



# 高效率矽異質接面太陽電池的發展

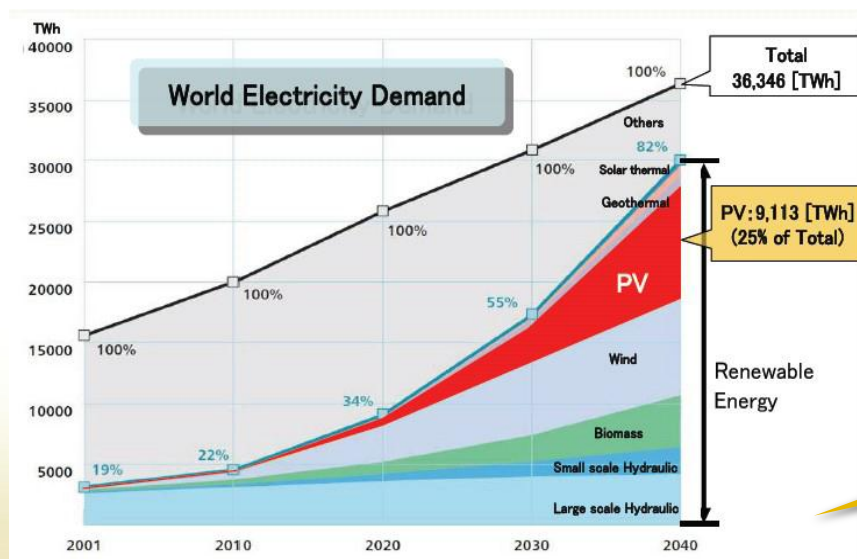


# 背景

## ➤ 太陽能再生能源包含：

1. 太陽熱能
2. 太陽電能

- 太陽熱能是直接以集熱板收集太陽光的輻射熱，將水加熱，是一種熱能與化學能之轉換型式。
- 太陽能發電是藉由一稱之為光伏電池(Photovoltaic，簡稱PV)，將太陽能轉換為電能，是一種光能與電能之轉換型式。

