

出國報告（出國類別：其他）

## 參加第 25 屆國際太陽光電科學與工程 會議出國報告

服務機關：核能研究所

姓名職稱：馬志傑 副研究員  
龍宜島 副研究員

派赴國家：韓國

出國期間：104 年 11 月 14 日~104 年 11 月 21 日

報告日期：104 年 12 月 14 日



## 摘要

核研所核儀組龍宜島副研究員及馬志傑副研究員參加第 25 屆國際太陽光電科學與工程會議 (25<sup>th</sup> International Photovoltaic Science and Engineering Conference, PVSEC-25)及全球光電會議(Global Photovoltaic Conference 2015, GPVC2015)(以下簡稱 PVSEC-25)，於 2015 年 11 月 15~20 日在韓國釜山 BEXCO 會展中心(圖 1)合併舉行。主要目的是提供一個具嚴謹的審查機制、組織結構性良好的國際論壇，以刺激太陽光發電業的進步。本次會議約有 850 位來自世界各國太陽能業界及學術單位的人士參加，共有 679 篇論文發表：大會(Plenary)演講 11 篇、邀請(Invited)演講 51 篇、口頭報告(Oral)178 篇、海報(Poster)439 篇。本次會議議題涵蓋太陽光發電整體及相關範圍，從材料到系統、從技術性到非技術領域，且含市場的發展和政策性議題；與會者分享太陽光發電新技術的發展、交流創新理念、促進友誼，並體驗太陽光發電的新趨勢。會議報告最突出的是 III-V 族在矽晶磊晶生長技術、做 5 接面太陽電池的嘗試和 CPV 模組技術。當然，Fraunhofer 的矽太陽能電池中心對潛在誘發衰減做的肇因分析，也令人側目。

隨著產業規模擴大及技術的成長，太陽能發電成本大幅降低，在不久的將來，大型太陽能發電系統與石化燃料發電系統成本是可以競爭的，電網平價是可以預期的。根據 EnergyTrend 估算 2015 年全球太陽能裝機量高達 52GW，而國際能源署預估 PV 年安裝量到 2022 年會高於 80 GW，全球 PV 累積安裝量至 2050 年將達 4.7 TW。太陽能發電積極的開發，需要搭配高準確度的太陽能預測技術，以提升其應用。105 年我們將在高雄路竹示範場建置一套天空成像儀，結合環境氣象資料，來驗證太陽能預測精準度。希望能培養台灣南部研究新血，充實發展團隊能量，並凝聚國內研究能量，開發本土化太陽能預測技術。

# 目 次

頁碼

一、目的.....	1
二、過程.....	2
三、心得.....	3
四、建議事項.....	14
五、附圖.....	16

# 附 圖 目 錄

圖 1、PVSEC-25 會場(韓國釜山 BEXCO 會展中心).....	16
圖 2、龍員與 Dr. Yamaguchi 合影.....	16
圖 3、PVSEC-25 註冊報到.....	17
圖 4、PVSEC-25 會議現場.....	17
圖 5、海報張貼與解說(2015 年 11 月 19 日).....	18
圖 6、PVSEC-25 論文分布.....	18
圖 7、PV 地域需求及安裝占比(2001-2020E).....	19
圖 8、IEA 預估全球累積安裝太陽能至 2050 年將達 4.7 TW.....	19
圖 9、模組價格 vs. 累積模組出貨量.....	20
圖 10、不同日照量下 LCOE 預測.....	20
圖 11、降低 LCOE 的主要途徑.....	21
圖 12、PV 模組劣化及故障.....	21
圖 13.1、結晶矽(Crystalline Silicon, c-Si)太陽電池及材料技術發展(1).....	22
圖 13.2、結晶矽(Crystalline Silicon, c-Si)太陽電池及材料技術發展(2).....	22
圖 14、薄膜矽晶(SiF) 太陽電池及材料技術發展.....	23
圖 15.1、II-VI 族硫系化合物(CIS)太陽電池及材料技術發展(1).....	23
圖 15.2、II-VI 族硫系化合物(CIS)太陽電池及材料技術發展(2).....	24
圖 16、有機染料敏化(OSC)太陽電池及材料技術發展.....	24
圖 17、鈣鈦礦(PRV)太陽電池及材料技術發展.....	25

