



第一章 導論

黃惠良

清華大學電子所教授

- 1.1 太陽電池為何那麼重要？
- 1.2 太陽電池的一些小（但是很重要）故事
- 1.3 臺灣太陽電池產業的緣起與挑戰
- 1.4 太陽電池技術總論與評價
- 1.5 太陽電池產業未來致勝的策略

1.1 太陽電池為什麼那麼重要？

1.1.1 市場前景

由於地球暖化現象日益嚴重，世界各國對二氧化碳的排放量均採嚴格的管制，再加上石油匱乏，40 年後將消耗殆盡，其價格持續攀升，這些因素都促成了對替代能源的重視與需求，也激發了太陽電池產業的蓬勃發展。過去 5 年來，太陽電池產量平均以 36% 的高成長率逐年增加，未來如果矽材料每年可供應 6GW-10GW 使得短缺情況大幅改善後，每瓦裝置成本將可由 7 美元降至 3.5 美元；更進一步而言，如果多晶矽太陽電池的轉換效率超過 18%，以日曬時間平均 4.2 小時來計算，假設長期投資報酬率為 6%，則每度發電成本會降到 0.23 美元，此與經濟合作發展組織（OECD）國家尖峰發電成本一樣。此即所謂「黃金交叉」，預計在 2015 年前後會發生如圖 1.1，太陽電池市場將因此而有爆炸性的發展，從此太陽電池將成為發電（亦是能源）的主力，其前途是無可限量的。