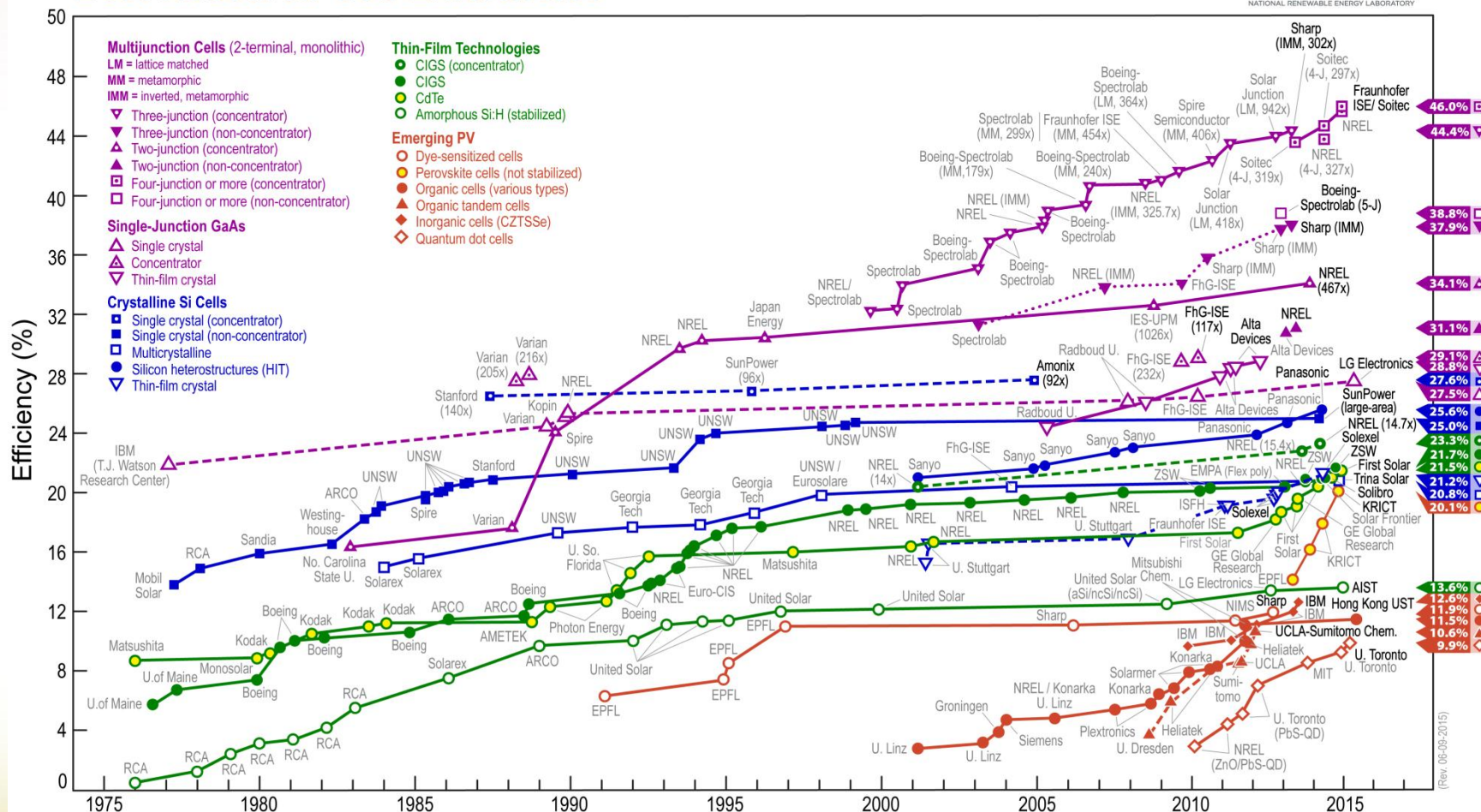


全球對各種再生能源的電力需求預估。再生能源的使用將有快速的成長，其中太陽能發電的成長更加明顯。

全球對各種再生能源的電力需求預估圖

# 太陽電池效率之演進

## Best Research-Cell Efficiencies



資料來源：NREL網站

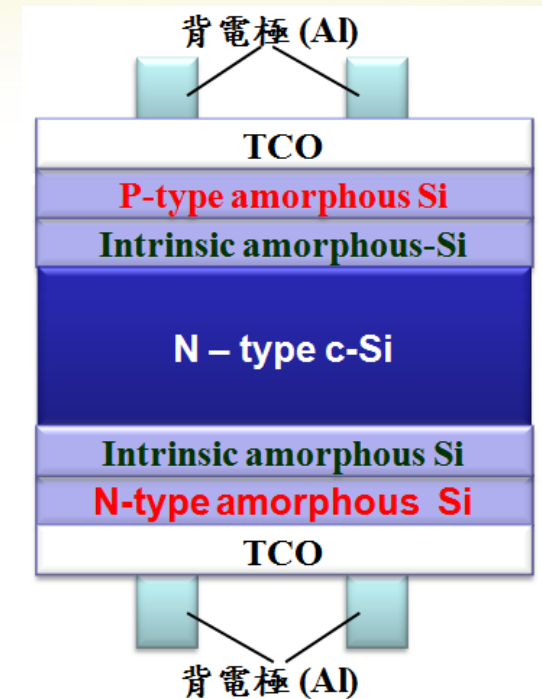


# 矽基異質接面太陽能電池基本結構

## ◆ 矽基異質接面太陽能電池

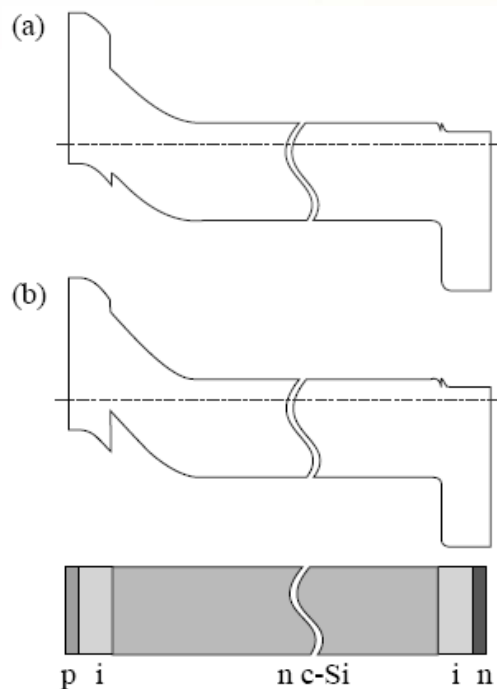
矽基異質接面(Heterojunction with Intrinsic Thin layer, 簡稱HIT)太陽電池基本結構圖，HIT太陽電池之結構就是在利用N型矽基板之兩面加一層本質型氫化非晶矽薄膜，以及P型氫化非晶矽與N型氫化非晶矽薄膜，屬一種單晶矽基板與非晶矽薄膜製成的混合型太陽電池。

