

中華管理評論 國際學報

Web Journal of Chinese Management Review

2008年8月第十一卷三期 • Vol. 11, No. 3, Aug 2008

全球能源產業趨勢研究——以台灣太陽能光電產業為例

王啟秀 孔祥科 左玉婷

<http://cmr.ba.ouhk.edu.hk>

全球能源產業趨勢研究——以台灣太陽能 光電產業為例

王啟秀 孔祥科 左玉婷

摘要

近年來石油的價格不斷攀升，各個國家無不在尋找替代資源，而石油價格逐漸上升的主要原因是石油的閒置生產能力的短缺、需求的急劇膨脹，和中東等石油產地局勢的動蕩，導致原油價格劇烈波動，加上石油並非「取之不盡、用之不竭」的能源，促使各個國家不得不出因應策略，如：德國提出的「再生能源法」、加州提出的「百萬屋頂法案」，目的就是節省能源，並開發出新能源。然而太陽能是近年來科學家發現最寶貴的資源，運用科技把太陽的熱能轉換成光能、電能，取代傳統的核能發電為世界各國帶來無限的商機，成功地為人類開闢了另一項資源。

本文目的，藉由探討世界各國太陽能產業發展狀況與趨勢，分析台灣太陽能產業的未來發展前景，及相關產業分析與營運模式。

關鍵字：太陽能光電產業、茂迪、益通光電

王啟秀 清雲科技大學企業管理系助理教授

孔祥科 清雲科技大學企業管理系助理教授

左玉婷 清雲科技大學經營管理研究所研究生

緒論

研究動機

石油在經過加工處理後，可以產生各種不同用途的油料，最重要的是用於引擎產生動力的燃料：如使用於汽車的汽油；使用於卡車、火車、船艇的柴油，其它還有潤滑油、重油、柏油等。另外，民生必需品食、衣、住、行、育、樂大部分都與石化產品息息相關，如輪胎、衣料、塑膠袋、電視機外殼、傢俱、玩具等，都是石油的產物，這些產物大大的提昇了人類的物質文明。因此，石油已經成為我們的生活必需品。

但是，近年來石油的價格不斷攀升，各個國家無不在尋找替代資源，而石油價格逐漸上升的主要原因是石油的閒置生產能力的短缺、需求的急劇膨脹，及中東等石油產地局勢的動盪，導致原油價格劇烈波動，加上石油並非「取之不盡、用之不竭」的能源，也使得各個國家不得不出因應策略，例如：德國提出的「再生能源法」、加州提出的「百萬屋頂法案」，為的就要是節省能源，並且開發出新能源，而太陽能就是其中之一。

太陽能被廣泛地使用，其中在太陽能如何運用高科技轉換成電能，而取代傳統的核能發電，是我們所關心的議題；在本研究中，將透過全世界的太陽能產業、技術，及台灣近年來太陽能產業的發展來了解目前全球使用太陽能的概況，及台灣的太陽能產業未來發展之前景。

研究目的

石油一直被認定是最重要的資源，而石油的出產國更被認定為最富有的國家；但是石油的生成，並非是透過人為或機器便可以無限量的生產，它必需是蘊含在地面下數千公里，及耗費幾千萬年的時間才會形成的一項寶貴資源。

但是隨著人類不斷的開採、取用，地球上的石油蘊含量已逐漸的減少，為了解決石油耗竭的難題，科學家不斷地尋找其他的替代品，以解決將來可能會發生的問題；而太陽能便是近年來科學家發現的最寶貴資源，運用科技把太陽的熱能轉換成光能、電能，成功地為人類開闢了另一項資源。

太陽能這項資源，不但擁有多項好處，也為世界各國帶來無限的商機，目前國際間運用太陽能的例子，諸如以太能陽的集熱板裝設在屋頂上，再透過特

殊的裝置轉換成電能，以提供人類在生活上的用電來源等；如何把太陽能來落實到民生上，是科學家未來的重要開發項目，本研究將探討目前世界各國在太陽能的運用、產業的發展狀況及未來的趨勢；及台灣在太陽能的發展技術上所佔的重要性，與相關的產業分析與營運模式。

全球太陽能光電發展歷程

由於近年來石油供應出現短缺的情形日益嚴重，人們把目光投向了再生能源，希望能夠改變人類的能源結構，而太陽能的獨特優勢成為人們重視的焦點，因太陽能可透過轉換裝置將熱能轉換成電能，轉換裝置受到太陽能照射時，大量的自由電子伴隨而生，將有陽光時所產生的電能先行儲存，以提供在無陽光時所需的能量。而世界各國也深感再生能源將是解決石油危機的辦法，因此各國在太陽能的發展上，更是一年比一年的先進。

何謂太陽能及太陽能之特性

何謂太陽能

太陽是一個巨大、久遠、無盡的能源。太陽所產生的光和熱，帶給地球多姿生態的原動力。因為有太陽源源不斷地向地球傳遞能源，植物才得以進行光合作用，將太陽能轉換為自身的養分。而動物再藉由攝取植物，得到自身活動所需之能源。故太陽能可以說是地球上一切生命的基礎。

太陽能是太陽內部連續不斷的核聚變反應過程產生的能量。地球軌道上的平均太陽輻射強度為 $1,367\text{km}/\text{m}^2$ 。地球赤道的周長為 $40,000\text{km}$ ，從而計算出，地球獲得的能量可達 $173,000\text{TW}$ 。在海平面上的標準峰值強度為 $1\text{KW}/\text{m}^2$ ，地球表面某一點 24h 的年平均輻射強度為 $0.20\text{KW}/\text{m}^2$ ，相當於有 $102,000\text{TW}$ 的能量，儘管太陽輻射到地球大氣層的能量僅為其總輻射能量（約為 $3.75 \times 10^{26}\text{W}$ ）的 22 億分之一，相當於每秒鐘照射到地球上的能量就相當於 500 萬噸煤。然而人類卻依賴這些能量維持生存，其中包括所有其他形式的可再生能源（包括：地球上的風能、水能、海洋溫差能、波浪能和生物質能以及部分潮汐能，地熱能資源除外）。即使是地球上的化石燃料（如煤、石油、天然氣等）從根本上說也是遠古以來貯存下來的太陽能，所以廣義的太陽能所包括的範圍非常大。雖然太陽能資源總量相當於現在人類所利用的能源的一萬多倍，但太陽能的能量密度低，而且它因地而異，因時而變，這是

開發利用太陽能面臨的主要問題。太陽能的這些特點會使它在整個綜合能源體系中的作用受到一定的限制。

太陽能之特性

1. 太陽能之優點：太陽能作為一種能源，具有一些普通能源不可比擬的優點：

- 一、太陽能是人類可以利用的最豐富的能源。據估計，在過去漫長的十一億年當中，太陽只消耗了它本身能量的2%，今後數十億年太陽也不會發生明顯的變化，所以太陽可以作為永久性的能源，取之不盡、用之不竭。它給地面照射15分鐘的能量，就足夠全世界使用一年。
- 二、太陽能到處都有，不需要運輸，只要最初建造太陽能利用裝置，能量就會源源不斷地自己送上門來，「免費」供應。期間只需要花很少一筆設備維修費。
- 三、太陽能使用時不會帶來污染，不會排放出任何對環境造成不良影響的物質，是一種清潔的能源。當然，大量使用太陽能之後，由於太陽能的充分利用，結果會使環境的溫度稍微升高，但這種溫升，不致對環境造成不良影響。
- 四、太陽能對地球不增加熱載荷，這是太陽能特別重要的優點，所以利用太陽能的系統又稱作「無變量的能源系統」。因為我們利用太陽能作熱能的轉換，雖然最終是變為熱，但是如果我們不利用它的話，最終也是變為熱。

2. 太陽能之缺點：太陽能利用上之缺點：

- 一、雖然到達整個地面的太陽能非常巨大，但這種能量非常分散，作為能源，它的密度太低了。因此，太陽能的利用裝置必須具有相當大的面積，才能收集到足夠功率的熱能。但是面積大，建造的價格就會相對的提高。只有當採集能量裝置表面的單位造價相當便宜時，才能經濟合算地使用這太陽能利用器。
- 二、太陽能受氣候、晝夜的影響很大，到達極不恆定。因此必須有貯存裝置，這不僅增加了技術上的困難，也使造價增加。目前雖然

已經製成多種貯存系統，但總是不夠理想，具體應用也有一定困難。

三、有學者針對太陽能的污染問題提出「目視污染」，意即龐大的太陽能收集器造成視覺上的污染。

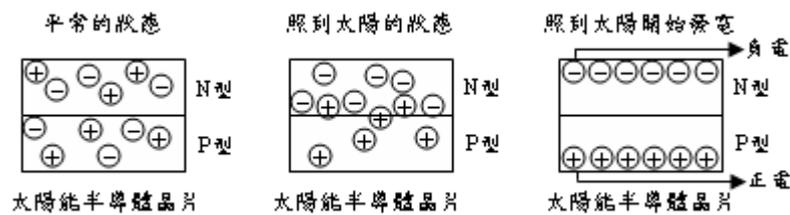
綜觀太陽能利用的優缺之處，發現太陽能仍是非常可取的，目視污染是很主觀的，又有誰能擔保龐大的收集器不會成為壯觀的景色，而成本問題也不能短視近利的，花費的金錢、空間，是可以在時間上換回的。數年之後，若所有非再生的能源都消耗殆盡了，這時的太陽能將是無比珍貴的，至於穩定性差的問題，這是誰都無法改變的事實，正如農人們看老天的臉色過活，人與大自然之間的關係不正如此，萬物生滅自有他道理，這也是人類改變不了的，所以，太陽能的利用是勢在必行。

太陽能的轉換技術

太陽能光電池簡稱為太陽能電池或太陽能電池，又稱為太陽能晶片；在中國大陸稱為硅晶片；在物理學上稱為光生伏打（photovoltaic），簡稱 PV（photo=light 光線，voltaics=electricity 電力）。

太陽能電池的發電能源來自於光的波長。太陽光是一種全域波長。此外白熾燈的波長與日光燈的波長不同。而太陽能電池以陽光或白熾燈之波長為較適用。且太陽能電池有三種，其中太陽能電子計算機上的太陽能電池是屬於「室內型的非晶」，如果長期拿到戶外曝曬，且串並聯為較大電壓及電流時，將導致其內部連結組織燒斷而損壞。

太陽能電池與一般的電池不同。是一種利用太陽光直接發電的光電半導體薄片，將太陽能轉換成電能的裝置，不需透過電解質來傳遞導電離子，而是改使用半導體產生 PN 結來獲得電位。將高純度的半導體材料加入一些不純物使其呈現不同的性質，如加入硼可形成 P 型半導體，加入磷可形成 N 型半導體，PN 兩型半導體相結合後，當太陽光入射時，產生電子與電洞，有電流通過時，則產生電力（如圖 1）。



資料來源：工研院

圖 1 太陽能轉換過程

當半導體受到太陽光的照射時，大量的自由電子伴隨而生，而此電子的移動又產生了電流，也就是在 PN 結處產生電位差。因此，太陽能電池需要陽光才能運作，所以大多是將太陽能電池與蓄電池串聯，將有陽光時所產生的電能先行儲存，以供無陽光時放電使用。

一個太陽能場包含許多排的太陽能集電器，他們與一個中央的熱交換機聯結，來產生驅動電動的發電機。這些集電器通常被曲面的反射鏡環繞，並且方向隨著太陽光的角度而改變，使之更有效率。每一個集電器都可旋轉並設計成永遠直接面對太陽。集電器的位置由一台小型電腦控制的馬達不停的做調整。太陽能場的主要缺點是在熱從集電器轉移至中央熱交換機的過程中流失，一個解決方法是使用一個含有數千個分離的鏡子的循環區域，將太陽的熱能集中到一個中央收集點。

第一個中央收集系統是溫度達攝氏 3,000 度（華氏 5,400 度）以上的實驗性太陽能熔爐，而在 1980 年代，第一個中央收集動力塔開始運作。太陽的射線焦點集聚在動力塔的頂端，並且藉一連串含有液態鈉的黑色管子來收集熱，在基底的熱交換機和鍋爐連結，以產生蒸氣來驅動發電機。

由於單一太陽能電池所輸出的電力有限，為提高其發電量，將許多太陽能電池經串並聯組合封裝程序後，做成模板，成為太陽能電池模板（solar module）。可使用的半導體材料甚多，矽（silicon）為目前通用的太陽能電池之原料代表，而在市場上又區分為：1.單結晶矽；2.多結晶矽；3.非結晶矽。

單晶與多晶的結晶構造雖有不同，但發電原理相同。若以 2004 年全球太陽能電池類型來看，多晶矽類型佔 54.6%、單晶矽佔 36.2%、非晶矽薄膜佔 4.4%、帶狀矽（ribbon-sheet Si）佔 3.3%，化合物薄膜僅佔 1.5%。顯然多晶矽類型暫居市場主流。

目前最成熟的工業生產製造技術和最大的市場佔有率乃以單晶矽和非晶矽為主的光電板。原因在於：1.單晶效率最高；2.非晶價格最便宜，且無需封裝，生產也最快；3.多晶的切割及下游再加工較不易，而前述兩種都較易於再切割及加工。最近十多年，薄膜光電池（thin film PV）如 CuIn（Ga）Se₂，CdTe，pc-Si 和非晶矽（a-Si）的發展迅速，光電轉換效率也快速提高。

台灣太陽能電池製造廠商將太陽能電池稱為晶片，把晶片（或依設計所需要的電流進行晶片切割後）焊上箔條導線再將許多焊好的晶片用箔條串聯成一組，再和 EVA, tedlar 與低鐵質強化玻璃層層疊疊，一同放入層壓機（laminator）的機台上做真空封裝，製成 module（plane/panel）稱之為模組或稱太陽能板，將若干太陽能板組成方陣（列陣 array），接配上過充放保護控制（controller）及深（循環）放電蓄電池（鉛鈣）以及逆轉流器（inverter 直流轉變為交流）合稱為太陽能電力系統，又稱太陽能發電站。

