

# 台灣太陽光電產業之未來發展方向

馬小康教授  
國立臺灣大學機械工程研究所

「台灣太陽光電產業之未來發展方向」座談會

97年7月4日(週五)上午09:30~12:00

財團法人中技社8樓會議室  
(台北市敦化南路二段97號8樓)

Energy & Environment Lab  
NTU ME



# 大綱

- 前言
- 國內外太陽光電技術發展現況
- 國內太陽光電產業發展SWOT分析
- 台灣太陽光電產業之未來發展方向

我國太陽光電相關發展條例之增修

推動國內利基型太陽光電之關鍵技術及自製能力

建立國家級大型太陽光電研發中心之可行性

爭取海外優秀科技人才及擴展國際市場

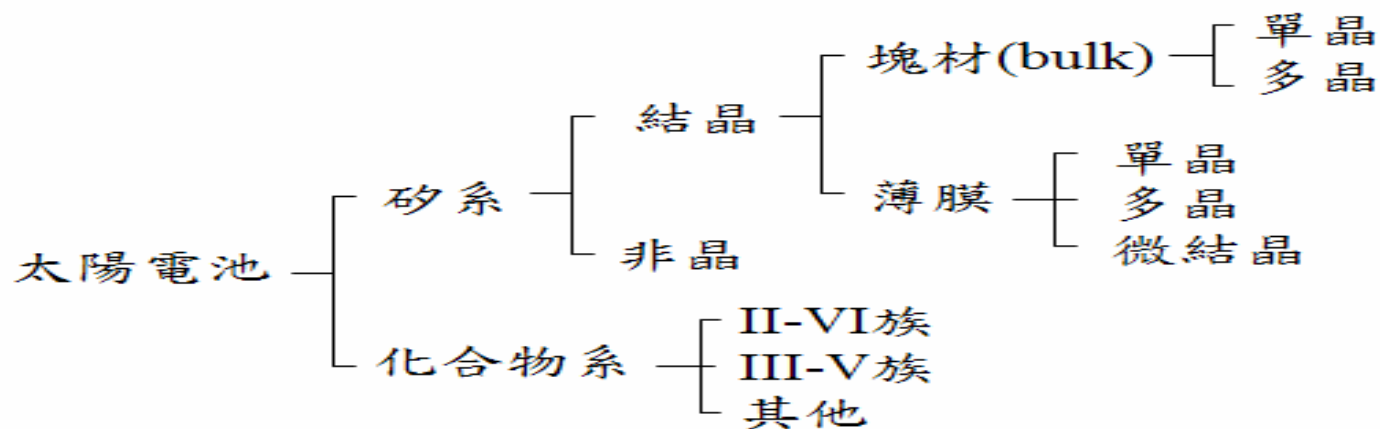


# 前言-太陽光電

- 自從1954年貝爾實驗室開發出轉換效率4.5%的單晶矽太陽電池以來，太陽光電技術從早期應用在太空中，以提供人造衛星和太空船的主要動力來源
- 1970年代歷經全球石油危機，引發美、日先進國家，大舉投入太陽光電技術的研發



# 太陽電池之種類



性質	第三代 (奈米微粒)	第二代 (薄膜型)	第一代 (結晶矽)
價格	低	中	高
適應性	高	中	低
尺寸適應性	高	低	低
透明性	高	中	低
色彩性	高	低	中
重量	低	中	高
室內/室外	高	中	低
抗溫性	高	中	低
效率	低	中	高



# 太陽電池之比較

太陽電池種類		半導體材料	Cell 效率	Module 效率	成本	耐用性	主要用途
矽	結晶矽	單結晶·(晶圓型)	15-24.7%	13-20%	○	☆	
		多結晶·(晶圓型、薄膜型)	10-19.8%	10-15%	◎	◎	獨立電源用
	非晶矽	a-Si、a-SiO、a-SiGe	6-9%				
		a-Si、a-Si/微晶矽·(薄膜型)	8-14%	5-10%	☆	◎	
化合物半導體	II 元素	GaAs·(晶圓型)	25-32%	25-30%	▲	☆	太空用
		CdS、CdTe·(薄膜型)	15-19%	7-10%	◎	◎	民生消費性產品
	III 元素	CuInSe <sub>2</sub> 、Cu(InGa)Se <sub>2</sub> 、CuIn(S <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> ·(薄膜型)	17-19%	8-10%	◎	◎	
有機半導體		(薄膜型)·*	3-5%		☆	▲	
無機塑膠		CdSe、 P <sub>3</sub> HT·(塑膠半導體)·*	1.7-2%				
染料敏化(DSC)		TiO <sub>2</sub> ·(多孔性薄膜型)	8-12%	~8%	☆	○	小規模
多界面串疊型			33.3%				