圖 18、新概念(New Concepts, Novel Materials and Devices, NMD)技術發展 .....	25
圖 19、III-V 族聚光型及太空用(GAS)技術發展 .....	26
圖 20、太陽能元件材料及系統(MSI)技術發展 .....	26
圖 21、可靠度及標準化(RES)技術發展 .....	27
圖 22、III-V 族太陽電池主要的損失、原因及改進技術 .....	27
圖 23、超高效率多接面太陽電池過去現在及未來的議題 .....	28
圖 24、未來 CPV 與矽晶在太陽電池及模組之成本與效率比較 .....	28

# 一、目的

不論是已開發或開發中的國家，穩定的電力供應是維持生產力的必要條件。尤其是近年來為了提倡環保及減緩全球暖化，太陽能的應用相對提高。由於太陽能發電成本下降迅速，國內設置踴躍，政府於 2015 年 8 月將 2030 年太陽能發電設置容量目標由 6.2GW 上調至 8.7GW，屆時將有大量太陽能發電併入供電系統，但因太陽能的不穩定性，恐影響供電品質，為配合能源調度，太陽能預測技術就顯得格外重要了。

能源國家型科技計畫太陽光電技術發展與應用之太陽能預測技術開發可分為短、中、長期預測，利用資料探勘、影像處理、衛星資料擷取、數值氣象預報、及 3D 模擬等技術，配合太陽能發電歷史資料及環境資料系統收集之天候氣象資料，分析環境條件與地理位置等要素，比對驗證太陽能預測的準確度，以精準的太陽能預測，協助電力調度及規劃，發揮整體效益。

本次參加 PVSEC-25 會議，以海報方式展示本所在太陽能預測方面的技術。會議中重逢國際知名人士，也是太陽電池研究的泰斗 Dr. Masafumi Yamaguchi 及 Dr. Kenji Araki。龍員於 10 年前造訪日本時，曾參觀他們位於豐田工業大學(Toyota Technological Institute)的實驗室及日本大同鋼鐵(Daido Steel)的聚光型太陽能發電系統場址。Dr. Yamaguchi 是執教於豐田工業大學的耆老，在半導體材料、光電器件、太陽能電池、及光電器件物理等具有數十年之研究和教學經驗。本次大會除了邀請做大會演講外，另有 3 個口頭報告，6 篇海報。在談到太陽能預測技術，Dr. Yamaguchi 及 Dr. Araki 都一致認為其是非常重要的研究課題。圖 2 為龍員與 Dr. Yamaguchi 合影。

本所海報展示的題目是：預測雲對高聚光太陽能發電系統的影響(Prediction of Cloud Impact on HCPV System)，也就是在研究雲層對水平全天空日射量(GHI)的影響。本研究利用美國洋基(Yankee)公司製造的天空成像儀(TSI-880)，即時精準地捕捉雲的影像，利用正規化固定閾值法辨識薄雲、厚雲及晴空。再配合其它儀器(如雲高計、風速計)測得之雲高、風速、風向，由 3D Studio Max 的電腦來模擬。最後，根據雲、太陽、高聚光型太陽光發電系統的位

置，來計算遮陰比率，預測短期太陽能發電量。

## 二、過程

本次公差為期 8 天，自 2015 年 11 月 14 日至 11 月 21 日，詳細行程如下：

表 1 出國行程表

日期	行程
11 月 14 日	由桃園機場出發，抵達韓國釜山市
11 月 15 日	註冊報到(圖 3)、參加 Tutorial 會議
11 月 16~18 日	參加 PVSEC-25 會議(圖 4)
11 月 19 日	參加 PVSEC-25 會議、至會場張貼海報及解說(圖 5)
11 月 20 日	參加 PVSEC-25 會議及閉幕式
11 月 21 日	由韓國釜山市出發，返抵桃園機場