太陽能電池的光轉換效率及生產成本是廠商決勝的關鍵因素，也攸關太陽光電系統的普及度。目前單晶矽電池的轉換效率約 15~18%，多晶矽約為 14~17%，據估計太陽能電池的轉換效率每年若能提高 1%，廠商的生產成本將以每年 5% 的速度下降，不過結晶矽太陽能電池需經半導體製程，耗費不少能源，且成本降低空間有限，加上近二年又受上游原料短缺的影響，使得開發新世代太陽能電池的技術成為重要課題。未來結晶矽太陽能電池的發展趨勢，將朝向減少矽的使用、減少晶片厚度、改善製程材料、提升電磁的使用年限等目標發展，其中，技術發展的主流將是薄膜（thin-film）太陽能電池。

薄膜太陽能電池的種類包括薄膜多晶矽、化合物半導體、色素增感等有機太陽能電池，其特性比矽晶材料有更高的光吸收效率，可以用玻璃、塑膠箔片、金屬等基材，且製程只需幾個微米的半導體層，減少對矽的依賴程度，也沒有繁複的製程，因此可以大幅降低成本。此外，薄膜太陽能電池的特性是質輕、可繞曲性，應用市場更為廣泛，許多太陽能電池領導大廠均已積極投入開發，但礙於目前技術仍無法大量商品化。

太陽能光電的發展

自 50 年代研製成第一塊實用的矽太陽能電池、60 年代太陽能電池進入空間應用、70 年代進入地面應用，太陽能光電技術已歷經了半個世紀。發展到今天，世界太陽能電池元件的年產量達 200MWP 以上，已投入應用的各種太陽

能光電系統的累計容量已超過 1100MWp。太陽能電池及其元件的製造技術方面有了長足的進步。

太陽能的運用科技近期發展的速度極快，在 20 世紀的 100 年間，太陽能科技發展歷史大體可分為以下七個階段：

第一階段（1900~1920）：

在這一階段，世界上太陽能研究的重點仍是太陽能動力裝置，但採用的聚光方式多樣化，開始採用平板集熱器和低沸點工質，裝置逐漸擴大，實用目的比較明確，造價仍然很高。

第二階段（1920~1945 年）：

在這 20 多年中，太陽能研究工作處於低潮，參加研究工作的人數和研究項目大為減少，其原因與礦物燃料的大量開發利用和發生第二次世界大戰有關，而太陽能又不能解決當時對能源的急需。

第三階段（1945~1965 年）：

在第二次世界大戰結束後的 20 年中，再次興起太陽能研究熱潮。在這一階段，加強了太陽能基礎理論和基礎材料的研究，取得了如太陽選擇性塗層和矽太陽能電池等技術上的重大突破。平板集熱器有了很大的發展，技術上逐漸成熟。太陽能吸收式空調的研究取得進展，建成一批實驗性太陽房。對難度較大的斯特林發動機和塔式太陽能熱發電技術進行了初步研究。

第四階段（1965~1973 年）：

這一階段，太陽能的研究工作停滯不前，主要原因是太陽能利用技術處於增長階段，尚不成熟，並且投資大，效果不理想，難以與常規能源競爭，因而得不到公眾、企業和政府的重視和支援。

第五階段（1973~1980 年）：

自從石油在世界能源結構中擔當主角之後，石油就成了左右經濟和決定一個國家生死存亡、發展和衰退的關鍵因素。人們認識到，現有的能源結構必須徹底改變，應加速向未來能源結構過渡。從而使許多國家，尤其是工業發達國家，重新加強了對太陽能及其它可再生能源技術發展的支持，在世界上再

次興起了開發利用太陽能熱潮。太陽能熱水器、太陽能電池等產品開始實現商業化，太陽能產業初步建立，但規模較小，經濟效益尚不理想。

第六階段（1980~1992年）：

進入80年代後不久，開發利用太陽能逐漸進入低谷。導致這種現象的主要原因是，世界石油價格大幅回落，而太陽能產品價格居高不下，缺乏競爭力；太陽能技術沒有重大突破，提高效率和降低成本的目標沒有實現，以致動搖了一些人開發利用太陽能的信心；核電發展較快，對太陽能的發展起到了一定的抑制作用。

第七階段（1992至今）：

由於大量燃燒礦物能源，造成了全球性的環境污然和生態破壞，對人類的生存和發展構成威脅。世界各國加強了清潔能源技術的開發，將利用太陽能與環境保護結合在一起，使太陽能利用工作走出低谷，逐漸得到加強。其特點是太陽能利用與世界可持續發展和環境保護緊密結合，全球共同行動，為實現世界太陽能發展戰略而努力；太陽能發展目標明確，重點突出，措施得力，有利於克服以往忽冷忽熱、過熱過急的弊端，保證太陽能事業的長期發展；在加大太陽能研究開發力度的同時，注意科技成果轉化為生產力，發展太陽能產業，加速商業化的進程，擴大太陽能利用領域和規模，經濟效益逐漸提高；國際太陽能領域的合作空前活躍，規模擴大，效果明顯。

全球太陽能光電產業概況與發展策略

全球太陽能電池供應鏈與生產規模

太陽能技術的應用以自1950年代的太空科技移轉至一般民生商業用途，隨著成本的降低與環保考量，太陽能電池的使用愈來愈普遍。早期的太陽能電池大多用為人造衛星的電力供應系統，產量少、價格昂貴。所以大約自1972年起，PV才開始被有規模地發展應用到陸面上發電。

太陽能電池從製作到終端系統產品的銷售，整個太陽能光電產業鏈從上而下可概分為矽原料→晶棒→矽晶圓→太陽能電池→模組→PV系統組裝、PV周邊及通路等（詳見圖2、表1）。全球主要生產廠商包括矽原料約7家、晶棒/矽晶圓約10-15家、電池約40-50家、模組數百家、系統組裝數千家。就產業特性來看，最上游的原料太陽級矽的生產屬於寡佔市場，主要掌握在

美、日、德的六、七家大廠手中，尤以美國掌握最多，因美國政府補助政策推動較晚，使美國的太陽能電池之發展較緩慢，市佔率只有 9%，因此目前美國之原料常成為各國主要的供應來源。矽原料之前五大廠達 82%市佔率（詳見圖 3），矽晶圓之前五大廠也掌控了 89%市佔率（詳見圖 4）。

產業鏈	Silicon Material	Water (矽晶圓)	Solar Cell	Module	System	Inverter (電力轉換器)
主要廠商	寡佔	中度競爭	中度競爭	中度競爭	完全競爭	寡佔
比重	28%	7%	11%	20%	22%	12%
價格	US\$75-85 / kg	US\$130-137 / kg	US\$2.8-3.3 / W	US\$5.3-5.4 / W	US\$7.2-7.5 / W	US\$3,500-3,800
率毛利	30-50%	25-30%	25-30%	10%	20%	20-30%

資料來源：PHOTON International；IEK；亞東投顧整理

圖 2 全球太陽能產業鏈分佈

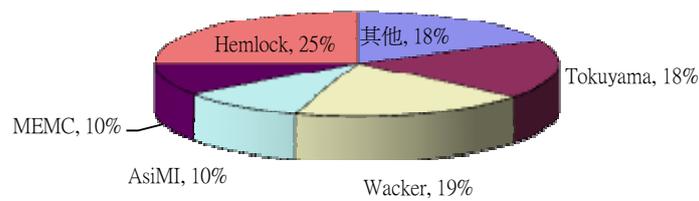
表 1 全球太陽光電產業價值鏈之主要廠商

類別 市場參與者 廠商類型	太陽級矽	矽錠/晶片	太陽能電池	太陽能模組	通路
	7家主要廠商	10~15家主要廠商	40~50家主要廠商	數百家(多為小型公司)	上千家(絕大多數為區域性廠商)
整合型廠商	Asimi & SGS (美國)	Scanwafer (挪威) Sharp 夏普 (日本) Kyocera 京都陶瓷 (日本) Shell Solar 殼牌太陽能 (荷蘭)	Scancell (挪威) Mituibishi Electric 三菱電機 (日本) Sharp 夏普 (日本) Kyocera 京都陶瓷 (日本)	Scanmodule (瑞典) Mituibishi Electric 三菱電機 (日本) Sharp 夏普 (日本) Kyocera 京都陶瓷 (日本)	絕大多數整合型廠商或多或少都參與

		BP Solar 英國 石油太陽能 (英/美) Sanyo 三洋(日 本) Solarworld (德 國) RWE Schott Solar (德國) Evergreen Solar (美國)	Shell Solar 殼 牌太陽能(荷 蘭) BP Solar 英國 石油太陽能 (英/美) Sanyo 三洋 (日本) Solarworld (德國) RWE Schott Solar (德國) Evergreen Solar (美國) Photowatt(法 國) GE 奇異(美 國) Isoton (西 班牙) 無錫尚德(中 國) Kaneka (日 本) First Solar(美 國)	Shell Solar 殼 牌太陽能(荷 蘭) BP Solar 英國 石油太陽能 (英/美) Sanyo 三洋(日 本) Solarworld (德 國) RWE Schott Solar (德國) Evergreen Solar (美國) Photowatt(法 國) GE 奇異(美 國) Isoton (西班 牙) 無錫尚德(中 國) Kaneka (日本) First Solar (美 國)	
專業型 廠商	Elkem (挪 威) Hemlock (美國) MEMC(美 國) TOKUYA MY(日本) Wacker(德 國)	PV Crystalox (德國) JFE (日本) M. Setek (日 本) PCMP (俄羅 斯) Elma-Phytol (俄羅斯)	Q-cells (德 國) Ersol (德國) Sunways (德 國) 茂迪 (台灣) 益通 (台灣) Sun Power	Solon (德國) SMD/Aleo (德 國) 上海太陽能 (中國) Solar-Fabrik (德國) Solarwatt (德 國)	Conergy/AET (德 國) IBC (德國) Sunways/MHH (德國) Phoenix SonnenStrom (德 國) SAG Solarstrom

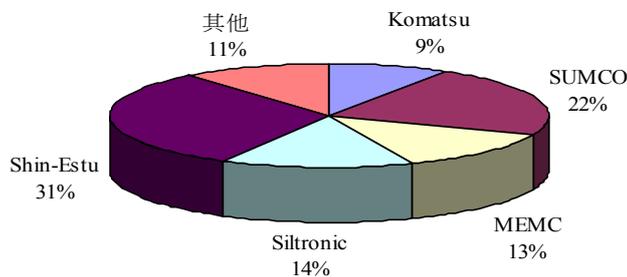
	國)	及其他部分廠商	(菲律賓) Mitsubishi H.I. (日本) 及其他許多廠商	Solarton (泰國) MSK (日本) 及其他廠商	(德國) Donauer (德國) Sunset (德國) Hawi (德國) Krannich (德國) Biohaus (德國) Bihler (德國) Solarmarket (德國)
--	----	---------	---	------------------------------------	--

資料來源：太陽煉金術 (財訊出版社 · 2)



資料來源：太陽煉金術 (財訊出版社 · 2)

圖 3 矽原料廠商市佔率



資料來源：太陽煉金術 (財訊出版社 · 2)

圖 4 矽晶圓廠商市佔率

至於中、下游部分，由於太陽光電產業已有五十年歷史，許多製程技術已臻成熟，產業進入門檻不高，故中下游以後的競爭者不少，尤其是下游的模組及 PV 系統組裝市場，幾乎已進入完全競爭。

目前太陽能光電產業鏈在資本支出影響下，愈是上游的廠商家數愈少；在成本結構的部分，從上游的矽原料一直到模組大約佔總成本 66%，而安裝費及支架、配電盤、電錶等零組件也約佔 22%，電力調節器約 12% 比重；在價格的部分，因為自 2004 下半年開始太陽能電池需求大量增加，上游廠商無法即時擴充產能下，原料出現嚴重短缺現象，2006 年全球產能為 37,200 噸、2007 年則為 52,000 噸，然 2008 年為太陽能產業原料供需最吃緊的一年，因此使產業鏈中各環節之售價有提升趨勢，毛利率亦隨之上升，其中以最上游的矽原料廠之毛利率增長最多普遍高於中游電池，台灣廠商亦有相同的情況。在新的多晶矽廠逐步開出及新產能開出下，多晶矽的供需吃緊程度可望逐年舒緩，太陽能電池的成本可望降低，太陽能系統安裝成本亦可隨之降低，太陽光電產業將更具競爭力。

根據美國 PV NEWS 公司的統計，過去 20 年 PV 的銷售量以每年約 20% 的速度增長。1983 年啟建至 1986 年完工六百萬瓦（6MW）的 PV 電廠，1987 年世界銷售量是 28.6MW，1988 年以來全球太陽能電池產量一直維持穩定的增長，1990 年為 46.5MW，到 1993 年全世界為數六十家以上的 PV 公司總產量超過 60MW，1997 年全世界太陽能電池總產量為 125.8 百萬瓦，較 1996 年增長 41.99%。其中日本增長 65%，歐洲地區增長 61.7%，幅度均超過五成，美國亦增長 31.3%。主要生產廠商包括德國、日本、美國及法國，各大廠出貨量亦見持續增長。2000 年的總裝置量超過 700MW，世界其他國家的總裝置量將超過 600MW；而日本、歐洲與美國則是太陽能電池與模組的主要製造國，2004 年全球太陽能電池及模組的出貨量已達 1,195MW，較 2003 年大幅增長逾六成，同時創造出 55 億歐元營收（相當於新台幣 2300 億元），較 2003 年增長逾九成，合計囊括全球逾九成市佔率。其中日本居於領導地位，市佔率達 46%。