註：劣·▲←○↔◎→☆·優·\*：研發中

# 太陽光電技術發展現況

- 2004年其市場佔有率分別為單晶矽28.6%、多晶矽56.0%、非晶矽3.4%
- 由於多晶矽太陽電池晶片製作成本較低的優勢，所以成長速度最快。
- 而薄膜太陽電池雖有低成本潛力，但仍無法有效克服效率與穩定性的問題，主因為非晶矽效率太低、CdS/CdTe穩定性比預期差、環保問題及CIGS（Copper Indium Gallium Disenillide）製程量產不易控制等。



# 結晶矽太陽電池

預估至2010年結晶矽太陽電池仍有80~90%的市場佔有率，至2020年結晶矽太陽電池仍有50%以上的佔有率。其特點：

## (一)光電轉換效率高：

單晶矽太陽電池能有24%的光電轉換效率，量產上亦可以達到約15~18%的晶片光電轉換效率。多晶矽效率可達19.8%，在量產上可達13~16%。

## (二)基本技術成熟：

結晶矽太陽電池的基本製程主要可分為：(1)表面結構化製程(2)p-n接面形成(3)抗反射層沉積(4)電極形成等四個階段，不論長晶、晶圓製作技術、或者是pn接合形成等，和半導體技術共通。



# 國內太陽光電設置現況

至2007年6月止，已完成或施工中計337件，容量共計3,936 kWp；其中完成設置者共168件，容量合計1,581 kWp，每年可發電185萬度，可供460戶家庭1年的用電量，其餘設置案正依期程建置中。

太陽光電推動計畫	已完成或施工中 (kWp)
陽光屋頂設置應用，共 234 件	2,631
建築整合型太陽光電經典建築，共 4 件	440
區域性陽光電城設置應用，共 2 件	442
偏遠離島緊急防災設置，共 36 鄉鎮市區，57 件	291
與教育部合作設置陽光校園教育示範系統，共 40 所學校	132
合 計	3,936



福安紀念館  
19.8 kWp 示範系統



總統府力行樓  
10.5 kWp 示範系統



南沙太平島8  
20.3 kWp 示範系統





陽光社區建構計畫  
(2007年~)

- 地方政府或區域主管機關以社區為實施規模設置
- 自2009年起每年可完成2,000瓩，共4,000瓩

一縣市一太陽光電經典  
建築 (2007年~2010年)

- 縣市政府以地標性建物融合太陽光電設計
- 25縣市，每縣市200瓩，共5,000瓩

陽光校園  
(2008年~)

- 與教育部繼續合作共同推動，由適合設置中小學設置太陽光電，與校園活動共同結合
- 自2009年起每年可完成200瓩，共400瓩

公共工程設置太陽  
光電 (2009年~)

- 工程預算5仟萬元以上規模、適宜設置太陽光電系統者，須提撥5%經費比例設置太陽光電系統
- 自2010年起每年可完成4,000瓩，共4,000瓩

台電10 MW設置計畫  
(2006年~2011年)

- 建立國際級規模太陽光電發電廠提供日常用電
- 預計設置1萬瓩 (2011年)

- 預期至2010年累計裝置容量達3.1萬瓩
- 每年可產生3,360萬度電，約可供應8,400戶家庭一年之用電量

# 推動綠色能源產業發展

年度 目標		產業別	產值(新台幣億元)		
			現況	中程目標	
		2006	2010	2015	
再生 能源	太陽光電： 太陽電池產值全球第5大		212	1,500	4,000
	太陽能集熱器： 安裝面積密度居全球主要國家第3位		11.5	15	21
	風力發電： 零組件進入國際風力機供應鏈體系		7.07	40	124.5
	生質燃料：	生質柴油	0.45	30	45
	自主技術，產製自有能源	酒精汽油	0	25	50
節約 能源	LED 照明光電： LED 光源產量為全球第1，產值第2		210	930	5,400
	冷凍空調： 關鍵零組件中以小型空調機壓縮機為主占世界第4位		690	1,000	1,260
	能源技術服務： ESCO 從無到有，新興產業		1.6	6.5	21.3
合 計			1,133	3,547	10,922