在面積 $100\text{cm}^2$ 之晶片上使用該結構後，改善了PN接面，使其轉換效率達23%、 $V_{OC}$ 為725mV、 $I_{SC}$ 為 $39.09\text{mA}/\text{cm}^2$ 及填充因子F.F為0.791，且所有製程皆可在 $200^\circ\text{C}$ 以下實現。



HIT太陽電池基本結構圖

# HIT太陽電池特性(1/2)

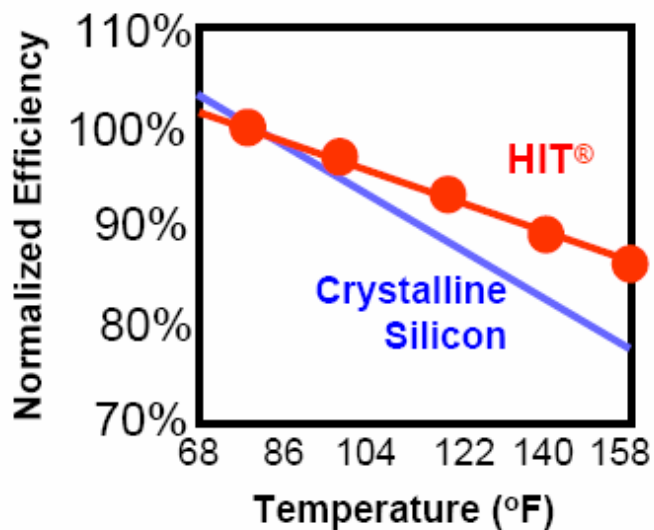


- HIT太陽電池的能帶示意圖如左圖所示，由於單晶矽材料與大能隙非晶矽薄膜間不同能隙的異質接合，開路電壓可以被提升。
- 此外，填補非晶矽與單晶矽接面處發生之缺陷減少會造成自由載子損耗的介面能位密度(Interface State Density)，也進一步提高了開路電壓。

傳統太陽電池與HIT太陽電池比較圖

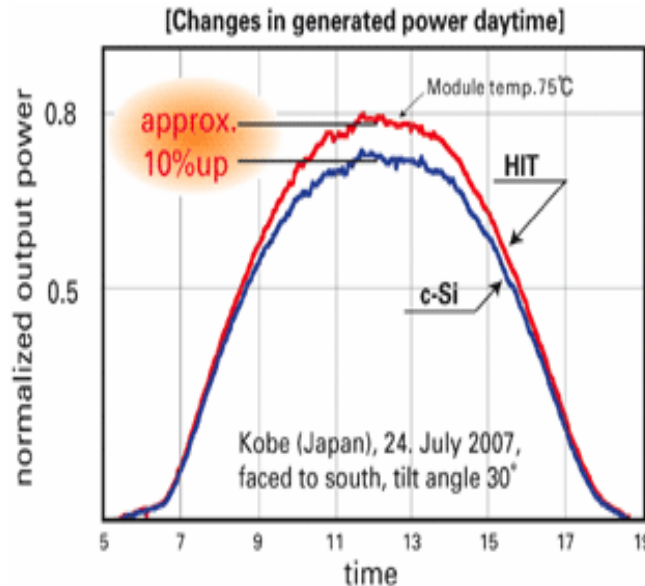
# HIT太陽電池特性(2/2)

