

17. 太陽能電池

參考資料：維基百科 <http://zh.wikipedia.org/>

在 1930 年代，首次發現對電解質電池照光後，電流會隨著增加的光生電流現象。太陽能電池(Solar Cell)便是利用這個特性所製造出來的光電元件，而使用的材料也是半導體。

對地球而言，太陽的能量是用之不盡、取之不竭的，估計從太陽表面所放射出來的功率約 3.8×10^{23} 仟瓦，而實際能到達地球表面的太陽光，必須經過一億五千萬公里的跋涉，並穿過大氣層，所提供地球的功率約有 1.8×10^{14} 仟瓦，為全球平均電力的十萬倍。若能有效的運用太陽能，則可解決消耗性能源及其所引發的環保問題，太陽能電池正是在這個動機下所開發出的產品。

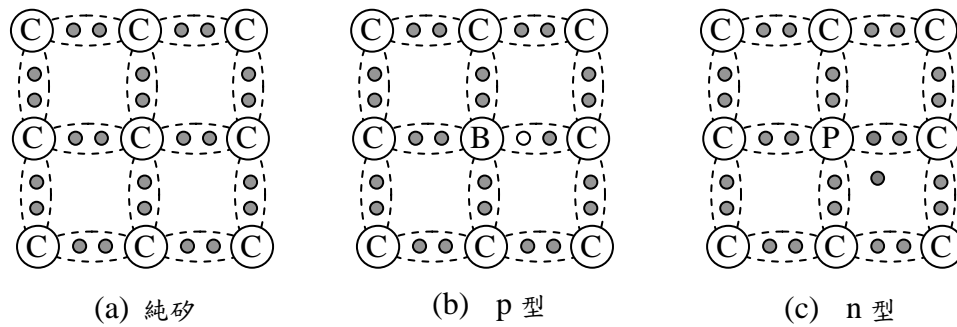
在 1954 年，美國為了偏遠地區的用電問題，由貝爾(Bell)實驗室研發出太陽能電池的雛型，當時的太陽能電池只有 6% 的效率，且製造成本過高，每瓦超出 350 美元，缺乏商業價值，因此難以推廣。後來在 1970 年代，美蘇開始太空科技競爭，由於太陽能電池成為必備的能源，所以研發持續進行，但是礙於成本，一般民生及工業上的應用仍然受到限制。直到 1970 年代初期，中東戰爭爆發，石油的禁運，造成能源危機，工業國家的石油供應困難，此時人們不得不再度研究將太陽能電池應用於電力系統的可行性。

近年來，太陽能電池不斷有新的結構與製造技術被研發出來，試圖降低成本，提高效率，讓太陽能電池全面普及，成為電力系統的主要來源，底下將介紹如何將半導體設計成太陽能電池。

從物理學的角度來看，太陽能電池把光的能量轉換成電能，因此可稱為光伏電池(PV, Photovoltaic)，其中 photo 與 voltaic 分別代表光與電力。在光-電轉換過程中，太陽能電池無法將入射光完全吸收，再轉換成電流，這是因為太陽的光譜主要分佈在紫外光到紅外光之間，相對應的光子能量約在 0.4 eV (電子伏特) 到 4 eV ，當光子的能量小於半導體的能隙(矽約在 1.12 eV)，則光子不被吸收；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。在實際狀況下，約有一半左右的入射光，因能量過低，無法在半導體中產生電子-電洞對，而另一半被吸收的入射光，除了產生電子-電洞對所需的能量外，又有半數的能量以熱的形式散失，故單一電池的最高效率只有大約 25% 左右，目前在實驗室中所製作的太陽能電池，其效率幾乎可達理論值的最高水準。

目前已開發的太陽能電池種類繁多，依材料區分，主要可分為單晶矽(single crystal silicon)、多晶矽(polycrystal silicon)、及非晶矽(amorphous silicon，簡稱 a-Si)，其中單晶矽具有最簡單的構造，底下即以單晶矽太陽能電池來說明其發電原理。

