被原子核緊密的束縛著，而外層的 4 個電子 ($3s^2 3p^2$) 受到原子核的束縛較小，如果得到足夠的能量，則可使其脫離原子核的束縛而成為自由電子，矽原子外層的這四個電子又稱為價電子，而矽的晶體結構是屬於鑽石晶體結構，每個矽原子與鄰近的四個矽原子形成共價鍵，如果我們在純矽中摻入三價的雜質原子，例如硼原子，此三價的雜質原子取代矽原子的位置，因為硼原子只有三個價電子可與鄰近的矽原子形成共價鍵，所以在硼原子的周圍會產生一個空缺，可供電子填補，此一可填補電子的空缺即稱為電洞。

電洞在電學中可視為一可移動且帶正電的載子，因為電洞可以接受一個電子，所以摻入的三價雜質原子又稱為受體，而一個摻入三價雜質的半導體，即稱為 p 型半導體。

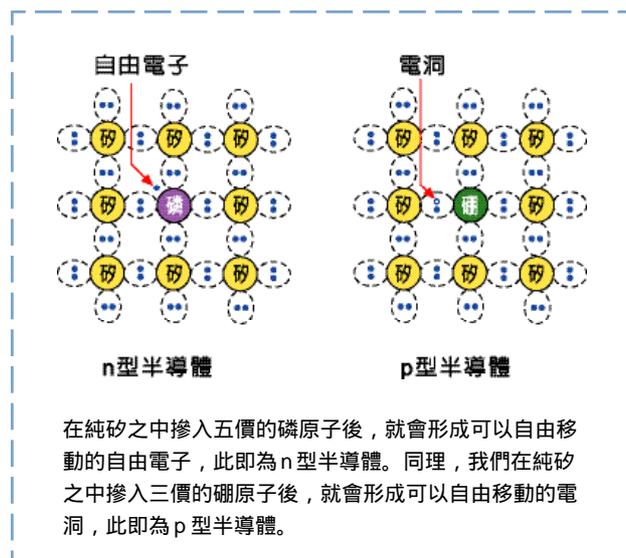


太陽電池模組

士林電機公司

同理，如果我們在純矽中摻入五價的雜質原子，例如磷原子，此五價的雜質原子，取代矽原子的位置，因為磷原子具有五個價電子，其中的四個價電子分別與鄰近的四個矽原子形成共價鍵，而多出一個自由電子，該電子為一帶負電的載子，因為五價的雜質原子可提供一個自由電子，故稱此五價的雜質原子為施體，而摻了施體的半導體稱為 n 型半導體。

一般太陽電池是以摻雜少量硼原子的 p 型半導體當做基板，然後再用高溫熱擴散的方法，把濃度略高於硼的磷摻入 p 型基板內，如此即可形成一 p-n 界面，而 p-n 界面是由帶正電的施體離子與帶負電的受體離子所組成。在該正、負離子所在的區域內，存在著一個內建電位，可驅趕在此區域中的可移動載子，故此區域稱之為空乏區。當太陽光照射到一 p-n 結構的半導體時，光子所提供的能量可能會把半導體中的電子激發出來，產生電子—電洞對，電子與電洞均會受到內建電位的影響，電洞往電場的方向移動，而電子則往相反的方向移動。如果我們用導線將此太陽電池與一負載連接起來，形成一個迴路，就會有電流流過負載，這就是太陽電池發電的原理。



太陽電池的材料

太陽輻射之光譜，主要是以可見光為中心，其分布範圍從 0.3 微米之紫外光到數微米之紅外光為主，若換算成光子的能量，則約在 0.4 電子伏特到 4 電子伏特之間，當光子的能量小於半導體的能隙，則光子不被半導體吸收，此時半導體對光子而言是透明的。當光子的能量大於半導體的能隙，則相當於半導體能隙的能量將被半導體吸收，產生電子—電洞對，而其餘的能量則以熱的形式消耗掉。