當前太陽能發電占總能源比例極小，僅有 0.037%，圖 1.2 是全球能源使用量及其組成展望圖，由該圖可看到太陽能發電於 2040 年占所有能源的比例

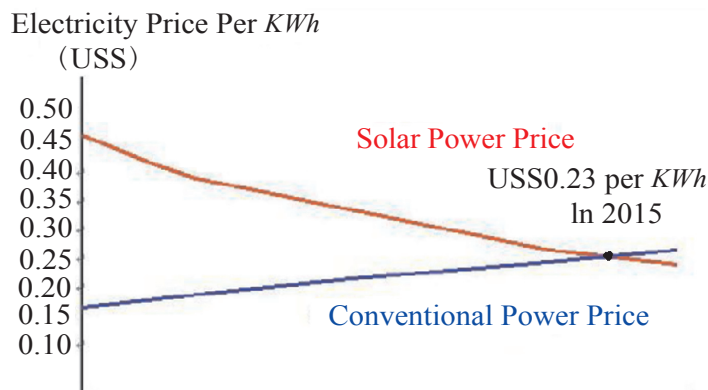


圖 1.1 傳統發電與太陽能發電之成本趨勢圖

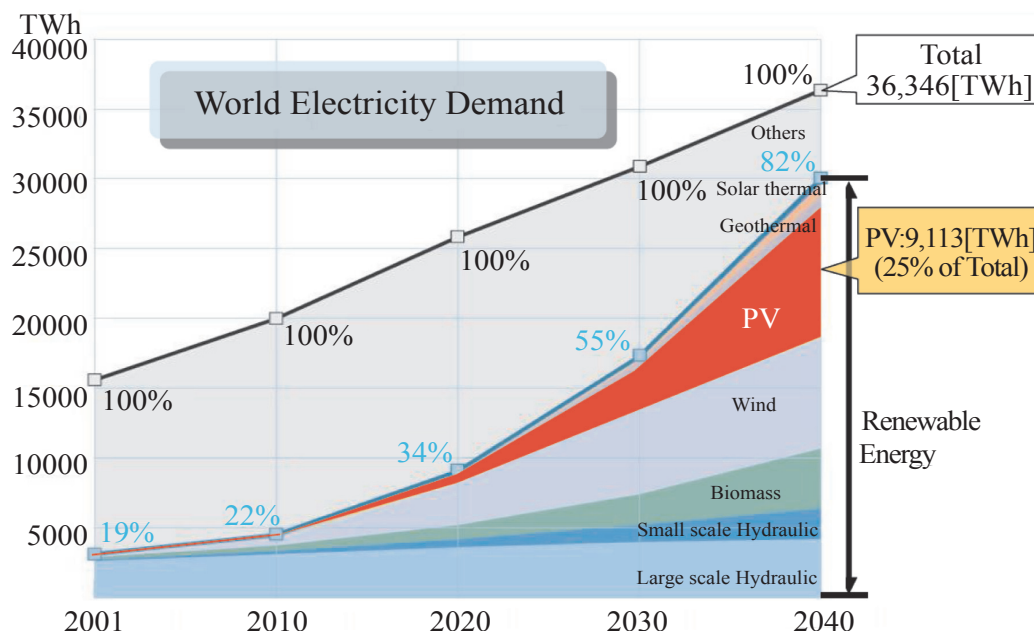


圖 1.2 全球能源使用量及其組成展望圖（來源：SHARP, Japan）

預估約為 25%，另根據德國世界變遷研究委員會（WBGU）的預測，到 2100 年該比例更可達 50%。回到近年來太陽電池使用的情形，以 2006 年為例，圖 1.3 顯示世界各國使用太陽電池的用量比例。圖 1.4 則明示由 1999 年至 2007 年間全球太陽電池累計之裝置容量，其中的小插圖為 2007 年之裝置容量總共為 8 GW，其中以德、日、美等三國為最大宗，從歷年的裝置容量趨勢來看，平均成長率（CAGR）高達 55%，此可解釋為何太陽電池產業前仆後繼、方興未艾。