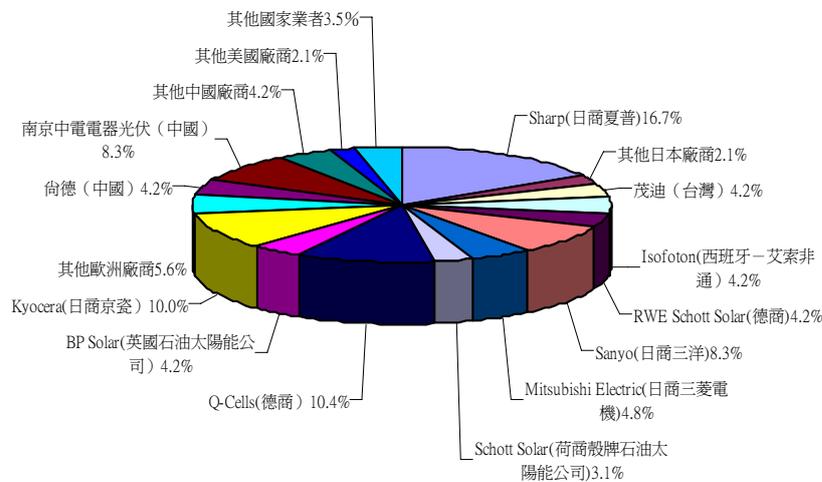
表 2 全球太陽能電池生產規模

單位：MW									
年度	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
日本	16.4	21.2	35	49	80	128.6	171.22	251.07	363.91
歐洲	20.1	18.8	30.4	33.5	40	60.66	86.38	135.05	193.35
美國	34.75	38.85	51	53.7	60.8	74.97	100.32	120.6	103.02
其他	6.35	9.75	9.4	18.7	20.5	23.42	32.62	55.05	83.8
總計	77.6	88.6	125.8	154.9	21.3	287.65	390.54	561.77	744.08
年增長	N/A	14.18%	41.99%	23.13%	29.95%	42.90%	35.77%	43.84%	32.45%

資料來源：PV NEWS; IEK 2005年2月

現今國際上主要的 PV 領導大廠，多傾向垂直分工的整合型產銷布局，包括夏普、三菱電機、BP Solar、Shell 等，若從產業價值鏈來看，美、日、德三國的 PV 產業結構最完整。中游的晶圓又稱電池製造，主要靠技術、成本、量產規模取勝，對以科技製造稱著的台灣廠商，國際競爭力可以與一線整合型大廠相衡。至於下游的模組及 PV 系統組裝業者，在 PV 產品耐用年限長達二、三十年下，使得系統業者沾上服務業特性，不但屬勞力密集，也有強烈的在地性特色。根據目前廠商們的擴產規劃來看，由於後進廠商不斷跟進，根據歐盟資料顯示，日本前五大領導廠商依次為夏普（市佔率 27.1%）、Kyocera（日商京瓷，市佔率 8.8%）、BP Solar（英商，在美國、西班牙、澳洲等都有生產據點，市佔率 7.1%）、Q-cell（德商，市佔率 6.3%），以及 Mitsubishi Electric（日商，市佔率 6.3%）。其次分別為歐洲的市佔率 27%、美國市佔率 17%。預估 2006、2007 年，全球太陽能電池及模組的出貨量可達 4,800MW。其中，夏普的市佔率將縮減至 16.7%，增長較大的業者除排名前十位的京瓷、Q-cells、日商三洋等外，則以中國大陸廠商最具黑馬之資，估計中國業者可搶佔近二成的市佔率（如圖五）。

預估 2006、2007 全球主要 PV 廠商市占率



資料來源：太陽煉金術（財訊出版社·2）

圖 5 未來兩年全球主要 P V 廠商市佔率之預估

預計到 2030 年，全世界的 PV 總裝置量將超過 100,000MW，其累積銷售額將超過 2000 億美元。此與近年來的快速增長和各國政府的大力提倡推廣與獎勵有關，然而幅員遼闊、電力網路系統不普及、以及人口眾多、比較貧窮落後的發展中國家或區域，將會對 PV 有較大的潛在需求。

值得注意的是，除了日、歐、美三大指標市場外，其他如澳洲、印度、中國、台灣地區等的太陽能電池及模組市場正在逐步起飛，近幾年大陸也積極發展太陽能產業，無錫尚德是中國最大的太陽能電池廠商，擴產速度相當快，2005 年的產能即由 2004 年的 75MW，躍增一倍至 150MW，全球排名第九大。而台灣的兩大太陽能電池廠商茂迪及益通，也都有倍數的擴廠計劃。茂迪產能於 2006 年為 102MW 上升至 2007 年 176.4MW，變動比例則為 73%。預估至 2010 年的全球市場商機可達 250 億歐元，亦即太陽能電池及模組出貨量將達 3.5 兆瓦的規模。

國際主要國家發展策略

未來隨著原油可開採的年限逐漸下降，日後油價大幅上升將顯而易見，傳統發電燃料的成本也將因此增加，因此主要國家正積極尋找替代能源，而太陽光電再生能源發電方式，具有零排放之優點，可望在全球分散式電力市場扮

演更重要角色，而這些主要國家因受環保、地緣政治、社會、政策、商業面等影響，在能源供需面壓力的逐漸提升下，各國所使用的策略也有所不同。

歐洲聯盟

歐盟對 PV 系統的裝置目標，計劃在 2010 年達到超過 10GW 的發電容量，然而由於每個會員國的獎勵及補助政策不同，加上各國電力自由化的程度不一，也會影響太陽光電的推展成效。以 2001 年至 2004 年為例，歐盟十五國的 PV 系統裝置量大幅增長三倍，累計發電容量達到 1GW，其中逾八成的裝置量均出自德國的貢獻，其次為西班牙及奧地利，但若以平均每人(per capita)使用的太陽光電系統裝置量來看，則以盧森堡最高。

德國不但是歐盟區 PV 產業的龍頭，同時也已經取代日本，成為全球最大的太陽光電產業消費國。2004 年德國的新增太陽光電系統裝置容量為 363MW，較 2003 年大幅增長 2.35 倍，年增率不但遠超過全球 PV 市場的平均值（約 59%），新增的 PV 系統發電容量也正式超越日本的 272MW。

歐盟再生能源委員會，於再生能源白皮書訂定，2010 年再生能源佔總能源供應比例將由 6% 提升至 12%。其中，太陽光電領域，2001-2010 年之平均年增率高達 31.2%。於 2010 年政策目標量為 3GWp。透過對使用者提供稅賦優惠、設備補助及優惠收購電價等措施，2003 年總計太陽光電產業之員工數達 1 萬人，營業額為 6.5 億歐元，且新增裝置容量較前年增加 43.2%。有鑑於現階段太陽光電需求擴增快速，以致於原料缺乏，故研發策略上，材料聚焦於應用及替代為主；而電池則著重降低成本、提高轉換效率、壽命；整體部分，為能充分達到永續再生利用，亦推展設備回收後重組。

日本

就太陽光電發展歷程來看各國消長，1990 年代中期開始，美國原於全球生產影響力居四成，逐漸被日本擠壓，截至 2004 年日本於全球太陽光電市場已佔有五成生產量，美國僅持有 11.63% 之市場佔有率，歐洲地區則持續保持 2-3 成的市佔比例。

日本太陽能（PV Cells 及模組）產量在 2000 年度再度創下歷史新高約達 115MW，產值達 769.6 億日圓；2001 年度產值增長 21.1% 達 932 億日圓，至 2002 年日本太陽能電池產業將再以年增率 26.4% 攀升至 1,178 億日圓。日本主要 PV Cell 生產廠商，包括 Sharp（2000 年全球市佔率 17.5%）、京瓷（全

球市佔率 14.6%)、三洋電機(全球市佔率 5.9%)、三菱電機(全球市佔率 4.2%)等；最近日本許多太陽能電池廠商紛紛進行生產工廠之擴建，例如 Sharp 計劃興建年產能 20MW 之生產工廠，以製造多精矽太陽能電池為主；三菱重工亦擬投資 50 億日圓建造新工廠生產非晶矽太陽能電池，2002 年開始推出新產品，另外，三陽電機計劃在 5 年將年產能擴增至 200MW，非晶矽為其重點之一。此外，三陽電機在 2001 年 10 月推展了能量轉換效率高達 21% 的太陽能電池。

日本在 2004 年會計年度中，針對六大主要 PV 光電支持計劃的預算金額合計即高達 2.4 億美元，相對於台灣 2004 年台灣生產毛額(GDP)的 0.07%。2004 年日本新增的太陽光電系統設備容量為 272MW(百萬瓦)，是 2001 年的 2.5 倍，由 1994 年迄 2004 年的累積發電量已達 1.1GW(兆瓦)。2005 年增七萬套 PV 系統，平均發電量為 3.8 至 4 峰瓦，新增的發電容量將達 330MW，較 2004 年增長 21.3%。

日本經濟產業省，將 2010 年新能源發電量的使用目標設定為 12.2TWh，屆時將佔全國電力供應量比例 1.35%。為了達成產業技術推動的目的，Sunshine 計劃之技術發展規劃如表 3 所示。1997 年前，以結晶矽太陽能電池為主，2000 年後至今，則著重於薄膜、高效率太陽能電池，近年來太陽能電池部分，則朝向先進太陽能電池技術之開發，而系統部分則大量導入共通基礎技術之開發，朝向再生、再利用及評估技術發展。

而市場促進部分，1993 年設立新陽光計劃(New Sunshine Project)，1994 年新能源財團(NEF)補助個人住宅用太陽光電系統費用，並逐年調降補助金額。日本政府補助住宅用太陽光發電系統(最大輸出 10KW)由 1994 年每 KW 90 萬日圓，下滑至 2001 年度的 12 萬日圓；其補助對象包括：太陽能電池模組、架台、接續箱、直流側開關器、Inverter、保護裝置、電力產生計、剩餘電力賣電計、配線/配線器具之購入/安裝/工程之相關費用等；加上“Net Metering”誘因，即民眾以 PV 發電後之剩餘電力可併入電網，最後民眾繳交給電力公司之電費為其所使用電網電力扣除回饋電力後之費用；之後，由於市場需求逐漸擴大且產業發展漸趨成熟，政府補助金逐年下降，至 2003 年度每 KW 補助金已降為 9 萬日圓，2005 年更下降為 2 萬日圓，但是廠規模卻未降反增。這是因為過去廠商的大量生產已經形成規模經濟優勢，有效降低太陽光電系統的成本及開發價格，未來當太陽能電池與建材達一體化後，PV 系統的裝置成本可望在由目前的每峰瓦 67 萬日圓，下降至 30 萬至 50 萬

日圓間。換言之，最低的裝置成本將不到新台幣 9 萬元。並希望未來產品的價格將逐漸轉由市場機制決定。

雖然日本中央政府的補貼政策已近尾聲，但日本太陽光電能源協會 (JPEA) 仍自信滿滿地認為，日本人重視環保的理念，將比價格成本更重要，預期 PV 市場的榮景將可持續，而主要的太陽能電池廠商也先後公佈 2006 至 2007 年的產能規劃，顯見未來推近日本 PV 市場增長的動力，已由政府轉到民間及企業。根據 JPEA 的研究預估顯示，至 2010 年每年的新增裝置量約有 1,230MW，市場規模約為 45 億美元，太陽模組成本及 PV 系統發電價格將再分別降至每瓦 75 日圓、14 日圓/KWh，以期能與目前的傳統能源價格（每千瓦約在 15 日圓以下）相競爭。而 2010 年至 2020 年間，每年的新增裝置量可提升至 4,300MW；至 2030 年的新增裝置量將再提升至 10,000MW，並使 PV 的電力價格降至 7 日圓/KWh，同時可為日本創造三十萬個就業機會。

日本以技術與市場之平衡發展，成功提升其產業發展之國際競爭力，延續過去太陽光電之發展，為能將新能源導入獨立運作機制，日本未來將聚焦於建立國際標準，不僅能積極維持技術領導地位，促進台灣經濟，更能藉由調整其能源結構，強化國家競爭力。

表 3 日本 Sunshine 計劃之太陽光發電技術開發概要

展開年度		1993	1996	1997	2000	1997	2003	2005
Sunshine 計劃		NSS 計劃(1 期前半)		NSS 計劃(1 期後半)				
太陽 能 電 池 製 造 技 術 研 究 開 發	結晶矽太陽能電池	薄膜技術太陽能電池	薄型多結晶太陽能電池			先進太 陽能電 池技術 開發	矽結晶系薄膜太陽能電池	
	薄膜太陽能電池 非晶太陽能電池	→	模組大面積化技術	低成本大面積模組製造技術			CIS 矽薄膜太陽能電池	
	薄膜多晶體 CIS	→	高效率化關鍵技術	高效率、大面積化關鍵技術、模組化技術			超高效率太陽能電池	
	超高效率太陽能電池		超高效率化基礎技術	Cell 化關鍵技術、周邊關鍵技術		1999 即效型技術的開發 2002		
	高效率太陽能電池			1997		2000 企業化		
	能源使用合理化 矽製程			2000		實用技術的開發 2004 企業化		
	促進普及新技術的開 發 (提案公開徵求)			2000		實用技術的開發 2004 企業化		
太陽 能 發 電 系 統 技 術 研 究 開 發	利用系統、周邊技 術	屋頂安裝台、簡易施工	一體型太陽能電池模組	一體型太陽能電池模組		大量導 入共通 基礎技 術開發	再生、再利用技術	
	周邊安裝系統	蓄電池製造技術等	機能統合型周邊裝置蓄 電池等	模組、高信賴性蓄電池			周邊安裝技術	
	評估系統技術	獨立分散施工	最適配置評價、大規模 系統等	高密度聯繫、大規模系統等			評估技術的確立	
	評估系統技術電池			太陽能電池性能評估、信賴性評估技術		Solar Island 2002 Solar Town 構思		
	系統 實證研究	Hybrid 系統	Hybrid 系統	Multi hybrid 系統				
資源 開 發	最新的次世代太陽 能光發電系統技術 開發 (提案公開徵求)					革新次世代 科技開發	革新次世代開發 (關鍵研究需徹底)	