因此，製作太陽電池材料的能隙，必須要仔細地選擇，才能有效地產生電子—電洞對。一般來說，理想的太陽電池材料必須具備有下列特性：能隙在 1.1 電子伏特到 1.7 電子伏特之間；直接能隙半導體；組成的材料無毒性；可利用薄膜沈積的技術，並可大面積製造；有良好的光電轉換效率；具有長時期的穩定性。

我們知道矽的能隙為 1.12 電子伏特，且矽為間接能隙半導體，它對光的吸收性不好，所以矽在這方面並非是最理想的材料。但是在另一方面，矽乃地球上含量第二豐富的元素，且無毒性，它的氧化物穩定又不具水溶性。因此，矽在半導體工業上，具有深厚的基礎，目前太陽電池仍舊以矽為主要材料。

矽原子依據不同的結晶方式，可區分成單晶矽、多晶矽及非晶矽。單晶矽的組成原子均按照一定的規則，週期性地排列，它的製作方法是把矽金屬（純度為 99.99999999%，11 個 9）熔融於石英坩堝中，然後把晶種插入液面，以每分鐘 2—20 轉的速率旋轉，同時以每分鐘 0.3—10 毫米的速度緩慢的往上拉引，如此即可形成一直徑 4—8 吋單晶矽錠，此製作方法稱為柴氏長晶法（Czochralski method）。用單晶矽製成的太陽電池，效率高且性能穩定，目前已廣泛應用於太空及陸地上。

多晶矽的矽原子堆積方式不只一種，它是由多種不同排列方向的單晶所組成。多晶矽是以熔融的矽鑄造固化而成，因其製程簡單，所以成本較低。目前由多晶矽所製作出的太陽電池產量，已經逐漸超越單晶矽的太陽電池。

非晶矽乃是指矽原子的排列非常紊亂，沒有規則可循。一般非晶矽是以電漿式化學氣相沈積法，在玻璃等基板上成長厚度約 1 微米左右的非晶矽薄膜。因為非晶

矽對光的吸收性比矽強約 500 倍，所以只需要薄薄的一層就可以把光子的能量有效地吸收，且不需要使用昂貴的結晶矽基板，而用較便宜的玻璃、陶瓷或是金屬等基板，如此不僅可以節省大量的材料成本，也使得製作大面積的太陽電池成為可能（結晶矽太陽電池的面積受限於矽晶圓的尺寸）。

當非晶矽太陽電池剛發明時，由於具有低成本、製作簡易且可大面積製造等優點，有學者預言其可能取代結晶矽太陽電池，因此曾經引起廠商的興趣投入生產，從 1985 年到 1990 年初非晶矽太陽電池的比例曾到達全世界太陽電池總產量的三分之一。

但是，近幾年非晶矽太陽電池的生產比例有逐漸下降的趨勢，主要因素就是穩定度的問題。由於非晶矽材料在強烈的光線照射下，會產生缺陷而導致電流下降，造成供電不穩定。雖然目前有人採用雙重界面電池來提升它的穩定度，不過，在消費者的接受度上，仍有待努力。

除了上述以矽為主的太陽電池材料外，還有各種不同的化合物半導體材料陸續被研發出來。主要有：砷化鎵、磷化鎵、砷化鎵銻、碲化鎵、硒化鎵銅、硒化鎵銻銅等。這些材料所製作出的太陽電池都有很高的效率，但是因為製程的成本較高，所以只用在少數特殊的用途上。