### 三、心得

PVSEC 會議在韓國舉行(含)本次是第三次，上兩次 PVSEC-12 和 PVSEC-19 分別是在 2001 年、2009 年都在濟州島舉行。本次會議原規劃訂在濟州島舉行，但在今年 6 月初，南韓有一名感染中東呼吸道症候群(MERS)的患者，出現疑似症狀時，還帶著家人到濟州島做 4 天 3 夜的旅行，讓「MERS 清淨地帶」的濟州島進入緊急狀態，這可能是本次會議在釜山舉行的原因。本次會議約有 850 位人士參加，來自 20 個國家，共有 679 篇論文(含海報)發表，涵蓋 10 個不同的主題領域，分成 56 個場次。由於地利的關係，以地主國韓國發表最多占 62%；其次是日本占 17%，我國居第 3 占 4%(大陸也是 4%)。除本所外，我國其他論文來自學界(台灣大學、交通大學、中央大學、成功大學、彰化師範大學、長庚大學等)、業界(茂迪、友達光電、優力國際安全認證(Underwriters Lab, UL)、新日光能源、昱晶能源、昇陽光電、光焱科技、有成精密等)及財團法人(工業技術研究院)。由論文發表數可知，國內在太陽能方面的研究，在亞洲仍居前茅。

PV 依製程及結構可區分為晶矽材料、矽晶片、太陽電池、模組與系統等五類，會議論文的分布(圖 6)以太陽電池及材料居多，占比由高排至低，分別為：II-VI 族硫系化合物(CIS)137 篇約占 20%、有機染料敏化(OSC)119 篇約占 18%、矽晶片(CSi)太陽電池及材料 102 篇約占 15%、新概念(New Concepts, Novel Materials and Devices, NMD)77 篇約占 11%、鈣鈦礦(PRV)70 篇約占 10%、薄膜矽晶(SiF)60 篇約占 9%、太陽能元件模組及系統(MSI)60 篇約占 9%(本研究歸於此類)、III-V 族聚光型及太空用(GAS)26 篇約占 4%、可靠度及標準化(RES)23 篇約占 3%、太陽能市場及政策(PMP)5 篇約占 1%。研究發表最多的是 II-VI 族硫系化合物太陽電池及材料，其次是有機染料敏化太陽電池及材料；III-V 族聚光型及太空用太陽電池及材料，是除了可靠度及標準化、太陽能市場及政策外發表最少的，約占 4%而已。

以下報告依序為全球太陽能動態(含 2014 年全球 PV 安裝量)、太陽電池及模組效率、模組及系統價格、均化發電成本(Levelized Cost of Electricity, LCOE)、PV 模組劣化及故障、各太陽電池及材料最新技術的發展、耆老的經驗傳承、太陽能產業的未來，及 2050 年太陽能

全球安裝量預測等九項。

### (一) 全球太陽能動態

太陽能發電系統的使用對抑制二氧化碳的排放，及減緩全球暖化有莫大助益。以德國為例：2014 年太陽能發電為 34.9 TWh，減少二氧化碳排放量約為 25 百萬噸。2000 年太陽能發電系統的典型表現比(Typical Performance Ratio)為 70%，2014 年上升到 80~90%；矽晶太陽能電池材料使用也由 10 年前的 16 g/Wp 降到 6 g/Wp。PV 能源回收期(Energy Pay-back Time)因安裝地點的全年日照量不同，南歐約為 1.5 年(聚光型少於 1 年)，北歐約為 2.5 年。