➤ 大的能矽對溫度的靈敏度較小，當模組在較高溫下，HIT太陽電池效率比起傳統矽晶電池的損耗較小，如左圖所示，其中HIT太陽電池之溫度係數為 $-0.25\%/^{\circ}\text{C}$ ，而傳統太陽電池之溫度係數為 $-0.45\%/^{\circ}\text{C}$



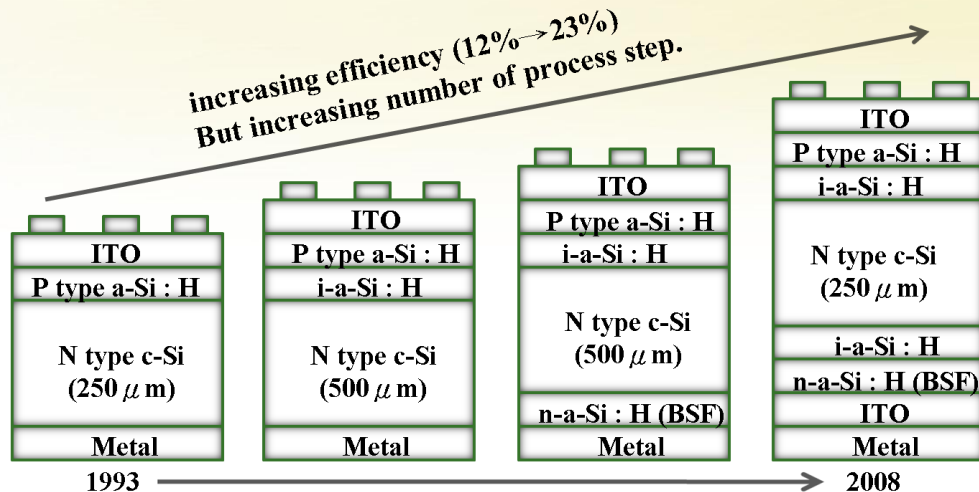
HIT太陽電池與傳統矽晶太陽電池之效率對溫度之關係

因此，HIT太陽電池可以提升輸出電流與電壓，其輸出功率也明顯優於傳統矽晶電池。



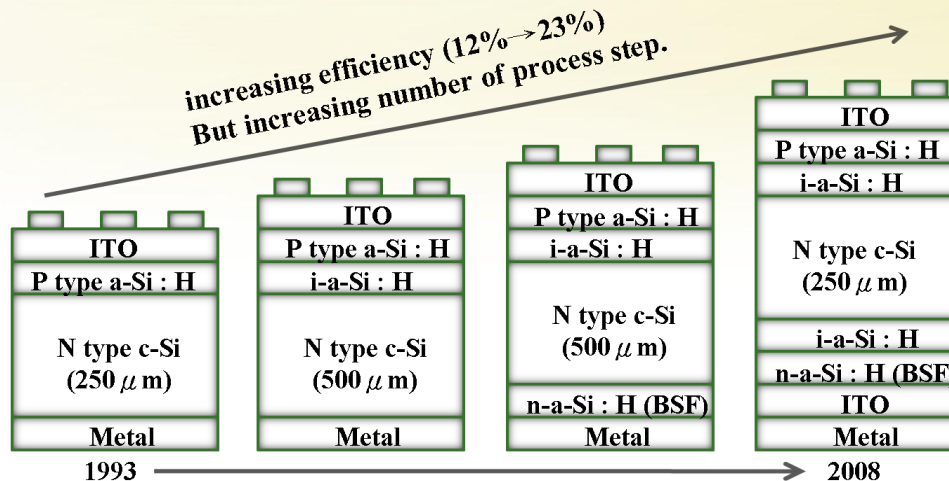
傳統太陽電池與HIT太陽電池輸出功率與日照時間比較圖

# 元件結構演變(1/2)



1. 異質接面pn結構：僅用n型矽晶片鍍上p型非晶矽薄膜以形成pn接面，以ITO當做輔助電極，再加上電極便告完成，無本質非晶矽薄膜層結構，因此結構中非晶矽薄膜與單晶矽接面的缺陷過多，導致元件效率不佳，效率僅有12.3%、開路電壓為0.57V。