# 太陽光電相關政策措施推動情形

## 2006年太陽光電行動計畫綱要：

### 一、技術開發與引進

1. 發展多晶矽材料生產
2. 開發高效率與低成本矽晶太陽電池
3. 開發次世代太陽電池
4. 開發太陽光電生產設備

### 二、環境建構

5. 建立太陽光電模組檢測驗證技術
6. 再生能源發展條例」草案完成立法
7. 建立太陽光電區域網路系統設置能力

### 三、推廣應用

8. 擴大我國太陽光電系統設置規模

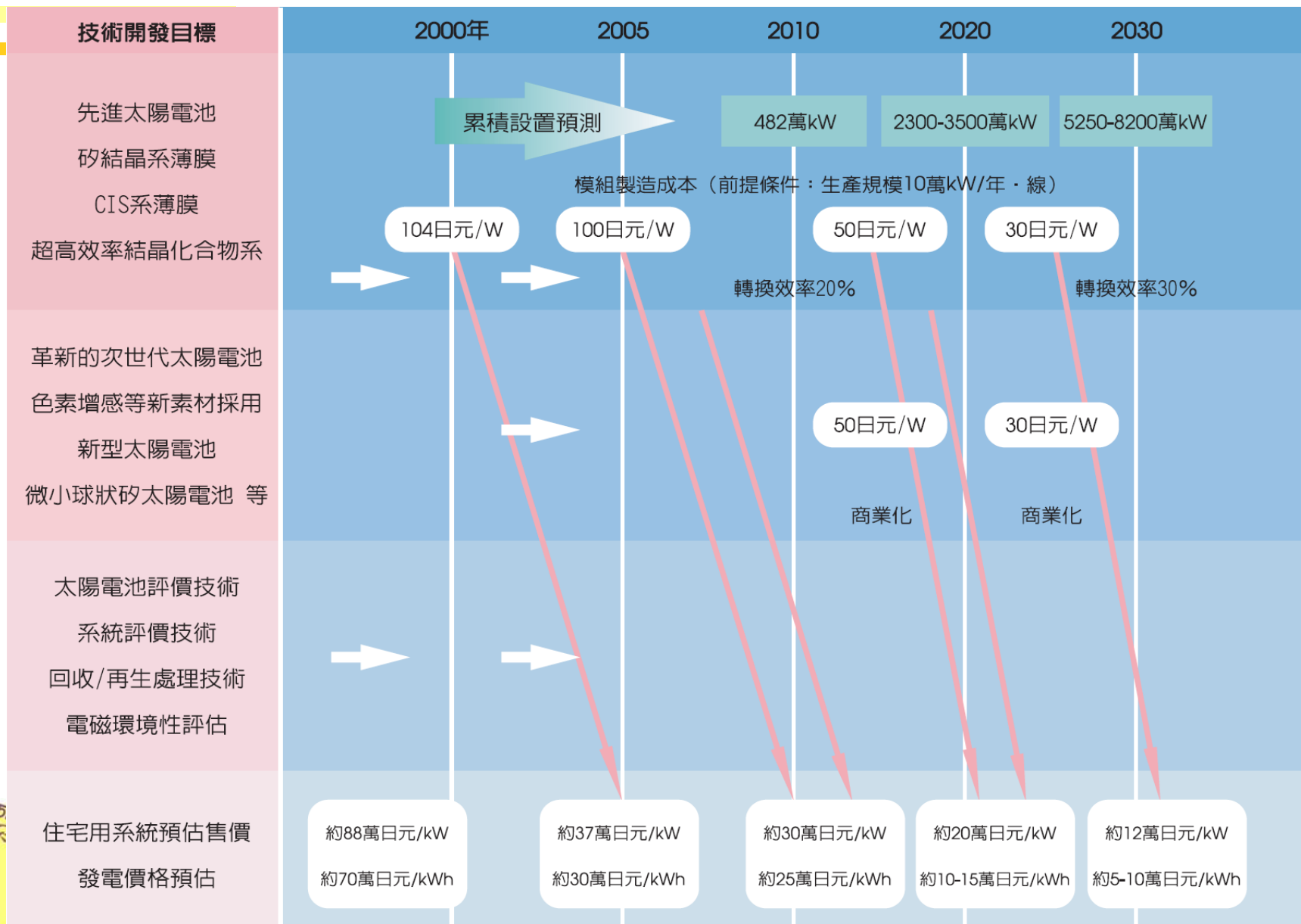


# 日本

- 1974年，通產省工商部制定了著名的「日光計畫」(Sunshine Project)。自1974年至1980年進行「日光計畫」之研究。
- 1978年5月，和太陽能系統有關的各廠商共同出資組成「太陽能系統振興協會」。
- 1980年後，該計畫重點轉到太陽能工業製程用熱的應用以及長時間熱儲存的研究，其他項目為太陽熱能發電廠的建立及低成本太陽電池研製。
- 1980年10月，通產省工商部訂定「促進普及太陽能系統融資制度」以低利貸款，補助及稅率優惠等方式推廣太陽能應用。
- 1994年「新日光計畫」使用4.27億日圓於太陽能冷凍系統研究。
- 1994年實施獎助辦法，每戶3瓩的「與市電併聯型太陽電池發電系統」，政府補助50 %。
- 1995年訂定「綠色政府行動計畫」要求新設建築物要有效地利用太陽能。