資料來源：ECO特集，「於NEDO的太陽光發電技術的開發現狀及動向」

美國

1954年，美國 Bell Labs 研發出以矽材質為主之太陽能電池，當時的轉換效率只有 6%，主要應用於太空科技，提供人造衛星及太空船所需的電力；1970年代後，太陽能電池始廣泛地被應用在各種領域，如消費性產品（手錶、計算機）、道路交通照明、通訊等各方面，以及電力公司不易傳送到的偏遠地區，以蓄電池儲蓄電力作為獨立型發電系統；1990年，與電力公司併聯之光電發電系統（grid-connected photovoltaic system）之技術逐漸成熟，當太陽能電池產生多餘電力時可回送到電力公司，而發電不足時則由電力公司供應。現今美國已研發一種可充式染料敏化太陽能電池（DSSC 或稱 graetzel 電池），成為世界上製造成本最低、使用壽命長的光電系統，將於再生能源國家實驗室進行大規模測試，並與其他業者合作以探討其應用商機。太陽能電池的生產由美國、歐洲、日本三分天下，日本號稱太陽能導入量世界第一。但美國並沒有像日、德等國有任何具體的投資計劃或補助方案，而多半是來自各州政府的支持；例如全球第一座 PV 電廠就座落在美國加州，在 1983 年興建，1986 年完工，年發電量有 6 MW。

對於美國未來 PV 產業的市場發展，歐洲太陽光電產業協會（EPIA）倒是提供了兩個預估模型可作為參考；一是保守型，依目前微溫的市場，假設政府沒有足夠的預算來支持 PV 產業，則預估至 2020 年，美國 PV 系統裝置容量為 843MW，發電量可達 11TWh，減少約 548 萬噸的 CO₂ 排放量，創造十億美元的市場規模，以及二萬六千多個工作機會。至於積極行的預估，則假設美國要追趕上與歐洲、日本的腳步，就必須趕上這兩國的政府支持計劃，提撥預算或減稅，那麼到了 2020 年，美國的 PV 系統裝置容量可達 7,187MW，總發電量可達 57TWh，減少 3,300 多萬噸的 CO₂ 排放量，創造五十億美元的市場商機，以及超過二十二萬個就業機會。顯見政府政策推波助瀾的效果，一來一往相差數倍。

中國

與國際上蓬勃發展的光電發電相比，中國落後於發達國家 10—15 年，甚至明顯落後於印度。但是，中國光電產業正以每年 30% 的速度增長，2005 年底中國太陽能電池生產能力已達 200MW 以上。在今後的十幾年中，太陽能電池的市場走向將發生很大的改變，到 2010 年以前中國太陽能電池多數是用於獨立光電發電系統，從 2011 年到 2020 年，中國光電發電的市場主流將會由獨立發電系統轉向并網發電系統，包括沙漠電站和城市屋頂發電系統。中

國實驗室太陽能電池的效率已達 21%，可商業化的光電組件效率達 14—15%，一般商業化電池效率 10—13%。目前中國太陽能光電電池生產成本已大幅下降，太陽能電池的價格逐漸從 2000 年的 40 元/瓦降到 2003 年的 33 元/瓦，2004 年已經降到 27 元/瓦。這對中國太陽能市場走向壯大與成熟起到了決定作用，對實現與國際光電市場接軌具有重要意義。

然而，中國《可再生能源法》於 2006 年 1 月份實施，中國將用法律和市場機制來推動新能源的快速發展。專家預測，隨著《可再生能源法》的誕生，中國將大幅加速太陽能產業的發展，太陽能電池裝機容量年增長率可望超過 40%。預期到 2020 年，系統年產值將接近 3000 億元。由於規模效應將大幅度拉低生產成本，按目前的發展速度推算，系統造價將從目前每瓦 70 元人民幣左右下降到 2010 年的 40 元人民幣甚至更低，2020 年有可能達到 30 元的水準。

因應目前的現況，為使能源重新調節且均衡，世界各國都想盡辦法研發出徹底不同的技術及代替品，且可使該國民持續性依賴的能源，而太陽能光電為其中一環，各國同樣都希望隨科技進步及學習曲線不斷提升，而使 PV 發電成本降低至足以與傳統能源發電成本相抗衡，使國民生活達到現有水平或更高水平。作為 21 世紀最有潛力的能源，太陽能產業的發展潛力巨大。太陽能產業是新興的朝陽行業，再加上良好的政策環境、行業本身的特性，使得太陽能電池產業具有較高的投資價值和發展潛力。

台灣太陽能光電產業分析

台灣太陽能光電產業概況

隨著全球太陽光電加溫，台灣太陽能光電產量加速擴增，2004 年台灣的太陽能電池產值約 26 億，全球市佔率 3%，產量僅為 38.14MW，以茂迪最具規模，且成為全球第十大製造廠商。但 2005 年茂迪、益通急遽擴產，旺能投入量產，台灣太陽能電池與模組產能達 111.62MW。檢視目前台灣的太陽光電產業鏈可發現，由於台灣境內發電市場的規模不足，下游出口性較弱的系統裝置與模組領域皆未能趁勢而起；而中游的電池族群比較不受地域限制，加上德日太陽光電市場需求急迫，台灣太陽能電池出口比例高達 95%。其中德國順差高達 1,071.68 百萬新台幣。2004 年出口地區主要以德國、香港、中國大陸、日本及南非等五國為主，佔太陽能電池總出口金額之 89.06%。而主要進口國家，則以日本、美國、斯洛伐克、德國、香港為主，五國進口金額佔總

進口之 97.51%。細觀 2003 及 2004 年台灣太陽能電池主要進出口之比較，2004 年台灣由德國、香港之進口值增長速度快於出口值增長，而台灣出口至日本則較進口強勢，呈現高度增長。但若再延供應鏈向上，包括晶圓、矽材等，又顯露出台灣供應鏈上的弱勢。尤其，目前全球太陽能矽原料短缺，台灣太陽能光電上游同樣缺乏矽原料，加上台灣下游市場不足，又以多家中、小型廠組成，其產業結構不完整，整個產業鏈，是屬於上下緊縮的狀況。

表 4 台灣太陽能電池與模組規模

	1999 年	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年
生產值 (百萬新台幣)	299	324	396	600	1,200	2,800	5,600
生產量 (MW)	2.9	3.2	5	10	26	38.14	111.62
進口值 (百萬新台幣)	26	24	32	70	33	71	257
出口值 (百萬新台幣)	43	34	136	366	894	2,579	5,298

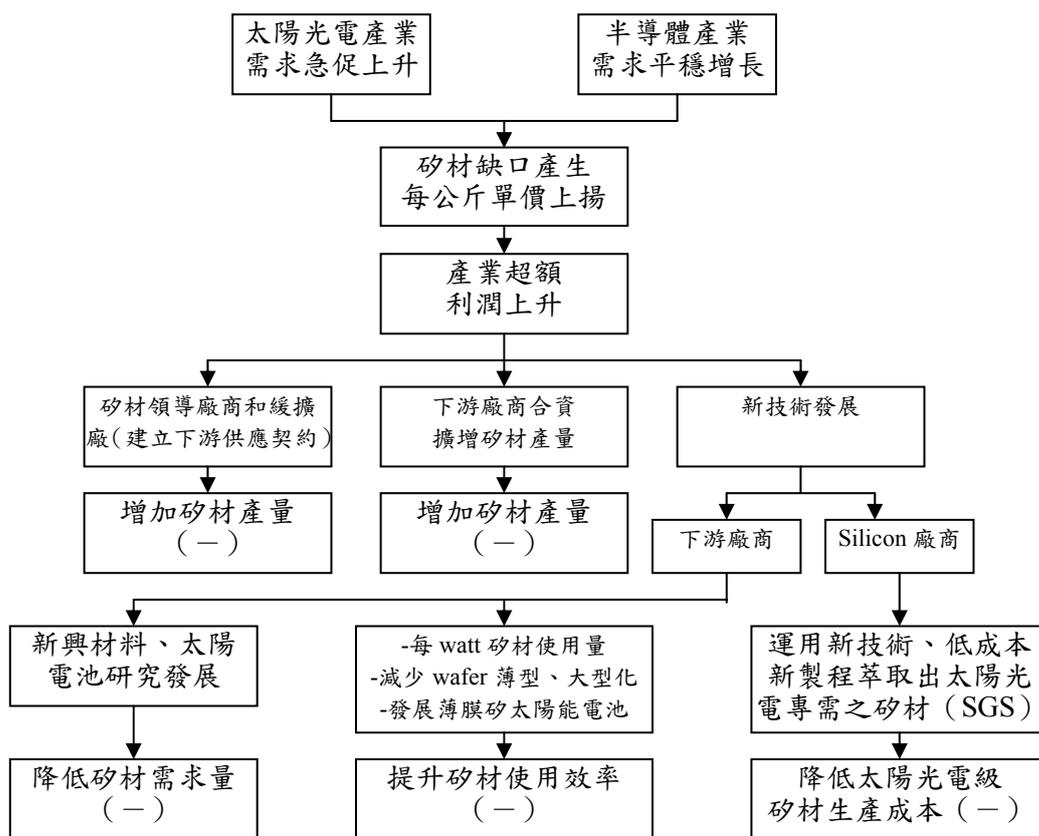
資料來源：工研院—產業經濟與趨勢研究中心—ITIS 計劃 (2005/08)

說明：產值依 2005 年 1—7 月，歐洲與美國市場，太陽能電池平均價格 NT50.17/watt 推估。

在探討台灣太陽光電產業競爭力之前，不妨先檢視一下 PV 產業所處的生命週期，PV 市場需求自 2004 年下半年起加溫，熱度持續到 2005 年，不過，產業發展的腳步似乎跟不上需求的增長，在產能緊縮下，PV 市場呈現產品標準與品質不一的情形，且製造設備尚未完全標準化，每家業者都有積極的產能規劃、擴大生產佈局。另一方面，受限於現階段的技術發展，太陽能光電的使用成本仍較一般能源高出三至十倍不等。種種跡象表明，2005 年全球太陽能光電導入期進入增長期，未來兩年則將是 PV 市場的快速增長期。已形成規模經濟，產品價格將易漲難跌，故現階段全球對 PV 市場的關注焦點，都放在上游材料與生產成本的掌控。

事實上，若從各廠商目前的因應對策來看（如圖 6），包括上下游業者聯手進行擴產，如矽材領導大廠 Wacker 為降低本身擴廠風險，與下游業者 Solar World 建立長期供應契約，穩定獲利水準。而 REC 公司（Renewable Energy Corp）除 100% 持有 SGS 矽材廠外，又併購半導體級晶圓材料商 AsiMi，取得 75% 股權，轉向太陽級矽晶圓的擴建，此外，並同時與 Q-Cell、Evergreen 合資跨足太陽光電材料與電池市場，強化競爭優勢。另一方面，矽材廠商也開始運用新製程技術（solar-grade silicon），萃取出太陽光電級所需的矽材，

以降低生產成本；而矽晶圓廠商，則是提升矽使用效率為目標，朝矽晶圓大型化、薄型化發展，企圖降低每瓦（watt）的矽材使用量。至於中游太陽能電池廠商，除因應上游的技術調整外，同時更積極發展薄膜矽太陽能電池，降低對矽的依賴程度。這些業界動態，都對矽材價格有平抑作用，因此可以預見，矽材缺口在 2007 年以後將逐步趨於緩和。而一旦矽材供需平穩，太陽能光電系統的價格才能真實反應技術發展的趨勢變化。



資料來源：工研院—產業經濟與趨勢研究中心（2005/12）

說明：圖中”（-）”為對矽材價格的影響

圖 6 2005 年廠商對太陽能光電矽材短缺因應之道

目前太陽能光電的需求多半來自政府政策的支援，而未能加速市場機制的獨立運作，德、日、美政府對於技術發展皆訂立明確目標，歐洲太陽能光電產業協會（EPIA）預期，太陽能光電於 2010~2030 年間，根據裝設地點日照時程的差異，將逐步與市電相抗衡，屆時 PV 產業才會轉入震盪期。

由於震盪期的產業特性具有規模經濟、產品價格具有市場滲透力，預料會出現另一波由終端市場所引發的需求增長。因此，從長期策略來看，太陽能光電廠商掌握市場佔有率、提升競爭力的勝出關鍵，將決定於「領導技術標準」與「市場通路」兩大指標。