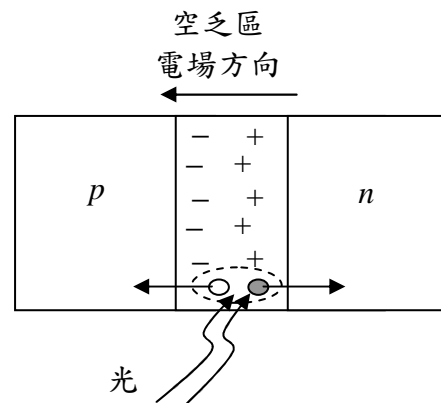
所謂的單晶矽，就是指矽原子與矽原子間按照順序規則的排列。矽(Si)之原子序為 14，電子組態為 $[1s^2 2s^2 2p^6] 3s^2 3p^2$ ，包括 10 個內層電子 $[1s^2 2s^2 2p^6]$ 及 4 個外層電子 $3s^2 3p^2$ ，其中 10 個內層電子被原子核緊緊的束縛住，外層的 4 個電子則因為受原子核的束縛較小，在獲得足夠的能量後，即可脫離束縛，成為自由電子或稱為價電子。



矽晶體的鑽石結構在前面已經談過，但為了文章完整性，此處再重述一遍，不過在結構圖與內容方面都稍加修飾，嘗試以不同的方式呈現。首先為了方便，以平面展開來建構立體的矽晶體，每個矽原子與鄰近的四個矽原子形成共價鍵，如圖(a)所示，此種結構十分穩定及堅硬。若是在純矽中摻入少量的三價原子，如圖(b)中的硼原子(B)，來取代矽原子，則由於硼原子只有三個價電子可與鄰近的矽原子形成共價鍵，使得硼原子的周圍產生一個空缺，稱為電洞，可供其他電子填補。電洞可視為帶正電的載子(carrier)，因為可接受電子，所以三價的雜質原子稱為受體(acceptor)，摻了受體的半導體為 *p* 型半導體。

若是在純矽中摻入少數五價的雜質原子，如圖(c)中之磷原子(P)，來取代矽原子位置，則因為磷原子的五個價電子中，只有四個分別與鄰近的四個矽原子形成共價鍵，使得另一個價電子可以自由移動，亦即五價的雜質原子可提供一個帶負電的自由電子，所以稱五價的雜質原子為施體(donor)，而摻了施體的半導體為 *n* 型半導體。

太陽能電池是以摻雜少量硼原子的 *p* 型半導體當作基板，再採用高溫的熱擴散法，把濃度略高於硼的磷摻入 *p* 型基板內，形成 *p-n* 接面，由帶正電的施體離子與帶負電的受體離子所組成，並形成電場，產生內建電位，將可移動的載子驅趕出去，故稱此區域為空乏區。



當太陽光照射到具有 *p-n* 接面的半導體時，部分足夠大能量的光子會激發半導體，產生電子-電洞對，接著在內建電位的影響下，電洞順著電場的方向移動，電子則往反方向移動。若用導線將此太陽能電池連接至負載兩端，形成迴路後就會有電流通過負載，讓負載工作，這就是

太陽能電池的發電原理。

一般來說，理想的太陽電池材料必須具備以下的特性：(1)適當的能隙，約在 $1.1eV$ 到 $1.7eV$ 之間，(2)材料無毒性，(3)可大面積製造，(4)良好的光電轉換效率，(5)具長期穩定性。由於矽乃地球上蘊含量第二的元素，具備適當能隙 $1.12eV$ ，無毒性，氧化物既穩定又不具水溶性，更重要的是矽半導體的發展，擁有深厚的基礎，所以目前太陽能電池是以矽為主要的製造材料。

隨著電子科技的快速發展，各種電子產品也是日新月異，而且都必須要有穩定的電源供應才能發揮功能，太陽能電池當然成為最佳選擇。目前太陽能電池的應用，大概可分為下列幾項：

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、手錶、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

事實上，多利用太陽能電池，便能減少石油及核能發電，也就可以抑制廢料污染，避免影響生態環境，因此使用太陽能電池既清潔又衛生，為了人類的未來與生存，如何開發出既安全又經濟的太陽能電池發電設備，將會成為一個重要的研究課題。