# 日本太陽電池發展時程



# 國外技術發展指標比較

## 日本對太陽電池技術發展之規劃

- 2005年單晶矽太陽電池電池效率為16~18%，多晶矽14~16%  
模組使用年限為20年
- 2010年希望效率提升至20%，晶片厚度減至 $50\mu\text{m}$ ，使成本降至目前的一半，而模組使用年限要超過30年，到2030年效率預期提升至30%。



# 美國

- 自1978年起，聯邦政府開始全力推動太陽能的利用，聯邦政府建築及學校醫院裝設之太陽能系統者補助50 %之費用。
- 1980年財政部訂定能源設備減稅辦法，凡家庭購置太陽能系統者，其購置、裝設等費用之40%可減免所得稅本辦法至1985年到期。
- 1986年商用系統之減稅額降15 %，1987至1991年為12 %，1992年之後為10 %。除聯邦政府外，各州亦有其單獨的減稅辦法，而各州之單獨減稅可和聯邦政府減稅辦法同時使用。
- 自1992年開始購置太陽能系統者，其費用之10 %可減免所得稅。
- 自1992年開始亦補助太陽能發電業者，每度電1.5美分。



# 德國

- 由聯邦經濟部負責的一個4年1億馬克計畫，補助商業化再生能源系統的使用，特別著重於太陽能集熱器、熱泵、小水力及大型風力機(450瓩至2千瓩)等設備。另有1.1億馬克用於非商業化項目研究。
- 另連續10年提供1億馬克支持「太陽能熱力2,000」計畫，目標為小型系統安裝集熱面積10,000平方公尺，提供熱水成本為0.2~0.3馬克/瓩小時。對裝置20平方公尺以下之太陽能系統，每平方公尺補助250馬克，20平方公尺以上之系統，每平方公尺補助125馬克，單一家庭熱水器最高補助額1,500馬克。





# 目前技術發展趨勢

## (一)入射光的有效利用

改善抗反射層特性增加光吸收效率、或改善表面結構化製程增加光吸收效率等。

## (二)載子收集效率之改善

BSF (back surface field) 結構、淺接合製程 (shallow junction)

## (三)載子再結合損失之減小

表面保護 (surface passivation) 製程、體保護 (bulk passivation) 製程之改善。



# 目前技術發展趨勢

太陽光電模板技術目前主要發展趨勢為：

- (一)屋頂型、帷幕牆遮陽棚...等建築整合型太陽電池模板  
( building integrated photovoltaic, BIPV )
- (二)連續式封裝及自動化焊接技術導入
- (三)薄型太陽電池模板封裝



# 目前技術發展趨勢

- 由於太陽電池p-型矽晶片，製程上一般都使用矽晶片表面蝕刻、p/n界面擴散、表面抗反射層鍍膜（anti-reflection coating）、網印製作金屬電極等製程
- 國外積極開發不同之方法以提升效率，其中以selective emitter、HIT、LBSF（local back surface field）、Back Contact等結構引人注目。
- 國外已朝大型化太陽光電模板（超過200W）及大尺寸晶片（已達6吋矽晶）發展，藉以降低生產成本。以德國與日本發展最為迅速。
- 國內封裝材料如低鐵質玻璃、EVA、Tedlar由於使用量少，國內生產不具經濟生產規模，需仰賴進口。
- 太陽光電系統方面，國外均有大型（ $>1\text{MWp}$ ）太陽光電系統設計，並可由 $1.5\text{kWp}$ 至 $300\text{kWp}$ 之系統單元組成大型系統。而國內目前太陽光電系統最大裝置容量為 $50\text{kWp}$ ，在小型系統具有設計能力，須要提昇大系統與BIPV之設置技術能力



# 新結構太陽電池的發展

- (一)HIT (heterojunction with intrinsic thinlayer) 結構，其為層積單結晶與非晶矽薄膜太陽電池結構之新型太陽電池，目前已有日本三洋電機開始此種太陽電池之量產。
- (二)Laser-grooved buried contact結構，其使用雷射在晶片正面做出溝槽，並在其中電鍍金屬 (Ni, Cu等) 以減小電極所造成的遮蔽效果，並同時減小串聯及接觸電阻，其根據溝槽位於正面或背面，又可分為：SSBC (single-sided buried contact)、DSBC (double-sided buried contact)、IBBC (interdigitated back-side buried contact) Solar Cell 等，其效率可達 19.2%。