太陽電池的效率

要判別一個太陽電池性能的好壞，最重要的就是轉換效率。要如何製造才能提升太陽電池的轉換效率，一直是科學界努力的目標。主要的做法可從下列幾個方向著手：

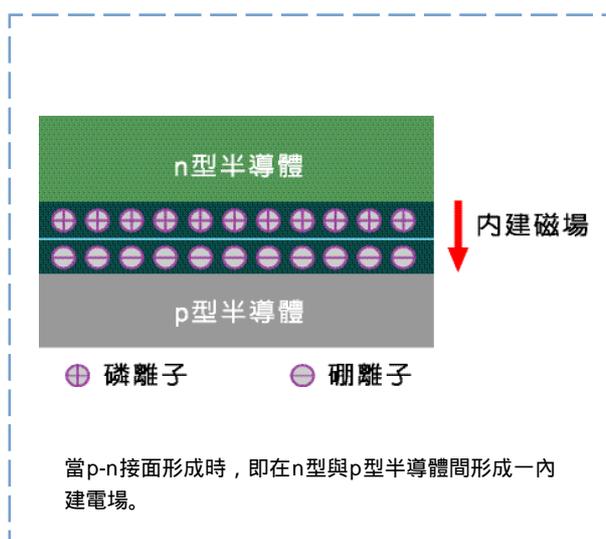
- (1) 將不透光的金屬電極作成手指狀或是網狀，以減少光線的反射，使大部分的入射陽光都能進入半導體材料中。
- (2) 將表面製成金字塔的結構，並加入抗反射層，以減少光的反射量。
- (3) 將金屬電極埋入基板中，以增加接觸面積，減少串聯電阻。
- (4) 點接觸式太陽電池，此電池的特點為電極均做在同

一面，如此可增加入射光的面積，且易於鍍線。

- (5) 將太陽電池製成串疊型電池，把兩個或兩個以上的元件堆疊起來，能夠吸收較高能量光譜的電池放在上層，吸收較低能量光譜的電池放在下層，透過不同材料的電池，將光子的能量層層吸收。

目前實驗室所製造出的太陽電池，其轉換效率幾乎可以達到最佳的水準，只可惜它們的製造過程多半過於複雜，而且價格昂貴，故未大量生產。

目前各種太陽電池的最高效率為：單晶矽 24.7%、多晶矽 19.8%、非晶矽 14.5%、砷化鎵 25.7%、硒化鎵銻銅 18.8%、多界面串疊型 33.3%。由於材料特性上的限制，對於結晶矽太陽電池的效率，幾乎已經達到最佳的水準，要再進一步提升的空間有限。目前比較具有



成長潛力的應屬多界面的串疊型太陽電池，根據美國能源部研究人員的預測，到 2005 年時，其效率將可達到 40% 以上。

太陽電池的發展

受到能源危機及溫室效應的雙重影響，目前世界各國均大力推動再生能源的開發，其中太陽電池的市場每年均有 13% 左右的穩定成長。2000 年全世界的銷售量已經達到 279 百萬瓦，生產地以美國、日本及歐洲等為主。生產量較大的公司包括：Kyocera、聲寶、西門子、BP Solar、Solarex 及三洋等，其中 Kyocera 與聲寶

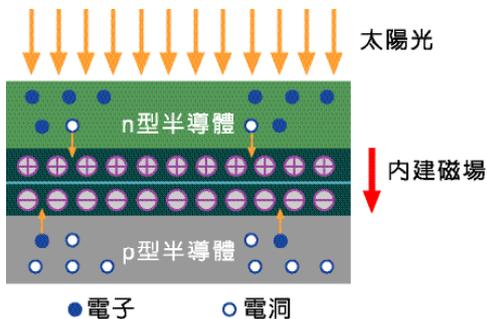
兩家公司 1999 年的產量均已超過 30 百萬瓦，各占全世界總產量的 15% 以上。聲寶公司在 2000 年的產量更達到 50 百萬瓦，為目前全世界太陽電池產量最大的公司。

當前推行太陽能發電最積極的國家首推日本，日本的土地貧瘠，天然資源匱乏，因此政府非常鼓勵人民使用再生能源。1994 年日本實施獎助辦法，每戶 3 千瓦的「與市電併聯型太陽電池發電系統」，政府補助 50% (逐年遞減)。在政府的獎助之下，太陽電池的發電成本幾乎與市電價格相當，而且沒有環境污染的問題，所以非常受到當地居民的歡迎。