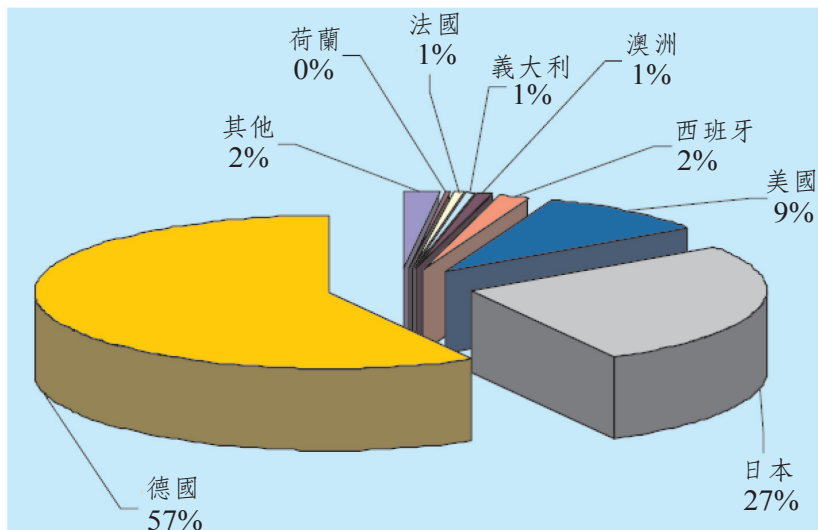


圖 1.3 2006 年太陽電池市場分布圖（來源：JPEA, March 2007）

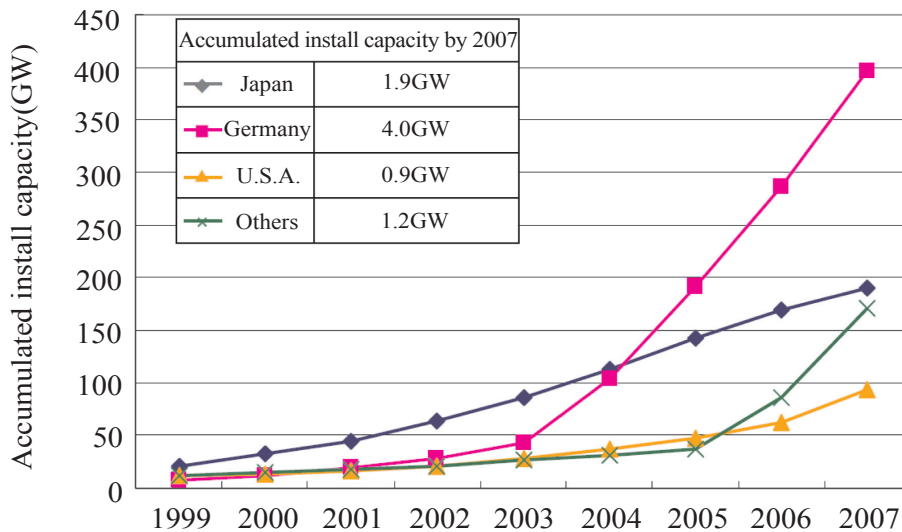


圖 1.4 1999 ~ 2007 年全球各國太陽電池之裝置容量（來源：SHARP, Japan）

1.1.2 給小朋友的一段話

筆者多年前寫了一本書《太陽能》給小朋友，其中有一段話對太陽有所敘述，其涵義是太陽能無限，甚為有趣，茲擷取於下：

太陽能是地球的生命泉源

不知道各位有沒有去阿里山看過日出？清晨五點鐘左右，如果你去祝山觀日峯面對著清澈的雲海，觀賞絢爛的太陽從山背後一下子閃耀跳了出來，大放光芒，那份亮麗一定會逼得你張不開眼睛，那份心情是何等地令人悸動！你有沒有想過這光芒四射的太陽對於生物及大自然生態究竟有什麼影響及重要性呢？

事實上，射到地面的太陽能，對地球的生態造成決定性的影響，在生物界，動植物就是靠著太陽能來維持生命的。植物將水和二氧化碳藉著光合作用製成碳水化合物（有機物），並且同時放出氧氣；動物是吸進新鮮空氣中的氧氣而吐出二氧化碳。所以植物是靠這些碳水化合物來提供能量的來源，而動物是靠著氧氣來維持生命的。換句話說，一切生物能量的最根本來源，還是太陽能。



1.2 太陽電池發展的一些小（但很重要）的故事

1.2.1 太陽電池在美國的故事（也是 J. J. Loferski 的故事）

1954 年是很重要的一年，美國貝爾實驗室（Bell Laboratories）有兩位研究員發表應用矽 P/N 接面（Junction）照光即可發電，取其名為太陽電池（Solar Cell）。同年同月美國 RCA 公司兩位研究員 J. J. Loferski 與 R. Rarapport 亦發表矽 P/N 接面照光發電的研究成果，應其主管要求，取名為 Nuclear Battery（時為核子時代，符合當年的時尚），從此開啟太陽電池的新紀元。

稍後 J. J. Loferski 離開 RCA 公司，任教於 Brown 大學，一直以太陽電池的研究為其一生的志業。Loferski 教授除了發明矽太陽電池之外，亦發明砷化鎵（GaAs）太陽電池，同時也是第一位建立太陽電池理論體系者（準確預測太陽電池效率與半導體能隙之間的關係）。Loferski 教授在 Brown 大學時期曾經接受美國軍方資助，建立 Vander Graff 加速器以模擬太陽電池在太空中各種輻射之實驗與輻射防護。這裡面還有一個小故事，在 1960 年初，是原子能極為盛行的時代，當時美國所發展的人造衛星需要配備可以長期使用的能源系統，為此曾組織一個委員會，其成員有 20 人，其中除了 Loferski 教授及其他兩位之外，幾乎全都主張應用小型原子爐作為衛星的能源動力，當時 Loferski 教授建議發展太陽電池面板作為人造衛星之電源，最後終於說服其他委員，開啟太陽電池在人造衛星上的應用，並延續至今日。否則，衛星內置一小型原子爐在太空軌道繞行，終有一天會掉落到地球表面，其後果將不堪設想。

此後，Loferski 教授陸續從事 CuS/CdS、Si Grating Cells、CIGS 與 Tandem Cells 等太陽電池相關研究的創新開發，逾 48 年不懈（為四位太陽電池發明人之中唯一持續到他的生命盡頭者），舉凡太陽電池發展的重要里程碑都有他的足跡與貢獻。因此，Loferski 教授成為首屆 IEEE William Cherry Award 的獲獎者，也獲入列太陽電池名人堂（Hall of Fame）的榮耀，世稱 Loferski 為「太陽電池之父」實不過譽。