反觀台灣市場，若把台灣主要太陽光電廠商的佈局與國際其他競爭者相比較（如表 5），可發現國際大廠的重點普遍在於垂直整合，而台灣廠商則多以專業化生產為主。

表 5 全球太陽能光電產業生命週期特性

	產業生命週期階段	導入期	增長期	震盪期	成熟期	衰退期
主要產業特徵	產品價格	<ul style="list-style-type: none"> • 利用成本加成方式決定定價 	<ul style="list-style-type: none"> • 2004 後半年，需求增長速度大於供給，導致材料供給緊縮，規模經濟短期內無法達成 • 未來矽材缺口和緩，矽晶體太陽能電池將可達規模經濟 	<ul style="list-style-type: none"> • 為能與傳統能源價格競爭，以有效使用矽材或發展薄膜電池技術，補足市場需求缺口，達成規模經濟，使價格具市場滲透力 	<ul style="list-style-type: none"> • 市場供需關係沈澱，價格平穩 	<ul style="list-style-type: none"> • 降價最低
	通路型態	<ul style="list-style-type: none"> • 垂直整合廠商全球配銷、生產通路佈局 	<ul style="list-style-type: none"> • 擴大配銷、生產佈局 	<ul style="list-style-type: none"> • 密集通路 	<ul style="list-style-type: none"> • 更加密集配銷，售後服務完善 	<ul style="list-style-type: none"> • 除去無利潤點
	進入障礙	<ul style="list-style-type: none"> • 量產生產設備 	<ul style="list-style-type: none"> • 缺乏穩定矽材供給 	<ul style="list-style-type: none"> • 建立差異化 	<ul style="list-style-type: none"> • 產業集中 	<ul style="list-style-type: none"> • 創新或結盟

			來源 • 產業規則之建立			
競爭手段	<ul style="list-style-type: none"> • 教育消費者再生能源之效益 • 政府對於再生能源之推廣、鼓勵與支持 	<ul style="list-style-type: none"> • 教育消費者 • 量產（產能）規模 • 降低生產電池成本 - 開發新/有效使用原料技術 - 薄膜電池的技術發展 	• 增加品牌激勵	• 低成本	• 收割策略	
廠商競爭	• 全球產業結構平均當屬低度競爭，廠商數少	• 廠商數將依據產業內超額利潤逐漸增加	• 廠商家數增加，產業競爭激烈	• 競爭緩和	• 逐漸退出	

資料來源：Hill & Jones（1995）；工研院-產業經濟與趨勢研究中心（2005/12）

全球太陽光電場業的供應模式主要分為整合型及模組型兩種，這兩間的差異詳見表 6。而從台灣太陽光電產業鏈各領域的高度分工情勢來看，應為模組型結構，亦即從進口上游矽材原料、矽晶圓，本地製造太陽能電池，在外銷至全球中下游模組或系統廠商；期間供應鏈的廠商分散各地，且組織結構互不統屬，無法形成緊密的群聚，打造如同新竹科技園區般完善的 IT 產業架構。

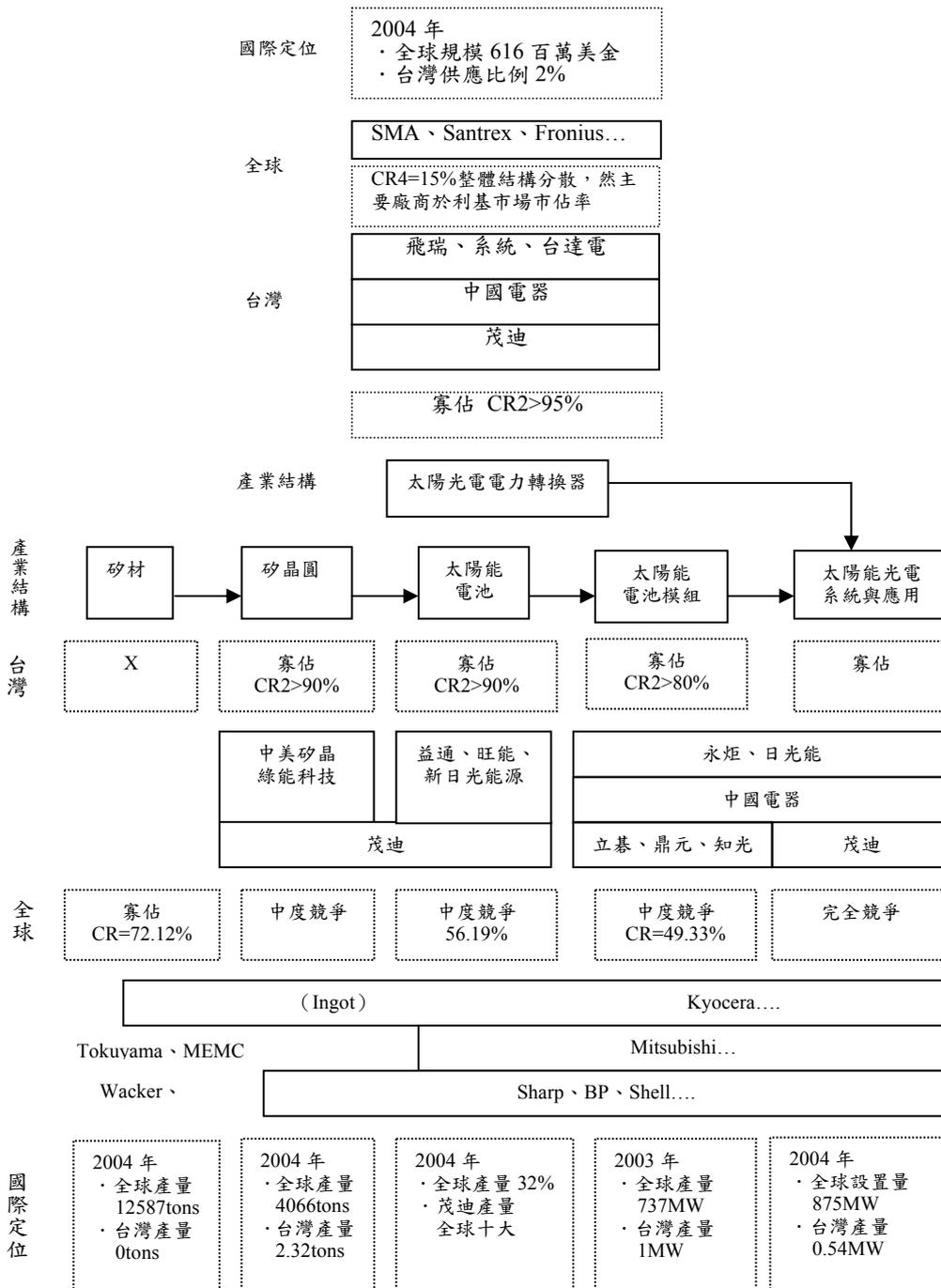
此外，台灣主要的 PV 領導產商也僅生產中段的標準化產品，尚未能建構出充沛的產業網路能量，因為個別公司或許可以突圍，但想要打進全球太陽光電的模組化供應鏈體系，並成功卡位，仍有一段不小的挑戰。

綜觀現階段的產業環境，在上游原材市場供需緊俏下，諸如 Kyocera 及 Sharp 等整合性的領導廠商，憑藉「主流產品的開發」與「上下游整合」兩項優勢，將會比專業性廠商更易獲得上游矽材大商的青睞，取得穩定的材料供應。

表 6 模組化與整合供應鏈之特性差異

比較項目	模組化 (Modular)	整合 (Integral)
意義	是一種高彈性的結構，具高度標準化的互通性，各次系之間均有標準聯結	通常透過結合各個次系統所構成，每個次系統各自獨特，不易與其他系統結合，但彼此之間配合性佳
各階段零組件功能	單項功能	多項功能
各階段零組件	具標準化規格，可視需求混搭	特殊規格，不易與其他系統配合
與供應商的互動關係	供應鏈具高度彈性，具各供應商顧客及事業夥伴之間有可互換關係。因此，供應鏈成員分散各地，組織結構互不統屬，文化差異大	持有供應商部分股權，向供應者進行穩定度宣示；並運用不少時間，實地訪視供應商之運作，以確保整合品質。
優勢與挑戰	短時間、低成本的方式推出新產品，然需動視品質稽核	品質可靠，且易形成技術標準，然製程時間較長

資料來源：Charles H. Fine, Are You Modular or Integral, Strategy+business, No 39；
工研院—產業經濟與趨勢研究中心（2005/12）

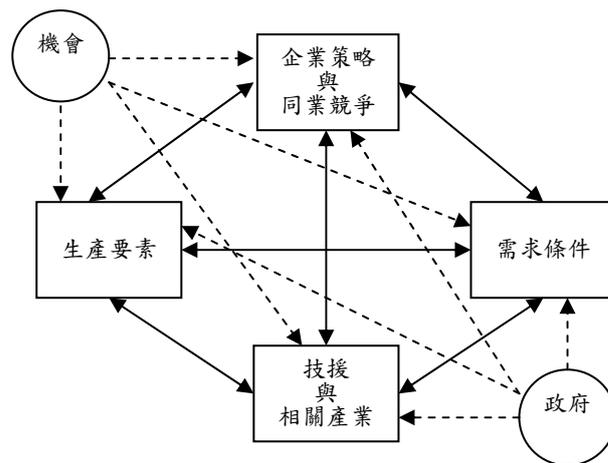


資料來源：太陽鍊金術：透視全球太陽能光電產業（財訊出版社2006/2）

圖 7 台灣外太陽光電產業鏈比較圖

台灣太陽能光電產業之鑽石模型

鑽石理論模型（圖 8），認為國家是企業最基本的競爭優勢，因為國家能創造並持續企業的競爭條件，政府不但影響企業所做的決策，也是創造並延續生產與技術發展的核心。為何一個國家內的某些產業能在激烈的國際競爭中嶄露頭角，乃在於每個國家都有的四項環境因素：生產要素、需求條件、相關與支援性產業及企業策略、企業結構和競爭程度來討論。



資料來源：Porter, M. E., “The Competitive Advantage of Nations”

圖 8 鑽石理論模型

生產要素

在廣大土地、充沛水電、廉價勞力、充裕高質科技人才、高效率行政效率與租稅優惠等生產要素中，台灣目前僅剩充裕高質科技人才與稅賦優惠（目前業者正共同積極爭取稅賦優惠以使太陽能光電產業成為被扶植產業）。由於 TFT-LCD 等產業對人才的需求極為迫切，故太陽能電池產業所需人力資源仍有不足之虞。當然台灣由於長達二十餘年的發展，早已形成完整的半導體與光電產業群聚，故在生產要素條件上的優勢為：（1）高質專業的工程師與專注靈活的專業經營管理人才，（2）重要都會學區附近均設有科學園區，（3）資金充沛，與（4）租稅優惠。這些優勢均可做為具有半導體產業特性之太陽能電池產業的資源。

企業的策略、結構與同業競爭

台灣是個島嶼，先天就具有地理集中的特性，廠商間普遍存在著既競爭又合作的「競合特質」，促使廠商持續不斷追求卓越，而造就台灣產業優勢，且因地理集中，上下游間緊密合作，形成垂直網路，更提升綜效。

然而，太陽能產業和半導體產業很類似，同樣也分成上游的矽晶棒、矽晶圓、太陽能電池，中游的太陽光電模組及電力調節器，以及下游的系統安裝。由於台灣挾著半導體晶圓代工的優勢，加上台灣在半導體與晶圓等領域，有全球最優秀的晶圓廠、製程與設備，還有眾多優秀工程師，光從這一點來看，沒有任何其他國家比台灣更適合發展太陽能產業，且台灣在平面顯示器產業的發展上也具有的優勢，使得台灣發展太陽光電產業具有相當大的潛力。台灣可藉由在面板設備的能量，跨入太陽能電池下一代玻璃薄膜材質的生產設備研發，由於同以玻璃為基礎材料，台灣在相關領域可望很快承接面板設備經驗，提供業者最優質的選擇。

若以太陽能產業上中下游來分，以上游的矽材料建廠成本最高，興建年產量1000噸的矽原料廠需要約32億元的資金，屬於中游的電池廠建廠約需3億元，下游的模組廠建廠資金約5-6000萬元，至於系統廠則僅需1000萬元就可建廠。由於太陽能下游的資金成本不多，加上生產的自動化程度相當高，在進入門檻不高的情況下，新的太陽能廠商如雨後春筍般紛紛設立，台灣地區光是系統廠就有21家、模組廠5家、電池廠則有8家。

在傳統晶片型太陽能電池晶圓不易大型化及原料短缺影響下，薄膜型太陽能電池將逐漸成為主流，但薄膜電池除轉換效率較差外，設備成本高也是發展的一大障礙；目前薄膜電池仍在萌芽階段，製程尚未標準化，關鍵製程設備單價高昂，若能建立自主的設備供應鏈，結合上、中、下游共同投入研發。提供設備與製程驗證平台，針對整條生產線各設備與產品共同驗證，建立台灣次世代新興產業，擺脫過往關鍵設備與技術掌握於他人的夢魘。

需求條件

在各國政府積極力推及油價持續不斷攀升的情形下，太陽能需求可說愈來愈強烈，全球首富比爾·蓋茲也積極投資新能源市場，比爾·蓋茲曾說「發展再生能源，這是一定要走的路」，據了解，比爾·蓋茲正積極投資德國最大新能源公司「陽光世界」，藉以搶進新能源市場。

法蘭茲表示，有鑑於再生能源市場逐步擴大及永續經營考量，歐洲兩大石油供應業者英國石油（BP）和皇家殼牌石油公司（Royal Dutch/Shell Group）已經開始投入再生能源市場。早在 1997 年，殼牌石油公司成立子公司殼牌國際再生能源公司，致力於發展再生能源事業（Shell International Rene-wables, SIR），SIR 估計，到 2020 年，全球將有 5~10% 的能源來自再生能源，至 2050 年全球再生能源使用率將可達到 50%。至於 BP 則在 1998 年與 Amoco 合併之後成為全球最大太陽能公司，該公司估計到 2010 年的營業額可達 10 億美元。

再生能源產業的興起已經為全球帶來龐大工作機會，以德國為例，2002 年已經有 13 萬人因為新能源產業而獲得工作機會。2004 年風力產業就創造了 5 萬個工作機會，此外，2010 年的太陽能技術將比 2002 年增長 400%，且將可以創造 10 萬個工作機會。

此外，新能源市場的興起，對台灣許多行業都是新商機，例如：機電產業及材料產業，都有發展再生能源的潛力，而風力發電則是玻璃強化、纖維研發等機械製造相關產業的市場契機。

