

國立交通大學

管理學院碩士在職專班科技管理組

碩士論文

台灣薄膜太陽能電池產業發展分析研究



Industry development analysis for
Taiwan thin film solar cell

研究生：陳辜欣

指導教授：虞孝成 教授

中華民國九十七年六月

台灣薄膜太陽能電池產業發展分析研究

Industry development analysis for Taiwan thin film solar cell

研究生：陳辜欣

Student : Ku-Hsin, Chen

指導教授：虞孝成

Advisor : Hsiao-Cheng, Yu

國立交通大學
管理學院碩士在職專班科技管理組
碩士論文

A Thesis

Submitted to Graduate Institute of Management of Technology

College of Management

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Business Administration

in

Management of Technology

June 2008

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 九十七 年 六 月

台灣薄膜太陽能電池產業發展分析研究

中文摘要

台灣的太陽能產業自 1999 年發展迄今，已有超過 8 家上游太陽能矽晶材料廠商，中游 20 家已量產或計畫投入的太陽能電池廠商，20 家已量產或計畫投入的太陽能電池模組廠商，下游系統及週邊零組件與應用產品廠商家數有 50 家，短短數年間，產業從業廠商家數已近百家，產值已破百億新台幣，已然具備完整的上中下游生產體系，並已形成產業聚落現象，在我國的光電產業中，即將超越 LED 產業產值，並躍居全球第五大太陽能電池生產國，不論在品質、交期、價格、生產彈性和產量能力均具國際競爭力。

但於近兩年來，由於全球矽晶圓嚴重的供需失衡，直接衝擊到以矽晶圓為主要原料的結晶矽太陽能電池產業，雖然目前仍為結晶矽太陽能電池市場主流，但已逐漸出現次世代的非晶矽(a-Si)、碲化鎘(CdTe)及銅銦硫(CIS)薄膜型太陽能電池商業化量產技術，在其年成長率遠遠大於結晶矽太陽能電池狀況之下，台灣各大結晶矽太陽能電池廠及相關 IC 產業如雨後春筍般的競相於台灣設置薄膜型太陽能電池廠，並以向國外整廠輸出的模式快速建立生產線以投入生產。

本研究係經由歷史資料蒐集，了解全球與台灣薄膜太陽能電池產業的發展歷程與現況，進而分析薄膜太陽能電池各主要生產國的國家競爭力，探討及歸納台灣薄膜太陽能電池產業的競爭優勢，最後對產業的競爭策略，提供具體建議，以供政府及業者參考。

關鍵字：太陽能、薄膜太陽能、國家競爭力分析、競爭優勢

Industry development analysis for Taiwan thin film solar cell

Thesis Abstract

The solar cell industry in Taiwan has been developing since 1999. Today, in 2008, 8 suppliers exist in the upper-stream of wafer supply, 20 suppliers are devoted or planning to invest in mid-stream, solar cell technology, 20 suppliers are devoted or planning to invest in mid-stream system integration and over 50 suppliers are invested in the down-stream of product application or related accessories industries. In these few years, the number of suppliers in the solar cell industry has risen to almost one hundred and the yearly production revenue is over 10 \$NT billion. Over the past nine years, the entire industry supply chain was established and the industry cluster was also strengthened. The annual revenue of the solar cell industry will exceed that of the LED industry in the near future. Additionally, Taiwan was ranked fifth in the world among solar cell producing countries.

Over the past decade, wafer-based crystalline silicon solar modules have predominantly been the material of choice in production; however, due to a major material supply shortage in silicon, used to produce silicon wafers, a significant shift in production methods could be on the horizon. Amorphous silicon (a-Si), Cadmium telluride (CdTe) and copper indium diselenide (CuInSe₂, CIS), used to produce thin film solar cells, have the potential to become more commercialized and have maintained a significantly higher growth rate than silicon-based solar cells. An overwhelming majority of silicon-based solar cell suppliers are planning to change to the thin film solar cell field and intend to follow the turnkey model to establish the production line more easily and smoothly.

This thesis analyzes the comparative competitive advantage among main solar cell producing countries. It is comprised of historical data, comparing Taiwan's thin film solar cell development and growth with that of other countries throughout the world, investigating competitiveness from both a global perspective and a country perspective from Taiwan to induce a competitive advantage in the thin film solar cell market. Furthermore, this thesis provides strategic suggestions for the potential manufacturers as well as government regulators.

Keyword: Solar cells, thin film solar cells, competitive advantage of nations, competitive advantage



誌謝

在多年的就業生涯中，時常感覺到自己對於知識的涉獵不足，同時也一直在找尋各種管道來滿足自己的強烈求知慾，十分感謝交大科管所願意給我這個難得的機會讓我再重拾書本，並與其他商場上的先進菁英們能夠齊聚一堂，相互激發創意及分享彼此不同產業的差異性。

本論文能夠完成付梓，首先感謝指導教授虞孝成老師對於論文研究方向及撰寫方式給予我最大的助益，也同時在撰寫過程中，給予適時的建議與回饋。另外在口試期間特別感謝包曉天教授、朱克聰教授與林亭汝教授，在百忙之中對於本研究論文不吝提供許多寶貴的意見及修正建議與方向，同時亦提供許多研究資源，使本論文能夠更臻完備，特此申致最深之謝意。

求學過程雖然辛苦，卻也充滿甜美和喜悅。感謝科管所所有師長的諄諄教誨，引導我進入管理知識的殿堂，也感謝所有同學相互的扶持和勉勵，不管在研討個案、撰寫報告和準備考試中培養的革命情感及共同成長的學習歷程，都是永難忘懷的記憶。

衷心感謝在這段終身學習的過程中，眾多好友和同事不斷給予的鼓勵和關心。最後，謹以此篇論文獻給我最摯愛的家人，包括含辛茹苦並嚴謹教養我的雙親、對本論文貢獻良多的佳卉，以及所有曾在我生命中豐富過我的人，感謝您們願意在這段日子陪伴著我。

陳幸欣 謹誌
國立交通大學管理學院碩士在職專班科技管理組
2008 年 6 月

台灣薄膜太陽能電池產業競爭策略分析

內 容 目 錄

第一章、緒論.....	1
第一節 研究背景與動機.....	1
第二節 研究目的.....	2
第三節 研究流程與架構.....	3
第二章、文獻探討.....	5
第一節 策略與策略規劃.....	5
第二節 國家競爭優勢分析.....	10
第三節 ANDREW GROVE 六力分析.....	16
第三章、全球薄膜太陽能產業概述與發展趨勢.....	21
第一節 薄膜太陽能原理及技術發展.....	21
第二節 薄膜太陽能電池的多元化應用.....	30
第三節 全球市場分析.....	31
第四節 全球薄膜太陽能主要供應商分析.....	33
第四章、主要太陽能電池生產國國家競爭力分析.....	36
第一節 日本.....	36
第二節 德國.....	45
第三節 美國.....	54
第四節 中國.....	62
第五章、台灣薄膜太陽能電池產業的國家競爭力分析.....	68
第一節 要素條件(Factor Conditions).....	68
第二節 需求條件(Demand Conditions).....	68
第三節 相關及支援性產業(Related and Supporting Industries).....	69
第四節 企業策略、結構與同業競爭(Firm Strategy, Structure and Rivalry)...	70
第五節 機會(Chance).....	72

第六節 政府(Government).....	72
第六章、 結論與建議.....	76
第一節 結論	76
第二節 對臺灣廠商投入薄膜太陽能電池的建議	76
第三節 對政府輔導薄膜太陽能電池產業政策的建議.....	78



圖目錄

圖 1-1	研究流程與架構	4
圖 2-1	Hill and Jones 策略規劃架構	9
圖 2-2	國家競爭優勢鑽石模型	15
圖 2-3	六力分析架構	20
圖 3-1	太陽光電應用	30
圖 3-2	全球太陽能電池(Solar Cell)年度產量(1999~2006)	31
圖 3-3	全球薄膜太陽能電池(Solar Cell)年度產量(1999~2006)	32
圖 3-4	2006 年各區域市場生產太陽能電池的市佔率	32
圖 3-5	2006 年各區域市場生產薄膜太陽能電池的市佔率	33
圖 4-1	日本年度太陽電池總出貨量統計	37
圖 4-2	日本太陽電池電池產值	39
圖 4-3	Sunshine計畫及New Sunshine計畫之技術發展規劃	44
圖 4-4	德國次世代太陽電池產業	47
圖 4-5	美國次世代太陽電池產業	58
圖 5-1	台灣次世代太陽電池產業廠商	72
圖 5-2	台灣薄膜太陽能電池產業的鑽石模型	75

表 目 錄

表 3-1	2006 年全球前 15 大太陽能電池生產廠商及其投入薄膜領域的情形 ...	34
表 3-2	2006 年全球前 10 大薄膜太陽能電池生產廠商及其投入薄膜領域的情形	35
表 4-1	日本結晶矽太陽能電池產業鏈.....	38
表 4-2	日本薄膜太陽能電池產業發展	40
表 4-3	德國結晶矽太陽能電池產業鏈.....	46
表 4-4	德國薄膜矽太陽能電池產業產能投資	48
表 4-5	全球PV主要市場需求量.....	50
表 4-6	2007 年德國EEG太陽光電接入費率.....	51
表 4-7	美國結晶矽太陽能電池產業鏈.....	57
表 4-8	中國大陸結晶矽太陽能電池產業鏈	63
表 4-9	太陽能電池主要生產國之國家競爭力比較	67
表 5-1	台灣結晶矽太陽能電池產業鏈及廠商	70



第一章、緒論

第一節 研究背景與動機

國際原油價格在短短 4 年內由 2004 年的每桶 30 美元飛漲至 2008 年每桶 110 美元，在全球石油資源有限下，加上 1997 年制定的京都議定書溫室氣體排放減量壓力的環保意識抬頭，使得傳統燃石油、燃煤等發電方式受到限制，因此，世界主要國家近年來乃積極研發以潔淨的再生能源來取代礦物燃料發電，以減輕傳統發電方式所產生之污染問題。

在替代性能源中，無論是太陽能、風能、生質能等，均為各先進國家共同推展的目標；其中，因為太陽能最具綠色環保概念且取得容易，歐美日大廠皆以太陽能源應用為研發方向而使得該產業日益蓬勃且應用範疇廣泛，因此引發出不同領域的需求，造成多方需求強烈而成為替代能源的首選。由於太陽能電池是太陽光電系統之基本元件，使得當今太陽能電池生產業者，也跟著竄紅，成為太陽能發電產業最搶眼的明星。

但於近兩年來，由於全球矽晶圓嚴重的供需失衡，直接衝擊到以矽晶圓為主要原料的結晶矽太陽能電池產業，雖然目前仍為結晶矽太陽能電池市場主流，但已逐漸出現次世代的薄膜型太陽能電池及 CIS 太陽能電池商業化量產技術，在其年成長率遠遠大於結晶矽太陽能電池狀況之下，台灣各大結晶矽太陽能電池廠及相關 IC 產業如雨後春筍般的競相於台灣設置薄膜型太陽能電池廠，並以向國外整廠輸出的模式快速建立生產線以投入生產。

次世代薄膜太陽能市場參與者在 2007 年快速浮出檯面，主力投入的仍是以非晶矽 (a-Si) 太陽能較多，即全球薄膜排名第 1、2 的日本 Kaneka 及美國 United Solar 為代表，普遍轉換率約近 10 % 左

右，預估 2~3 年後透過技術轉變為 mc-Si，以便大幅提高轉換率，包括老資歷的大豐能源、聯電體系下的聯相，與日本真空技術集團 (Ulvac) 合作投入微晶矽薄膜技術 (Micro-Crystalline；mc-Si)，及與美國 EPV 技術轉移的鑫筌、近期新廠破土的威奈都是投入相同領域。

眾多台灣廠家競相加入的市場中，富陽已於 2008 年 4 月份發布生產出台灣自己生產的第一片薄膜太陽能，並宣稱於 7 月份進入量產；而其他投入業者亦加緊建廠貨量產腳步以追上這一波次世代的薄膜太陽能市場，但在這眾多國際大廠參與的產業中，如何讓台灣在這個新興的產業中也能佔有一席之地，且該採取何種競爭策略以發揮目前已具備之優勢，是本研究的主要動機。

第二節 研究目的



在目前眾多太陽能電池種類中，主要是轉換效率及成本因素，使得以矽為原料所製成的太陽能板為大宗，如目前台灣市場上的茂迪與益通所生產的太陽能電池，但因 2009 年底將因為原料多晶矽的不足影響利潤率，除了積極擴產的效益無法完全顯現；也因單位時間總轉換電量考量，故另一替代技術—薄膜太陽能的技術擁有廠商，在這一年內如雨後春筍般的積極蓋廠、擴廠或原本晶矽技術轉換至薄膜製程者屢見不鮮；但在這些太陽能廠商中，不乏僅在實驗室階段，技術尚未成熟，或是產品未獲認證等等因素，並未實際滿足現有需求而造成供不應求的現象。反觀台灣在過去幾十年的晶圓製造廠及光電廠製造經驗累積雄厚，已可輕易將先進技術轉移後在幾個月內調整生產機台最佳生產參數及生產流程最佳化後迅速進入量產。故在台灣太陽能發電產業不但是是一個充滿發展遠景的新興產業，而且已漸從能源概念產業中，脫穎而出。

第三節 研究流程與架構

由現今能源短缺現象思考此問題的解決方案，替代性能源研發成為近代顯學，而在眾多替代性能源中，以太陽能發電因為需求最為強烈而最被看好，而目前的太陽能電池技術中以結晶矽為主流，但因其原料矽晶圓在近年來因嚴重短缺導致供不應求，因而致使另一項替代技術—薄膜非晶矽太陽能技術迅速竄起，本文將以此技術原理概述導入此研究，再以現今產品實際應用，進行目前及未來市場供應及需求分析，並輔以現今全球產業現況及分析，以波特之國際競爭力分析—鑽石模型，分析各主要生產國之各要素及因素，並輔以台灣之競爭優勢分析，最後根據上述資訊做出對國內產業的結論及對政府政策的建議。



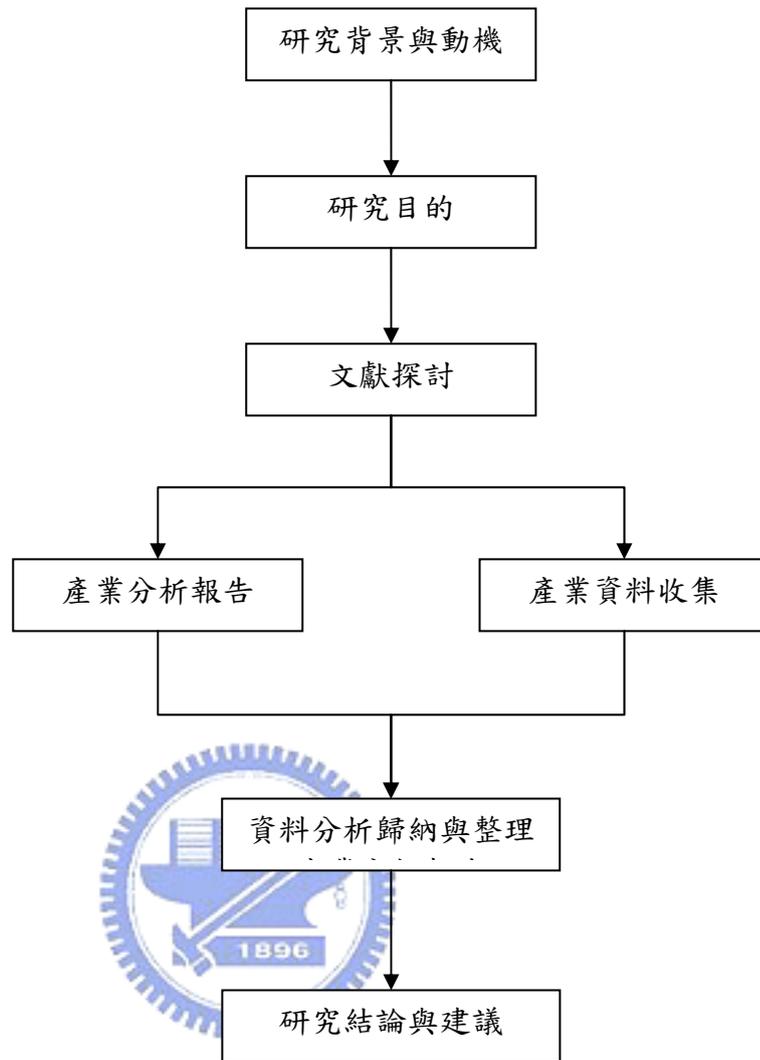


圖 1-1 研究流程與架構 (本研究整理)

第二章、文獻探討

本章主要是針對策略與競爭、產業競爭分析、國家競爭力分析等相關文獻，作一有系統之整理，以作為本研究架構的理論基礎，並用以探討台灣薄膜太陽能電池產業之競爭優勢與未來之競爭策略。

第一節 策略與策略規劃

一. 策略的定義

策略(strategy)在英文中源自於希臘字(strategia)，表示「將軍」之意，英文的「策略」意義為「當將軍的藝術」(The art of general)。企業策略的定義是「決定企業長期目標，採取行動、分配資源來達成目標」。良好的策略係根據企業本身的優劣勢、預估未來環境的變化和對手的行動，來分配資源、追求獨特、永續經營的定位。因此，策略是統合企業內相關資源之整體性的指導原則，也是企業行為的最高指導原則，是從企業整體的觀點，建構企業長期競爭優勢，提供企業長期發展的方向，而不是短期、技術性的決策。

策略一詞原為軍事用語，定義為規劃及指揮大規模軍事行動，進行作戰之藝術。就企業而言，策略管理為企業規劃與運用公司之資源，達成公司長期目標之活動，決策是管理者在企業活動中非常重要的一環，一個有效的管理者決策會替組織帶來高的績效，藉以擺脫競爭者的威脅，為組織獲取高於產業平均水準的報酬。即使兩個處於相同經營環境的全業，會因為本身對資源與能力的管理方式不同，對外部環境認知的解讀不同，採取不同的經營策略，因而產生不同的組織績效，歸咎其主因乃在於對策略選擇與管理的能力罷了。

策略是釐定組織明確的目標，為組織成員塑造共同的願景，提供管

理者獲致組織長期績效，所採行特定型態的決策與行動。根據諸多管理文獻與資料顯示，有正式策略管理系統的組織，比沒有正式策略管理系統的組織，有較高的財務報酬，其應用之廣泛，已遍及非營利事業組織，例如政府單位、郵政或醫院等。

二. 策略規劃

企業策略的擬訂需經過一套完整的、系統化的規劃過程，才能將資源做最適當的分配當的分配劃的目的，而最完整的策略也必須透過組織成員將其付之實現，才能達到策略規劃的目的。策略規劃，是從企業的使命目標，評估外在環境的機會與威脅，訂定公司資源分配的原則，以強化企業的優勢，改善企業的劣勢，善加利用外部環境的機會與克服外部環境的威脅，制定與執行企業的功能性政策。



策略規劃是一種程序，第一步驟為設定目標，第二步驟進行企業內外部環境分析，第三步驟為策略選擇，第四步驟為設立組織來執行策略、政策與計畫，第五步驟為績效考並將檢討結果回饋到新的規劃循環，然而企業的經營環境是動態的，持續不斷的變動，因此策略必須隨時問與環境的變遷加以修正，其最終目的在檢討與尋求企業未來永續經營與發展的可行性方案，檢定決策可能產生的因果關係，同時說明企業如何達成想要完成的目標。

企業的策略規劃必須要有完整性、共通性與一致性，從時間的觀點來看，必須包括長期、中期與短期等不同時間的規劃；從組織的角度出發，必須包括企業總公司、分公司、各部門與其他分支機構的規劃；實質方面，應包括生產、研究與發展、市場與行銷、財務、人力資源、設備與物料管理等企業機能構面；在形式方面，則能涵蓋公司基本信條、公司存在的目的、政策目標、程序辦法與規章制度。諸多學者對策略的

定義不盡相同，因此對策略規劃模式的見解也略有不同，不過皆以理性為基礎，符合邏輯觀念的過程。以下將廣泛被接受使用的 Hill & Jones 的策略規劃模式加以說明。