Loferski 生前喜歡臺灣，一生來臺 18 次，1994 ～ 1995 年在新竹清華大學擔任傑出講座教授一年。

1.2.2 太陽電池在臺灣的故事

1976 年，筆者在 Loferski 教授指導下研發新型的 CuS/CdS 薄膜太陽電池，獲博士學位後返臺任教於清華大學。時值第一次能源危機，油價高漲。筆者擔任原委會核能研究所顧問，指導矽晶太陽電池之發展暨應用，單晶矽太陽電池最高效率達 16%，亦自製太陽電池板，作為電動摩托車充電之用，行駛中科院院區歷時兩年，非常順利。1980 至 1995 年間，擔任工研院太陽電池小組顧問，指導其非晶矽太陽電池之發展。1980 年，筆者與洪傳獻（時任工研院太陽電池小組主任）在 *Journal of Solar Cells* 發表論證臺灣太陽電池發展的策略，該文主張由油價來決定研發的方向，此即若油價貴的話，則單晶、多晶、非晶矽等太陽電池均可發展，而若油價降低，則只專注非晶矽太陽電池的發展，此一想法是基於非晶矽材料除了應用於太陽電池之外，亦可用於 TFT-LCD 及其他各式感測器。在該期間又參與指導我國第一個太陽屋的設計與建造，並發展出關鍵的軟硬體設施。1980 ～ 1986 年間，為因應太陽電池及半導體工業未來發展的需要，筆者主持國科會第一個科技整合計畫「矽烷計畫」，整合中科院、工研院、核能所、清大、臺大等 15 個團隊發展矽材料各層面的關鍵技術。

1995 ～ 1998 年間，筆者擔任中華一號衛星太陽電池面板的指導，奠定其順利運轉的基礎。而最有趣者，則為陪同工研院團隊以五日時間應玉山國家公園管理局之邀登玉山北峰勘測天候，當時憑藉軍用直升機之助將 4 KW 太陽電池面板運抵北峰裝置於氣象站屋頂，那是我國最高地點的太陽能發電裝置。

1.3 臺灣太陽電池產業之緣起與挑戰

1.3.1 臺灣太陽電池產業之發軔

臺灣太陽電池產業其實開始的很早（60 年代初），主要是再利用 4 吋的報廢矽晶片，從事擴散的製程，所產出的太陽電池作為手錶的一種能源，可惜此項發展未能持續。

1988 年，中研院葉玄院士由工研院能礦所所長退休，募集資金在新竹科學園區創立「光華非晶矽公司」從事 4KW 矽薄膜太陽電池的製造，產出各式消費性產品及路燈等所需的太陽電池，此項發展持續至今，為國際上極少數無政府補貼而能生存下來的太陽電池公司，延續太陽電池的香火而不綴。

直至 1993 年茂迪公司左元淮博士在南科設廠，成功製作單晶多晶矽太陽電池，進而成為股王。此外，中美矽晶公司亦成功轉型成為太陽電池矽晶片材料的主要供應者。

近年來由於油價高漲，各式太陽電池產業如雨後春筍快速發展，2008 年，臺灣的太陽電池裝置容量逾 1,800 MW，在國際上名列前茅。

1.3.2 臺灣太陽電池產業的挑戰

衡諸臺灣各家太陽電池廠商之優勢與弱點，其要點如下：

臺灣 IC 產業生產技術成熟加上臺灣半導體人才充沛，將可在太陽電池產製的良率與產率上占有優勢；而且臺灣半導體產業長於將產能提高到極限，這在國際競爭上是一大優勢，近來由於太陽電池產業在臺灣起飛迅速，在質與量方面已逐漸形成群聚效益，而且臺灣精密機械工業已臻成熟，雖然在半導體 IC 及光電 LCD 方面由於其設備之複雜度與成熟度（尤其是產品良率的限制）仍難以與國際大廠抗衡，但在太陽電池光電方面，若自動化技術更加精進，則臺灣自製太陽電池生產設備（甚至整廠輸出）的機會將大幅度增高。如此，更有