支援與相關產業

台灣在半導體、TFT-LCD、LED、資訊電力電子早已形成完整的產業群聚，包括業者、學術與工業研究單位、相關產業同業公會／協會等。依工研院材料所統計，近 2 年來，全台灣投入太陽能光電產業鏈的廠商超過 10 家以上，其中包括研發太陽光電發展系統併聯型變頻器的系統電子，生產太陽能矽晶片的中美矽晶、合晶科技、綠能科技，生產太陽能電池的益通光能、旺能光電、Solar Tech 公司，以及生產太陽能電池模板的中國電器、台灣一川，在在顯示既有的產業群，提供太陽能電池產業發展的充分資源，同樣的此項新興產業也給原有產業群聚成員投入新事業的機會。若將整體產業鏈細分，由上至中游的矽晶材料、矽晶圓製造、太陽能電池、模版與周邊設備，以至後段的系統安裝商，台灣累計投入的業者超過 30 家以上，投資金額超過百億元。

政府

政府近年來致力推動太陽能整體產業發展，為因應太陽能光電產業上游多晶矽（polysilicon）缺料問題，自 2003 年起，隨著太陽能電池產業的蓬勃發展，

對矽晶圓材料的需求急劇增長，製造矽晶圓的多晶矽原料也隨之水漲船高、供不應求。由於目前上游多晶矽缺料問題，已成為阻礙產業發展的最大關鍵。

根據經濟部的統計，台灣太陽光電產業近 3 年增長快速，產值規模自 2003 年的新台幣 12 億元，倍增至 2004 年的 33.5 億元，2005 年再倍增至 70 億元，預估今年將增長至 100 億元。

然而，台灣的太陽光電產業相較於德國、日本、美國等，則仍處於起步階段，且是以太陽能電池與模組為主，上游矽晶圓材料有 98% 必須仰賴進口；為解決缺料問題，建立太陽能矽材料自給機制，經濟部表示，已規劃於 2006~2008 年內將台灣太陽能光電系材料體系建置完成。括引進傳統西門子製程技術、改良式西門子技術、俄羅斯科學院技術、引進相關外國退休人員團隊技術，以及工研院的火法冶金純化技術。能源局表示，前三項方案屬高耗能、高污染，並有工安問題待解決，因此目前傾向採取後兩項方案。期望台灣矽材料自給度在 2010 年時能達到供應 100MW（百萬瓦）的產能需求，並帶動整體太陽能光電產業產值達到 600 億元。

在延攬外國矽材料專業人才方面，依能源局目前的規劃，將引進德國 SolMic 公司退休人員，希望藉此培植台灣矽材料技術人才，並協助台灣廠商突破技術障礙；政府預計將投入 10 億元，最快二年開始試產，2008 年產出達 300 公噸，2010 年產出目標增至 1,000 公噸。

機會

邁入 21 世紀，由於環保意識高漲，加上近來國際原油價格飆漲，世界各國近年來都積極投入再生能源的開發。

太陽能光電產業在全球各地快速崛起，尤其德國與日本發展太陽能產業相當的成功，讓大家看到這個產業的前景；因此，近年來台灣也將太陽能光電產業視為最重要的新興產業之一。

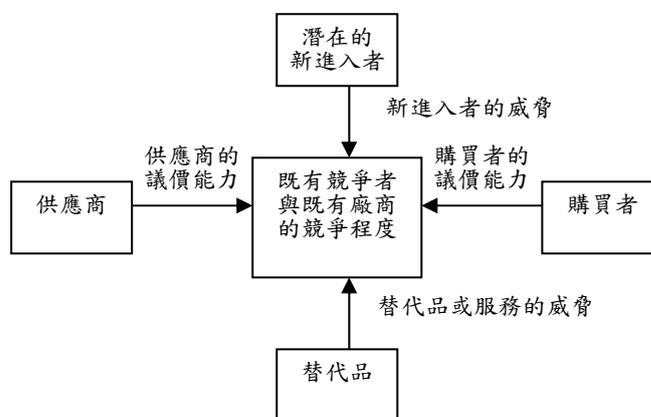
由於全球太陽能光電產業前景看好，加上台灣發展的基礎還不錯，不但太陽光電技術領先，環境條件對太陽能發電也非常有利。台灣半導體產業技術擁有雄厚的基礎，非常有利太陽能光電產業的發展，且台灣地區日照充足，通常用電負載最高的，都是太陽光最強烈的時候，此時太陽能的效率也最高，這樣的環境條件最適合發展太陽能發電。

工研院太陽光電科技中心主任徐瑞鐘表示：「目前台灣發展太陽能光電產業有個很好的開始，主要是以矽晶太陽能電池為主，以及有廠商把太陽能電池投入太陽光電模組，可作為實際發電應用；這些技術有好的開始。」

未來很有希望建立起可以技術輸出、設備輸出的產業，發展潛力可以媲美半導體及面板雙星產業，因此被選定作為政策要全力推動的新重點產業。

台灣太陽能光電產業之五力分析

Porter (1980) 認為產業的結構會影響產業之間的競爭強度，便提出一套產業分析架構，用來了解產業結構與競爭的因素，並建構整體的競爭策略。影響競爭及決定獨占強度的因素歸納五種力量，即為五力分析架構(如圖9)。



資料來源：PORTER五力分析

圖9 PORTER 五力分析模型

這五種力量分別是新進入者的威脅、供應商的議價能力、購買者的議價能力、替代品或服務的威脅及現有廠商的競爭程度。透過五種競爭力量的分析有助於釐清企業所處的競爭環境，並有系統的了解產業中競爭的關鍵因素。五種競爭力能夠決定產業的獲利能力，它們影響了產品的價格、成本及必要的投資，每一種競爭力的強弱，決定於產業的結構或經濟及技術等特質。

新進入者的威脅

綜觀世界大廠產能擴充與產品效率提升，成本下降發展迅速，而台灣廠商多處於剛起步階段，欲進入太陽能市場，除了建立技術，尋求市場，也必須整合台灣相關資源、技術、設備等商與研究單位，開發具競爭力的產品技術，方具國際競爭力，因此本產業的進入障礙高，目前投入該產業的台灣廠商大多以中小企業居多，真正的科技大廠或集團級大企業尚未大規模投入，可能

成為台灣現有廠商的潛在競爭者，再加上國際間大廠整合產業鏈的速度遠比台灣來的快，更造成台灣廠商在國際間競爭的影響。目前亞洲地區較具威脅的廠商如下：

韓國三星電子

從整個產業供應鏈的角度來看，三星掌握了最重要的上游矽材料源，並與德國矽晶圓廠 Wacker 合資，在新加坡建立矽晶圓製造廠，產業運作模式與台灣企業大不同，其集團式運作方法，比中、小型規模的台灣廠商更具優勢，且其聯盟之對象也可能是台灣企業難以敲開大門的。

待量產運作完成後，即可望大步邁進太陽能光電產業。當三星正式投入太陽能產業時，將會以整個產業垂直整合的方式投入，不會僅投入某一部分，也就是說，三星本身就是一個太陽能產業供應鏈，相較於台灣是由多家中、小型廠組成，三星在運作效率上有極大的優勢，屆時整個台灣太陽能光電產業在國際市場上，將有不小的衝擊。

中國無錫尚德

無錫尚德成立於 2001 年，在中國雖然不是第一個進入太陽能行業的公司，但在北京官方有意扶植下，且介入市場的時機較恰當，對未來方向十分堅定，2005 年 10 月份與兩家主要矽片供貨商簽訂了供貨合同。其中一個是和德國最大太陽能公司之一的 SolarWorld AG 的子公司 Deutsche Solar AG 訂立的 10 年期矽片供貨合約，其發展的規模、速度已經遠遠超出了創業企業的水平。從 2001 年至 2005 年，在不到 4 年的時間內，尚德產能擴張了 12 倍，而 2006 年實際產出約為 180MWp。

在確定上游原料的供應來源之後，尚德在國際間的競爭力，將有顯著的增加。2007 年德國 Q-Cells 取代 Sharp 成為全球最大太陽能電池廠商，無錫尚德上升至第三位；2006 年產能為 157.5MW 上升至 2007 年 336MW，變動比例 113%。

供應商的議價能力

石油價格居高不下，太陽能成為當今熱門的替代能源。不過受限於關鍵原料—多晶矽的短缺，讓太陽能廠商難以擴充產能來因應需求。產業專家認為，在該情況下最大受惠者應屬於生產矽的業者，例如：MEMC 電子材料，

與在製程中可降低矽使用的太陽能電池廠商，如：Ever Green Solar 與 Energy Conversion 等。

由於太陽能光電的多晶矽供給，在過去兩年都面臨供應吃緊的問題。隨著太陽能光電業持續積極擴張，問題將更加棘手。此外，矽價高漲也對廠商的獲利造成不小的影響。在太陽能廠商與半導體業者相互爭搶下，長期合約中矽價每公斤為 42~60 美元。至於供應緊俏也推升短期合約價每公斤超過 150 美元。

預估太陽能光電市場將從 2005 年的 112 億美元增長到 2015 年的 500 億美元。但該產業在 2006 年與 2007 年只將增長 10% 與 20%，主要是受到矽供應吃緊所致。儘管該增幅看似強勁，但卻大幅低於太陽能電池在 2005 年的 44% 增長率與過去五年平均年增率超過 30%。

故太陽能產業在未來五年內仍是賣方市場，當上游廠商的產能量出時，即被各國國際大廠爭相簽訂供應合約。尤其台灣業者陸續投入後，上游的矽晶圓供需缺口不平衡，因其除了供應台灣，亦外銷給日本等地，目前各家業者都有著原料庫存不足的壓力，擔心空有產能，卻無原料可做。然而台灣廠商在面對上游原料的供應不足，要穩定產能、利潤而不被淘汰，就必須在取得原料上更積極的尋求確定的供應商，相對的其競爭對手，已擴大到國際間各大廠。因此台灣各家廠商對自己原料的來源、數量、價格皆列為最高機密。

業者表示，將來矽原料廠在 2008 年擴產完成後，新增產能較可能先給合作關係穩定的長約客戶。至於後來加入且不是專業太陽能的廠商，在原料取得上會較為困難，也因此台灣太陽能產業的供應商議價能力算是相當高的。

購買者的議價能力

台灣太陽能產業尚屬新興產業，經過數十年來的研發，在技術上已達實用化的階段，但目前中游太陽能電池其發電的成本和傳統電力相較仍屬偏高，造成台灣地區使用率偏低，但低油電價格同時也成為台灣發展太陽能、風力、生質柴油等再生性能源的基本障礙。巨大的成本差距阻礙民間投入再生能源的意願，使得太陽能發電在台灣地區無法普及。

例如茂迪，雖然產量已躍居全球前十大，但是在台灣的銷售量還不到總產值的 10%，主要就是因為台灣的電價過低，太陽能發電一度電的成本需要 15 元，而每度工業用電平均只要 2 元，雖然政府陸陸續續都有補助措施，並計

劃在台灣南部建立一座 300KW 的太陽能發電設備，提供景觀照明及儲備緊急防災供電，因此必須藉由量產規模擴大，來降低生產成本，進一步降價刺激市場需求，並善加應用到生活各層面，擴大產業規模，是首當其要的，而在這過程中政府必須擔負帶動太陽能產業的發展，絕對是無庸置疑的事，因為客戶的議價能力是相對高的。

替代品或服務的威脅

儘管油價瘋狂的漲勢近日稍歇，但原油枯竭的預期始終是未來人類工業發展揮之不去的夢魘。這也使得各國政府愈來愈重視替代能源，企業界更將之視為百年難得一見的商機而趨之若鶩。

其中風力、生質能與太陽能光電是其中最受矚目的三大新星。其中陸地風力的發電成本已可與煤、核能等相抗衡，而生質能與太陽能則有各國政府立法提振，等於替相關個股買了最低增長性保險。以下分別介紹：

風力

由於陸地風力是目前替代能源中，發電價格最接近大額電力者（成本低、可大量發電），因此原本預期 2010 年風力發電安裝 40GW 的目標，2005 年已提前達成，2006 則預估為 59GW，到 2020 年前的年複合增長率達 21%。但風力設備安裝集中在丹麥、德國、西班牙與美國，因此風力發電設備大廠也幾乎由外商囊括，尤其是丹麥 Vestas（去年市佔率 28%）與美國 GE Wind（18%）。風力發電產業鏈的發展有其獨特地域性，通常政府會規定一定比例的零組件在當地生產，藉以取得與外商技術合作機會，扶植本國企業；例如印度近年積極發展，當地業者 Suzlon 便與外商合作而浮上檯面、拿下全球 6% 的佔有率。

相對於外商，台灣目前受惠於風力發電設備者有東元、中興電工等。東元替 GE Wind 代工其中的發電機，目前量產規格為 750KW、1.1MW 即將量產。中興電工則以代理進口、組裝等為主。東元另外又與金豐機器、力鋼工業與磁震科技等成立「台灣風力發電產業研發聯盟」，計劃以一百億元在台中港離岸地區，興建總發電量約一億瓦五十座大型連網式風力發電機組。並在政府與學界支援下，預定明年開發出國產第一座風力發電機，預訂在 2011 年量產。

生質能

生質能也是目前國際上重要的能源之一。利用高粱、甘蔗、玉米、甜菜等農作物提煉出乙醇，製作成生質酒精（巴西為代表）、生質柴油（德國為代表）等，具有不斷再生的特性。與現有的汽油混合使用，可做為汽車行駛的部分動力來源。據統計，生質燃料比重低於 5%時，現有汽車不需太多調整便可使用，調整化油器後最高可混雜 10%生質燃料。由於乙醇價格較原油低，且辛烷值高、引擎爆發力強、低污染，是值得開發的綠色能源。