Hill and Jones 策略規劃

(Hill & Jones, 1998) 提出策略規劃的程序如圖 2-2 所示，主要分為五大部分，(1) 企業使命與主要目標的選擇，(2) 分析外部競爭環境以找出機會與威脅，(3) 分析內部環境以找出優勢與劣勢，(4) 策略選擇，(5) 策略執行

1. 使命與主要目標：設定了組織存在的理由，並界定組織的營運範疇，明確地指出組織中長期的目標，提供一種背景脈絡 (context)，使策略在此脈絡下得以形成。
2. 外部分析：目的在於找出組織運作環境的機會與威脅，以掌握了解組織營運所在的產業環境，國內環境與總體環境。評估產業的競爭結構，則包括組織本身、主要競爭對手的競爭地位，以及產業發展階段；分析國內環境，則在於評估國內情況對公司的營運有幫助或造成障礙，期能達成全球性競爭的優勢；而總體環境，則檢視總體經濟、政治、社會、法律、國際關係與科技等因素，對組織可能的影響。
3. 內部分析：主要在於尋找組織的優勢與劣勢，包括找出組織中可用資源的質與量，探索競爭優勢的來源，建立特異能力以求較佳的效率、品質、創新與顧客回應，以及如何運用組織的資源和潛能，達到建立與維持競爭優勢的目的
4. 策略選擇；由 SWOT 分析產生的策略方案中，找出一套策略的過程，必須審慎衡量每一個方案達成組織目標的能力。產生的方案包括功能層級策略、事業部層級策略、企業層級策略與全球化策略等，能夠在快速變動且全球化的產業環境中，確保組織生存與繁盛的一套方法。
5. 策略執行：選擇好一個策略以追求組織目標後，策略就必須付諸行動。策略執行時，必須有適當的組織結構，賦予不同的管理者與附屬單位不同的角色與責任，與從屬報告關係。組織必須決定如何評估組織績效，與控制組織的行動，甚至需要設計一套獎賞

與激勵制度。策略管理是一種持續的過程，策略一旦執行，就需要監控其真正達成的進度，並將此資訊回饋至企業層級，做為企業制定下一循環策略的依據。

策略規劃原本就處在諸多不確定且複雜的因素下進行，未來的情況本來就很難預測，因此管理者必須瞭解環境本質是變動且複雜的，不但要注重現有資源與機會的匹配，更要建構未來機會所需的新資源與能力。



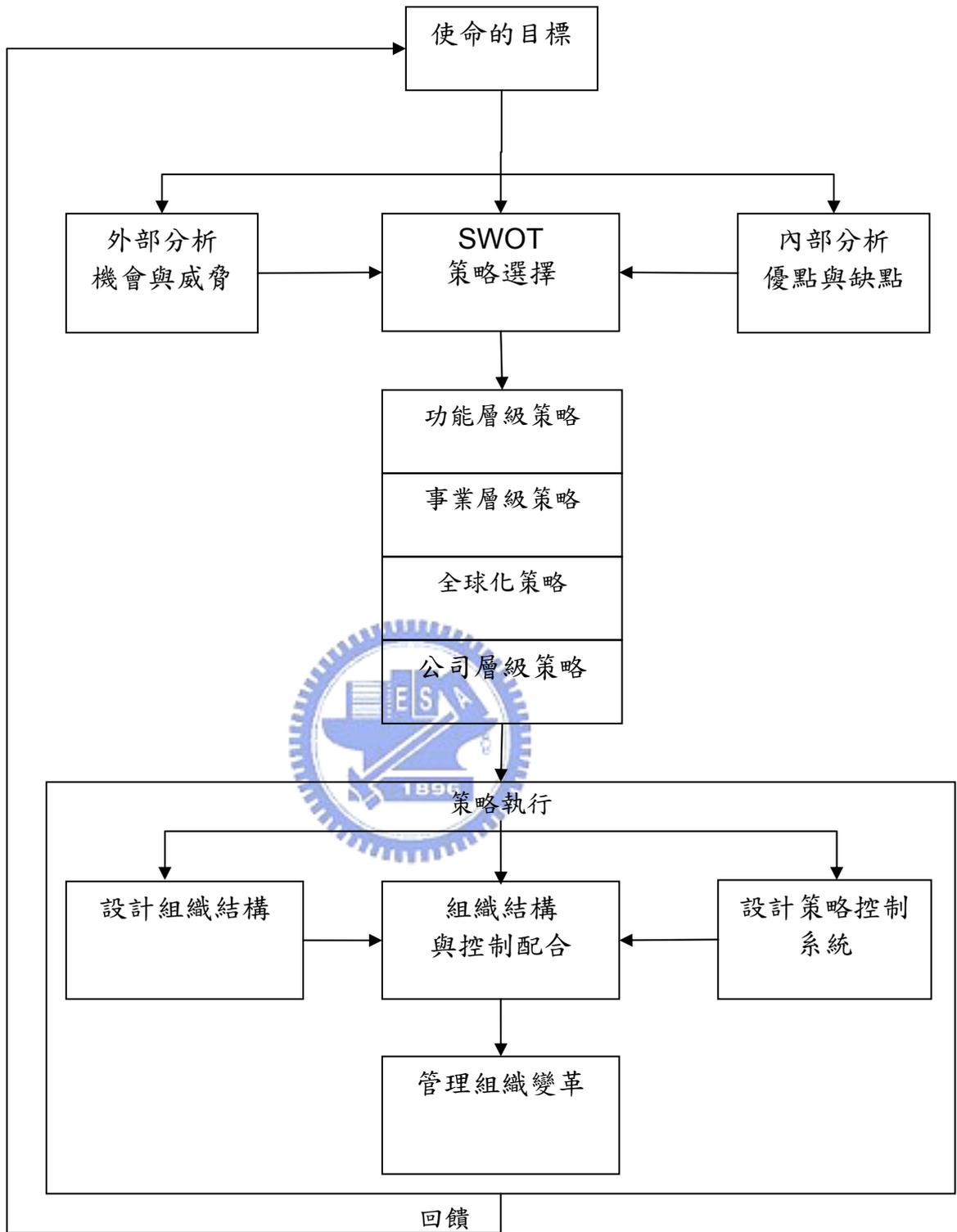


圖2-1 Hill and Jones 策略規劃架構
資料來源: Hill and Jones 1998

第二節 國家競爭優勢分析

Porter(1990)認為國家是企業最基本的競爭優勢，因為它能創造並持續企業的競爭條件。他在其「國家競爭優勢」(The Competitive Advantage of Nations)一書中，針對「國家-產業-企業競爭力」的探討中提出「鑽石模型」(Diamond Model)為理論架構，分析為何某些國家的某些產業特別具有國際競爭力。

在鑽石模型中，Porter 提出四項影響產業競爭力的主要因素：要素條件、需求條件、相關與支援性產業、以及廠商的策略、結構與競爭。但是在探討國家環境與企業競爭力的關係時，需再加入政府與機會兩項因素。此六項因素相互影響形成一動力系統，其內容和意義扼要說明如下：

一. 要素條件(Factor Endowment)：



影響產業競爭優勢的第一個因素是一國或某一地區的生產要素，其考量重點為要素取得之質、量、成本與效率，生產要素可歸納為下列五項：

- (一) 人力資源：勞動力的品質、技能、數量、以及成本。
- (二) 天然資源：天然資源的品質和數量，包括土地、農林漁礦水力、氣候、地理位置和面積等。
- (三) 知識資源：包含大學、研究機構、和有關產品的科學、技術或市場的知識、科技水準等。
- (四) 資本資源：可以從市場取得的資本數量、取得成本和效率等。
- (五) 基礎建設：包括運輸系統、通訊系統以及與產業效率有關的基礎設施的品質及使用成本。

二. 需求條件(Demand Conditions)：

市場需求是產業形成初期的重要條件和後續發展的動力，可由三方

面來分析需求條件：

- (一) 國內需求組合(Home Demand Composition)：國內需求要能產生國家競爭力，需具備區隔市場需求的結構、高標準要求的顧客(挑剔的顧客)、和預期的購買者需求。
- (二) 國內市場大小和成長速度：國內市場的需求數量、顧客數目、需求成長速度、早期國內市場需求(early home demand)、及提前飽和(early saturation)。
- (三) 轉化國內市場需求成為國際市場需求的能力(Internationalization of domestic demand)：國際化的程度越深、產品的國際化競爭力、產品具有高移動性等，均有助於產品對國外的銷售

Porter 認為國內需求市場市產業競爭力的第二項關鍵因素，在其所研究的各項產業中都可以看出母國市場的影響力。Porter 認為市場規模與市場特質都會對競爭力造成影響，內需市場一方面透過規模經濟提高產業內廠商的生產效率，一方面其中若內需市場對品質有較高的需求，特別是擁有一些內行而挑剔的客戶，則產業內廠商將可以掌握市場的脈動，也會有更多創新與發展的動機。另外，市場未來的成長性、市場內的廠商的多寡以及轉換成國際市場需求的能力等，也都是影響產業競爭力形成的可能因素 (D' Cruz and Rugman, 1993)。

三. 相關及支援性產業(Related and Supporting Industries)

一個產業的潛在優勢往往是因為它的相關及支援性產業具有競爭優勢：

- (一) 相關產業的競爭優勢：當上游產業具有國際競爭優勢時，通常可協助其下游廠商降低成本、提高產品性能、爭取時效、加速技術創新等使

下游廠商的競爭力增加。

(二) 拉拔效應(Pull-through Effect)：拉拔效應在產業生命週期的初期階段效果最強。產業上中下游體系完整健全、週邊支援供應系統彈性靈活、以及產業群聚現象，均可形成產業的模仿障礙，維持可持久的競爭優勢。

相較於競爭對手，當特定產業上下游相關產業能發展得更健全，且更具有競爭優勢，則此一產業在國際競爭中亦將更具有優勢。由於各產業間互為投入產出，相關與支援性產業對於該產業的影響，可以透過產業關聯的直接與間接效果表現出來 (Porter, 1990; 林師模、許書銘，民 88)。而除了相關與支援產業本身是否具有競爭優勢外，產業間的互動，特別是協調與合作的機制，以及研發成果間的外溢與擴散程度，都是影響產業競爭力的重要原因 (Lex, 1995; Narula, 1993)。此外，有些研究也認為所謂相關與支援產業應包括一般基礎產業如營造、金融、交通等產業 (譚大純，民 87)。



四. 企業策略、結構與同業競爭(Firm Strategy, Structure and Rivalry)

廠商的目標策略、組織結構及同業間競爭，也是構成國家競爭力的來源之一：

(一) 企業策略和組織結構受企業願景使命、國家聲望和資源忠誠度等影響：

1. 企業策略為達成願景使命的手段。
2. 若某一產業牽涉到國家聲望或成為該國受敬重的行業，則有助於吸引優秀人才和資金的投入。
3. 人才與資本的長期與持續的投入是確保產業競爭優勢的不二法門。

(二) 同業的競爭：激烈的國內市場競爭，能提供國內廠商改進和創新的原動力，有助於其改善體質、維持競爭優勢，並可協助企業升級，擺脫對低層次資源的依賴。

企業的策略與結構常常受到社會、文化、歷史因素的影響，而有不同的作法，進而表現在產業內競爭中，形成不同的競爭型態。這方面 Porter 探討的因素相當多，但並沒有一致性的看法，甚至認為可以用更模糊的因素：產業文化（VanDen Bosch, Van Prooijen and Porter, 1992）加以衡量。由於產業/國家層次的因素中可能影響企業策略與結構的因素相當多，再加上涵蓋了時間與空間的影響，欲從來源面分析殊不容易，但各種因素對企業策略、結構的影響最終都將反映在產業的競爭程度中，因此若觀察產業內的競爭結構，應可較明確的掌握此一因素的精神。而競爭的程度越高，表示國內的競爭對手能給予產業內廠商直接而明顯的壓力、淘汰不具有效率的廠商，並形成企業向國際市場發展的動力，因此應可有助於產業國際競爭力的提昇。

五. 機會(Chance)



對許多成功的產業，機會常扮演一個重要的角色。引發機會的事件，可以打破原先的競爭態勢，提供新的競爭空間。機會可能強化原先領導者的主導地位，也可能給予原居劣勢的競爭者反敗為勝的契機，而新的國家產業也可能因為洞察機會所造成的改變，從而把握機會，創造競爭優勢。常見的機會原因包括：新發明、基礎科技的突破、生產要素的短缺、全球金融市場或匯率市場的劇烈變動、全球或區域市場的需求劇增、外國政府的重大決策、戰爭等。

機會亦是 Porter 所特別提出，其概念應是源自於產業經濟理論的看法；過去許多文獻指出，影響產業結構與企業發展的因素應包括了源自於產業內或企業內的隨機性因素，如此才可以解釋廠商間面臨相同環境、擁有相似資源時卻仍有不同的競爭結果（Scherer and Ross, 1990），不過此一觀點卻也遭致最多的批評，最主要是此類影響重大的

因素不但不能操作化，甚至驗證的過程常常是從結果去推論其原因，對於哪些可能是影響競爭力的重大隨機性因素甚難有一致性的判斷。況且，對於無法解釋的原因即歸類於隨機性因素，反而會使得鑽石模型在解釋競爭力時失去學理上的嚴謹性。因此後續學者對鑽石模式進行實證或修正時，大多並未對機會因素加以探討。

六. 政府(Government)

政府可成為產業發展的阻力或助力，端視其決策方向和政策考量而定。政府主要係透過四個主要因素來影響某一產業的競爭優勢：政策工具(如獎勵、補助、融資、減免稅)、政府採購、教育投資、管制關稅等，來加強或減弱某項國家競爭優勢。

政府政策如運用在已具備其他關鍵要素的產業上時，即可強化、加速產業的競爭優勢，提高廠商信心。但若政府的支持成為產業唯一的競爭優勢來源時，則其最後終將失敗。政府本身無法替企業創造競爭優勢，因此政府在以政策補助產業時，仍需注重廠商創新和改善能力的培養。

Porter 認為政府的角色對四個因素的影響相當微妙，且影響方向既非正面，也非負面，理想的政府應該在干預與放任中取得平衡，後續許多學者陸續也對政府扮演的角色加以研究，研究結果亦並不一致(如 D' Cruz, 1989; Miller, 1992; 陳正男與譚大純, 民 87 等)。

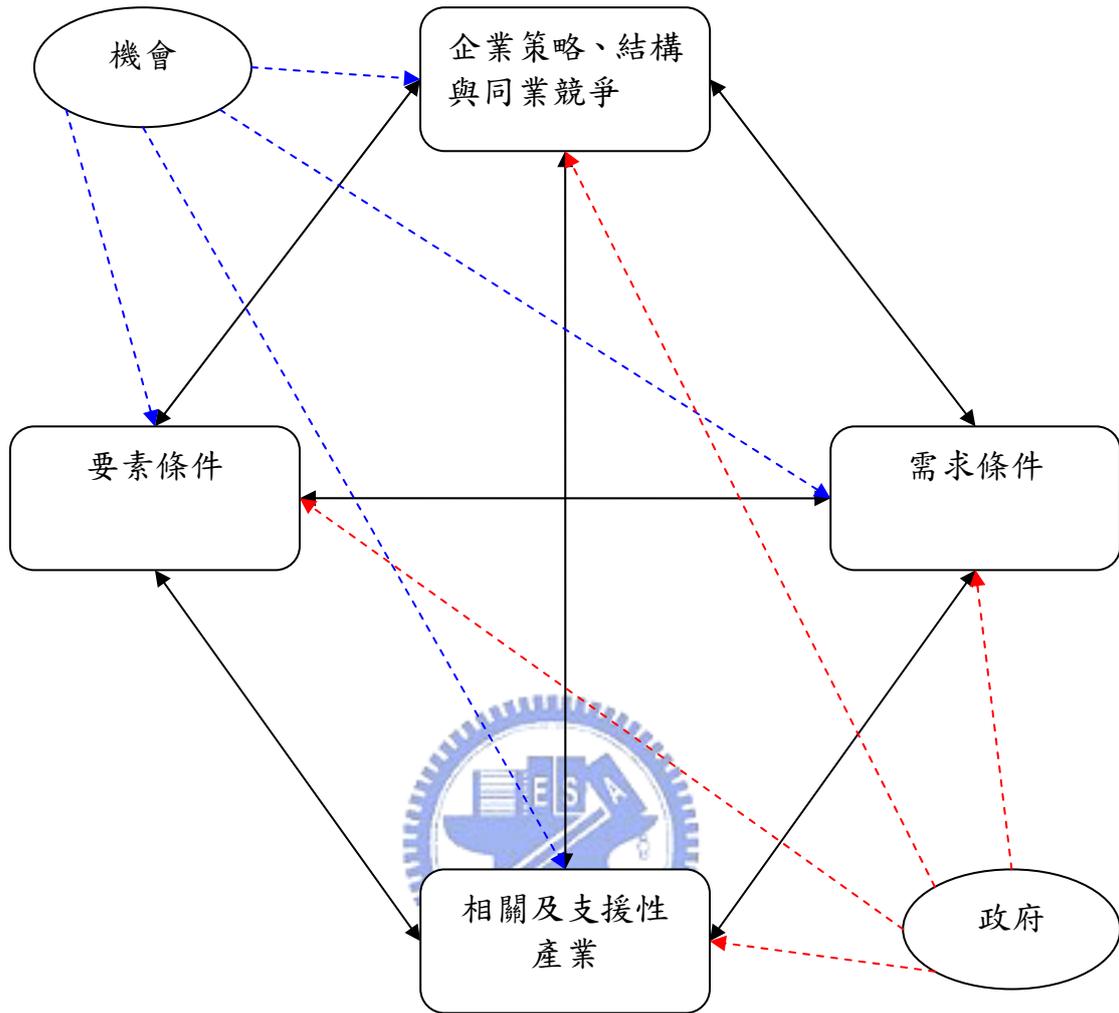


圖2-2 國家競爭優勢鑽石模型

資料來源: Michael Porter "The Competitive Advantage of Nations" (1990)

第三節 ANDREW GROVE 六力分析

六力分析的概念乃 Intel 前總裁 Andrew S. Grove(1996)，以 Porter(1980)的五力分析架構為出發點，重新探討並定義產業競爭的六種影響力。他認為影響產業競爭態勢的因素分別是:1.現存競爭者的影響力、活力、能力；2.供應商的影響力、活力、能力；3.客戶的影響力、活力、能力；4.潛在競爭者的影響力、活力、能力；5.產品或服務的替代方式(substitution)；6.「協力業者」的力量。

透過此六種競爭力量的分析，有助於釐清企業所處的競爭環境，點出產業中競爭的關鍵因素，並界定最能改善產業和企業本身獲利能力的策略性創新。

一. 現存競爭者的影響力、活力、能力

產業中廠商家數的多寡是影響競爭強度的基本要素，除此之外，競爭者的資金充裕、同質性、產業產品的戰略價值以及退出障礙的高低都會影響同業競爭強度。

現存競爭者強度通常受到下列因素影響：

- (一)產業成長速度慢
- (二)高固定或庫存成本
- (三)產業內存在眾多競爭對手
- (四)轉換成本高
- (五)多變的競爭者
- (六)高退出障礙
- (七)高度策略性風險

二. 供應商的影響力、活力、能力

當企業有許多供應商時，企業將有多種選擇；但當供應商很少時，供應商就享有掌控權。形成供應商議價力量的主要原因就是基本的勞務或主要的零組件由少數廠商供應，且沒有替代品，同時本身又欠缺向上游整合的能力。

供應商所具有的特性，如下所示：

- (一)由少數供應商主宰市場
- (二)對供應商而言，客戶並不是主要的客戶
- (三)對客戶而言，並無適當的替代品
- (四)供應商的產品對客戶而言，轉換成本高
- (五)供應商的產品對客戶的成敗具有重要的影響地位
- (六)供應商易向前整合

三. 客戶的影響力、活力、能力

客戶的議價力量除了決定於其購買的數量以外，客戶對產品的知悉程度、轉換成本的高低以及自身向後整合的可能性都是主要的影響因素。

客戶若有下列特性，則具較強的議價能力：

- (一)購買者眾，採購量大
- (二)採購標準化的產品
- (三)轉換成本極少
- (四)客戶資訊充足
- (五)客戶易向後整合

四. 潛在競爭者的影響力、活力、能力

潛在競爭者目前並不在此一行業中，但一旦環境改變，潛在競爭者將隨時準備進入市場內。潛在競爭者通常會帶來一些新產能，不僅分享既有市場，也會拿走一些資源。

Aaker(1988)認為，業界中凡採行市場及產品擴張策略、垂直整合策略、擁有特殊能力或資產待價而沽等策略的公司均為潛在的競爭對手。

一般新進入產業之廠商主要的進入障礙包括：

- (一)規模經濟
- (二)專利的保護
- (三)資金需求
- (四)品牌的知名度
- (五)轉換成本
- (六)產品差異化
- (七)配銷通路
- (八)政府政策