# 新結構太陽電池的發展

- (三)PERL ( passivated emitter and rear locally diffused ) 結構，為澳洲新南威爾斯大學 ( UNSW ) 所提出來之新結構，其效率可達24.7%。
- (四)OECO結構 ( obliquely evaporated contact ) 為德國ISFH研究所 ( Institute for Solarenergie Forschung Hameln/Emmerthal ) 所開發之結構，其效率在4吋晶片可達20%。



# 台灣太陽光電產業發展願景與目標

1. 願景：創造具國際競爭優勢產業

2. 目標：

台灣太陽光電產值規模：2006年212億元；2010年約1,500億元；2015年約4,000億元，佔全球比例2006年2%；2010年6%；2015年7%。

台灣太陽光電系統累積設置量：2010年31 MWp；2015年320 MWp。

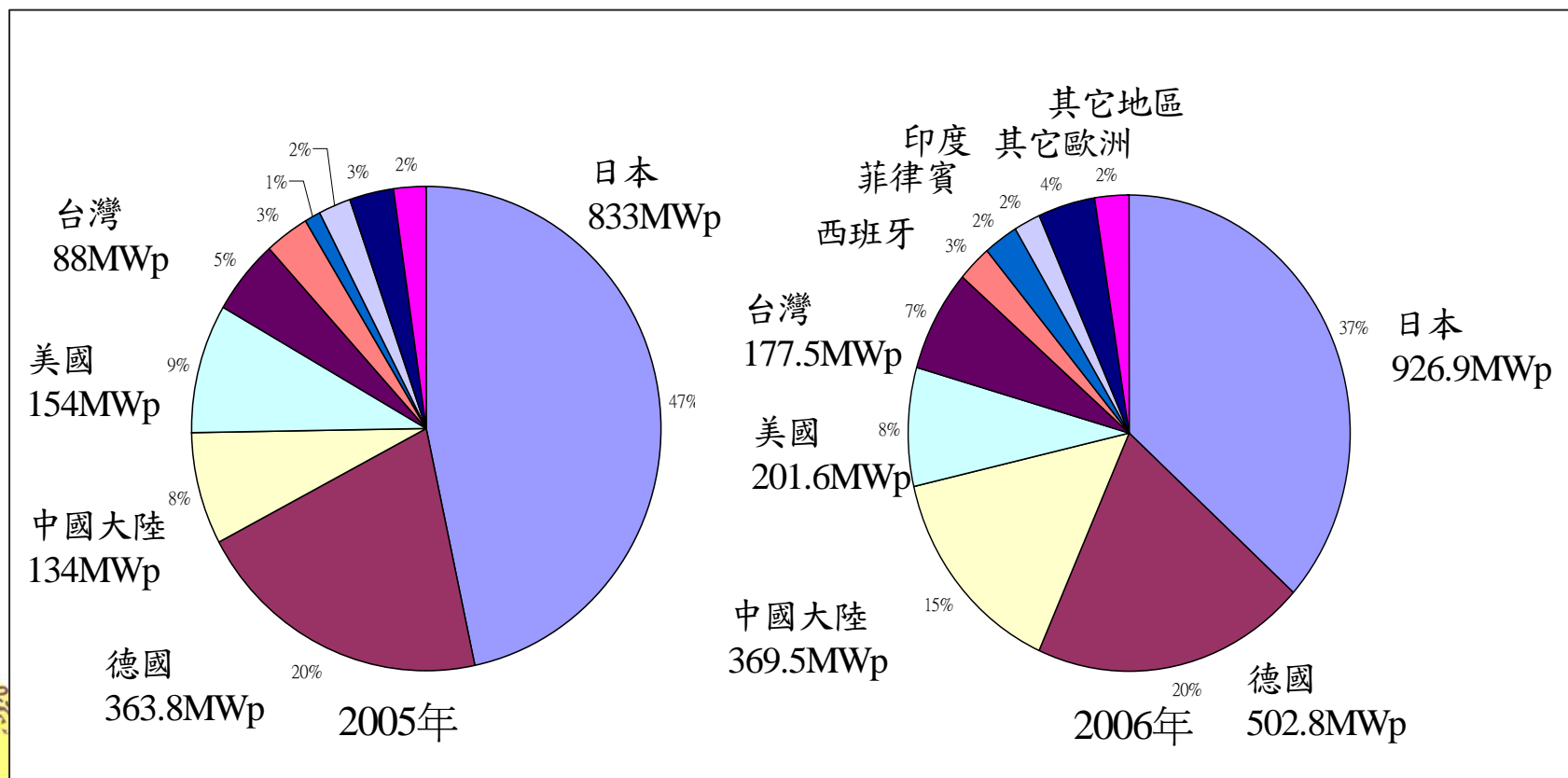
產業細目	2004	2005	2006	2010(f)	2015(f)
太陽電池用矽材料 (Ingot/Wafer)	2.0	6.4	46.0	310	771
太陽電池 (Solar Cell)	26.0	55.0	148.0	1,000	2,488
太陽光電模組 (PV Module)	1.1	4.4	12.0	182	453
太陽光電應用產品 (PV Product)	4.0	4.4	4.8	7	11
太陽光電系統設置 (PV System)	0.5	1.0	1.2	25	307
太陽光電產業總產值	33.5	70.0	212.0	1,524	4,031