2. 本質非晶矽i層之導入：採用一層薄i層置於單晶矽與非晶矽層間，利用本質非晶矽薄膜對矽晶表面進行鈍化作用，減少表面載子複合機率與介面處的缺陷，並大幅增加了內建電場，此階段元件效率改善至14.8%、開路電壓提升至0.605V，但該階段元件尚無晶片表面粗糙結構化。

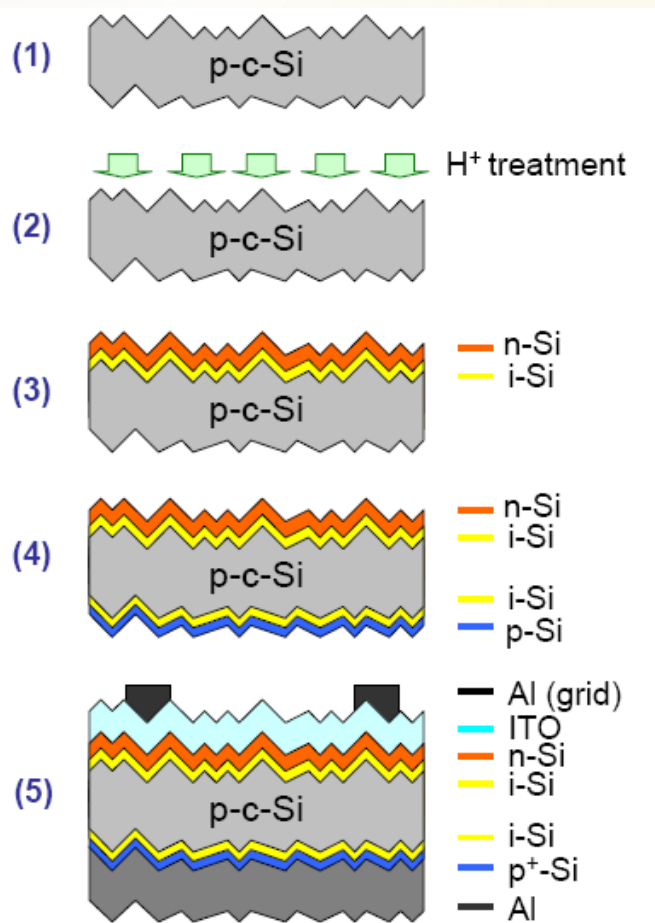
# 元件結構演變(2/2)



3. 雙面非晶矽本質層之導入：除了正面薄i層的引入外，更在元件背面鍍上一層 $n^+$ 層當作背向表面場(Back Surface Filed, BSF)，目的是為了利用能障的落差來減少背面電子電洞之復合，並且晶片的表面有經過濕蝕刻形成表面粗糙的光捕捉結構，如此可將效率提昇至18.1%、開路電壓提升至0.614V。
4. 背面透明導電層之導入：除了正面有i層，背面的BSF與矽晶片間也有i層當緩衝，並且在背面也鍍上一層ITO當作鹼金屬擴散阻障層，主要亦是為了提升異質介面的品質，至今以此結構做出之HIT太陽電池可達效率23%、開路電壓為0.729V。