五. 產品或服務的替代方式

此因素是所有因素中最關鍵的因素。任何新技術、新方法及新科技都可能會顛覆舊有的秩序，設立新的遊戲規則，從而創造一個新的環境。替代產品或服務決定了產業中廠商訂價上限，等於限制了一個產業可能獲得的投資報酬率。當替代產品或服務在價格／性能上所提供的替代方案愈有利時，對產業利潤的限制就愈大。

替代產品或服務的威脅主要來自於以下幾點：

- (一) 替代產品或服務具較低相對價格
- (二) 購買者面臨較低的轉換成本
- (三) 替代產品或服務具較強的功能

六. 「協力業者」的力量

此影響力乃 Intel 前總裁 Andrew Grove 自 Porter 五力分析中所衍生出來的第六力。

協力業者係指與自身企業具有相互支援與互補關係的其他企業。在互補關係中，該公司的產品與另一家公司的產品互相配合使用，可得到更好的使用效果。協力業者間的利益通常互相一致，也可稱之為「通路夥伴」，彼此間產品相互支援，並擁有共同的利益。

但任何新技術、新方法或新科技的出現，都可能改變協力業者間的平衡共生關係，使得通路夥伴從此形同陌路。

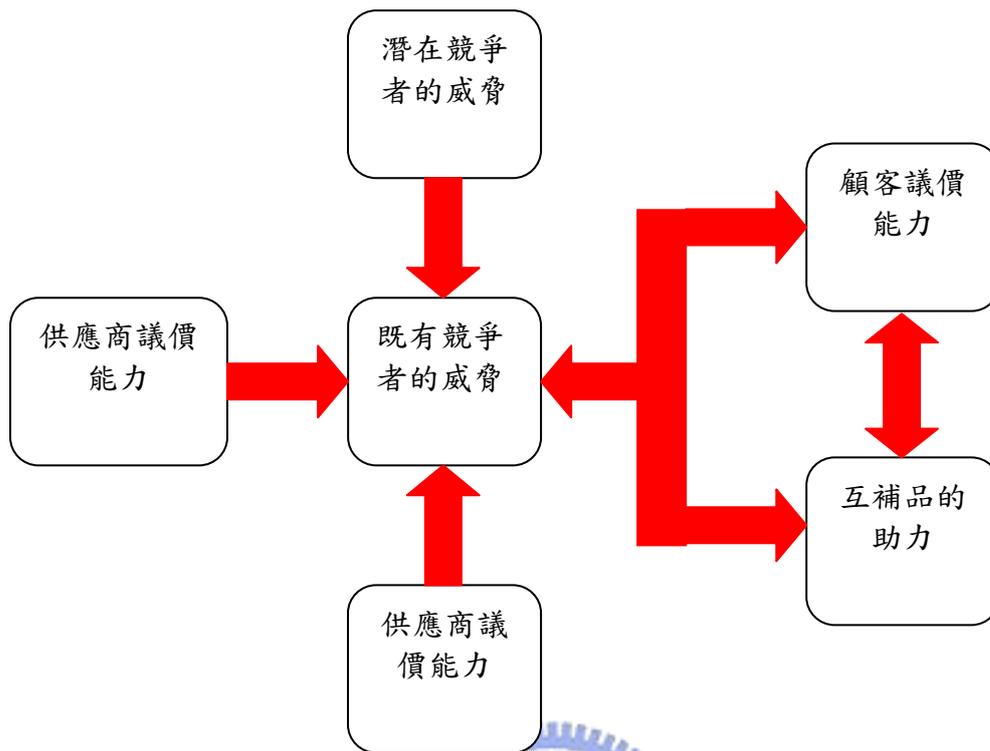


圖2-3 六力分析架構
資料來源: Andrew Grove, 1996

第三章、全球薄膜太陽能產業概述與發展趨勢

本章將簡述薄膜太陽能發電原理、技術、製程及相關發展，實際產品在商業應用面介紹，再透過全球薄膜太陽能供應量及市場安裝量來推導薄膜太陽能未來的發展潛力，最後以全球主要太陽能電池供應商投入薄膜製程的比例和主要薄膜太陽能供應商的製程及產能，來分析薄膜太陽能電池各主要供應商在發展薄膜太陽能產業目前狀況

第一節 薄膜太陽能原理及技術發展

一. 技術原理

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，簡稱 PV)，其中的 photo 就是光(light)，而 voltaic 就是電力(electricity)。

太陽電池的種類繁多，若依材料的種類來區分，可分為單晶矽(single crystal silicon)、多晶矽(poly-crystal silicon)、非晶矽(amorphous silicon，簡稱 a-Si)、III-V 族[包括：砷化鎵(GaAs)、磷化銦(InP)、磷化鎵銦(InGaP)]、II-VI 族[包括：碲化鎘(CdTe)、硒化銦銅(CuInSe₂)]等。

太陽電池的發電原理，可以用一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(Si)的原子序為 14，其電子組態為 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$ ，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(diamond crystal structure)，每個矽原子與鄰近的四個矽原子形成共價鍵，如果我們在純矽之中摻入三價的雜質原子，例如硼原子(B)，此三價的雜質原子，將取代矽原子的位置，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(carrier)，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(acceptor)，而一個摻入三價雜質的半導體，即稱為 p 型半導體。

同理，如果我們在純矽之中摻入五價的雜質原子，例如磷原子(P)，此五價的雜質原子，將取代矽原子的位置，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(donor)，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 型半導體當作基板(substrate)，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 接面，而 p-n 接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(built-in potential)，此內建的電位，可驅趕在此區域中的可移動載子，故此區域稱之為空乏區(depletion region)。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(load)連接起來，形成一個迴路(loop)，就會有電流流過負載，這就是太陽電池發電的原理。

二. 薄膜太陽能電池技術發展

1. 非晶系矽太陽能電池(Amorphous silicon, a-Si)

此類型光電池是發展最完整的薄膜式太陽能電池。其結構通常為 p-i-n (或 n-i-p) 偶及型式，p 層跟 n 層主要座為建立內部電場，I 層則由非晶系矽構成。由於非晶系矽具有高的光吸收能力，因此 I 層厚度通常只有 $0.2 \sim 0.5 \mu\text{m}$ 。其吸光頻率範圍約 $1.1 \sim 1.7\text{eV}$ ，不同於晶圓矽的 1.1eV ，非晶性物質不同於結晶性物質，結構均一度低，因此電子與電洞在材料內部傳導，如距離過長，兩者重合機率極高，為必免此現象發生，I 層不宜過厚，但如太薄，又易造成吸光不足。為克服此困境，此類型光電池長採多層結構堆疊方式設計，以兼顧吸光與光電效率。

這類型光電池先天上最大的缺失在於光照使用後短時間內性能的大幅衰退，也就是所謂的 SWE 效應，其幅度約 $15 \sim 35\%$ 。發生原因是因為材料中部份未飽和矽原子，因光照射，發生結構變化之故。前述多層堆疊方式，亦成為彌補 SWE 效應的一個方式。

非晶型矽光電池的製造方式是以電漿強化化學蒸鍍法 (PECVD) 製造矽薄膜。基材可以使用大面積具彈性而便宜材質，比如不銹鋼、塑膠材料等。其製程採取 roll-to-roll 的方式，但因蒸鍍速度緩慢，以及高品質導電玻璃層價格高，以至其總製造成本僅略低於晶型太陽能電池。至於多層式堆疊型式，雖可提升電池效率，但同時也提高了電池成本。綜合言之，在價格上不太具競爭優勢的前提下，此類型光電池年產量再過去三年仍呈現快速成長，2003 年相較於 2002 年成長了 113%，預期此趨勢將持續下去。

為了降低製造成本，近年有人開發已 VHF 電漿進行製膜，製程速度可提升 5 倍，同時以 ZnO 取代 SnO₂ 作為導電玻璃材料，以降 TCO

成本，預計未來製程順利開發成功，將可使非晶型矽光電池競爭力大幅提高。展望未來此型光電池最大的弱點在於其低光電轉化效率。目前此型光電池效率，實驗室僅及約 13.5%，商業模組亦僅 4~8%，而且似乎為來改善的空間，可能相當有限。

2. 銅銦鎵二硒太陽能電池(Copper Indium Gallium Diselenide, CIGS)

此類型光電池計有兩種：一種含銅銦硒三元素（簡稱 CIS），一種含銅銦鎵硒四元素（簡稱 CIGS）。由於其高光電效率及低材料成本，被許多人看好。在實驗室完成的 CIGS 光電池，光電效率最高可達約 19%，就模組而言，最高亦可達約 13%。CIGS 隨著銦鎵含量的不同，其光吸收範圍可從 1.02eV 至 1.68eV，此項特徵可加以利用於多層堆疊模組，已近一步提升電池組織效能。此外由於高吸光效率（ $\alpha > 10^5 \text{ cm}^{-1}$ ），所需光電材料厚度不需超過 $1 \mu\text{m}$ ，99% 以上的光子均可被吸收，因此一般粗估量產製造時，所需半導體原物料可能僅只 US\$0.03/W。

CIGS 光電池其結構有別於非晶型矽光電池，主要再於光電層與導電玻璃間有一緩衝層（buffer layer），該層材質通常為硫化鎘（CdS）。其載體亦可使用具可撓性材質，因此製程可以 roll-to-roll 方式進行。目前商業化製程是由 shell solar 所開發出來，製程中包含一系列真空程序，造成硬體投資與製造成本均相當高昂，粗估製程投資一平方米約需 US\$33。實驗室常用的同步揮發式製程，放大不易，可能不具商業化可行性。另一家公司，ISET，已積極投入開發非真空技術，嚐試利用奈米技術，以類似油墨製程（ink process）製備層狀結果，據該公司報導，已獲初步成功，是否能發展成商業化製程，大家正拭目以待。另外，美國 NREL 亦成功開發一種三步驟製程（3-stage process），在實驗室非常成功，獲得 19.2% 光電效率的太陽能電池。不過由於該製程相當複雜，花費亦大，咸認放大不易。

綜合而言，CIGS 在高光電效率低材料成本的好處下，面臨三個主要困難要克服：(1) 製程複雜，投資成本高；(2) 關鍵原料的供應；(3) 緩衝層 CdS 潛在毒害。製程改善，如前述有許多單位投入，但類似半導體製程的需求，要改良以降低成本，困難度頗高。奈米技術應用，引進了不同思維，可能有機會，但應用至大面積製造，其良率多少？可能是一項挑戰。其次原材料使用到銻元素也是一項潛在隱憂，銻的天然蘊藏量相當有限，國外曾計算，如以效率 10% 的電池計算，人類如全面使用 CIGS 光電池發電供應能源，可能只有數年光景可用。鎘 (Cd) 的毒性一直是人們所關注，硫化鎘 (CdS) 在電池中會不會不當外露，危害人們，並不能讓所有人放心，因此在歐洲部份國家，捨棄投入此型光電池研究。

3. 鎘碲薄膜太陽能電池(Cadmium Telluride Thin Film Photovoltaics, CdTe)



此類型薄膜光電池在薄膜式光電池中歷史最久，也是被密集探討的一種之一。再 1982 年時 Kodak 首先做出光電效率超過 10% 的此類型光電池，目前實驗室達成最高的光電效率是 16.5%，由美國 NREL 實驗室完成，其作法是將已建立多年的電池構造，在進一步增量修改，並改變部分材質。

典型的 CdTe 光電池結構的主體是由約 $2\mu\text{m}$ 層的 P-type CdTe 層與後僅 $0.1\mu\text{m}$ 的 n-type CdS 形成，光子吸收層主要發生於 CdTe 層，其吸收係數大於 10^5cm^{-1} ，因此僅數微米厚及可吸收大於 90% 的光子。CdS 層的上沿先接合 TCO，再連接基材，CdTe 上沿則接合背板，以形成一個光電池架構。目前已知為製備高光電效率 CdTe 光電池，不論電池結構如何，均需要使用氯化鎘活化半導體層，方法上可採濕式或乾式蒸氣法。乾式法較為工業界所採用。

關於 CdTe 光電池的薄膜，目前已有多種可行的工藝可採用，其中

不乏具量產可行性的方法。已知的方法有濺鍍法 (sputtering)、化學蒸鍍 (CVD)、ALE (atomic layer epitaxy)、網印 (screen-printing)、電流沉積法 (galvanic deposition)、化學噴射法 (chemical spraying)、密集堆積昇華法 (close-packed sublimation)、modified close-packed sublimation、sublimation-condensation。各方法均有其利弊，其中電流沉積法是最便宜的方法之一，同時也是目前工業界採用的主要方法。沉積操作時溫度較低，所耗用碲元素也最少。

CdTe 太陽能電池在具備上述許多有利於競爭的因素下，在 2002 年其全球市佔率僅 0.42%，2000 年時全球交貨量也不及 70MW，目前 CdTe 電池商業化產品效率已超過 10%，究其無法躍昇為市場主流的原因，大至有下列幾點：一、模組與基材材料成本太高，整體 CdTe 太陽能電池材料佔總成本的 53%，其中半導體材料只佔約 5.5%。二、碲天然運藏量有限，其總量勢必無法應付大量而全盤的倚賴此種光電池發電之需。三、鎘的毒性，使人們無法放心的接受此種光電池。

4. 矽薄膜太陽能電池(Thin Film Silicon Solar Cells)

最早開發此型光電池是在 1970' s，至 1980' s 方有大的突破。其矽結晶層的厚度僅 5~50 毫米，可以次級矽材料、玻璃、陶瓷或石墨為基材。除了矽材料使用量可大幅降低外，此類型光電池由於電子與電洞傳導距離短，因此矽材料的純度要求，不若矽晶圓型太陽能電池高，材料成本可進一步降低。由於矽材料不若其他發展中光電池半導體材料，具有高的吸光效率，且此型光電池矽層膜，不若矽晶圓型太陽能電池矽層厚度約達 300 微米，為提高光吸收率，設計上需導入光線流滯的概念，此點是與其他薄膜型光電池不同之處。

此類型光電池之製備方法有：液相磊晶 (liquid phase epitaxy，

LPE)、許多型式的化學蒸鍍 (CVD)，包括低壓與常壓化學蒸鍍 (LP-CVD、AP-CVD)、電漿強化化學蒸鍍 (PE-CVD)、離子輔助化學蒸鍍 (IA-CVD)，以及熱線化學蒸鍍 (HW-CVD)，遺憾的是上述方法無一引用至工業界，雖然如此，一般咸信常壓化學蒸鍍，應具備發展為量產製程的可能性。上述蒸鍍法，操作溫度區間在 300~1200°C，主要依據基材材料而定。

此型光電池光電效率實驗室最高已達 21%，市場上只有 Astropower 一家產品，當基材使用石墨時，效率可達 13.4%，由於石墨材料價格昂貴，目前研究工作大底有三個方向：一、使用玻璃基材；二、使用耐高溫基材；三、將單晶矽層半成品轉植至玻璃基材。日本的三菱公司已成功運用此方法，成功製備 100 cm²，光電效率達 16% 的元件。整體而言，此類型光電池系統的發展仍處於觀念可行性驗證時期，實驗室製備技術是否能發展成具經濟效應的量產程序，是人們關注的另一重點。



5. 【染料敏化太陽能電池】Dye-Sensitized Solar Cells, DSSC

此型光電池可是源自 19 世紀，人們照相技術的理念，但一直到超過 100 年後的 1991 年，瑞士科學家 Gratzel 採用奈米結構的電極材料，以及適切的染料，組成光電效率超過 7% 的光電池，此領域的技術研究開發，才引起大家積極而熱烈的投入。此項成功結合奈米結構電極與染料而創造出高效率電子轉移介面的技術，跳脫傳統無材料固態介面設計，可說是第三代太陽能電池。目前全世界有八家公司已得到 Gratzel 教授授權，其中包括了 Toyota/IMRA、Sustainable Technology International (STI) 等著名公司。

此類型光電池的工作原理是藉由染料做為吸光材。染料中價電層電

子受光激發，要昇至高能階層，進而傳導至奈米二氧化鈦半導體的導電層，在經由電極引至外部。失去電子的染料則經由電池中電解質得到電子，電解質是由 I/I_3^+ 溶於有機溶劑中形成。

此型電池的結構一般有兩種，實驗室製備的通常為三明治結構，上下均為玻璃，玻璃內源則為 TCO。中間有兩部份，包括含有染料的二氧化鈦，以及溶有電解質的有機溶液。為利用已發展較成熟的其他薄膜光電池製備技術，Gratzel 等，於 1996 年發展出三層式的 monolithic cell structure，採用碳電極取代一層 TCO 電極，各層的製備可直接沉積在另一層 TCO 上。玻璃並非必然的基材，其他具撓屈性透明材料亦可使用，因此 roll-to-roll 的製程亦可應用於此類型電池製備。德國的 ISE 公司已發展出包含網印方式的生產流程（如下圖），製程非常簡單。關於 DSSC 的製造成本，由於該型電池為新世代產品，目前並無量產市場，因此有不同的評估值，依據 Gratzel 1994 年的估算，如以 5% 光電效率為基礎，其製造成本約 US\$1.0~1.3/Wp（年產能 5~10 MWp/year），Solaronix SA 1996 年的鉅算則為 US\$2.2/Wp/year（年產能 4MWp/year）；相較於技術開發較久的 CdTe（US\$1.1/Wp，20MWp/year）、薄膜矽晶型（US\$1.78/Wp，25 MWp/year）兩類型，成本差距似乎不大。

DSSC 發展的最大利基，咸認在於其簡單的製程，不需昂貴設備與高潔淨度的廠房設施。其次所使用材料二氧化鈦、電解質等亦非常便宜。至於鉑金屬觸媒以及染料，相信生產規模變大時，價格亦會下降。其次就如同其他部分薄膜光電池，因為可以使用具撓屈性基材，因此應用範圍可大幅擴張，不似目前矽晶圓式，只適用於屋頂等少數場合。

未來 DSSC 如要成為具商業競爭力，甚至達到高市佔率，仍有幾件事需要證明：一、光電池本身的長期使用性。雖然實驗室以較嚴苛條件測試，推估使用十年以上沒有問題，但畢竟還是缺乏對商業產品長期

使用的實測數據。二、對大面積的製備技術，有待努力發展。目前此方面工藝研究投入較少。三、對整體電池模組細部的基礎研究，仍有許多工作要做，此方面研究可促進產品品質與規格的確立。

高能階差半導體，光穩定性較高，因此如能以此類物質取代二氧化鈦，學理上應較易獲得耐久性 DSSC 產品，關於這方面研究，有部分研究單位也積極投入，惟至今仍未獲得良好成果。開發新式染料以取代目前公認最佳的染料，有機鈦金屬（簡稱 N3），亦是一項熱門研究主題。有機染料化學是發展很久的一學術與產業領域，因此許多人相信經由適切的構思與系列實驗，應有機會開發出吸光能力比 N3 好的有機染料，如此除可免除使用貴重的鈦金屬外，染料成本也可獲得大幅降低。



第二節 薄膜太陽能電池的多元化應用



圖3-1 太陽光電應用

資料來源: Scatec AS(2006/05),etc.;工研院IEK (2007/5)

- 薄膜太陽能電池的特性
 - Weight: 重量輕，使用於建築上時可減輕建築負擔
 - Flexibility: 具彈性、可撓性，可在非平面上使用
 - Cost: 使用連續製程低材料需求、安裝成本較低
 - Longevity: 較不受氣溫氣候影響
- On-Grid: 應用於整合式建築產品 BIPV
- On-Grid: 應用於大型電廠
- 應用於 off-grid 市場
- 應用於消費性電子民生產品、其他如軍事與防救災用途

第三節 全球市場分析

1. 各類太陽能電池的產量與市佔率

I. 全球太陽能電池(Solar Cell)年度產量(1999~2006)

全球太陽能電池(Solar Cell)的產量，於 1999 年時僅 202MW，而隨著太陽光電市場的急遽增長，太陽電池的產量也以平均年成長 40% 的速度快速增加。到了 2006 年時年產量已達 2,536MW，較 2005 年的 1,815MW 成長了 40%，請見圖 3-2。