台灣因相關農產量有限，一直未積極發展生質能。相較於台灣，兩次石油危機讓蔗糖產出大國巴西決定全力扶植生質能產業鏈。巴西 2003 年便開發出可使用汽油、天然氣與乙醇燃料的汽車（FFV），目前在巴西市佔率約二成。巴西汽車使用的生質燃料比重更逼近 25%。由於生質燃料產業鏈夠成熟，巴西得以在國際糖價上揚時出口粗糖、低迷時製成乙醇內用，兩相權衡取其利多者。除了巴西 Cosan Sa Industria 產值居全球之冠外，美國的 Pacific Ethanol, Verasun 等公司都是生產乙醇的大廠；生產過程中扮演要角的酵素則有 Diversa 與 Novozymes 等公司供應。

燃料電池

目前燃料電池（fuel cell）是利用一般化石能源，如煤碳、石油、天然氣等，或是含有氫分子的再生能源，如沼氣、甲醇等作為進料，但是與同樣利用這些能源的火力發電方式有所不同，因為火力發電必須經過燃燒及各種層層能量轉換程序，最後才轉變成為方便使用的電力，故此燃料電池發電效率高，同時亦不會帶來因為燃燒而造成的空氣污染，以及發電機經由齒輪傳動而產生的噪音，所以燃料電池常被認為是一種兼顧環保與效率的綠色發電工具。

在眾多的再生能源中，太陽能電池和燃料電池是最能與台灣 IT 產業發揮縱效的選擇，燃料電池所使用的主要燃料是氫氣，且需要的元件較少，具有對環境低污染低音的特性，將燃料中的化學能直接轉化成電能的作功原理，其轉換效率可達 37%~70%，在電池產品上雖放電特性不同，但在再生能源中的其他特性相同下，也是替代性的威脅來源。

從政經、能源、環保、社會、科技產業發展及生活品質提昇等角度考量，燃料電池科技是值得台灣產、官、學界長期投入發展的新興科技領域。其多元化研發領域及應用產品，將提供部分產業轉型成為知識密集、永續環保的綠色科技產業。

廠商的競爭程度

目前台灣廠商大多處於剛起步的階段，包括生產太陽能電池矽晶片的中美矽晶、綠能，單晶與多晶電池的茂迪、益通光電，電池模組封裝的正茂光電和中國電器等公司，其中茂迪 2006 年 Q3 起已躍居全球第六位。另外昱晶、聯電及力晶三大半導體業集團也籌設新的廠房設備以投入產能；科風、茂矽等上市櫃公司也陸續宣布加入。

昱晶 2005 年 8 月成立，由於處草創初期，2006 年稅前虧損 2,372 萬元，而 2008:q1 出貨 37MW，2008:q2 出貨 41MW，預估 2008 年出貨將達 220MW、2009 年時年產能達 300MW 將成為台灣第四大太陽能電池廠。台灣太陽能投入者眾，不過除了太陽能三雄茂迪、益通、旺能，及昱晶外，其他新進業者正式量產時程都待醞釀。

由於這幾年太陽能電池業者幾近暴利的表現，且相較半導體產業來說對來說技術和資金門檻都較低，因此吸引大批競爭者跟進乃是經濟學上的必然現象。不過在各業者都競相增加產能的情況下，多晶矽原料的來源仍是最大問題。原本市場預測多晶矽短缺的現象到了 2008 年可以獲得緩解，由於最近各業者又積極增加新的擴產計劃下，有可能原料供應的問題將會持續下去，未來能得到確定原料供應的才能在市場生存。至於薄膜太陽能技術，雖然原料成本較低，且有能夠繞捲的特性，但因為轉換效率不如發展較成熟的矽技術，且製程較困難，最終模組的每瓦成本實際上並不低於矽太陽能電池，因此雖然前景仍看好，但是短期內要能追上矽太陽能電池的可能性不高。

而台灣太陽能廠商其競爭的程度，在於是否能夠尋求到確定的物料來源，除了尋求確定的物料來源，太陽能電池廠商也積極的整合自己的產業鏈，以解決未來供需不平衡的狀態，因此在整個太陽能產業廠商的競爭程度是非常高的。

台灣太陽能光電產業鏈分析

台灣產業鏈

基本上，台灣發展太陽光電再能源議題上有兩個顯而易見的好處，一是解決二氧化碳排放量的問題，二是讓台灣有機會發展出自己的能源產業。過去在經濟部能源局的推動下，台灣太陽能電池產業從研發到量產，已經逐漸建立包含上（矽晶片），中（電池／模組）、下游（系統）的產業鏈，由於上、

中、下游所面對的市場、技術門檻和資金規模都不一樣，因此廠商所採取的策略也各有差異。

台灣在半導體領域擁有豐富的製造管理經驗，因此很容易就可以轉進太陽能電池矽晶片的生產；在電池、模組方面，則可複製 IT 產業的生產經驗，具備降低成本能力，台灣的知名大廠茂迪、益通，就是代表性廠商。至於系統生產方面，因為必須鄰近市場，且台灣本身的內需市場不夠大，因此發展相對較慢。

另外，矽材短缺問題，則突顯台灣太陽光電產業的另一個難題，亦即上游多晶矽原料全部掌握在國外少數幾家廠商手中，在原料上我們還無法自主。不過，台灣已有大型企業集團計劃投入多晶矽的原料生產，將可彌補產業鏈上的這塊缺口。

除了太陽光電產業本身，結合太陽能電池和建材的 BIPV（建材一體光電應用）也是未來的發展重點。所謂的 BIPV，是指太陽能電池直接和建築材料結合，譬如作成太陽能電池屋瓦，或是將太陽能電池與玻璃、不銹鋼材或塑膠板結合在一起，直接供建築使用。當太陽光電的應用更加普及，BIPV 肯定會有極大商機。

台灣太陽光電產業處於發展初期，缺乏上游矽原料製造廠，而太陽能矽晶圓多由半導體矽晶圓廠商所投入，如中美晶及合晶等，大同公司轉投資之綠能科技則準備朝多晶矽晶圓製造發展，茂迪自 2006 年成立長晶部門正式跨入上游切晶技術。太陽能電池部分，台灣主要大廠為茂迪及益通，另有台達電轉投資之旺能光電於 2005 年投產，並於同年 12 月開始生產多晶矽太陽電池。崇越則透過委外代工方式生產，另台灣已有不少廠商於規劃投產階段，如昇陽、科風、茂矽、嘉晶等廠商（如表 7）。整體而言，台灣太陽能電池全球市佔率約 4.15%，其他像矽晶圓、模組、系統及電力調節器等全球市佔率都相當低，且台灣太陽能產業策略缺乏上中下游之聯盟，以專業化生產為主。

表 7 台灣投入太陽能產業企業概況表

	生產製程	投入企業
上游	Silicon Material 矽材料	N/A
	Wafer (矽晶圓)	中美矽晶、合晶科技、嘉晶科技、錄能科技
中游	Solar Cell (太陽能電池)	茂迪、益通、旺能、光華開發...
	PV Module (太陽能模組)	鼎元、興達科技、永炬光電、日光能、中國電器、知光能源
下游	PV System (太陽能光電系統)	永炬光電、伸浦實業、中國電器、太陽動能、茂迪、強而青、冠宇宙、碩升

資料來源：本研究整理

競爭力分析

在上游矽原料部分，因投資金額高達 100~150 億元，且回收期間長、技術進入障礙高、具污染等特性，台灣目前尚無廠商投入。在系統部分，必項作 filed test，包括設置時傾斜角度、位置等複雜度高，運輸及倉儲成本亦高，須鄰近市場才較有利基。電力調節器之發展，例如像意大利之陽光相當強烈，電力調節器很容易被燒掉，且其功能除把直流電轉換成交流電外，還必須控制電流之流向，所以要清楚各國的國情及經當地系統業者或電力公司之認證，才易切入國際電力調節器市場。

相對的，台灣在矽晶圓、電池及模組發展上是較有機會的。如中美晶及合晶係由半導體晶圓轉型成太陽能晶圓，在技術及原料掌握度上都較具有優勢；電池部分，目前台灣廠商之轉換效率、電池厚度，都具國際大廠水準；而 LED 業者因在製程技術上與太陽能產業相似，所以也積極跨入，其毛利並沒有 LED 佳，但卻是產品多樣化以創造營收的機會。

目前台灣廠商以專業化生產為主，有別於國際大廠垂直整合型態，像茂迪、益通皆與原料供應商簽訂長期供料合約以確保原料取得，轉換效率亦具國際大廠水準，但因太陽能產業講究的是長期合作關係，故台灣應更積極的投資上下游廠商，進而佈局全球網絡，才能更進一步的穩定料源，與達到一貫製程之品質保證及發揮量產規模效益。

台灣內需市場

政府計劃於 2020 年將再生能源比重由現在的 5.5% 提升到 10%，而台灣政府對太陽能裝置系統補助政策為 1KW 補助 15 萬元，但尚未啟動優惠購電措施。目前台灣裝置成本仍高，一般家庭規格 3~4KW 之系統裝置約 90~120 萬元；台灣電價低，住宅用電每度 3.0 元遠低於太陽能每度 15 元之發電成本；以建築物來看，台灣缺少安裝的空間且易被鄰近大樓遮住太陽光線，所以目前台灣尚無太陽能裝置系統之需求市場，故產出之太陽能電池 95% 皆外銷，以歐洲、中國及日本為主要市場。未來台灣應傾向發展與建材整合之太陽能光電系統(BIPV)，以達成累計裝置量由 2005 年 3.5MW 增長至 2010 年 21MW 之目標。

台灣太陽能電池產值及產量呈現倍數增長，2005 年的產值達到了 5,600 百萬元（約 111.62MW），佔全球市佔率約 4.15%，預計 2006 年在茂迪、益通之擴產動作及新廠商產能之陸續開出下，全球市佔率將可達 7%，2007 年則以 10% 為目標。

台灣太陽能光電產業之 SWOT 分析

SWOT 分析屬於策略性規劃。包含了 strengths, weaknesses, opportunities 以及 Threats，意即：優勢、劣勢、機會與威脅。應用於產業分析主要在考量其優勢和劣勢，是否有利於競爭；機會和威脅是針對外部環境進行探索，探討產業未來情勢之演變。針對台灣太陽能產業，分析出以下優勢、劣勢、機會及威脅。

優勢

由於台灣在半導體、平面顯示器產業的發展上所具有的優勢，使得台灣發展太陽光電產業具有相當大的潛力，也因其涉及的製造與半導體製造有許多共同點，進入太陽能光電領域也較為容易，目前以加強太陽光電效率之提昇及開發新世代產品為研發主力，進一步降低太陽光電之設置成本，而部分太陽能電池設計廠商正在研究如何透過更新的晶圓或薄膜技術，以降低成本。太陽能產業可能是半導體產業未來發展的新商機之一，許多半導體產業公司因看好太陽能光電在未來會有蓬勃發展的商機，開拓新發展方向，轉而投入發展太陽能產業，其延續台灣能源科技的發展至永續經營。

劣勢

首先台灣過去培養的人才主要以半導體為主，然後是平面顯示技術人才，雖然人才與太陽能光電產業有所重疊，但是並非是以太陽能產業發展為主要目的，台灣目前在太陽能光電產業的發展中，雖然部分人才可由半導體產業吸收，不過因過去投入太陽能光電技術研究的人不多，在光電研究方面的人才還是有所不足，也導致缺乏國際技術市場經驗與資訊。

其次目前台灣業者缺乏矽材原料之製造，須仰賴國外進口，其餘環節則皆有廠商投入，台灣缺乏自己設計製造精密儀器設備之能力，太陽能電池模板封裝材料也尚未研發出成果，主要的生產設備也必須仰賴國外廠商提供，進口成本高，而太陽能矽晶圓之所以出現缺貨，主要是因為各大電池廠自己的原料廠擴產速度太慢，也因矽原料取得困難，嚴重影響台灣矽晶片的製造與生產。由於太陽能電池的轉換效率高低攸關產品的單價及毛利率提升，以茂迪為例，茂迪不斷致力於研發提高轉換效率，目前單晶矽片轉換效率已達 16.2% 以上，多晶矽片轉換效率在 15.5%，與太陽能技術領先國家的日本轉換效率 17.5%~18% 還是有所差距，台灣的轉換效率雖進步許多，但還是不及其他國際大廠，在研發方面還是必須持續加強且積極投入。

再者台灣太陽能電池模板與系統驗證體系與標準尚無建立，太陽光電科技中心亦已針對太陽能電池模組封裝技術，以及太陽光電產品的測試驗證技術，還在進行一系列相關研究計劃，期望能透過自有技術與標準的建立，協助台灣建立完整的太陽光電產業鏈，而另一方是以全球知名的測試暨驗證單位德國萊因集團與工研院太陽光電科技中心合作，共同打造太陽能光電模組測試實驗中心，預計在不久的將來可協助台灣廠商進行相關模組測試，在系統驗證體系與標準尚未建立下，台灣廠商的產品還未能完全使國際相互承認，連帶造成產品外銷國際的極為困難。

最後台灣主要的再生能源法尚未通過，再生能源只侷限於小規模與家庭用能源，然而台灣要開展太陽能產業，也必須面對其他國家激烈的競爭，相對於日本與德國之國際大廠具上中下游整合能力，能提供完備的系統服務，台灣產業只是初步成型，又是由多家中、小型廠組成，廠商數目與規模不大僅是部分整合，產業鏈結構不足，產值未有太大起伏，市場規模小。