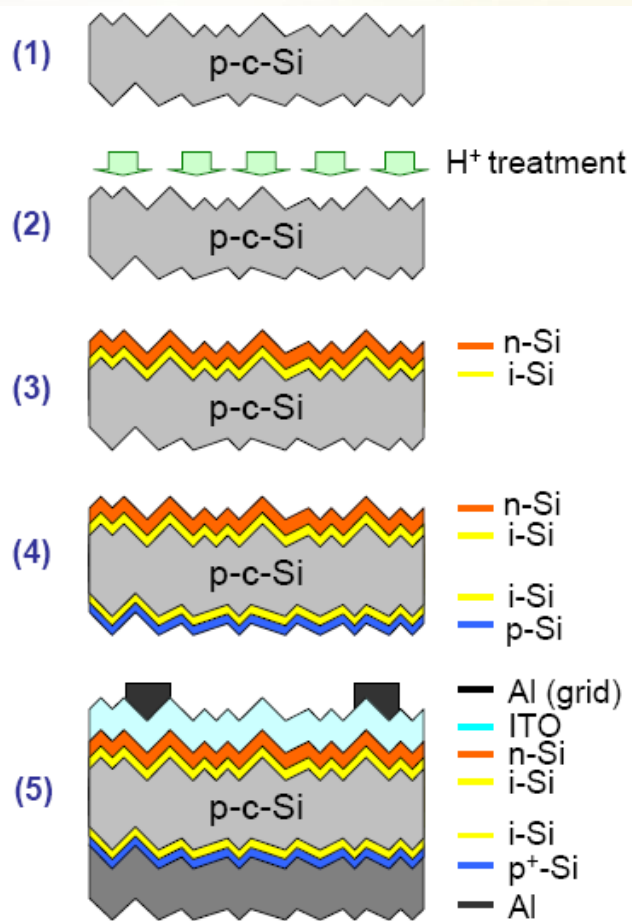
# HIT太陽電池製程



具有本質薄膜之異質接面(非晶矽/單晶矽)太陽電池製程流程圖

1. 用去2%的氫氟酸配合離子水把晶圓表面的雜質污染物去除，並藉由KOH在矽表面以化學侵蝕液所形成(111)面微小四面體金字塔所構成的組織構造來增加光子進入元件的數目；
2. 使用增強式化學氣相沈積（PECVD）系統依序沉積本質非晶矽i層薄膜約5-10nm、P型非晶矽薄膜約100nm；
3. 使用增強式化學氣相沈積（PECVD）系統依序沉積本質非晶矽i層薄膜約5-10nm、N型非晶矽薄膜約100nm；
4. 以及在兩面蒸鍍或濺鍍約100nm銦錫氧化物(ITO)透明導電膜作為受光面的抗反射層及電流的收集層；
5. 蒸鍍製作鋁上下電極；以及
6. 電性量測：量測電池之開路電壓，短路電流，填充因子與轉換效率等電池特性參數。