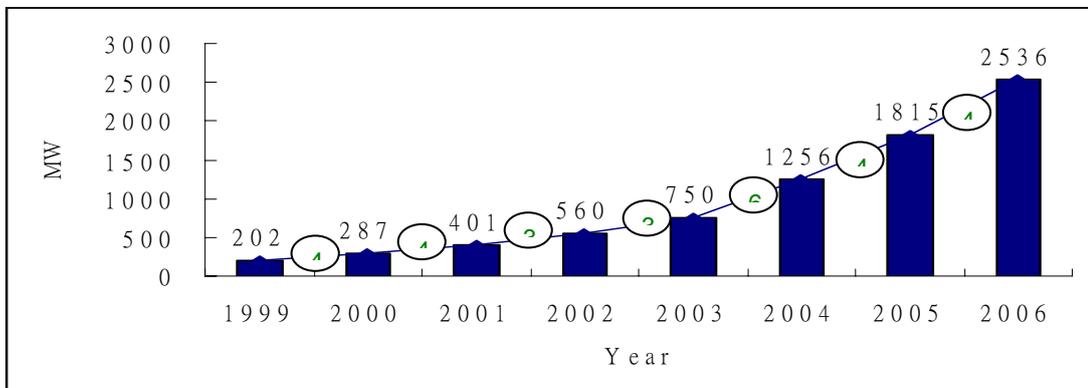


圖3-2 全球太陽能電池(Solar Cell)年度產量(1999~2006)
資料來源: Photon International(2007/03)；工研院IEK (2007/5)

II. 全球薄膜(Thin Film)太陽能電池年度產量(1999~2006)

而薄膜太陽能電池(a-Si、CdTe、CIS/CIGS)於 1999 年時產量僅 26.3MW，2004 年後矽材短缺給了薄膜太陽電池更大的發展空間，2005 年時產量突破三位數達到 114.9MW，2006 年更快速增加至 192MW，較 2005 年成長 69%，高於全球太陽能電池的成長(40%)，請見圖 3-3。

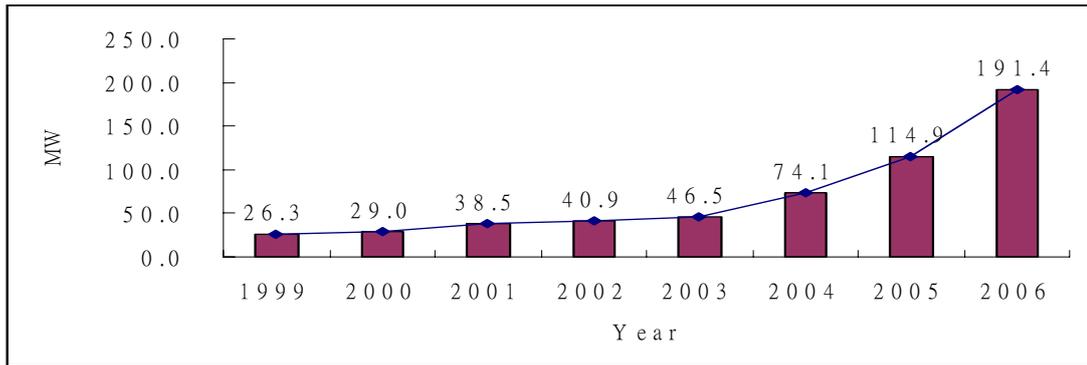


圖3-3 全球薄膜太陽能電池(Solar Cell)年度產量(1999~2006)
資料來源: Photon International(2007/03)；工研院IEK (2007/5)

III. 2006 年全球各區域市場太陽能電池的市佔率

美國是全球薄膜太陽能電池/模組生產的領導國家，在 2005 年雖然全球仍有九成的太陽光電模組採用矽晶技術，然而在美國，有約四分之一的太陽模組製造是採用薄膜技術，主要廠商為 Uni-Solar（使用矽薄膜之 a-Si 技術）與 First Solar（使用 CdTe 技術）。由於整體太陽光電市場成長快速，加上持續的矽材供應緊縮，美國使用薄膜技術的太陽光電市場的供應量在 2005 年達到約 53.8MW，相較於 2004 年的約 22MW 呈倍數成長，是全球薄膜太陽能電池成長最快的國家。

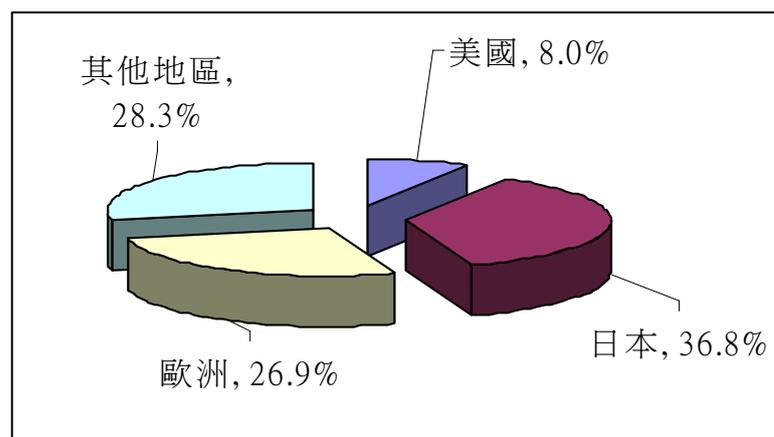


圖3-4 2006年各區域市場生產太陽能電池的市佔率
資料來源: PV News (2007/4)；工研院IEK (2007/6)

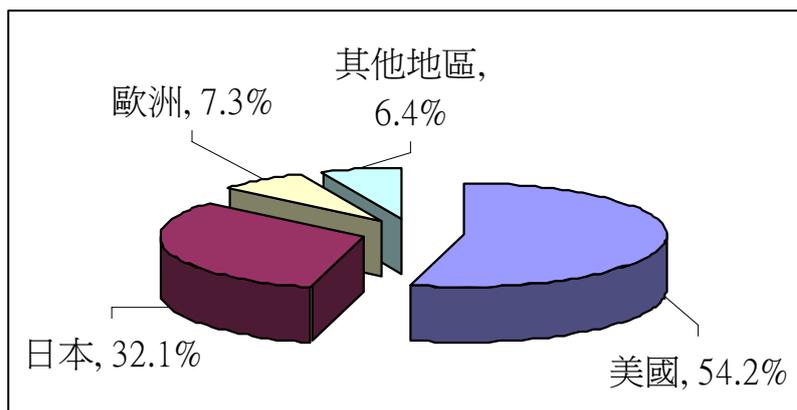


圖3-5 2006年各區域市場生產薄膜太陽能電池的市佔率
資料來源: PV News (2007/4)；工研院 IEK (2007/6)

第四節 全球薄膜太陽能主要供應商分析

占目前太陽能電池市場市佔率大於9成的矽晶圓太陽電池的供應商，也因薄膜太陽能電池的發展潛力而多有平行發展或相關投資研發計畫。以2006年全球前十五大太陽膜太陽電池生產供應商觀察，除了排名十三的 First Solar 是專產 CdTe 薄膜電池之外，其他十四家供應商皆以生產矽晶圓太陽電池為主力，而其中又至少有七家有跨入薄膜領域的動作或計畫，如表 3-1 所示。而這些供應商多以投入和原矽晶圓技術關聯較高的矽薄膜技術領域居多。

1. 2006 年前 15 大太陽電池生產廠商及投入薄膜太陽能電池的情形

排名	廠商	屬國	技術	備註
1	Sharp	日本	矽薄膜(tandem)	研發 triple-junction；認為 2013 年矽薄膜將成主流
2	Q-Cells	德國	矽薄膜、CdTe、CIGS	<ul style="list-style-type: none"> • 矽薄膜：子公司 Brilliant 234 GmbH、投資 VHF-Technologies SA(可撓式)、投資德國的 CSG Solar AG • CdTe：子公司 Calyxo • CIGS：與瑞典的 Solibro AB 策略聯盟成立 Solibro GmbH
3	Kyocera	日本		
4	Suntech 尚德	中國	矽薄膜(single)	2008 年將生產
5	Sanyo	日本	矽薄膜(single)	用於消費性電子產品；研發 a-Si/ μ c-Si tandem 型
6	Mitsubishi Electric	日本	矽薄膜 (single&tandem)	MHI
7	Motech 茂迪	台灣	矽薄膜(single)	2007/09 宣布跨入，技術將以自有團隊開發；2008 年產量預計 10MW
8	SCHOTT Solar	德國	矽薄膜(single)	以 BIPV 為主；研發 a-Si/ μ c-Si tandam 型
9	SolarWorld	德國	—	
10	BP Solar	英國	—	
11	SunPower	美國	—	
12	Isofoton	西班牙	—	
13	First Solar	美國	專產 CdTe	全球最大 TFPV 生產商；美國最大 PV 生產商
14	CEEG Nanjing PV-TECH	中國	—	(中電電氣南京光伏)
15	Ersol	德國	矽薄膜(tandam)	與 Oerlikon 合作；供 BIPV 與大區域安裝用

表3-1 2006年全球前15大太陽能電池生產廠商及其投入薄膜領域的情形
資料來源: Photon International(2007/3)；工研院IEK (2007/7)

2. 2006 年前十大薄膜太陽能電池廠商

目前有商業化量產的薄膜太陽能電池，以碲化鎘技術的 First Solar 單一廠商的產量最大，而矽薄膜技術家數較多總產量最大為領導技術，銅銦硒化鎳技術正在興起投入家數雖多但實際量產者尚寡，而染料敏化技術尚未真正量產仍以研發為主。目前各類薄膜技術的領導廠商為：

排名	供應商	母國	技術	2006 年 產能 (MW)	2007 年 產能 (MW)
1	First Solar	美國	CdTe	60	135
2	United Solar	美國	TFSi	32	120
3	Kaneka	日本	TFSi	29	55
4	MHI	日本	TFSi	13	34
5	Sharp	日本	TFSi	8.2	20
6	Antect	德國	CdTe	7.5	10
7	深圳市創益科技	中國	TFSi	7.2	20
8	Bangkok Solar	泰國	TFSi	6	50
9	Sanyo	日本	TFSi	5	5
10	Global Solar Energy	美國	CIGS	4.2	40

表3-2 2006年全球前10大薄膜太陽能電池生產廠商及其投入薄膜領域的情形
資料來源：各廠商產量產能資料綜合參考 Photon International (2007/3)、Sun & Wind Energy (2007/1)及各廠商網站、新聞資料、工研院IEK (2007/5)

第四章、主要太陽能電池生產國國家競爭力分析

本章將以 Michael Porter 的國家競爭力分析—鑽石模型為分析藍本，分別從要素條件、需求條件、相關及支援性產業、企業策略、結構與同業競爭、政府、機會的六個因素，分析各主要國家在發展薄膜太陽能產業各項條件的優劣

第一節 日本

一. 要素條件(Factor Conditions)：

自 1990 年代開始，由政府主導之 Sunshine 計劃、1999 年的 New Sunshine 計畫等多項政策作多的前提下，日本國內 TFT-LCD 大廠 SHARP，KYOCERA 及 SANYO，已累積多數的製程經驗、技術及專利優勢

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，其不僅能積極維持技術領導地位，促進國內經濟，更能藉由調整其能源結構，強化國家競爭力。

二. 需求條件(Demand Conditions)：

根據日本太陽光發電協會（JPEA）所發佈的統計資料顯示，2006 年日本太陽電池廠商在日本國內的總出貨量較前一年減少 1.4%，僅 287MW，相較於過去 10 年內日本國內出貨量均維持一定的年成長率，2006 年首度轉為負成長，尤其 2006 年第 4 季（10~12 月）日本國內出貨較前一年同期衰退 16.6%，僅 68MW，已連續 2 季下滑，主因為矽原料缺貨和住宅用太陽光發電補助措施終止所致。不過 2006 年日本國內廠商出口至海外的太陽電池總出貨量年成長 11.8%，達 916MW，歸功於出口至德國和美國的出貨量年成長 19%，達 630MW，請見圖 4-1。

單位：MW

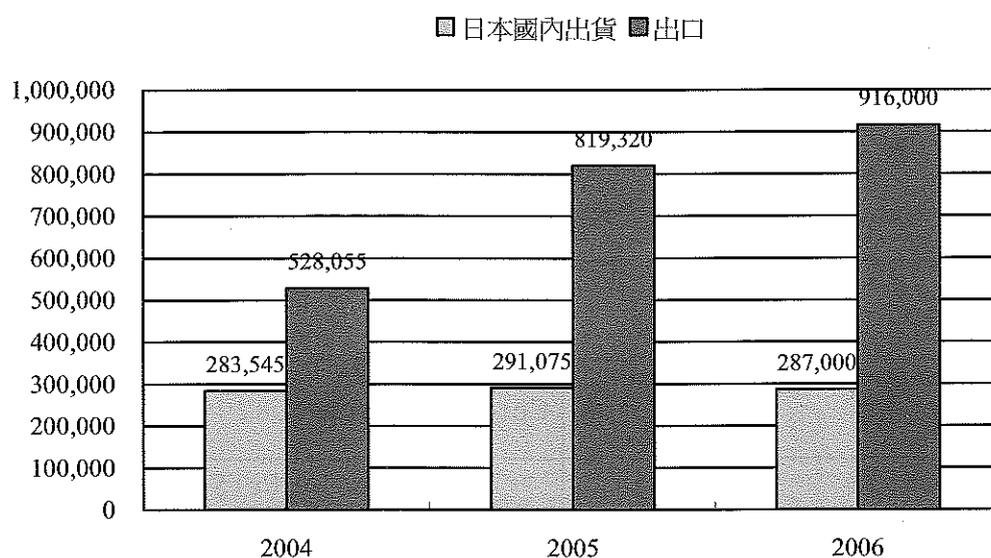


圖4-1 日本年度太陽電池總出貨量統計
資料來源: JPEA, PIDA 整理 2007.2

三. 相關及支援性產業(Related and Supporting Industries)

表 4-1 所示為日本結晶矽太陽電池產業鏈以及 2006 年產業鏈各階段的生產量。2006 年日本太陽電池產業生產規模受到主要生產原料矽供應不足而無法快速成長，目前已有多家廠商投入到上游材料供應鏈。日本結晶矽太陽電池產業鏈經過長久以來的發展，不但已在日本國內形成完整的產業鏈，同時也將產業勢力拓展到海外，下游海外生產的比重日益提高。

產業鏈	產品	2006 年產量	廠商
上游	多晶矽 Polysilicon	7300 噸	Tokuyama Corp.、Mitsubishi Material、Sumitomo Titanium、Sharp、JFE Steel、NS Solar Material、日本 Solar Silicon
	矽晶棒 Ingot	Na	JFE Steel、M.Setek、Space Energy
	矽晶圓 Wafer	Na	JFE Steel、M.Setek、Space Energy、TKX、KSS、Sumitomo Mitsubishi Silicon (SUMCO)、ISHIYOKI、IIS Material
中游	太陽電池 Cell	872 MW	Sharp Corp.、Kyocera Corp.、Mitsubishi Electric Corp.、Sanyo Electric、Mitsubishi Heavy
	太陽電池模組 Module	523 MW	Industries、Matsushita Ecology Systems、Hitachi、Honda Motor、TDK、Kyosemi、Canon、MSK、Shell
下游	太陽光電系統 System	Na	Solar Japan、Fujipream、Asahi Glass、Kobe Steel、Sekisui Jushi、Kawasaki Heavy Industries
	太陽能屋 Housing	Na	Misawa Homes Co., Ltd.、Kubota
	其他應用產品 Product & Application	Na	Sunlight Co., Ltd、Seiko Watch Corp.、Citizen Watch Co., Ltd

表4-1 日本結晶矽太陽電池產業鏈
資料來源: PIDA, 2007.4

根據日本光產業技術振興協會 (OITDA) 所發表的日本光電產業產值統計, 2006 年日本太陽電池產業受到主要生產原料矽原料不足, 日本國內住宅用太陽光電系統停止補助的限制影響, 產值較 2005 年度僅成長 4.40%, 金額為 4,072 億日圓。估計 2007 年上游矽原料不足的壓力逐漸緩和, 以及 CIS 化合物太陽電池開始量產的挹注下, 生產量可望成長 14.7%, 產值將較 2006 年度成長 10.85%, 達到 4,514 億日圓, 請見圖 4-2。

單位：百萬日圓

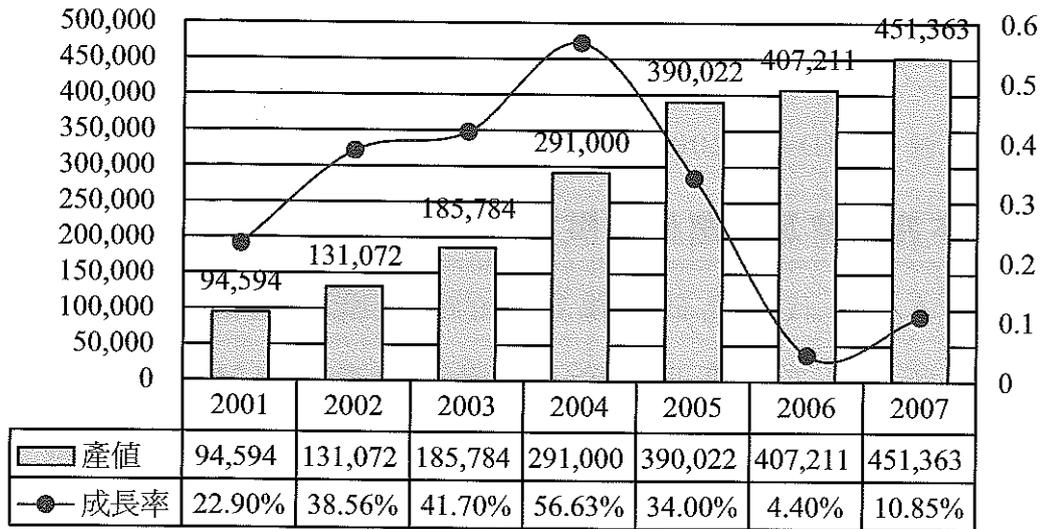


圖4-2 日本太陽電池電池產值
資料來源: OITDA, 2007.3

四. 企業策略、結構與同業競爭(Firm Strategy, Structure and Rivalry)

日本第一代非晶矽太陽電池的生產能力包括三菱重工長崎造船所諫早工廠原非晶矽太陽電池年產能 10MW、Kaneka 兵庫縣生產基地原非晶矽太陽電池年產能 30MW、富士電機生產基地原非晶矽太陽電池年產能 3MW，合計年生產能力為 43Mw。目前投入次世代高效率薄膜微結晶矽太陽電池生產的主要廠商有 Sharp、Kaneka、三菱重工業、富士電機，總計四家日本廠商近二年內將投入 230 億日圓，合計將增加 95MW 的產能，預計以不同於第一代非晶矽太陽電池的高效率、大面積，及透光／發光型及可彎曲性等新的產品特性，開拓建材、照明、交通運輸動力源新興應用市場。2007 年日本非晶矽與薄膜矽太陽電池產業年生產能力合計將達到 138MW，請見表 4-2。

公司	Cell 結構	生產技術	效率	投資額	年產能	量產
Sharp	a-Si/ μ c-Si Tandem	short-pulsed VHF plasma CVD 成膜技術	11%	20 億日圓	15MW	2006/7
三菱重工	a-Si/ μ c-Si Tandem	VHF plasma CVD 成膜技術	12%	100 億日圓	40MW	2007/4
Kaneka	a-Si/ μ c-Si Tandem	-	12%	50 億日圓	25MW	2007 年春
富士電機	a-Si/a-SiGe Tandem	plasma CVD 成 膜技術、 roll-to-roll 製程		60 億日圓	15MW	2006/10
合計				230 億日圓	95MW	

表4-2 日本薄膜太陽能電池產業發展
資料來源: PIDA, 2007.4

五. 機會(Chance) 及 政府(Government)