由於申請裝置的戶數增加，使得系統成本逐年下降，因此，政府得以用相同的預算補助更多的戶數裝置。據統計，從 1994 年裝置戶數 539 戶，發電量 1.8 百萬瓦，到 1999 年的裝置戶數已超過 18000 戶，總發電量也超過 60 百萬瓦，預計到了 2003 年，裝置的戶數將可達到十萬戶，總發電量達 100 百萬瓦。由於政府的大力推廣，使得日本於 1999 年首度超越美國成為世界上最大的太陽電池生產國。

美國政府於 1997 年提出一個龐大的計畫，預計在 2010 年以前完成一百萬戶太陽能發電系統。其他諸如歐洲的德國、荷蘭、義大利，亞洲的印度、中國、伊朗等也都有類似太陽能屋的計畫正在執行。

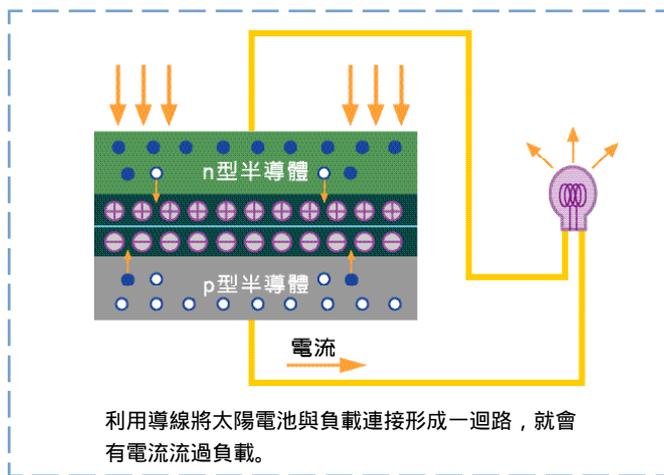
值得一提的是，菲律賓正在推動一個大型的太陽能發電計畫，由西班牙政府與英國的太陽能公司 (BP Solar) 和菲律賓政府簽署協議，耗資四千八百萬美元，為菲律賓南部地區一百五十個村落提供太陽能電源。菲律賓是個由七千多個島嶼組成的國家，雖然人口大多集中於二千八百個島嶼，但該國的電力公司卻只有對其中的二十七個島嶼提供電力服務。主要是因為地理環境的限制，使得鋪設電纜的成本太高，不符合經濟效益，而太陽能發電則不受地理環境的限



太陽光照射到半導體後其所產生的電子與電洞會被內建電場移往不同的方向。

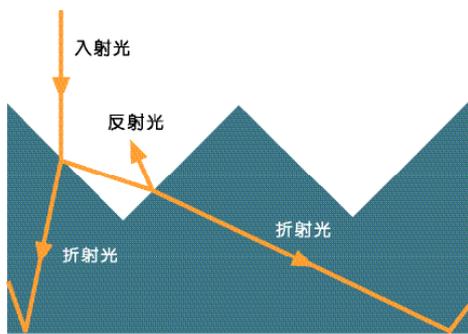
制，只要是日照良好的地區都可裝設。該計畫預計將可提供菲律賓偏遠地區的照明系統、抽水和灌溉系統、淨水及分配系統、冷藏疫苗和藥物等所需要的電源。如果能徹底落實此計畫，則意謂著即使在地球上最偏遠的角落，也能享受到人類文明的成果。

反觀國內，我國目前生產太陽電池的主要廠商包括光華、茂迪及士林電機等公司，其中光華公司自 1988 年開始即以生產非晶矽太陽電池為主，應用於計算機、手表及玩具等消費性電子產品，故市場需求不大。而茂迪公司則於 1999 年在台南科學工業園區設廠，主要生產單晶與多晶矽太陽電池。同時，工研院材料所已開發出太陽電池的製造及封裝技術，並將此技術移轉給茂迪及士林電機公司，以推廣國內的太陽能發電事業。此外，經濟部能源委員會從 1999 年 7 月起推行「太陽光電示範與推廣計畫」，預計 2004 年底前在國內設置 7 百萬瓦發電量的系統。