# HIT太陽電池製程優點(1/2)



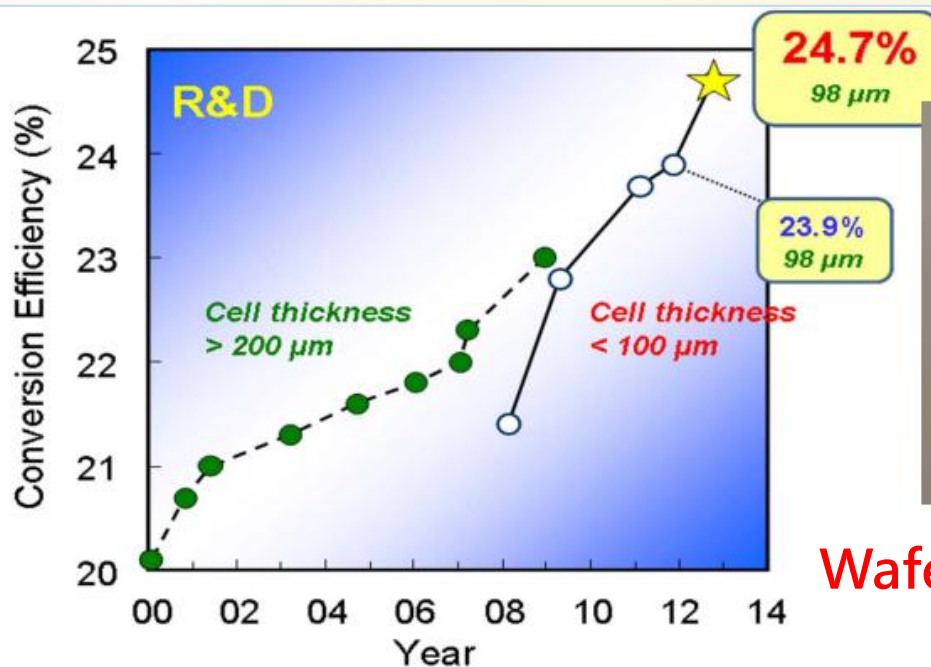
具有本質薄膜之異質接面(非晶矽/單晶矽)太陽電池結構圖

➤相較於傳統矽晶太陽電池，HIT太陽電池在製程上具有以下優點：

全程低溫製程(<200°C)：不需高溫的電極燒結過程，僅使用化學氣相沈積在低溫下解離SiH<sub>4</sub>完成異質非晶矽薄膜，此外，SiH<sub>4</sub>所產生之H鍵結，在低溫製程可維持良好的表面鈍化效果。此外，低溫製程之低碳排放量，達到節省成本與環保相輔相成效果；

減少薄晶片製作之破片率：由於矽晶片占矽基太陽電池成本超過60%，矽晶片的薄化是一個趨勢，傳統高溫製程聚積的熱應力亦使薄晶片破裂。而低溫製作的HIT結構電恰可以解決這一個問題，製作於可撓曲薄晶片上，確實減少晶片使用量。