日本新能源產業技術總合開發機構 (NEDO) 在太陽光發電的綜合性推廣事業方面，將致力於技術開發、實際研究與推廣引進，共 3 大核心項目，並同時進行標準化與降價等工作。針對地方公共團體與非營利民間團體，提供引進新能源所需的資訊，以及訂定願景等相關支援，並援助引進設備費用的 1/2 或 1/3 經費。為了持續擴大市場和確保國際領先地位，日本新能源產業技術總合開發機構 (NEDO) 所進行的中長期開發技術「未來技術研究開發」計畫中，展開「薄膜矽」、「CIS 薄膜」、「次世代超薄型」、「色素增感」及「有機薄膜」的太陽電池研究 2007 年 4 月 Sony 宣佈與中國科學院合作在上海開設「中國科學院上海矽酸研究所—Sony 聯合研究室」，目的為開發高能源效率且製造成本低廉的次世代太陽電池，與致力於材料等的共同研究。而 Kaneka 也已開發出光電轉換效率提高到 12 % 的高效率型太陽電池。

工業技術院產、學、官合作主要是透過轄下的 15 個研究所所成立的「產

學官合作推動中心」來執行任務。在共同研究方面至 1998 年 12 月約與 800 家企業或是大學，共同研究案件為 730 件，共同研究對象包括日本和國外。其次在委託研究方面主要在機械、電子、能源等方面產業為多。第三在技術指導方面 1998 年 12 月時點時，有大約 9,800 件對企業或是大學或是地方政府或是個人之技術指導正在進行。第四，有關研發成果專利移轉方面如前述，至 1998 年 3 月為止在國內有 1,050 件簽約，而在國外有 26 件簽約。此項技術移轉一般是透過日本產業技術振興協會（JITA，詳見第三節）來執行。第五，有關研究交流方面依據各項制度，和國內外研究機構交流，1998 年 3 月時點派遣人數日本國內有 1,398 人，赴國外有 2141 人，而招募人數國內有 601 人，國外有 913 人。第六，與大學內之研究所合作方面，主要是由公立研究所之研究人員赴大學指導學生以順利取得學位，目前共與日本 16 個公、私立大學有合作計劃，1998 年度之指導人數是 145 人，兼任教授之研究員有 131 人。

除了以上產、學、官合作之業務外，幾項大型的產、學、官共同合作研究計劃經費預算佔了工業技術院的絕大部分，其重要性自不待言。首先，是新陽光計劃，它是新能源技術開發計劃，始於 1974 年第一次石油危機之後不久開始執行陽光計劃以及 1978 年的月光計劃（源技術研究開發計劃），至 1993 年合併為新陽光計劃，目的除了能源外也包括環保之綜合技術開發計劃，1999 年度的預算達 570 億日圓，是日本產、學、官合作計劃中最大的。

新陽光(New Sunshine)計劃是結合民間企業、大學以及公立研究所透過 NEDO 來執行能源、環保技術之研發，確立太陽能發電、燃料電池發電等各項研究計劃所研發技術之實用性，並研究其對其他產業之波及效果等。尤其是對地球環保問題，在簽訂「京都議定書」之後，日本也在 1998 年 6 月制定「地球溫室效應對策推動大綱」，強化有關環保、能源技術的研發。

1999 年新陽光計劃研究的主題包括：1.潛在的能源供給，包括 a.太陽能技術；b.地熱能源技術；c.風力能源技術；d.煤礦能源技術；e.燃料電池發電技術，

它是高效率，低環境污染，可以自由選擇發電規模，可以使用多項燃料之發電技術，包括三種類型，熔融碳酸鹽型，固體電解質型以及固體高分子型三種燃料電池發電技術；f.超電導電力應用、儲存技術，以提高電力系統的效率以及穩定性；g.分散型電池電力儲備技術，以平衡日、夜間電力之負荷不平均狀況；h.次世代化學過程技術開發；i.電子鑄造過程所用之腐蝕物質之替代物質等。2.系統化技術方面包括：a.廣域能源利用網路體制之研發。包括能源之回收、變換、輸送、儲存等有關的系統化技術；b.國際清潔能源系統(clean energy system)技術，包括建構水力、太陽能以及風力能源技術之網路系統；c.基礎能源技術，包括將來能源技術之發掘、新能源、替代能源、省能源、高效率能源使用技術等。3.環保對策技術，包括 a.地球環境產業技術開發，包括利用觸媒及生物科技之環保型生產技術、金屬、材料回收技術等 13 項研發技術；b.新的回收產品關聯技術的開發，低成本高品質之回收產品的市場化，玻璃瓶、雜誌回收用紙，塑膠等之回收再利用技術的開發；c.新的環保產業創造型技術研發，例如因應地球溫室效應之技術等。



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 計畫之技術發展規劃如圖 4-3 所示。1997 年前，以結晶矽太陽電池為主，2000 年後至今，則著重於薄膜、高效率太陽電池，近年來太陽電池部分，則朝向先進太陽電池技術之開發，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 年設立新陽光計畫 (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，預期 2005 年更下降為 2 萬日圓，並希望未來產品的價格將逐漸轉由市場機制決定。

日本為了扶植太陽能電池事業，曾經推出了“Sun Shine 計劃”和“New Sun Shine 計劃”等，但這些計劃在全國範圍內現在基本都已實施完畢。或許正是因為這個原因，在其他國家和地區太陽能電池產量猛增的同時，日本的產量基本保持原來的狀態。

日本 2007 年開始停止住戶太陽能獎勵方案，部分太陽能業者認為，該方案去除主要即是為公平起見，因為安裝太陽能發電系統的住戶所取得補貼，正是全國納稅人的錢。2007 年日本太陽能市場已出現萎縮情況，2007 年 4~6 月總產出 190 百萬瓦(MWp)，僅為 2006 年的 86%，其中，日本內需為 43 百萬瓦，為 2006 年的 62%。

展開年度		1993	1996	1997	2000	2001	2003	2005
主題	Sunshine 計畫	NSS 計畫(1 期前半)		NSS 計畫(1 期後半)				
	太陽電池製造技術研究開發	薄膜太陽電池	薄型多結晶太陽電池	薄型多結晶太陽電池	薄型多結晶太陽電池	先進太陽電池技術開發	砂結晶系薄膜太陽電池	砂結晶系薄膜太陽電池
太陽光發電系統技術研究開發	結晶砂太陽電池							
	薄膜太陽電池							
	非晶太陽電池							
	薄型多結晶 CIS		模組大面積化技術	低成本大面積模組製造技術	高效率・大面積化關鍵技術・模組化技術			
	超高效率太陽電池		高效率化關鍵技術	高效率・大面積化關鍵技術・模組化技術	Cell 化關鍵技術・周邊關鍵技術			
	高效率太陽電池		超高效率化基礎技術					
	能源使用合理化砂製程			1999 即效型技術的開發	2000	2002		
	促進普及新技術的開發(提案公開徵求)				2000	企業化		
	利用系統・周邊技術設置技術	屋頂安裝台・簡易施工	一體型太陽電池模組	一體型太陽電池模組	一體型太陽電池模組	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	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				太陽電池性能評估・信賴性評估技術				
系統				系統性能評估技術・最適當系統設計技術				
實証研究	Hybrid 系統	Hybrid 系統	Multihybrid 系統	Multihybrid 系統	Solar Island	2002 Solar Town 構想		
資源開發	最新的次世代太陽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)	

圖4-3 Sunshine計畫及New Sunshine計畫之技術發展規劃
 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」



第二節 德國

一. 要素條件(Factor Conditions)：

在德國再生能源開發利用上，風能、生質能、太陽能、地熱能是重點推廣普及的項目，在政府有效激勵政策的推動下，目前風力發電及太陽光發電（PV）兩個項目，已躍居全球最大的市場。根據德國太陽能產業公會（BSi）的統計，德國太陽光發電 2004 年市場量達到 360MW，市場值達到 17 億歐元。追尋德國太陽光發電市場發展的軌跡，自 1991 年併聯發電法（Electricity Feed-In Act）生效，並在 1991~1995 年開始實施千戶屋頂示範推廣計畫，直到 1999 年整個市場尚處於萌芽期，成長非常緩慢，1999~2003 年 10 萬戶屋頂推廣計畫期間，透過低利貸款等融資政策，市場進入較高的成長，五年內創造 300MW 的市場，是過去近十年累計設置量的三倍。

二. 需求條件(Demand Conditions)：

德國自 2004 年成為全球太陽電池最大市場後，一直處於高成長，然而在 2006 年德國太陽電池市場首度出現零成長。根據德國太陽能產業公會（BSW）的統計，2006 年德國太陽光電市場值約 38 億歐元，市場量約 750 MW，與 2005 年相同。

市場零成長率的原因在於全球性的原料短缺造成的太陽電池及模組缺貨的問題仍未解決，而德國 EEG 法案太陽光電接入費率逐年降低 5%，PV 系統價格無法吸收高漲的太陽電池模組成本，因此太陽電池模組廠商優先出貨給南歐太陽光電接入費率更優惠的市場。其次是 EEG 所創造的市場近三年來市場量快速放大，年度新設 PV 系統量已達 9 萬個，累計裝設量更高達 30 萬個，已逐漸形成市場飽和。

三. 相關及支援性產業(Related and Supporting Industries)

表 4-3 所示為德國結晶矽太陽電池產業鏈以及 2006 年產業鏈各階段的生產量，德國太陽電池產業呈現出以中游生產為重的狀況，上游材料及下游生產輔之的狀態。供應鏈的發展趨勢為上游材料國內自主供應比例高，中游海外生產的比重日益提高，下游產業勢力開始拓展到海外。德國結晶矽太陽電池產業自 2000 年以來快速發展，目前已在德國國內形成完整的產業鏈，目前德國有超過 40 家公司從事太陽能矽晶棒、太陽能矽晶圓、太陽電池及模組與電力轉換器的生產，同時關鍵製程與自動化生產線設備，也是產業技術輸出的強項。

產業鏈	產品	2006 年產量	廠商
上游	多晶矽 Polysilicon	4340 噸	Wacker、SolarWorld—Joint Solar Silicon GmbH(JSSI)、Scheuten SolarWorld Solizium GmbH、City Solar
	矽晶棒 Ingot	Na	ASi Industries、SolarWorld—Deutsche Solar(Bayer Solar)、PV Crystalox Solar、Schott Solar
	矽晶圓 Wafer	310 MW	ASi Industries、Conergy、SolarWorld—Deutsche Solar、Doorline、EverQ、PV Silicon、Schott Solar、WPI Wafer Production International
中游	太陽電池 Cell	504 MW	Arise Technologies、Conergy、SolarWorld—Deutsche Cell、Ersol Solar、EverQ、Q-Cells、Scheuten、Schott Solar、Shell Solar Deutschland、Solarwatt Cells、Sunways
	太陽電池 模組 Module	331 MW	Aleo、ASS、Conergy、EverQ、GSS、Heckert、Scheuten Solar、Schott Solar、Schuco、Saint Gobain、Solara、Solar-Fabrik、Solar Factory、Solarnova、Solarwatt Solar-System、Solon、Sunovation、Sunware、Webasto、WulfmeierSolar、SMD、Solarc
下游	太陽光電 系統安裝 System Installer	Na	Phönix SonnenStrom AG、Conergy、S.A.G. Solarstrom、SolarWorld、SunTechnics Solartechnik GmbH、Shell Solar、BP Solar、Sunways AG、Solarcomplex GmbH

表4-3 德國結晶矽太陽電池產業鏈
資料來源: PIDA, 2007.4

根據 PV News 的統計，2006 年德國太陽電池產量為 504MW，較前一年度成長 33%。2007 年上游矽原料不足的壓力逐漸緩和，以及 CIS 化合

物太陽電池開始量產的挹注下，生產量可望成長 45%，達到 655MW。

四. 企業策略、結構與同業競爭(Firm Strategy, Structure and Rivalry)

圖 4-4 為德國次世代太陽電池產業概況，德國原本太陽電池產業主要生產以多晶矽為原料，結晶矽為製造技術的太陽電池為主，CIS 太陽電池為輔，次世代太陽電池所佔的比例極微。2007 年在非晶矽／微晶矽 Tandem 型及 CdTe、CIS 化合物太陽電池開始量產下，薄膜太陽電池將年產能擴大到 305MW。

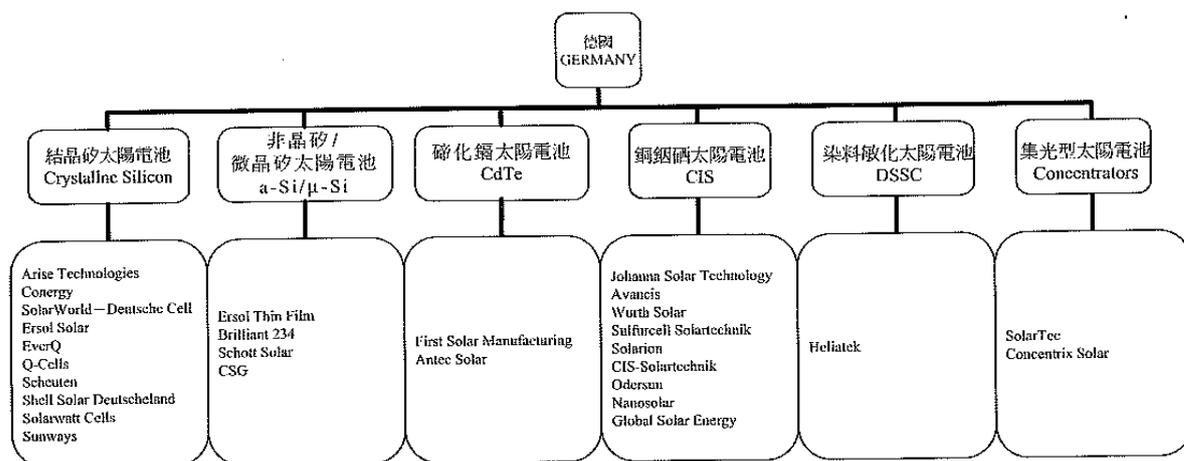


圖4-4 德國次世代太陽電池產業
資料來源: PIDA, 2007.4

德國非晶矽及薄膜矽太陽電池產業發展現況由於矽晶片型太陽電池產業多晶矽材料短缺，以及看好薄膜太陽電池市場成長潛力，德國太陽電池產業近兩年掀起一股薄膜熱，德國本土太陽電池廠商產品領域已從結晶矽延伸至薄膜，發展的技術以次世代薄膜矽為主，2006 年內投產的有 Q-cell 轉投資的 CSG Solar，其他新廠預計於 2007 年後陸續投產，2006 年德國薄膜矽太陽電池產業產能投資金額合計達到 1 億 9,300 萬歐元，合計將增加 95MW 的產能，請見表 4-4。

母公司	子公司或合併公司	技術	2006年投資金額 (百萬 歐元)	2006年 產能	2007年 產能	未來規 劃
Q-Cells AG	CSG Solar AG	Crystalline Silicon on glass	53	上半年： 10MW 年底： 20-25MW	na	na
	Brilliant 234	a-Si/ μ c-Si micromorph	na	訂購設備	na	na
Ersol Solar Energy AG	Ersol Thin Film GmbH (ETF)	Amorphous Silicon Thin Film	80	建廠階段	2007年 夏：40MW	中期達 到 100M W
SunwaysAG	-	Amorphous Silicon Thin Film	na	建立產能	產品上市	na
SCHOTT Solar GmbH	-	Amorphous Silicon Thin Film	60	建廠階段	2007年 秋：30MW	na

表4-4 德國薄膜矽太陽電池產業產能投資
資料來源: PIDA, 2006.12

同業競爭

Shell 考量到多晶矽材料供給不足對生產及市場的壓力下，於 2006 年 2 月初進行 Solar 事業的策略調整，決定退出結晶矽太陽電池市場，未來將專注在銅銦硒（Cooper, Indium, Selenide, CIS）事業，並將與掌握薄膜沉積技術的策略夥伴 Saint-Gobain Vitrage 合作生產薄膜太陽電池模組。

德國 Aleo Solar AG 成立於 2001 年 11 月，以單／多晶矽太陽電池模組製造為主。2006 年 Aleo solar AG 取得薄膜廠商 Johanna Solar Technology (JST) 19 % 股權，跨入薄膜太陽電池模組領域。德國 Aleo Solar AG 的 CIS 太

陽電池生產技術來自於 2006 年 5 月取得南非約翰尼斯堡大學衍生公司 PTIP Ltd., CICSSe 技術授權，目前已在 Brandenburg 展開量產工廠的建設，預計 2007 年中投產，初期產能規劃為 30MW，預計 2009 年將擴大到 60 MW。

德國 Solon AG 以單／多晶矽太陽電池模組製造為主，2006 年取得美國 CIGS 太陽電池廠商 Global solar Energy Inc. 19 % 股權 Global Solar Energy 生產基地位於美國 Arizona 州 Tucson 市，目前正在進行擴產，預計 2008 年初完成將年產規模從現在的 2MW 提升到 40MW 的擴建計劃，Solon 公司藉此投資合作將提供太陽電池模組規模量產的技術經驗，協助 Global Solar 薄膜太陽電池模組量產。

Würth Solar 的 CIS 太陽電池生產技術來自於德國能源研究中心 ZSW (Center for Sun Energy and Hydrogen Research, Bade-Wurttemberg)，過去數年來生產規模僅處於小量生產，2005 年 10 月 CIS 量產工廠 CISfab 於 Schwabisch 動土，預計 2006 年第四季開始生產，2007 年產能將達到 14.8 MW。

五. 機會(Chance)

在本國市場已飽和狀況下，只能朝美國和歐盟其他國家這些高度成長的市場開發，請見表 4-5

單位：MW

	2006	2007*	2008*	2009*	2010*	2011*	2012*
德國	850	1,100	1,500	1,750	2,000	2,200	2,400
西班牙	97	300	500	500	600	600	600
義大利	12	40	150	300	400	540	730
希臘	1.2	2	20	100	200	270	360
法國	14	45	150	250	300	400	540
葡萄牙	2	10	20	40	50	70	90
美國	141	259	400	800	1,400	1,900	2,550
中國	12	20	35	70	100	140	180
日本	286	230	300	400	500	680	910
印度	21	50	150	300	500	680	910
南韓	12	20	150	300	400	540	730
其他地區	150	170	250	350	500	680	910
總計	1,598	2,246	3,625	5,160	6,950	8,700	10,910

* 預估值

表4-5 全球PV主要市場需求量
資料來源: EPIA, 2008.2

六. 政府(Government)

分析德國 PV 市場成功的原因在於 2000 年再生能源法案的實施 (Photovoltaic Feed-in Tariffs of the Renewable Energy Law, EEG)。該法案為 PV 發電系統收購電價奠定了法源依據，對新設 PV 發電系統以 20 年期至少 0.99 馬克/kWh 的優惠價格收購太陽能。2004 年 EEG 法案修正案通過實施，PV 發電系統收購電價提高到 45.7~62.4 cent/kWh，這套以系統效能為基礎而設計的激勵政策，大幅縮短 PV 發電系統設置成本回收的時間到七至八年，讓設置 PV 發電系統變成一件有利可圖的投資，不僅一般民眾趨之若鶩，於住宅屋頂設置小型家用系統，商業或公共產業應用的中大型 PV 發電系統設置計畫，一時之間也如雨後春筍般湧現，造成太陽電池模組的嚴重缺貨。根據 EEG 法案，2005 年 PV 發電系統收購電價為 43.42~54.53 cent/kWh，BSi 的估計，2005 年德國太陽光發電市場量約 432MW，較 2004 年成長 20%，成長率較前一年低的原因在於原料短缺造成的太陽電池及模組缺貨的問題仍未解決。

根據 EEG 法案 2007 年德國 PV 發電系統不同的設置位置與系統規模

享有不同的太陽光電接入費率 46.3~49.21 cent / kWh ，請見表 4-6。

設置位置	系統規模		
每度電之接入費率	<30 kWp	30-100 kWp	>100 kWp
安裝於建築物和雜音保護牆	€ct49.21	€ct46.82	€ct46.30
整合入外牆	+ €ct5		
開放空間（地面安裝）	€ct37.96		

表4-6 2007年德國EEG太陽光電接入費率
資料來源: BSW，2007.2

EEG 法案的動機在於保護氣候、自然與資源以及發展科技，一方面使私有再生能源供應者能夠從發電中獲得經濟利益、以及透過元件與系統之升級使得每單位功率(kW)或能量(kWh)之成本降低。