機會

石油價格的上漲原因，主要是因為國際需求量之增加、產油國過剩供應容量降低、產油地區之衝突危機、全球原油蘊藏量持續下降等等的因素，為了降

低對石化燃料的倚賴程度，加上京都議定書廢氣減量壓力的環保意識抬頭，既已訂立了締約國對溫室效應問題管制所要努力明確的目標，日本、歐洲、美國、澳洲等國家均積極投入各種潔淨新能源如太陽能、風力、水力、生質能等能源產業的開發，以其有效減少因石化燃料使用所造成的溫室氣體排放，使得傳統燃石油、燃煤等發電方式受到限制，同時兼顧溫室氣體減量與資源永續利用等目標，再生能源受到很大的重視，且積極投入替代性能源研發，提高再生能源的供應量與使用量已成為全球趨勢。

替代性能源中，尤其以太陽能的應用，需求最為強烈，在發達國家重視的情況下，全球太陽能光電產業市場也正在高度增長，而再生能源與建築結合的新環保理念，考量綠建築的應用及大樓的設計規劃，朝著與建築結合的太陽能應用將是一個具發展潛力的方向，雖然台灣市場規模還很小，但可以提供一個增長的市場需求。

威脅

因上游矽材料缺貨，太陽能光電廠商為了確保材料來源無慮，直接向更上游原料廠商購買原料，目前全球矽材料主要由美、日、歐六家大廠寡占，由於原料採購競爭激烈，不只是小廠爭相與國際大廠綁約，國際大廠間上下游策略聯盟也不斷發生搶料問題，上游原料廠開始進行擴廠計劃，以舒緩目前嚴重的供需失衡，多家業者未來均將擴產太陽能多晶矽。又因台灣技術和產業標準還不盡完善，相關產業鏈也不健全，原材料和生產設備幾乎全部依賴進口，主要的生產設備（高溫爐管、PECVD）也必須仰賴歐、英、日廠商提供，也是制約台灣太陽能企業的發展主要因素。

目前太陽能光電發電成本比傳統發電高出許多，台灣政府並無太陽能電池開發的鼓勵方案，無法給予業者充分的租稅獎勵和提供民眾足夠的裝設誘因，加上其他再生能源的威脅，如風力，發電成本低於太陽能發電且能大量發電，造成在再生能源市場區塊的激烈競爭。與台灣在技術與出貨量上較為相近的中國大陸，已通過再生能源法，加上政策上的招引和呵護下，也為大陸的再生能源生產企業帶來了市場機會，也將是台灣最主要的競爭對手。

表 8 台灣太陽光電發展之 SWOT 分析

優勢-Strengths	機會-Opportunities
<p>矽晶片</p> <p>1.台灣半導體製造管理經驗豐富，容易轉入太陽能電池用矽晶片生產，具降低成本能力。</p> <p>太陽能電池</p> <p>1.台灣半導體產業人才有雄厚基礎，發展結晶矽太陽能電池進入障礙低。</p> <p>產業</p> <p>1.台灣廠商應變彈性大，籌資與擴充產能快速，可爭取太陽能電池與晶片市場增長之先機。</p>	<p>產業</p> <p>1.全球太陽能光電產業市場高度增長。</p> <p>2.建築結合的應用可大幅增加市場需求。</p> <p>3.環保意識與石油高漲，再生能源受到重視。</p> <p>4.京都議定書 2005 年 2 月 16 日實施，加速新能源的開發。</p>
劣勢-Weakness	威脅-Threats
<p>太陽能電池</p> <p>1.台灣太陽能電池之光電轉換效率與國際大廠仍有差距，須持續投入研發。</p> <p>2.矽原料缺乏影響台灣矽晶片及太陽能電池的生產量。</p> <p>3.台灣投入太陽能電池研究人員不多，人才短缺，需運用半導體產業人才作培訓。</p> <p>太陽能電池模板、太陽能光電系統</p> <p>1.台灣太陽能電池模板與系統驗證體系與標準尚無建立，不易開拓國外市場。</p> <p>2.台灣太陽能電池模板用封裝材料（EVA、Tedlar）均自國外進口，成本高。</p> <p>產業</p> <p>1.台灣過去投入太陽能光電技術研究不多，缺乏國際技術市場經驗與資訊。</p> <p>2.台灣產業初步成型，廠商數目與規模不大，產值仍小。</p> <p>3.日本、德國之國際大廠具上中下游整合能力，能提供完備的系統服務，具強勁對手，台灣廠商僅部分整合。</p>	<p>矽晶片</p> <p>1.上游材料缺貨，矽原料掌握在歐、美、日少數廠商供應。</p> <p>太陽能電池</p> <p>1.太陽能電池主要生產設備（高溫爐管、PECVD）仰賴歐、英、日廠商提供。</p> <p>產業</p> <p>1.太陽能光電發電成本下降壓力大，與其他再生能源的威脅（風力）。</p> <p>2.中國大陸通過再生能源法，以內需市場誘因對產業提供競爭優勢。</p>

資料來源：本研究整理

結論與建議

由於化石燃料的枯竭問題與主要能源產地的動盪，自 2004 年第二季開始衝擊台灣的能源情勢，使台灣能源使用安全與成本受到挑戰，更激起了各國對能源問題的重視，因為能源問題已非短期的供需失衡問題，而是攸關著長期經濟發展的重大議題。能源供給的主要來源為石化燃料，如煤炭、石油及天然氣等，由於台灣石化燃料蘊藏極度缺乏，石化燃料供給高度仰賴進口，2004 年台灣進口能源依存度已高達 97.8%（見表 10）。此外，台灣石油消費比例高達 50.5%，高於全球石油消費比例的 38%，顯示台灣能源供給存在結構不健全的隱憂。而化石能源使用產生污染等問題所造成的外部社會成本，也越來越必須去面對。在這種情勢之下，能源政策應兼顧經濟發展、能源安全與環境保護。

表 10 台灣能源安全度

單位：%

年別	安全度	進口能源依存度	石油依存度	中東原油進口依存度
1981 年		85.3	67.7	86.3
1986 年		89.3	55.1	90.6
1991 年		95.3	53.9	90.1
1996 年		95.9	53.4	93.1
2001 年		96.9	50.4	68.1
2004 年 1-7 月		97.8	50.5	77.9

資料來源：經濟部能源局；工研院IEK-ITIS計劃整理（2004/09）

然而各國發展再生能源的主要項目有所不同，以太陽光電為例，太陽能產業鏈基本上由 4 個環節構成，分別是矽原料生產（silicon）、晶圓製造（wafer）、太陽能電池（cell）、太陽能電池模組（modules）及太陽能電池系統（system）。就產業上、下游成本結構而言，太陽能光電系統中，電池模組約佔 50% 成本，電力調整器約佔 25% 成本；太陽能模組中太陽能電池約佔 70% 成本；太陽能電池中晶片約佔 60%。

由於全球太陽能產業前景看好，台灣在太陽能電池部分表現很好，不過目前台灣廠商面臨了矽材原料的缺乏，技術與製程上的難題，目前被美、日、德等大廠壟斷。此外，矽片切割環節由於切割厚度以及破片率等方面的要求較高，進入也存在一定的門檻，這兩個環節處於產業鏈上游。中游的技術與原

本半導體產業製造基礎接近，故吸引台灣半導體大廠業者積極投入，如茂矽、力晶（轉投資新日光能源）等。反觀產業鏈下游環節電池晶片製造、模組及系統的封裝部分，進入門檻較低，但電池晶片轉換效率的高低決定處於該環節中公司的獲利能力。

因此根據本文綜合分析，本研究提出以下建議：

對政府方面

1. 加速通過「再生能源發展條例」

「再生能源發展條例」為推動台灣綠色能源產業發展的母法，亦是促進這項產業投資發展的重要誘因。行政與立法部門應加速通過「再生能源發展條例」及太陽光電優惠收購電價法案，並制定長期發展計劃，激勵產業之發展。

2. 建立新能源國家型計劃

訂立研發與產業化之 Roadmap，規劃短、中、長期目標，投入並提高研發經費、研發項目、整合研產學單位研發與產業發展能量，目標導向發展關鍵利基業技術，加速技術與產業化成熟時程。將與國外相較偏低之能源科技。

3. 建立自主產業技術能力

集中台灣有限的資源及研發能力，同時考量國際上對再生能源設備產業發展趨勢，在策略上，以達成再生能源推廣建置台灣市場，同時建立自主產業技術能力為首要的目標。

4. 發展共通性設備

考量市場及產業能力，以發展共通性設備、台灣外需求空間較大且與台灣現有產業如半導體業的整合力強的產業項目推動。

5. 建構完整產業發展體系

藉由一系列的產業發展措施，建立再生能源設備的台灣銷售市場後，同時帶動相關設備製造及後續組裝維修能量，以建構完整產業發展體系。

6. 積極推動太陽能產業

台灣本身內需市場小，最後仍然必須要以出口為選擇，因此政府能否盡快從背後加把勁拉升，包括：拉攏矽原料生產廠商來台設置、發展本土化太陽能設備等，將是台灣能否繼半導體、TFT LCD 之外，誕生另一項傲視全球的產業的關鍵點。

對產業方面

1. 加強太陽能光電效率

太陽能雖然也有光電轉換效率不高、裝置成本過高的問題，但因其裝置具有分散性的特點，不需廣大的佈建基地，地表上各地區都可以接觸陽光日照，且不需特定設置地點，未來台灣應加強太陽光電效率之提升及開發新世代產品為研發主力，進一步降低太陽能光電之設置成本，加化產業之競爭力。

2. 建立台灣產業鏈

太陽光電供應鏈發展可說是「麻雀雖小五臟俱全」，相關業者分布，從矽晶、太陽能電池、太陽能模組到太陽光電應用，只要上下游能夠合作，發揮供應鏈群聚效益，生產競爭力不遜於國際大廠，例如：矽晶體太陽廠透過一貫化（turn-key）製程設備開發，提高製程轉換效率，因此台灣太陽能產業機會在於供應鏈的整合。

3. 新製程的開發

新製程開發亦是努力的方向，目前太陽能電池生產技術側重於薄膜製造，新化合物技術的出現，提供另一發展契機，若能確立聚光型太陽能電池生產技術藍圖，取得技術領導地位，足以與國際大廠分庭抗禮。

4. 供應鏈的整合

台灣 PV 產業的高度專業分工策略，似乎面臨了發展的十字路口。若由世界各國高科技產業的發展經驗來看，台灣半導體產業之所以能立足全球，除了良好的外部環境外，更重要關鍵是來自於上中下游的完整體系，以及體系內各廠商間彼此的密切搭配，無論就次產業的企業家數、

規模、關聯度等，都達到一定程度的利益共生關係，簡言之，是「對內彼此競爭，對外有共同利益」的互動架構，可供台灣 PV 業者參考。

5. 擴產以及製程改善以解決矽材缺料問題

至於矽材缺料問題，可透過擴產以及製程改善獲得解決，下游太陽能光電廠只要能夠有效率地提升轉換率，亦能減少對矽材的需求量，製程效率的提升，並配合 2009 年原有多晶矽廠新產能開出與新的多晶矽廠產能開出下(中國與韓國新產能估計將大幅增加)，將使供給吃緊的情況可望舒緩。

6. 廠商合作經營

台灣廠商應趁勢運用交叉持股或合資方式，進行上下游的投資佈局，積極建構全球各地的供應網路，順勢卡位。尤其是面對未來二年的市場產能空窗期，一個完善供應鏈網路不僅能維持專業分工的彈性優勢，同時可以消弭「長期供應契約」出現合約價高於現貨價的風險，或是原料短缺所帶來的營運不確定性。

7. 提升台灣廠商競爭力

長期而言，供應鏈網路的投資佈局，可以將企業從供應鏈中的螺絲釘，提升成為整合者，如此不但能避免日後出現獲利被壓縮的窘境，且在面對領導廠商的強勢技術標準下，也能快速地調整因應，與領導大廠進行差異化發展，而這種策略模式，最能符合台灣廠商以靈活即彈性稱著的特質，也有利於迅速切進具發展潛力的新興 PV 市場，提升台灣廠商在全球太陽光電產業的競爭力。

未來研究發展方面

近期，太陽能產業在高油價和相關能源環保議題之下，且各國相繼推出優先補助方案，將使得它具有高度的增長性，產業能見度也持續看漲。太陽能光電產業已是產業市場上受到關注的重點，後續並大幅增加資本支出擴大產量的能力；未來也將出現越來越多的產品朝向與太陽能結合的方向發展。有鑑於此，建議納入目前太陽能相關應用商品及方向，包括以綠色建築來看太陽未來發展、新世代能源監控技術、以及建築一體型太陽能電池模組 (BIPV) 之應用，希望藉此綠色能源方面全觀的架構，提供台灣試圖進軍此一領域的

廠商最具實用性的技術資訊和產業動態，協助有志廠商切入此潛力可期的新興市場。

參考文獻

經濟部能源局（2006），〈經濟部五年內將提高綠色能源產業產值至 1,610 億〉，http://cdnet.stpi.org.tw/techroom/policy/policy_06_022.htm，1 月 23 日。

財訊出版社/ 編（2006）太陽煉金術：透視全球太陽光電產業。財訊出版社股份有限公司。

劉佳怡（2005），〈日本太陽光電之推動策略〉，《工研院 IEK-ITIS 計劃》，http://www.itri.org.tw/chi/services/ieknews/iek_news_cat.jsp，12 月 29 日。

Fine, C. H.(2005). Fine, Are You Modular or Integral, *strategy+business*, 39, <http://www.strategy-business.com/press/16635507/05205>

Hill, C. & Jones, G.(1995). *Strategic Management Theory: An Integrated Approach*. Boston: Houghton Mifflin.

Porter, M. E.(1980). *Competitive Strategy*. New York : Free Press

Porter, M. E.(1990). *The Competitive Advantage of Nations*. New York : Free Press