備註：2010年依據現有各家廠商產能規劃所作推估，在產業政策支持下廠商擴廠計畫充份執行，預期達成之產值規模。



# 台灣太陽電池產業

- 台灣太陽電池產量2006年為177.5 MWp，全球第五大生產地區。
- 2007年台灣產量持續增加至300 MWp，可望成為全球第四大
- 光電模組2006年生產廠商約398家。台灣有5家，產量約9 MWp
- 2007年台灣增加至15家，產能成長至108 MWp。



# 開發高效率與低成本矽晶太陽電池

工研院開發電漿鈍化技術，已驗證可提高太陽電池轉換效率達 1~2.5%，相當於成本降低 ≈ 7~17%，未來繼續提昇其轉換效率至市售等級，且可大幅降低廢片率，提高良率與產量，已與廠商洽談技術移轉事宜。

技術項目	國內		國際	
	實驗室階段	量產階段	實驗室階段	量產階段
單晶矽 太陽電池效率	<b>20.51%</b>  7.14cm <sup>2</sup> FZ矽晶片 (工研院)	<b>16~17%</b>  125mm×125mm or 156mm×156mm	<b>24.7%</b>  4cm <sup>2</sup> FZ矽晶片(UNSW) <b>23.7%</b>  23.7cm <sup>2</sup> FZ矽晶片(UNSW)	<b>16~22%</b>  100mm×100mm 三洋HIT <b>19.8%</b> (已驗證>22%) CZ  125mm×125mm SunPower <b>20.3%</b> (已驗證 <b>21.8%</b> )FZ
多晶矽 太陽電池效率	<b>19.1%</b>  7.14cm <sup>2</sup> 多晶矽 (工研院)	<b>14~16%</b>  125mm×125mm or 156mm×156mm	<b>20.3%</b>  1.002cm <sup>2</sup> 多晶矽 (FhG-ISE)	<b>17~18.5%</b>  156mm×156mm Kyocera <b>17.7%</b> (已驗證 <b>18.5%</b> )