EEG 法案之特色有：(1)保證 20 年內固定營業率；(2)必須收購所有發電量；(3)平衡傳統能源之競爭優勢；(4)法律明確性：20 年分期償還期；(5)吸引投資者的投資報償率；(6)對公共基金沒有負擔。法案成功動力有：(a)再生能源已經由 4.7%(1998 年)提昇到 8%(2003 年)；(b)有超過六百萬德國人完全以再生能源供給；(c)民間私人住家所需附加成本很低(0.2cent/kWh，約為每年每戶 7 歐元)；(c)再生能源領域就業人數約為 13 萬人(是 1998 年就業人數的兩倍)。再生能源的遠景可以透過擴大運用來跨出永續未來之第一步、透過國際合作以迎合挑戰與建立市場、德國可以分享政治與商業經驗給全世界。

德國的經濟發展非常依賴能源，而其能源結構又以石化與核能為主，隨著環保意識增長，在 90 年代初期，德國政府便開始引進再生能源，經過十多年的努力，德國目前已經是再生能源發展相當成功的國家。

位於德國萊比錫(Leipzig)北部 Wolfen 的太陽能電池大廠 Q-Cells，是最令

人津津樂道的成功例子，該公司在 2007 年的太陽能電池(Photovoltaic Cells)產量就超越日本的夏普(Sharp)，成為全球最大的太陽能電池廠。

奇怪的是，德國的陽光並不特別充沛，但卻培養出該產業的龍頭老大，追根究底，德國政府的大力支持是促使 Q-Cells 與整個綠色產業走向成功的重要推手之一。

據德國環保署最新的報告顯示，該國綠色產業快速擴張，來自再生能源產業的供電量佔全國能源供應的 6.7%，2006 年的消耗量為 5.5%、2003 年只有 3.5%；這個產業 2007 年的營業額達到 246 億歐元(約 329 億美元)，是 2000 年的 4 倍。

德國電力的主要來源是燃煤與核能發電，前者非常不環保、後者又相當危險，所以德國政府在 1991 年開始進行再生能源法(renewable energy Law ; REL)的催生，之後又進一步保障依各類再生能源之發電成本給予不同之最低收購電價，甚至又補充法案讓收購價格可以固定長達 20 年。

又名為 EEG(Erneuerbare-Energien-Gesetz)的再生能源法，提出「獎勵金補貼」及「再生能源電力強制收購」的觀念。依照該法案，電力公司有義務收購其營業區域內所有由再生能源業產出之電力，讓再生能源的電力能被充分運用。

「獎勵金補貼」的概念則是要求電力公司以較高價錢對電力進行「補貼收購」，用以彌補購買再生能源發電設備的支出。爾後，這些觀念被大多數的國家引用於再生能源法案中。

位於德國漢堡的綠色產業智庫 World Future Council 的分析師 Stefan Schurig 表示，該法對德國的再生能源產業是種鼓勵，也給投資人信心，與全球

其他國家的同類法律相比，EEG 是最出色的產業條例。

雖然再生能源產生的電力讓消費者的帳單變重，這多出的成本在 2007 年約為 77 億歐元，但對環保狂熱者而言，這只是少少的成本，但卻可以成就許多再生能源的發展，並且讓電源供應徹底「脫碳」。

至於德國太陽能產業的發展，政府早在 1990 年就開始布局，當時推出「1,000 戶太陽能屋頂計畫」；1999~2004 年又實施「10 萬戶太陽能屋頂計畫」，這個計畫和 2000 年的 EEG 相互配合，加上 2004 年通過的 EEG 之補充修訂，促使太陽光電發展快速前進。

緊接著德國政府在 2005 年又推出「太陽光發電計畫」(Solarstrom Erzeugen)。一連串的措施最重要的目的在宣示，投資太陽能產業能持續獲利，吸引更多的人加入太陽光發電的行列。

雖然 EEG 受到產業歡迎，但政府卻開始趨向保守態度，以太陽能產業為例，自 2005 年起，對太陽能新設備更換補助每年減少 5%，現在更提議要在 2009 年減少補助 9.2%、之後每年再少 7%~8%。

德國這個修正案的目的是在於引導該能源事業的走向，有效的鼓勵新技術進入市場。可是對太陽能產業來說卻是種隱憂，因為成本提高後，業者只能寄望面板的需求夠多，足以支撐長期的競爭力。

也因為德國政府以往對太陽能產業的支持，使得這個產業消耗最多的矽原料之市場價格居高不下，從 2003 年的每公斤 25 美元已經飆升至現今的每公斤 400 美元，更打壞行情的是，全球其他陽光充沛地區的太陽能產業的進入障礙也被提高。

第三節 美國

一. 要素條件(Factor Conditions)：

2006 年起美國布希總統數度走訪再生能源公司，以實際行動表示對再生能源的支持，要加強開發與利用美國的再生能源資源，以降低對進口化石能源的依賴，使美國走向能源獨立自主。

隨後聯邦政府通過實施 Solar America Initiative (SAI)，象徵美國能源政策從" fossil fuel—friendly " 轉變為" solar-friendly "，這股由上而下的領導力量，已激起了全美對再生能源的重視，配合能源部加強以業界為主體的產學合作的太陽光電的研發投入，發展低成本高效率的太陽光電技術，使得太陽光電成為人人負擔得起的平民化能源，對於美國能源市場的轉換具有重要的意義，美國市場的需求發展也比原先預估來得樂觀，也將是未來幾年全球太陽電池廠商的重點市場。

二. 需求條件(Demand Conditions)：

從日本及德國的成功經驗證明，支持推動太陽能政策是激勵太陽光電市場發展最重要的一步。因此，美國支持推動太陽能的立法工作從聯邦至州政府持續不斷，美國太陽能市場自加州百萬太陽能屋頂法案（SB1）立法以來，已經成功帶動其他州相關需求，2007 年 1 月美國布希總統的國情咨文更助長美國市場太陽光電消費意識。

其中，對未來市場發展影響較大的法案之一為 2007 年 1 月中旬，美國國會議員提出針對 2005 年能源法案中對太陽能租稅減免期限規定的修正案，研擬將住宅及商用太陽能適用的租稅減免到期時間，自 2008 年延長到 2016 年，以刺激 PV 內需市場，該案獲得美國太陽能產業協會（Solar Energy Industries Association, SEIA）所支持。推動全美家用及商用太陽能租稅減免延長法案，計劃將租稅減免期從目前 2008 年到期，延長至 2016 年底止，期能

長期持續激勵市場需求積極擴張，SEIA 預估該項延長計畫可刺激各州投入數十億美元的再生能源建設。

2006 年美國 Grid-connected PV 市場量統計結果，較原預估的 83MW 樂觀，整體成長 60%，並首度超越 100MW。其中，加州以 70Mw 市場量居第一，佔美國 Grid-connected PV 市場比率 70%，New Jersey 州則以 223% 的成長率，近 18MW 成為全美第二大區域市場，2006 年加州及 New Jersey 州相繼通過促進 Solar Power 應用法案，是支持市場持續成長的動力。

加州百萬太陽能屋頂計畫 (Million solar roofs Program) 具體執行計畫 California Solar Initiative (CSI)，於 2006 年 1 月通過計畫監管單位 CPUC (California Public Utilities Commission) 審議，預計提撥自 2007 年到 2017 年以 32 億美元的預算，執行該計畫，在這項計劃中，將 2006 年的貼現率訂在 2.8 美元/W，此後逐年減少 10% 的設計。百萬太陽能屋頂預計將廣泛的應用在住宅、商業大樓、農場、學校、市政建築，其中，28 億美元的預算將用來補助既成的住宅、公共建築、工業廠房、商業與農業設施的應用，其餘的 4 億美元預算將用來補助新建住宅，特別是由建商與土地開發商共同打造的陽光社區，預計未來 11 年將為美國創造 3,000 MW 的需求，2006 年 8 月 21 日加州州長正式簽署該法案，並將預算金額提高到 33.5 億美元，使得 CPUC – CSI 立法工作更往前落實一大步。2006 年 8 月加州 CPUC 通過 2007 年 CSI program grid – connected PV incentive rates，激勵制度的設計，融合 system capacity based incentives 及 Performance –based incentives (PBI) 兩種制度的精神。對於 100 kW 的 PV system，採取 Expect performance—based buydowns incentives (EPBB)，亦即根據 PV system 最大設置發電容量，期初以系統總瓦數為單位進行補助。對於 $\geq 100\text{kW}$ 的 PV system，採取 Performance—based incentives (PBI)，以每月賣電量總度數 (kWh) 為單位進行補助。

CPUC 通過 CSI 於 2006 年的過渡期間由 CEC (California Energy Commission) 貼現專案所補助的 3 億美元，將用於商業及市政建築的太陽能屋頂，而 5 千 8 百萬美元的執行預算，將用於住宅及小型商業建築的太陽能屋頂。

The California SGIP (Self Generation Incentive Program) 計畫設定超過 50MW ~ 70Mw 以後的申請案件，計畫將會從 2.8 美元/W 減少到 2.5 美元/W。

2006 年可謂是美國 PV 市場起飛年，除了通過 California Solar Initiative (CSI) 大大地鼓舞市場之外。蔓延在各州的各種激勵太陽能政策，為美國 PV 市場需求從點擴散到面具有重要的作用。New Jersey 州長 3 月簽署 Residential PV system 的 state tax credits 法案，預計支出 3 百萬美元，若合併 federal tax credits，將可涵蓋 residential PV System 設置成本的 1/3。4 月 New Jersey 州 Board of Public Utilities 通過將 New Jersey 州 2020 年 RPS 提高到 20% 的目標。New Jersey 州通過 3 億美元預算，至 2008 年執行 solar Buy--downs 計畫。

美國 Colorado 州 CPUC (Colorado Public Utilities Commission) 2006 年 7 月通過 Aquila 電力公司 solar rebate 計畫。10kW 以下的 PV installer 補助 6 美元/W。以符合 Colorado 州電力公司須在 2007 年達成 3% RPS，其中 4% 須來自 Solar Energy (half of this be from systems installed on customers building) 的目標。通過激勵太陽能政策的實施，2006 年 Colorado 州 grid-connected PV 市場成長高居全美各州之冠，成長率達 521%。

Arizona 州電力事業主管機構 Arizona Corporation Commission 核准通過 2025 年 Arizona 州 RPS 達到 15% 的行政命令，其中 30% 的再生能源須為分散式電源系統，如住宅用 (Residential PV System) 或者是商業用

(Business PV System)。隨後，Arizona Corporation Commission 核准通過 Arizona Public Company (APC) 以 425 萬美元執行太陽能電力獎勵計畫「The 2006 environment portfolio standard credit purchase program」

三. 相關及支援性產業(Related and Supporting Industries)

美國結晶矽太陽電池產業鏈完整，廠商多屬垂直整合型的發展模式，廠商家數相對不多，目前美國有超過 20 家公司從事太陽能矽品棒、太陽能矽晶圓、太陽電池及模組與電力轉換器的生產，同時關鍵製程與自動化生產線設備，也是產業技術輸出的強項。雖然上游材料可自主供應，但中游近年以來美國全球市場佔有率持續下降，部份廠商退出生產，下游產業勢力則由於內需市場的帶動而蓬勃發展，請見表 4-7。

產業鏈	產品	廠商
上游	多晶矽 Polysilicon	Hemlock、Mitsubishi PolySilicon、MEMC、Renewable Energy Corporation(REC)、ASiMI+SAS、AE Polysilicon、Hoku Scientific
	矽晶棒 Ingot	Crystal Systems、BP Solar、GE、Evergreen Solar、Schott Solar
	矽晶圓 Wafer	MEMC、BP Solar、GE、Evergreen Solar、Schott Solar
中游	太陽電池 Cell	SolarWorld CA(Shell Solar)、BP Solar、GE、Evergreen Solar、Schott Solar
	太陽電池模 組 Module	Sunpower、GE、BP Solar、SolarWorld-Shell Solar、Evergreen Solar、Sharp
下游	太陽光電系 統安裝 System Installer	SunPower(Powerlight)、Solar Integrated Technologies、SPG Solar、New Vision Technologies、State Roofing

表4-7 美國結晶矽太陽電池產業鏈
資料來源: PIDA, 2007.4

四. 企業策略、結構與同業競爭(Firm Strategy, Structure and Rivalry)

美國太陽電池產業發展的特色為薄膜太陽電池所佔的生產比重全球首屈一指，各種材料技術的新創事業顯現十足的活力，美國 Global Solar 及 First Solar 公司在 CIGS 與 CdTe 各有所長，美國 GaAs Concentrator 太陽電池主要供應商有 Emcore、Boeing / Spectrolab，以及新加入的 Bandwidth Semiconductor 公司，請見圖 4-5。

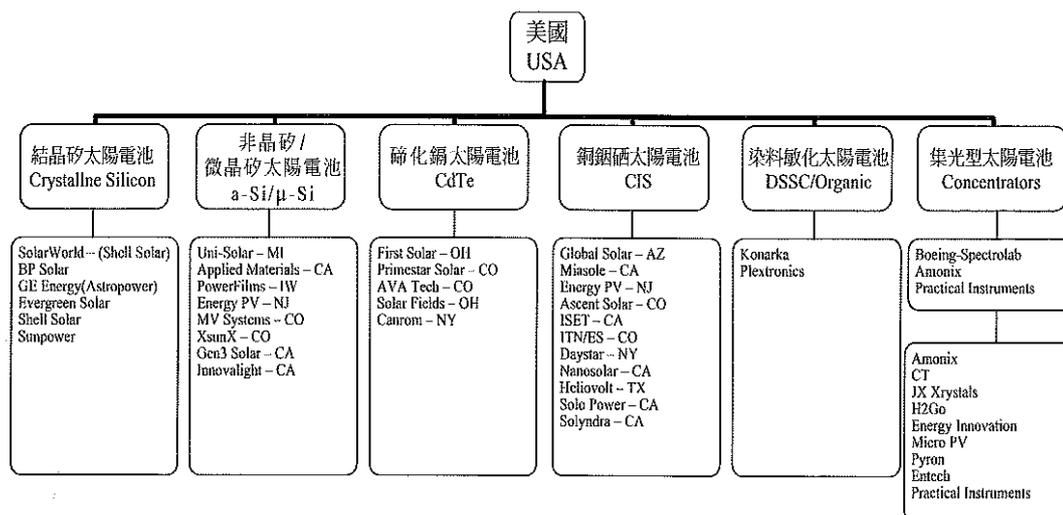


圖4-5 美國次世代太陽電池產業
資料來源: PIDA, 2007.4

PV 市場的發展 system Integrator 扮演有如推手的角色也是在 PV 價值鏈中最接近終端消費者的一部份，其功能在於將具成本效益的太陽能板及其他系統零組件整合 PV 發電系統提供給消費者，並為消費者安排財務融資、申請系統補助金、以及與地區電力公司電網併聯作業的申請。美國 PV 市場集中在加州及新澤西州，合計佔美國 PV 市場的 85 %。根據 PV News 雜誌以美國加州及新澤西州這兩個主要 PV Integrator 市場所作的調查，system Integrator 廠商多屬於在地型中小規模的經營方式，所經營的產品及服務以太陽能源的解決方案為主，亦即除了 PV 發電之外，尚包括太陽熱能發電及太陽能熱水等相關產品及服務。隨著美國市場的發燒，也將為 PV system Integrator 市場帶來更大的競爭，競爭的條件其一在於經營的規模必須從原先的在地型中小規模的經營方式，

發展成大型全國性甚至全球性的業務網絡，二則是必須掌握系統關鍵元件太陽電池的來源。為此，列名全球第十一大太陽電池製造商的美國矽谷 SunPower 公司，於 2006 年 12 月宣佈將於 2007 年 1 月以 2.65 億美元併購全美第一大 PV System Integrator 公司 PowerLight。為確保太陽電池的來源，PowerLight 與中國晶澳太陽能公司簽訂三年供貨合約，簽約供應量 120MW "

第二大 PV system Integrator 公司 commercial and institutional PV 市場為主 SunEdison，以 SunEdison 增資 2 千 6 百萬美元擴大 Solar energy solutions 業務規模。該公司透過與 Nevada 州政府合作協議 18MW 的 army base PV system Installation，預計 2006 年中開始興建。此外又與康乃狄克州潔淨能源基金合作，以共同分攤成本的方式，協助州內企業 Staples 公司建設 433kw 的 PV 系統，成功擴大業務涵蓋地理範圍。對於確保太陽電池的來源上，SunEdison 與中國尚德電力簽訂長約，簽約金額估計在 5 千到 9 千萬美元之間。加州百萬戶太陽能屋頂的市場需求持續增溫，連帶帶動加州為基地的 PV System Integrator 業務。根據 PV NEWS 雜誌所發佈的美國前十大 PV System Integrator 來看，第三名及第六名的 SPG Solar 及 Akeena Solar 擴編在南加州的業務。Akeena Solar 專長於住宅及小型商用 PV System，2006 年營收較 2005 年成長 86%，估計 2007 年營收將有 125% 的成長，主要的業務範圍包括加州、新澤西州、以及東岸的紐約、康乃狄克州及賓州。

佛蒙特州小廠商 GroSolar 藉由併購市場資歷已十五年的 Energy Outfitters 公司，可望達到快速擴張規模，利用 Energy outfitters 在美西及加拿大既有的市場知名度，迅速成為市場前幾大的目標，並進而打造 GroSolar 的自有品牌。

美國 PV 市場的覺醒，導致美國 PV 產業快速大型化以及更加全球化，在外商於美國本土加碼投資之際，如德國 Solarworld 公司宣佈將大手筆投資 3 億歐元建造全美最大太陽能廠，美國 PV 產業基於擴大生產規模以及降低生產成

本，開始佈建海外生產據點。

再生能源政策為 PV 市場起步的必要條件，但 PV 市場要達到自主發展不受政策所左右仍須回歸市場機制，意即 PV 發電價格與市電價格競爭力。為此，Solar America Initiative (SAI) 的目標為在 2015 年前美國 PV 系統發電價格可直接與市電價格來競爭，依據美國 SEIA 的 PV Roadmap，2015 年美國 PV 系統安裝成本必須降到 4.24 美元/W。根據 PV News 以加州市場所作的調查結果，2006 年美國加州 PV 系統平均安裝成本約 9 美元/W。2006 年美國加州住宅平均太陽光電系統發電價格較住宅平均市電價高出 168%，未來電價持續上漲的壓力，2008 年該比率將降到 122%，從以上數據可看出現在的 PV 產業技術與市場所需的水準仍有相當大的努力空間。透過美國產官學研的努力，目標十年後，即使沒有政府的補貼，太陽光電系統發電價格已具有與市電競爭的能力，並進一步成為美國電力市場的主流之一。

五. 機會(Chance) 及 政府(Government)

隨著布希總統的 Solar America Initiative (SAI) 政策的推動，象徵美國能源政策從，"fossil fuel—friendly"轉變為"solar-friendly"使得太陽光電成為人人負擔得起的平民化能源，因此相關技術發展的計畫應運而生。特別是扮演美國太陽能技術火車頭的美國能源部 (DOE) 於國家再生能源研究所 (NREL) 新設的 S&TF 科學技術中心將以開發先進再生能源技術如太陽電池、氫燃料電池、分散型發電裝置等相關的革命性製程研究為主，並以推動商業化為目標，以期能活絡次世代再生能源產業。

同時美國 DOE 自去年 6 月就公開募集太陽能技術開發計畫，以推動太陽能技術的發展。募集的對象是有潛力將 PV 發電成本從現在 13~22 美分/kWh，降低到 2010 年 9~18 美分/kWh 的技術為主。DOE 預計 3 年花費 1 億 7 千萬美元，並採用與業界共同分攤計畫成本的獎助方式。計畫分為 PV 系統研究開發技術、新型 PV 零組件裝置及製造機器的開發、試驗、實證、認證、

導入重點兩大類，在首次募集的經費分配上，PV 系統或零組件設計、統合、設置面等總合技術改良的大型計畫（計畫一年最高獎助金額上限為 2 千萬美元）預計徵求 4~10 件、特定零組件或製造裝置技術開發的小型計畫（計畫一年最高獎助金額·上限為 8 百萬美元）預計徵求 10~15 件。募集對象包括業界、大學、國立研究所及非政府機關。