可能在製造成本上予以降低而增加競爭力。

其次，太陽電池產製將面臨逐年降價的壓力，因此更有機會藉由製造成本的降低打開市場而增加市場占有率。在矽晶圓太陽電池方面則面臨兩項考驗，其一為太陽電池效率的提昇，其二是低價格多晶矽材料的充分供應。前者在德、日均有優良的研發架構，例如在德國有 University of Constance（學校）、Fraunhofer Institute（等同臺灣的工研院）及 Centrotherm（製程設備的製造及整合廠）三位一體而奠定並取得國際上的領導地位。

1.4 太陽電池技術總論與評價

目前太陽電池產品是以半導體為主要的光吸收材料，在元件結構上則使用 p 型與 n 型半導體所形成的 $p-n$ 接面產生內在電場，藉以分離帶負電荷的電子與帶正電荷的電洞至兩端點而生電壓。由於結晶矽材料與元件在技術的成熟度方面領先其他半導體材料，最早期的太陽電池即為結晶矽所製成，直到近幾年結晶矽太陽電池仍有大約 90% 的市場占有率，除了技術與投資門檻較低之外，矽原料不虞匱乏等，都是造成其市占率居高的主因。

在結晶矽太陽電池之後，大約 1980 年左右開始有非晶矽薄膜太陽電池產品導入市場，率先應用在小型電子產品如計算機、手錶等，接著因技術演進而有面積的太陽電池模組用於建築物，甚至以其可撓曲之特性進而創造更寬廣多元的應用。只要是具有直接能隙的半導體材料，其光吸收係數很高，如 GaAs、CdTe、CIGS 等，都可以做為薄膜太陽電池結構中的光吸收層，厚度僅需數個微米 (μm)。比起具間接能隙的結晶矽材料一般需要數百微米的厚度，薄膜太陽電池用料較少，再加上結晶矽原料價格居高不下，在材料成本上會顯著低於結晶矽太陽電池，若未來技術成熟度和自主性提升，將有利於市占率的提高，圖 1.5 即為日本 Sharp 公司對不同形式太陽電池的產量預測，以 2012 年為例，薄膜太陽電池的市占率將有 40%，相對於結晶矽太陽電池的 55%，

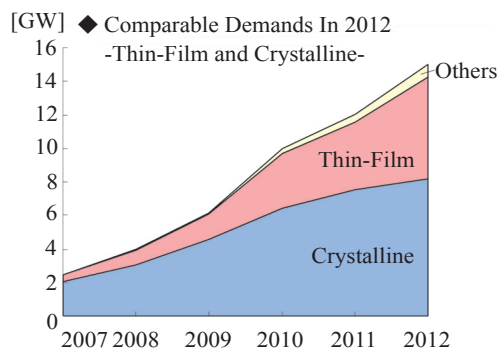


圖 1.5 日本 Sharp 公司對不同形式太陽電池的產量展望圖

與目前的狀況有明顯的差別。

目前現有各種已量產或接近量產的半導體太陽電池如表 1.1 所示，該表格列出各種太陽電池的製程方法、小面積電池與大面積模組的能量轉換效率、穩定性評比等，並指出各太陽電池所面臨的問題或未來可能有所突破之處，提供讀者參考。

太陽電池是否能廣泛使用做為一般能源，關聯到它的發電成本是否能與市電競爭。大量生產之下確有大幅降低成本的空間見表 1.2，而因技術的精進來提升電池效率也有助於成本下降，見圖 1.6。圖 1.7 中分別顯示 2007 ~ 2030 年間太陽能、核能、火力的發電成本預估，火力發電因石油存量匱乏導致成本逐年增加，核能發電成本得以持平，至於太陽能發電則如上所述，因量產與技術進展而降低其成本，到 2030 年將可能與核能發電成本相當。

表 1.1 現有半導體太陽電池產品之比較（資料來源：美國 ISET 公司）

	Crystalline	Thin Films			
Material	Si	a-Si	CdTe	CIGS	Thin film Si
Manufacturing Process	Crystal Growth and Doping	PECVD	Close Space Sublimation/ Vapor Transport	Evaporation/ Selenization	PECVD