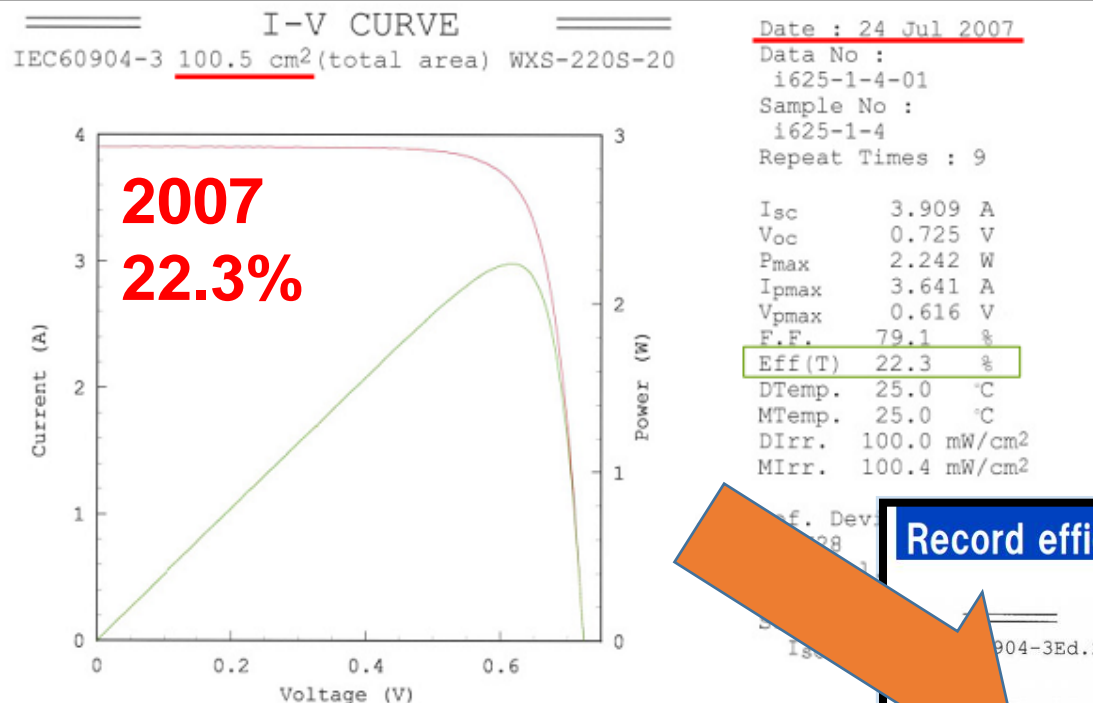
# 三洋發展效率22.8到24.7%歷程



Wafer厚度：>200 μm → 98 μm ! !

|      | Voc<br>(V) | Jsc<br>(mA/cm <sup>2</sup> ) | F.F.<br>(%) | Eff.<br>(%) |
|------|------------|------------------------------|-------------|-------------|
| 2013 | 0.750      | 39.5                         | 83.2        | 24.7        |
| 2011 | 0.745      | 39.4                         | 80.9        | 23.7        |
| 2009 | 0.743      | 38.8                         | 79.1        | 22.8        |

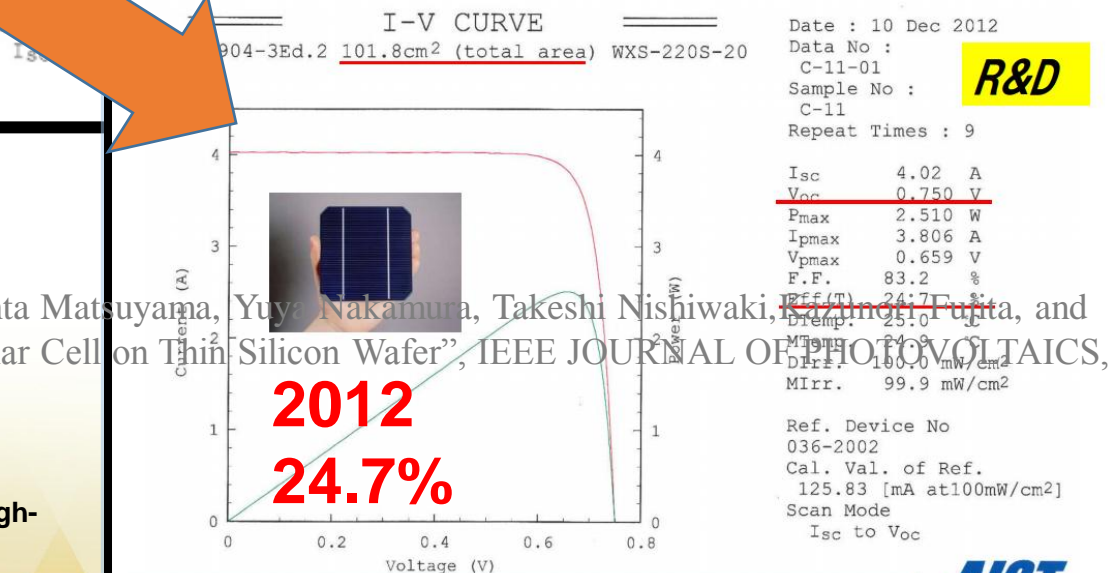
# 三洋發展效率22.8到24.7%歷程



**2007-->2012:**  
**22.3%-->24.7% !!**

## Record efficiency of a HIT solar cell (R&D)

21



Mikio Taguchi, Ayumu Yano, Satoshi Tohoda, Kenta Matsuyama, Yuya Nakamura, Takeshi Nishiwaki, Kazumasa Ueta, and Eiji Maruyama "24.7% Record Efficiency HIT Solar Cell on Thin Silicon Wafer", IEEE JOURNAL OF PHOTOVOLTAICS, VOL. 4, NO. 1, JANUARY 2014

資料來源： Recent Technological Progress of High-efficiency HIT Solar Cells, Sanyo Electric. Co., Ltd.

New world's record for practical size c-Si solar cells





**Thank you!**