美國太陽能技術研發重鎮科羅拉多州，於去年通過「科羅拉多再生能源共同研究所（Collaboratory）」法案。未來州政府將提供再生能源研究合作的資金給國家再生能源研究所（NREL）、科羅拉多礦業大學、科羅拉多州立大學及科羅拉多大學等 4 個研究單位。所成立的「科羅拉多再生能源共同研究所（Collaboratory）」

國家標準規格技術研究所（NIST）所屬的建築火災研究所，自去年 7 月就投入太陽光發電系統戶外性能實證研究，該研究則是收集屋頂型太陽光發電系統性能資料、進行住宅及商業用太陽光發電系統性能實驗、新設屋頂型太陽光發電測試設備。NIST 將利用 15 個月針對住宅用傾斜屋頂設計的 7 種太陽光發電裝置，及商業建築應用的平屋頂設計的 2 種裝置做熱性能監測與資料的收集所收集的參數將利用軟體進行演算，屋頂型太陽光發電系統的實際發電量以期能預測與模擬。

第四節 中國

一. 要素條件(Factor Conditions)：

雖然中國西部有豐富的天然礦產資源，但因尚未開發，目前仍有 90%原料仰賴進口。

二. 需求條件(Demand Conditions)：

雖然在 2006 年中國已實施了《可再生能源法》，但因併網發電等需要政府和政策支持的市場的相關法令與制度尚未完備，導致內需市場發展緩慢，未來支持產業持續成長的力道恐被削減。

三. 相關及支援性產業(Related and Supporting Industries)

由表 4-7 中國大陸結晶矽太陽電池產業鏈來看，中國結晶矽太陽電池及模組廠商在全球太陽光電產業製造的重要性與地位快速提升。2006 年中國國內生產之太陽電池在亞洲已經達到第二位（第一為日本），其中生產量第一大的廠商尚德，在全球太陽電池廠 2006 年排名中也從 2005 年的第 8 位爬升至第 4 位。太陽電池模組廠商在國際市場的知名度及市佔率也大有斬獲。

在最上游的多晶矽原料部分，中國西南與西北地區含有豐富的矽礦資源，太陽電池用多晶矽生產技術憑藉過去在國家級研究院所累積的提煉技術，與自國外技術引進及採購反應器設備後，2007 年起量產技術已獲得大幅突破。加上中國「十一五」期間將多晶矽材料生產事業列為扶持重點，多晶矽原料的供應量將與時俱增。

產業鏈	產品	廠商
上游	多晶矽 Polysilicon	峨嵋半導體材料廠、洛陽單晶矽、洛陽中矽高科技公司、寧夏、四川新光矽、Shangxin Silicon
	矽晶棒 Ingot	寧晉松宮半導體有限公司、常州天合光能有限公司、上海合晶矽材料有限公司、峨嵋半導體材料廠、錦州新日矽材料有限公司、天津市環歐半導體材料技術有限公司、湖州新元素微電子有限公司
	矽晶圓 Wafer	天威英利、浙江精功光電有限公司、鎮江環太矽科技有限公司、成都青洋電子材料有限公司
中游	太陽電池 Cell	無錫尚德太陽能電力有限公司、雲南半導體器件廠、寧波太陽能電源有限公司、深圳創益太陽能科技有限公司、深圳托日、保定英利新能源有限公司、上海交大泰陽公司、上海太陽能科技有限公司、南京中電光伏科技有限公司、寧波杉杉尤利卡太陽能有限公司、
	太陽電池模 組 Module	深圳珈偉實業有限公司、深圳市能聯電子有限公司、武漢日新科技有限公司、阿特斯、北京哈博工貿有限責任公司、天普太陽能集團、常州天合光能有限公司、西安佳陽新能源有限公司、山東力諾瑞特新能源有限公司、京瓷(天津)太陽能有限公司、上海超日太陽能科技發展有限公司、深圳先行電子有限公司

表4-8 中國大陸結晶矽太陽電池產業鏈
資料來源: PIDA, 2007.4

四. 企業策略、結構與同業競爭(Firm Strategy, Structure and Rivalry)

擁有中國境內最大產能的太陽能廠商—無錫尚德電力，為提高在國際市場的佔有率，並提升電力模組產品價值。2006年8月，尚德電力公司宣佈收購日本最大的專業太陽電池模組生產企業 MSK 公司，尚德電力藉此得以取得 MSK 產能，並開拓 BIPV 產品線，以及進入日本這一世界第二大的太陽光電市場。2006年10月尚德電力挾紐約證交所上市的威名，在 Solar Power 2006 展會亮相，拓展尚德電力品牌知名度及推廣 MSK BIPV roofing 產品。

2006 年 5 月，德國 KAISERSLAUTERN 世界杯足球賽場館 1MW PV Roof 工程完工啟用。該太陽能屋頂工程由中國天威英利與德國的 Solar-Energiedach GmbH 系統商共同承建此，採用近 5,000 個天威英利的太陽電池模組，此一專案實績，成為天威英利開拓併網太陽能屋頂系統的美國市場最好的宣傳。

五. 機會(Chance)

發展中國家政府透過與以促進發展中國家的持續發展為宗旨的一些非營利機構，如世界銀行(World Bank)及全球環境基金(Global Environment Facility)等組織或與已開發國家政府的財政合作方式，於發展中國家貧窮落後的偏遠鄉村及家庭導入家用太陽能光電系統 Solar Home Systems (SHS) 改善人民對於照明及廣電通訊用電的基本需求。

在亞洲地區的計畫中，世界銀行所執行最大規劃的計畫即為自 2001 年起與中國可再生能源發展計畫(REDP)合作推動中國太陽能光電系統的市場發展。

六. 政府(Government)

中國制定了大膽的目標「十一五」計劃提出一項全國性的能效提高計劃，目標是到 2010 年每個單位GDP的能源消費減少 20%。2006 年 1 月，中國的《可再生能源法》實施，這是一個里程碑式的事件。法律本身並沒有制定目標，但自從它通過後，中國制定了一個雄心萬丈的目標：到 2020 年，20%的電力將來自可再生能源，還不包括大型水力發電。而 2005 年，中國的再生能源只占發電量的 8%。

對中國來說，20%的目標是一個重大的跳躍式前進，產業專家相信這完全可以達到，甚至還可能會提前實現。隨著中國能源需求的激增，必須進一步挖掘

中國國內豐富的可再生能源潛力，包括太陽能、風能和其它能源。這些巨大的能源，不僅部分解決了中國不斷發展的工業和城市的需求，對於尚未發展的鄉村，特別對比較荒涼的西部人們來說，它也是一個有夢的電力來源。在那裏，再生能源能夠提供清潔、可靠、廉價的能量，建設可持續的生活。

2005年，中國在再生能源法規政策建設上也取得了重大進展，同年2月提出了「再生能源法」，2006年1月1日法律施行後，成為實施再生能源發電固定電價政策的第6個發展中國家。在2005年11月又召開了有全球80多個國家參與的「2005國際再生能源大會」，會中提出了促進全球再生能源發展行動的「北京宣言」。



	日本	德國
要素條件	<ul style="list-style-type: none"> * 日本國內TFT-LCD大廠本已具有技術及專利優勢，甚至已具訂定國際標準能力 * 政府更積極補助廠商研發次世代薄膜技術 	<ul style="list-style-type: none"> * 德國國內工業基礎雄厚，本身已具有技術及專利優勢 * 政府多項政策積極補助廠商研發次世代薄膜技術
需求條件	<ul style="list-style-type: none"> * 因為矽原料缺貨和住宅用太陽光發電補助措施終止，導致內需於2006年首度出現負成長 	<ul style="list-style-type: none"> * 因為矽原料缺貨和EEG法案太陽光電接入費率逐年降低，導致內需於2006年首度出現負成長 * EEG所創造的市場累計裝設量更高達30萬個，已逐漸形成內需市場飽和。
相關及支援性產業	<ul style="list-style-type: none"> * 已在日本國內形成完整的產業鏈，同時產業勢力亦已拓展到海外 	<ul style="list-style-type: none"> * 以中游生產為重的狀況，上游材料及下游生產輔之的狀態 * 上游材料國內自主供應比例高，中游海外生產的比重日益提高，下游產業勢力開始拓展到海外
企業策略、結構與同業競爭	<ul style="list-style-type: none"> * 主要前四大廠商 Sharp、Kaneka、三菱重工業、富士電機，近二年內將投入230億日圓，合計將增加95MW的產能 * 主要以高效率、大面積，及透光／發光型及可彎曲性等新的產品特性，開拓建材、照明、交通運輸動力源新興應用市場 	<ul style="list-style-type: none"> * 主要前四大廠商 Q-cell、Ersol、Sunway、Schott Solar，近二年內將投入1億9,300萬歐元，合計將增加95MW的產能 * 德國主要生產以結晶矽為製造技術的太陽電池為主，CIS太陽電池為輔，次世代太陽電池所佔的比例極微 * 2007年在非晶矽／微晶矽 Tandem型及CdTe、CIS化合物太陽電池開始量產下，薄膜太陽電池將年
機會	<ul style="list-style-type: none"> * 因產品已達國際級標準，日本薄膜太陽能產業的產品76%為外銷 	<ul style="list-style-type: none"> * 美國支持推動太陽能的立法工作從聯邦至州政府持續不斷，需求發展遠比原先預估樂觀 * 德國太陽能產品將以美國市場為未來幾年的重點市場
政府	<ul style="list-style-type: none"> * 日本新能源產業技術總開發機構（NEDO）援助引進設備費用的1/2或1/3經費 * 進行中長期開發技術「未來技術研究開發」計畫中，展開「薄膜矽」、「CIS薄膜」、「次世代超薄型」、「色素增感」及「有機薄膜」的太陽電池研究 	<ul style="list-style-type: none"> * 德國太陽能產業的發展，政府早在1990年就推出"1,000戶太陽能屋頂計畫" * 2000年提出EEG，與全球其他國家的同類法律相比，被譽為是國際間最出色的產業條例

	美國	中國
要素條件	* 政府以多項政策及法案積極鼓勵廠商研發低成本薄膜技術	* 雖然中國西部有豐富的天然礦產資源，但因尚未開發，目前仍有90%原料仰賴進口
需求條件	* 美國支持推動太陽能的立法工作從聯邦至州政府持續不斷，需求發展遠比原先預估樂觀 * 美國市場也將是未來幾年全球太陽電池廠商的重點市場	* 因併網發電等需要政府和政策支持的事場的相關法令與制度尚未完備，導致內需市場發展緩慢
相關及支援性產業	* 上游材料可自主供應，但中游近年以來美國全球市場佔有率持續下降，部份廠商退出生產，下游產業勢力則由於內需市場的帶動而蓬勃發展	* 傳統結矽晶產業中下游產業鏈業已形成，
企業策略、結構與同業競爭	* 美國薄膜太陽電池所佔的生產比重約為全球產量的1/4 * 系統整合商與電池供應商簽訂長約，確保電池供應量(SunEdison 與中國尚德) * 美國本土市場快速擴張造成產業快速大型化以及更加全球化	* 以購併較大市場國廠商，已順利進入該國市場(無錫尚德) * 或與國外知名系統商合作以拓展國際知名度(天威英利)
機會	* 美國支持推動太陽能的立法工作從聯邦至州政府持續不斷，需求發展遠比原先預估樂觀 * 美國市場也將是未來幾年全球太陽電池廠商的重點市場	* 世界銀行與已開發國家政府的財政合作，於發展中國家貧窮落後的偏遠鄉村及家庭導入家用太陽能光電系統
政府	* 美國能源政策從"fossil fuel—friendly"轉變為"solar-friendly" * 美國能源部採用與業界共同分攤研發計畫成本的獎助方式	* 中國的可再生能源法實施，預估到2020年，20%的電力將來自可再生能源 * 中國「十一五」期間將多晶矽材料生產事業列為扶持重點

表4-9 太陽能電池主要生產國之國家競爭力比較

資料來源: 本研究整理

第五章、台灣薄膜太陽能電池產業的國家競爭力分析

第一節 要素條件(Factor Conditions)

台灣在半導體以及 LCD 產業上發展相當成熟，製程人才充足，與太陽能領域產業關連性相當高，所以，在發展太陽能上相對具有優勢。

台灣目前發展最好的矽晶圓太陽能，即借重半導體產業培養出來的許多人才；另外，目前全世界也積極研發的薄膜太陽能電池又跟 LCD 產業製程類似，也是許多台灣廠商積極投入的原因之一。例如日前宣布與美國應用材料合作發展薄膜太陽能電池的綠能科技，正是因為同集團的華映已具有 LCD 發展技術。

台灣廠商大都為專業製造工廠，擁有優秀的製造及管理人才及由半導體及面板產業一路延展下來的上下游供應鍊產業基礎，且因為人力成本相對歐美及日本相對低廉，生產成本較低，藉由製造技術優勢，其產品以質優價廉為主。

第二節 需求條件(Demand Conditions)

太陽光電產業前景極佳，但其系統設置成本仍然較一般傳統能源昂貴，以致於民間的使用意願仍然有限。有鑑於此，在太陽光電的應用推廣方面，台灣也借鏡德國、日本等先進國家，一樣採取多元的太陽光電獎勵應用補助措施。

自 2000 年起，由經濟部能源局實施太陽光電發電系統設置補助，持續提供國內民眾太陽光電發電系統之設置成本 50% 設置補助（每 kWp 以新台幣 15 萬元為上限），以鼓勵使用太陽光電。此外，亦針對太陽光電的特色及特定目的，提供各項不同的設置補助方案，例如進行偏遠及離島地區的太陽光電緊急防災系統設置補助，將系統設置於我國偏遠或離島等供電困難或易中斷區域的災害避難所、救災中心等處，做為平日用電輔助及災害時獨力運轉供電、提供緊急防救災

電力使用。另有與教育部、農委會合作，於中小學或農業相關設施提供補助。

除此之外，亦先後推動了陽光電城、太陽光電建築經典示範等推動專案。2008 年 3 月 28 日並實施「經濟部能源局陽光社區建構補助作業實施計畫」，與縣市政府一齊帶動區域內民間社區住宅的太陽光電利用，將太陽光電應用與建築產業、城鄉規劃、社區營造等領域相結合，期能以各項補助打開國內的系統設置，並以此建立國內市場，刺激廠商投資設廠，進一步培植國際競爭的基礎。

多元化的推動專案，再加上國內各界的共同推動之下，太陽光電發電系統的設置利用，在台灣已逐漸起步。至 2008 年 3 月 31 日止，已簽約進行設置之補助案計有 397 件，設置容量合計為 4.7 MW；已順利完成設置實例亦有 286 件，完成設置容量達 2.25 MW。其中包括了總統府、經濟部、立法院、海巡署等重要政府機關，以及南投、金門、綠島等山區或外離島處，發揮了供電輔助的實際功效。

第三節 相關及支援性產業(Related and Supporting Industries)

台灣結晶矽太陽電池產業鏈，除了最上游的多晶矽國內尚未能自製外，整體的供應鏈已經完整串聯，中游廠商家數增加快速，產業對進入上游較為保守，請見表 5-1。

產業鏈	產品	廠商
上游	多晶矽 Polysilicon	無
	矽晶棒 Ingot	中美矽晶、綠能、合晶科技
	矽晶圓 Wafer	中美矽晶、綠能、合晶科技、旺矽、統懋
中游	太陽電池 Cell	茂迪、益通光能、旺能光電、昱晶能源、新日光、昇陽光電、科冠能源、太陽光電、台灣茂矽
	太陽電池模 組 Module	頂晶科技、奈米龍、鉅茂光電、中國電器、知光能源、立碁電子、日光能、茂晶能源、太陽電、生耀光電、科風、和鑫光電、全能科技、威光太陽能
下游	太陽光電系 統安 裝 System Installer	茂迪、台達電子、中國電器、日光能、東城科技、大豐能源、聚恆科技、太陽動力、冠宇宙、東亞電機、全面性系統整合科技、中興電工、江陵機電、金華成金屬工程、福井企業、工易自動化、華旭環能、夏普光電、京瓷亞太、太陽動力、羅森國際、鼎鼎、千附實業、崇越電通、德商精矽九陽能源系統、昇暉、同昱科技

表5-1 台灣結晶矽太陽能電池產業鏈及廠商
資料來源: PIDA, 2007.4

第四節 企業策略、結構與同業競爭(Firm Strategy, Structure and Rivalry)

台灣太陽光電產業自 1999 年開始發展以來，至今已有超過 8 家上游太陽能矽晶材料廠商，中游 20 家已量產或計畫投入的太陽電池廠商，20 家已量產或計畫投入的太陽電池模組廠商，下游系統及週邊零組件與應用產品廠商家數有 50 家，短短數年間，產業從業廠商家數已近百家，產值已破百億新台幣，上中游廠商實收資本額合計達 2,783 億新台幣。從時間軸來看，2005 年廠商家數增加迅速，每年約有超過 5 家的新廠商成立，同時也有相對數量的廠商轉型加入。

台灣結晶矽太陽電池產業過份著重在中游元件的製造，在最上游的多晶矽材料缺席，以及最下游的系統與應用亦未達規模，產業發展的根基不穩，為產業長遠發展最不利之處，然而一個產業能否成功發展，從上至下的供應鏈是否成熟及其產品所能提供的價值都是非常重要的，缺一不可。台灣產業是否應合作突破最上游的瓶頸，值得產業深思。台灣以專業分工製造的定位融入全球結晶矽太陽電池產業鏈中，但是台灣結晶矽太陽電池廠商多數處於剛起步階段生產尚未達經濟規模，未來面對國際大廠朝向垂直整合的營運模式發展，中國大陸一線廠商的生產規模成長較台灣快，未來台灣廠商在成本控制與管理的專長上能繼續發揮多少優勢。未來，台灣 PV 產業應專注於哪一段來發展，或是如何發展一個獲利的商業模式，將考驗著台灣經營者的智慧。台灣模組產業正處於起步階段，生產規模小且全球市佔率低。目前僅頂晶(自鼎元光電獨立)與興達共同取得 IEC61215 品質認證，其他新進廠商如奈米龍等僅在送驗階段，與各大廠在國際市場競爭上較為不利。接下來，刺激終端應用—PV 系統的需求，是 PV 產業發展不可或缺的動力，台灣能源局雖然著力於各式太陽光電應用計畫的推展，然而市場成長非常緩慢，若再生能源立法不能儘快被立法院通過，太陽光電接入費率無法源依據遲遲不能實施，將影響市場成長的速度，進而限制台灣系統廠商的發展。

目前，台灣次世代薄膜太陽電池產業處於從研發跨到商品化的階段，發展的材料技術包括非晶矽、化合物半導體及染料與有機高分子。2006 年可謂為台灣非晶矽及薄膜矽太陽電池產業元年，主要參與廠商包括大豐能源、鑫筌能源，2007 年聯相光電也加入產業。除了大豐能源以與設備廠商共同開發設備的方式進入之外，鑫筌能源、聯相光電採取從國外以整廠設備技轉方式切入。大豐能源新建竹南廠已完工，將於 2007 年下半年開始投產，鑫筌能源及聯相光電則預計於 2008 年投產 LED / LD 廠商以在既有的光電半導體核心技術發展新事業的角度進入太陽能產業，砷化鎵太陽電池主要參與廠商包括華上光電、全新光電、晶元光電、海德威(禧通)等光電廠商，氮化鎵及染料與有機高分子的廠商則僅處於研發階段，如圖 5-1。

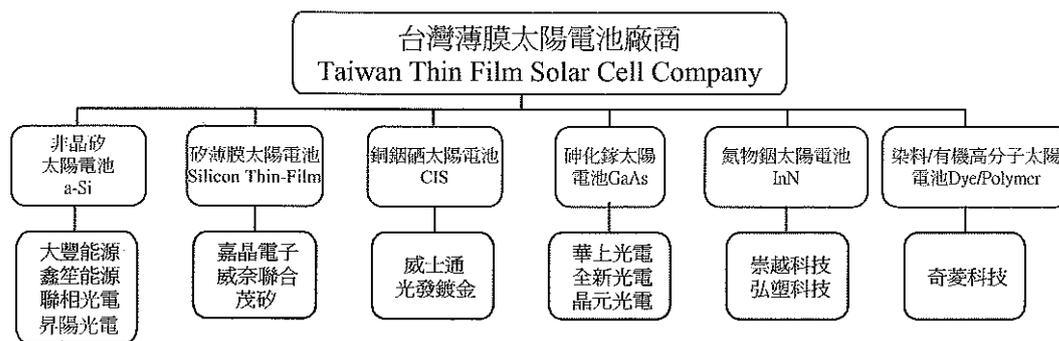


圖5-1 台灣次世代太陽電池產業廠商
資料來源: PIDA, 2007.4

第五節 機會(Chance)