利用導線將太陽電池與負載連接形成一迴路，就會有電流流過負載。

台灣的天然資源匱乏，有 95% 以上的能源必須仰賴進口，而且台灣地處亞熱帶，日照情形良好，非常適合使用太陽能發電系統。就技術層次而言，台灣的半導體產業蓬勃發展，全世界排名第三，僅次於美國及日本。半導



將太陽電池的表面做成金字塔的形狀，可以使得太陽光充分被吸收。

體製造業的人力素質高，製程能力強，因此生產技術絕對不是問題。

目前推廣太陽能發電所遇到的最大障礙就是市電過於普及，一般民眾只要提出申請就可以很輕易地得到電力，而太陽能發電系統則必須花費數十萬元來裝設，在經濟價值的考量下，要推廣實在不容易。惟以長遠的角度來看，在環保意識的普及與能源危機的影響下，太陽能發電仍有很大的成長空間，未來只要發電成本能大幅下降，在有利可圖的情況下，以台灣優勢的條件，應該很輕易地就能夠趕上其他的國家，而在太陽電池市場上占有一席之地。

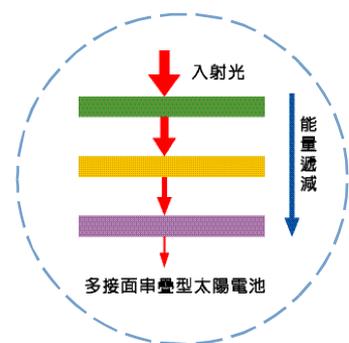
展望

太陽電池的一大缺點就是夜間不能發電的問題，日前即有日本的研究人員提出「用太陽電池與超導電線裝設全球供電系統」計畫(Global Energy Network Equipped with Solar Cells and International Superconductor Grids)，把太陽電池用超導電線連接建構一個世界規模的太陽能

發電系統，將太陽光可以照射到的地區，利用超導電線將電力傳送到黑夜的地區，即可解決夜裡不能發電問題。

美、日兩國正在進行「衛星太陽能發電廠」計畫 (Satellite Solar Power Station)，準備將數十億瓦之太陽電池，發射進入太空，由於在太空中可以免除黑夜、季節及氣候變化的影響，將太空中所獲的電力，以微波的方式連續不斷地傳回地球，地球上的微波接收站收到後，再將微波轉換成電能。

目前太陽電池已經在一些領域中展現了優越的性能，隨著應用範圍的增加，將使工業界的生產規模擴大，並使成本逐漸降低。由於生產技術的改善，及人類對於無污染能源的殷切需求，更加使得太陽電池有可能成為未來能源的主要供應者。



串疊型太陽電池的結構，可充分吸收不同能量的太陽光譜。

人類的科技水準一直都在不斷的超越與突破，只要有需求，就會有發明。太陽電池肩負著創造人類歷史的神聖使命，相信在各研發團隊不斷的努力下，效率更高、價格更便宜的太陽電池，將會陸續發展出來。

張品全

南榮技術學院電子工程系

英國能源部長威爾森 (Brian Wilson) 於二〇〇一年十一月一日宣布將投資三百萬英鎊興建大型太陽能建築物 (solar building)，歡迎有興趣的建商競標。此項計畫為英政府早先執行的「太陽能住宅試驗計畫」 (solar housing trial) 之後續計畫，在前一項計畫中，政府已提供全英五百四十棟民宅五百四十萬英鎊之補助。此次三百萬英鎊的經費將用於在全英國興建十二至十五處公共建築，如公立學校、大學、醫院、社區活動中心、博物館及教堂等。(<http://www.dti.gov.uk>；駐英台北代表處科技組提供)