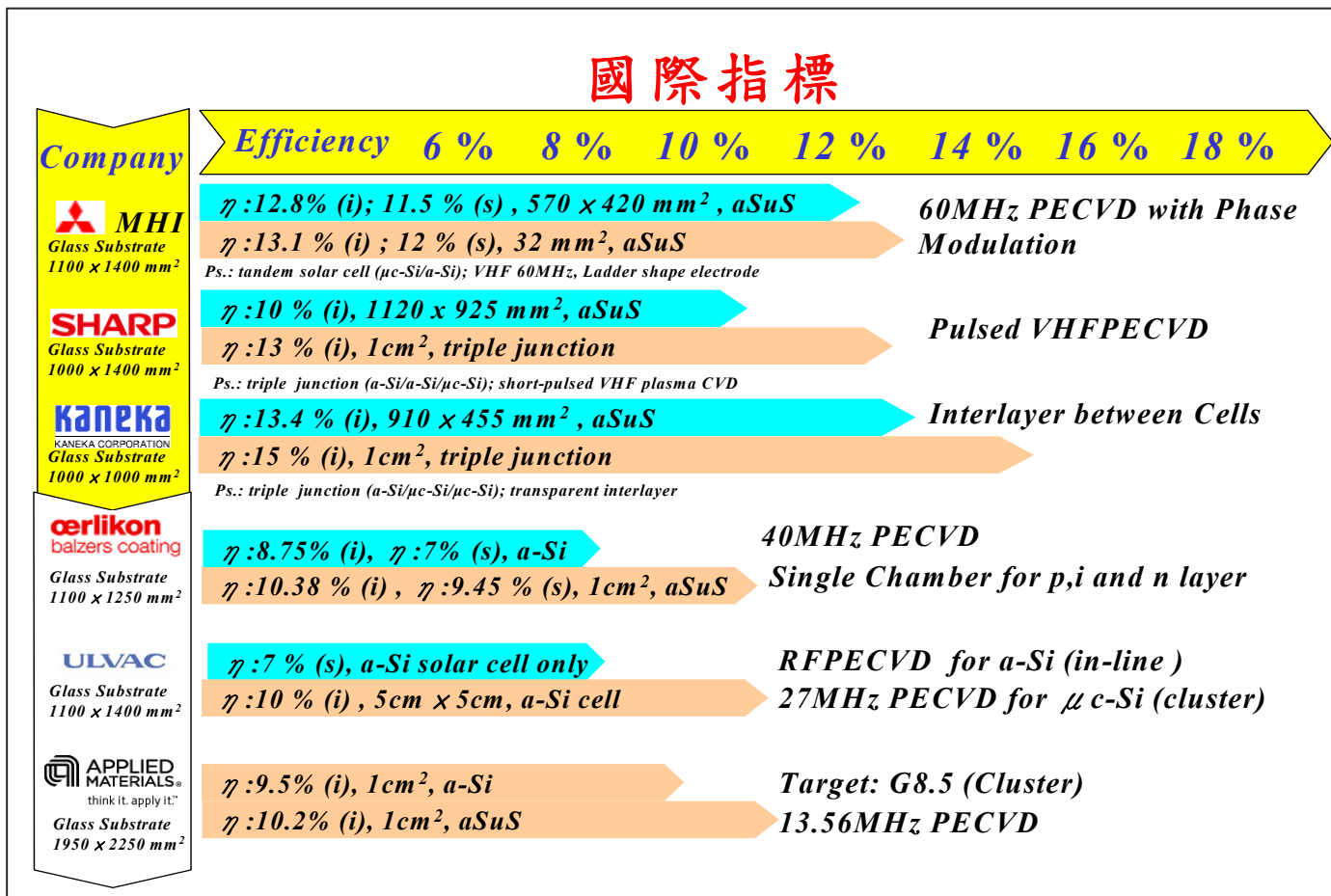
資料來源：工研院太陽光電科技中心整理 (2007/06)





# 開發次世代矽薄膜太陽電池

1. 工研院2006年已建置完成玻璃面積 $15\text{cm} \times 15\text{cm}$ 的試量產實驗線，為台灣第一條自製實驗線。
2. 矽薄膜太陽電池2007年a-Si電池效率已達8.48%，並有五家國內業者加入先期參與共同開發。



# 開發太陽光電生產設備

1. 太陽光電生產設備國產自製能力，2007年達35%。
2. 已輔導5家業者完成設備開發：長晶爐、晶片檢測分級設備、酸鹼蝕刻槽與模組生產設備，如串焊機、疊壓機等。並輔導4家業者投入切方機、線切割機、PECVD、網印機、紅外線高溫爐等設備開發。
3. 投入新型太陽電池製程整線生產設備開發。



資料來源：工研院太陽光電科技中心 整理(2007/06)

# 目前國內廠商分工情形

類·別↵	廠·商↵
上游/單晶矽晶棒↵	中美矽晶↵
上游/矽晶片↵	綠能↵
中上游/太陽電池↵	茂迪、光華、益通、旺能↵
中下游/太陽光電模組↵	興達科技、日光能、永炬、中國電器、台灣一川...等15家↵
中下游/電力調節器↵	系統電子、台達電、飛瑞...↵
下游/公園燈、號誌燈、太陽光電系統 (系統安裝)↵	日光能、中國電器、正懋、東城、茂迪、永炬、中興電工、 冠宇宙、太陽動力、碩升、劍揚等↵



# 目前國內廠商分工情形

廠商	開始投產時間	2004 年產能	產品特色
中美矽晶	2000 年	80 噸	單晶矽晶錠，產品外銷日本 Sanyo、Sharp
茂迪	2000 年 11 月	50 千瓩	多晶矽太陽電池，產品 9 成以上外銷歐美，系統設置
益通光電	2003 年	8 千瓩	多晶矽太陽電池
光華開發科技	1988 年	3 千瓩	非晶矽太陽電池與模組，系統設置
永炬光電	2001 年	<1 千瓩	太陽電池模組封裝、建材一體型模板、系統設置
正懋光電	2001 年	<1 千瓩	太陽電池模組封裝、系統設置
中國電器	2002 年	<1 千瓩	太陽電池模組封裝、系統設置