結晶矽太陽能市場苦於缺料問題，使得薄膜太陽電池趁勢而起，廠商預估三年內可望快速達到年產能 100 MW，以發揮成本優勢。次世代薄膜太陽能市場參與者在 2007 年快速浮出檯面，主力投入的仍是以非晶矽 (a-Si) 太陽能較多，即全球薄膜排名第 1、2 的日本 Kaneka 及美國 United Solar 為代表，普遍轉換率約近 10 % 左右，預估 2~3 年後透過技術轉變為 mc-Si，以便大幅提高轉換率，包括老資歷的大豐能源、聯電體系下的聯相，與日本真空技術集團 (ULVAC) 合作投入微晶矽薄膜技術 (Micro-Crystalline ; mc-Si)，及與美國 EPV 技術授權轉移的鑫筌、近期新廠破土的威奈都是投入相同領域。

目前來看，從 a-Si 進入 mc-Si 領域的進展仍未成熟，仍屬鴨子滑水階段，其製程與 LCD 領域相似，且化學氣相沈積系統 (PECVD) 製程更主導競爭優勢，讓 LCD 業者較其它業者切入來得優勢，包括友達、奇美等雖未有承認投入該薄膜太陽能領域，但市場認為這是遲早的問題，造成潛在競爭加眾的情況，也使薄膜領域的未來將有極大的變化。

第六節 政府(Government)

展望未來，太陽光電為新興之能源科技產業，政府為克服太陽光電產業發展的瓶頸，強化國際競爭能力，經濟部分別於 2006 年 6 月及 2007 年 10 月共召開 3 場「太陽光電發展策略」座談會，邀集太陽光電產、官、學、研等單位，擬訂加速推動太陽光電產業發展策略。

提出台灣太陽光電產業發展目標，以創造具國際競爭優勢產業為願景，定出台灣太陽光電產值規模方向：2010 年約新台幣 1,500 億元；2015 年約 4,000 億元，占全球比例 2010 年 6%；2015 年 7%；台灣太陽光電系統累積設置量：2010 年 31MWp；2015 年 320MWp 的目標，並依執行現況，提出 7 項具體作法及內容，包括：

- 一、營造能源環境，帶動產業發展：以擴大內需市場，提供產業發展足夠能量為目的，推動「再生能源發展條例」完成立法。
- 二、解決多晶矽（Poly Silicon）缺料問題。
- 三、強化矽晶太陽光電競爭能量。
- 四、加速薄膜太陽光電整合發展。
- 五、建立模組亞太地區檢測驗證服務，預估至 2008 年中可提供廠商矽晶模組認證，以縮短時程及成本，同時運用檢測能量提高國內產品品質以拓展國外市場。
- 六、開發太陽光電生產設備：配合新型矽晶太陽電池製程技術。
- 七、研發太陽光電系統併聯技術，提升發電效益。

經由政府帶動及順應全球太陽光電市場成長趨勢，目前國內廠商投資反應熱絡，產業結構已具雛形，近年產業規模明顯擴大。由 2005 年有 15 家廠商投入，至 2006 年已增至 23 家，及另有系統設置及應用產品廠商 20 餘家，累積至 2007 年止，國內已有 70 餘家廠商投入。

在政府長期的推動之下，國內各界對太陽光電的認識逐漸普遍，自主設置意願亦見提高，如台電公司綜合研究所，在屏東核能二廠南部展示館完成設置的 50kWp 太陽光電發電系統；高雄市政府預計於 2008 年主辦的世界運動會，運動展場預計亦將設置 1 MWp 的太陽光電系統。國內太陽光電的設置應用，預期

將會越來越廣泛，未來配合「再生能源發展條例」通過，各項優惠購電及設備補助措施等誘因，預期國內市場設置量可持續大幅成長。

而經由經濟部能源局針對國內太陽光電整體應用環境的計畫性建立，除了內需市場快速發展之外，也將有更多系統廠商投入，以向上及向下整合方式投入模組之生產製造，在具完備的產業供應鏈下，提供良好的自主組件，讓國內所設置之太陽光電發電系統達到更佳效率。目前國內太陽光電產值已由 2006 年的 212 億元提升至 2007 年 535 億元，預估至 2008 年可達 900 億元，另 2009 年將達 1,178 億元、2010 年 1,524 億元。而我國太陽電池產量 2006 年為 177.5 MWp，為全球第 5 大；2007 年台灣產量已至 390 MWp，估計為占全國產量 11%，預計可望成為全球第 4 大生產地區。



- 因整廠技術轉移，產品具備國際競爭性
- 可開發應用在以 BIPV、汽車天窗、汽車啟動電力系統等消費性應用為主的等潛在市場。
- 目前公開宣稱投入產業的廠商，技術設備皆與國外廠商合作、購入
- 目前有至少八家廠商宣稱投入，已實際量產廠商僅二家，處於產業萌芽期。

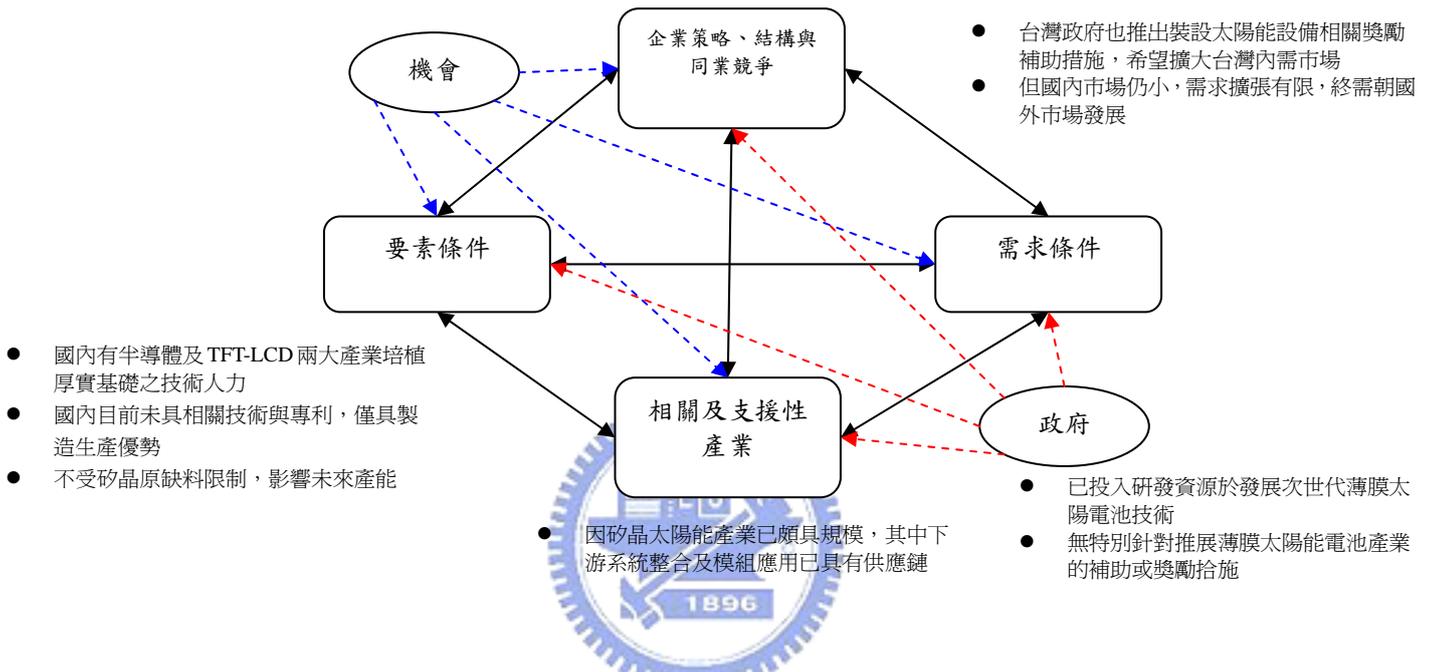


圖5-2 台灣薄膜太陽能電池產業的鑽石模型
資料來源：本研究整理

第六章、結論與建議

第一節 結論

目前台灣在太陽能電池產業上仍缺乏上游晶圓矽材料自有供應體系，發展矽晶圓太陽光電產業很容易受制於主要原料短缺，因此轉換至原料較易取得及製程相對簡化的薄膜太陽能電池將是未來發展的方向之一。但是國內廠商開始研發薄膜太陽能技術的時間遠落後於國外，尚無廠商具足夠競爭力的量產技術。

此外，除了技術效率等因素需強化，薄膜太陽能電池在產業上發展最大瓶頸為設備成本過高，設廠成本約為矽晶型 4~5 倍，從產業發展來看，薄膜型太陽電池與 TFT-LCD 其實有若干類似之處，包括同樣需處理大型基板、降低成本與設備搬運不易需就近供應問題，而台灣有完整的半導體產業為基礎，具有發展太陽光電的優良條件，太陽光電產業未來將面臨產能與成本激烈競爭，然而薄膜太陽能電池製程尚未標準化，關鍵製程設備單價高昂，對於設備技術要求比半導體或 TFT 低，因此設備設計不能完全移植 TFT 或半導體作法，未來若要建立相關產業技術，必須結合上中下游共同投入研發，突破技術瓶頸，提供設備與製程驗證平台，因此未來國內廠商仍須積極加緊研發腳步，擺脫關鍵設備與技術受限於人的困境。

第二節 對臺灣廠商投入薄膜太陽能電池的建議

一、 與量產技術供應者合作

無論是小型投資者或大型企業對於商業化薄膜太陽能電池技術都持有濃厚的興趣，尤其是銅鋁錄晒技術與堆疊型／微晶矽之矽薄膜技術。這些濃厚的興趣伴隨著金錢的投資可為薄膜太陽能電池技術帶來更多可預見的成長機會，但這些興趣大多仍是導因於矽材短缺而且可能只會持續兩三年熱度，薄膜技術的量產經驗仍不充足，由研發到商業化無足夠時間驗證與市場考驗，除非有企業能示範

可持續的良好成功實績經驗，才能讓薄膜技術產業化的熱度持續。

單獨就實驗室的電池效率來跟商業化生產模組的效率表現相比較是不公平的，因為兩者各有不同的目標與限制條件，兩者間的效率表現存在落差是難免的。強化實驗室的電池表現仍是重要的，因為其提供了未來商業化模組表現改良的可能路徑；然而商業化模組的效率表現通常會落後於實驗室電池表現約 10-15 年的差距。

二、 研發自有設備技術

由於薄膜太陽能具有未來性，歐美日等先進國家皆早投入技術及專利，台灣目前僅有工研院及中科院進行實驗室研發，技術與專利恐怕無法與早已起步的這些主要太陽能生產國家匹敵，故建議朝設備國產化方式大幅降低生產成本方向進行。



太陽能光電產業的發展模式與 LCD 光電產業類似，走向規模經濟導向，以產業發展的軌跡來看，比起如日本等先進國家，台灣的切入時間都較晚，而且都是以代工起家，涉略的程度不及這些工業基礎厚實的國家，所以發展到某種量產的規模時，國內業者即會感受到無設備自製能力的痛苦

台灣半導體、平面顯示器、光電等產業專用設備儀器製造商，開始投入太陽能設備市場。目前台灣廠商仍以後段製程為主，目前聚昌科技已完成太陽能模組製程設備的開發。欽揚科技完成太陽能模組壓合機之開發製造，已開始出貨。太陽能封裝設備的巨亞機械，以及投入太陽能模組自動化設備開發的冠銳科技。中游製程設備投入廠商有太陽能電池製程設備的有嵩展科技及太陽能電池 HF wet bench 的擎元精密機械。

三、 開發更多應用產品

目前國內見到的應用僅侷限在交通標誌、路燈照明等少量應用，諸如汽車天窗、建築帷幕等大量應用仍屬於開發階段，若能加強國內相關產業間相互合作，這些裝設量才足以讓國內需求受到刺激而急遽成長。

依據目前整體太陽光電應用市場看來，占目前太陽能應用九成以上的市電併網型，應為目前台灣已加入或欲加入薄膜太陽能產業供應商的首選市場。

四、 快速擴充產能以降低單位成本

雖然目前台灣國內已有 7-10 廠商加入薄膜太陽能產業，但以投入矽薄膜太陽能電池技術為主。估計原因大部份是因為矽薄膜技術是目前薄膜技術中能夠 Turnkey（整廠輸出）的技術，國內廠商與國外購置設備與技術合作較容易，進入較快之故。

相較於台灣與大陸薄膜太陽能產業的競爭發展，大陸市場驚人的成長速度，它們技術仿效能力漸增，且大手筆布局整個產業鏈，期能形成一個完備的產業供應鏈，對台灣而言，我們目前所握有的優勢就在擁有良好的製造能力，所以必須盡速利用該優勢迅速進入大量量產以取得領先地位。

第三節 對政府輔導薄膜太陽能電池產業政策的建議

一、 提升使用率--針對民生用電實際補貼

事實上，依據 Solarbuzz 數據顯示，目前德國、日本被視為全球第 1 及第 2 大太陽光電市場，美國及西班牙同被視為第 3 大市場，但德、日、美市場 2007 年均受到政府策略改變而影響其發展潛力。

德國太陽光電成功的主要因素即為政府推動的再生能源法(EEG)，主要精神即為 PV 發電系統收購電價奠定了法源依據，對新設 PV 發電系統以長期的優惠價格收購太陽能，這套以系統效能為基礎而設計的激勵政策，大幅縮短 PV 發電系統設置成本回收的時間到七至八年，讓設置 PV 發電系統變成一件有利可圖的投資，不僅一般民眾趨之若鶩，於住宅屋頂設置小型家用系統，商業或公共產業應用的中大型 PV 發電系統設置計畫，一時之間也如雨後春筍般湧現。全球初萌芽的太陽光電產業一旦沒有各國政府的補助，就像缺乏奶水的嬰兒，增長隨即受到影響。

刺激終端應用 PV 系統的需求，是 PV 產業發展不可或缺的動力，台灣能源局雖然著力於各式太陽光電應用計畫的推展，然而市場成長非常緩慢，若再生能源立法不能儘快被立法院通過，太陽光電接·入費率無法源依據遲遲不能實施，將影響市場成長的速度，進而限制台灣系統廠商的發展。

二、 提供產業獎勵投資



藉由半導體經驗，提供意欲進入或已進入薄膜太陽能產業廠商同等優惠投資條件，如土地、公共設施、人力等生產要素條件，並由政府提供必要資源補助業者，減低進入障礙，利用如新竹科學園區之群集效應，扶植該產業直至穩定成長為止。

三、 開發國內自有技術--主導技術研發

目前國內產官學關於合作開發太陽能技術皆呈現分散式管理，使得國內整體可用資源嚴重發散，無法針對單一技術作深入研發，建議政府應指定單一層級較高單位專責負責國內自行研發薄膜太陽能技術，並集中資源給予相關產學研發單位以期逐漸追上其他國家。

參考文獻

一. 中文部份

1. 太陽光電產業協會_每月快訊_2008年5月_I, 2008
2. 司徒達賢, 策略管理, 遠流出版公司, 台北, 2000
3. 李雯雯, 薄膜太陽能電池發展前景探索, 工研院產業經濟與趨勢研究中心(IEK) 系統與能源研究組新興能源研究部, 新竹, 2007
4. 李雯雯、王孟傑, 薄膜太陽能電池技術發展潛力分析, 工研院產業經濟與趨勢研究中心(IEK), 新竹, 2007
5. 吳思華, 策略九說: 策略思考的本質, 臉譜, 台北, 2000
6. 拓璞產業分析研究所(Topology Research Institute), 台北, 2008
7. 徐作聖, 策略致勝: 科技產業競爭優勢策略分析的新模式, 遠流, 台北, 1999
8. 財團法人光電科技工業協進會(PIDA), 2007太陽光電產業瞭望與剖析, 台北, 2007
9. 財團法人中技社, 太陽能發電, 台北, 2005
10. 陳麒麟, 矽薄膜太陽電池技術發展及產品應用趨勢, 工研院太陽光電科技中心矽薄膜太陽電池計畫, 新竹, 2007
11. 陳婉如, 從EU/德國能源供需環境轉變看德國PV產業的發展, 財團法人光電科技工業協進會(PIDA), 2005
12. 許進發, 「台灣矽晶圓材料產業分析與競爭策略之研究」, 國立交通大學管理學院碩士在職專班科技管理組碩士論文, 新竹, 2005
13. 黃營杉譯, 策略管理, 第四版, 華泰文化, 台北, 1999
14. 楊勝帆, 2008 十大預測引爆商機, 拓璞產業研究所產業研究中心, 新竹, 2007
15. 謝銘雲, 「台灣印刷電路板產業的競爭策略」, 國立台灣大學管理學院知識管理組碩士論文, 台北, 2003
16. 經濟部能源局, 經濟部能源局5月號月刊--阿波羅的禮讚, 台北, 2008

17. 經濟部技術處產業技術知識服務計畫，太陽光電產業發展現況與未來，新竹，2007
18. 經濟部能源局網站 (www.tier.org.tw/energymonthly)，台北，2008
19. 電子時報，台北，2007~2008
20. 楊素華，蔡泰成，科學發展390期:太陽能電池，行政院國家科學委員會，台北，2005



二. 英文部份

1. Aaker, D.A., Strategic Market Management, Humanities, New York, 1984.
2. Abernathy, W. J., Kim B. C., Alan M. K., Industrial Renaissance, Addison-Wesley, New York, 1983.
3. Aldagand, R. J. & Steam, T.M., Management, South-Western Publishing Company, Cincinnati, USA, 1987
4. Ansoff, H. I. and McDonnell, Edward, Implanting Strategic Management, 2nd ed., Prentice-Hall, UK, 1990.
5. Ansoff, H.I., Corporate Strategy, McGraw-Hill, New York, 1965.
6. Andrews, K., The Concept of Corporate Strategy, Homewood, Dow-Jones-Irwin, Illinois, USA, 1971.
7. Barney J.B., “Firm Resource and Sustained Competitive Advantage” , Journal of Management, 1991.
8. Barney, J. B., Gaining and Sustaining Competitive Advantage, Addison-Wesley Publishing Company, 1997.
9. Betz, Frederick, Managing Technology – Competing through New Ventures Innovation, and Corporate Research, New York: Prentice Hall, 1987.
10. Chacke, G. K., Technology Management – Application to Corporate markets and Military Missions, Praeger, New York, 1988.
11. David, H. G., Daniel, J. B., Analyzing Product Innovation, John Wiley & Sons, New York, 1987.
12. Energy Information Administration (EIA), Annual Energy Review 2006, USA, 2007
13. European Photovoltaic Industry Association (EPIA), Global Market Outlook for Photovoltaics until 2012: Facing a sunny future, Belgium, 2008
14. Frankel, E. G., Management of Technological Change, Kluwer, New York, 1990.
15. Gerhard Stryi-Hipp, Photovoltaics in Germany: Market and Industry Development, Bundesverb and Solarwirtschaft e.V. (BSW, German Solar

- Industry Association), Germany, 2006
16. Glueck, W. F., Strategic Management and Business Policy, McGraw-Hill, New York, 1980.
 17. Grove, A. S., Only the Paranoid Survive, Doubleday, New York, 1996.
 18. Hamel, Gary and C. K. Prahalad, Competing for the Future, Harvard Business School Press, Boston, 1994.
 19. Hill, Charles W. L. & Jones, Gareth R., Strategic Management Theory : An Integrated Approach 4th Edition, Houghton Mifflin Company, Boston, 1998.
 20. International Energy Agency (IEA), KEY WORLD ENERGY STATISTICS, France, 2007
 21. Optoelectronic Industry and Technology Development Association (OITDA), Annual Report 2006, Tokyo, Japan, 2007
 22. Porter, Michael E., Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors, Free Press, New York, 1980.
 23. Porter, Michael E., Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance, Free Press, New York, 1985
 24. Porter, Michael E., The Competitive Advantage of Nations, Free Press, New York, 1990
 25. Solar Energy Industries Association (SEIA), Our solar power future: The U.S. Photovoltaics industry roadmap through 2030 and beyond, USA, 2004