# 國內技術發展瓶頸

1. 我國自1999年~2007年投入太陽光電技術研發與應用推廣約7億元，順應全球趨勢已帶動產業投資200億元以上，但內需市場規模仍小。
2. 矽晶太陽光電領域，近二年來雖受制原料取得，但產業仍投資熱絡，產值規模不斷擴大。
  - ⊕ 提高上游矽原料與生產設備自主性。
  - ⊕ 矽晶電池Turnkey技術門檻低，需協助提升太陽電池及模組技術層次。
  - ⊕ 模組產品及系統設置品質得持續提升，獲國際驗證以拓展國際市場。
3. 我國薄膜太陽光電剛起步，但製程技術與生產設備均仰賴歐、美、日，薄膜模組檢測與系統技術尚待建立。



# 國內外太陽光電SWOT分析

## 優勢 (Strength)

### 矽晶片

1. 國內半導體製造管理經驗豐富，容易轉入太陽電池用矽晶片生產，具降低成本能力。

### 太陽電池

1. 國內半導體產業人才有雄厚基礎，發展結晶矽太陽電池進入障礙低。

### 產業

1. 國內廠商應變彈性大，籌資與擴充產能快速，可爭取太陽電池與晶片市場成長之先機。

## 弱勢 (Weakness)

### 太陽電池

1. 國內太陽電池之光電轉換效率與國際大廠仍有差距，須持續投入研發作業人才培訓。

### 太陽電池模板、太陽光電系統

1. 國內太陽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。
2. 國內太陽電池模板用封裝材料(EVA Tedlar)均自國外進口，成本高。
3. 再生能源法無通過，無購電措施，國內太陽光電系統市場規模小。

### 產業

1. 國內過去投入太陽光電技術研究不多缺乏國際技術市場經驗與資訊。
2. 國內產業初步成型，廠商數目與規模不大，產值仍小。
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為強勁對手，國內廠商僅部份整合。



# 國內外太陽光電SWOT分析

## 機會 (Opportunity)

### 產業

1. 全球太陽光電產業市場高度成長
2. 建築結合的應用可大幅擴增市場需求
3. 環保意識與石油高漲，再生能源受到重視
4. 京都議定書2005年2月16日實施，加速新能源的開發。

## 威脅 (Threat)

### 矽晶片

1. 上游材料缺貨，矽原料掌握在歐、美、日少數廠商供應。

### 太陽電池

1. 太陽電池主要生產設備(高溫爐管、PECVD)仰賴歐、美、日廠商提供。

### 產業

1. 太陽光電發電成本下降壓力大，與其他再生能源的威脅(風力)。
2. 中國大陸通過再生能源法，以內需市場誘因對當地產業提供競爭優勢。



# 國內未來太陽光電發展時程

太陽光電技術項目	短程	中程	遠程
	2005~2010	2020	2030
矽基薄膜太陽電池製程技術	超高效率薄膜電池	新型多接面太陽電池	
化合物薄模型太陽電池技術	超高效率薄膜電池	新型多接面太陽電池	
有機/無機複合太陽電池	有機混成太陽電池	大面積製程開發	
	高效率大面積可撓式有機/無機複合太陽電池(area:100x100cm <sup>2</sup> )		
III-V族太陽電池開發及應用	4-接面太陽電池	多接面太陽電池	
染料敏化太陽電池技術	高效率低成本彩色太陽電池	高效率低成本連續式Roll-to-roll製程技術	
模組性能檢測驗證平臺	壽命與可靠程度提升至30年；模組成本降至U\$1.1/W		模組成本降至U\$0.5/W
BIPV技術/系統實證研究	建立本土化模擬分析資料庫及軟體，建立連結界面設計技術		建立BIPV維護準則 建立BIPV自動化設計與施工技術
	建立大型系統規劃、設計能力		建立大型系統維護準則 建立大型系統可靠度分析模式





# 台灣太陽光電產業之未來發展方向

## ■ 我國太陽光電相關發展條例之增修

- 各國乃有增加傳統能源稅收，以補助再生能源推廣的各種措施，另外尚有稅收優惠、政府補助、低息貸款和信貸擔保、建立風險投資基金、加速折舊等措施。
- 政府之補貼宜採設備補助、稅賦抵減或朝向提升國內太陽光電自製之方向，以避免政府的補貼造成補貼國外廠商。

## ■ 推動國內利基型太陽光電之關鍵技術及自製能力

太陽光電種類多，在發展上宜選擇本土市場較具規模、具關鍵組件自製能力、上下游生產鏈較完整的立基項目推動並推動太陽光電技術產業化。

## ■ 建立國家級大型太陽光電研發中心之可行性

應整合政策制定人才及技術專家，組成共同執行計畫團隊，一同完成國家級大型研發計畫。有系統做短、中、長程的實際規劃。

## ■ 爭取海外優秀科技人才及擴展國際市場

面對能源價格高漲、CO<sub>2</sub>減量的不確定未來，實有必要以較積極的手段，以產學研合作方式培育未來太陽光電科技所需人才。