2014 年太陽光電產業，結晶矽太陽能電池(Crystalline Silicon, c-Si)仍為主流產品，占 90%，薄膜占 10%。2014 年 c-Si 全球累積安裝量約為 178 GW，至 2015 年約為 233 GW。PV 安裝量的複合成長率(CAGR)由 2000 年至 2014 年為 44%。2014 年歐洲 PV 累積安裝量由 2013 年 58%全球占比降至 48%；而台灣/大陸由 2013 年全球占比 13%升至 17%。2014 年德國 PV 安裝量由 2013 年的 3.3 GW 降至 1.9 GW，2014 年累積安裝量 38 GW，全球占比 21%。2014 年德國 31%的電力來自再生能源，PV 產生的電力占全部的 7%。GTM 在其 2015 Global PV Demand Outlook 之 Exploring Risk in Downstream Solar Markets 報告指出，2015 年全球 PV 安裝量約為 55 GW，比 2014 年成長 33%，而大陸 2015 年 PV 安裝量達 14 GW。2015 年歐洲仍然持續下滑，PV 安裝量將為全球的 21%，但 2016 年將開始成長，至 2020 年 PV 安裝量將為 42 GW，占全球的 31% (圖 7)。IEA 預估全球累積安裝太陽能至 2050 年將達 4.7 TW(圖 8)，容後稟述。

### (二) 太陽能電池及模組效率

實驗室單晶矽太陽能電池效率最高來到 25.6%、多晶矽為 20.8%、薄膜 CdTe 為 21%、CIGS 為 20.5%。實驗室單晶矽太陽能電池模組效率來到 23%。過去十年，商用模組平均效率由 12%，上升到 16%。薄膜 CdTe 模組平均效率由 9%，上升到 13%。聚光型多接面太陽能電池實驗室效率最高來到 46%、模組效率來到 38.9%。

### (三) 模組及系統價格

在模組方面，2014 年台灣與大陸的產量全球的 69%，歐洲占 6%，日本、美國、加拿大各占 4%。價格與累積的出貨量有關，由經驗曲線，也就是學習曲線(Learning Curve)得

知，在過去 34 年模組的價格下降 20%。而系統價格以德國為例，1990 年 10 to 100 kWp PV 屋頂型約為歐元 14,000 €/kWp，到 2014 年底降到 1,300 €/kWp，24 年內降了 90%，等於年複合價格下降率為 9%。由大會資料顯示，參考圖 9：模組價格 vs. 累積模組出貨量。由 1976 年模組出貨量 0.8 MWp 時，價格為 \$100/Wp，跌到出貨量 100 GWp 時，價格 \$0.8/Wp；預測到 2020 年出貨量達 609 GW(E) 時，模組價格為 \$0.4/W。

#### (四) 均化發電成本(LCOE)

圖 10 不同日照量下 LCOE 預測，顯示 2014 年系統價格約為 1300 USD/kWp，2015 年為 1216 USD/kWp，在不同日照量下 2015 年 LCOE 約在 0.049~0.097 USD/kWh 之間。到 2025 年假設系統價格為 812 USD/kWp，LCOE 在不同日照量下約在 0.033~0.065 USD/kWh 之間。計算 LCOE 的條件是以系統可用時間為 25 年來考量，至於其他金融條件為借貸 80%、年利率 5%、還款期 20 年、通膨 2%。而降低 LCOE 的主要途徑(圖 11)為增加模組輸出功率及發電量(可降低 LCOE 20%)，降低模組、周邊設備(BOS)成本等分別可降低 LCOE 7%、6%。

#### (五) PV 模組劣化及故障

根據大會報告資料，降低太陽能系統成本關鍵因素之一，是增加可靠度及 PV 使用壽命。太陽電池組件在惡劣的環境下，經壓力、溫度和濕度的變化，甚至受沙塵、油汙的影響，需承受 25 年以上的時間。因此，對模組各使用期愈瞭解愈能防範其劣化，進而採取一切可能的預防措施，而製造業提前了解產品的缺陷，持續的改進，才能確保產品的耐用性。根據 IEA 資料模組失效可分為嬰兒故障期(Infant-failure)、中年故障期(Midlife-failure)及磨損故障期(Wear-out-failure)，說明如下：

1. 嬰兒故障期：這種故障發生在 PV 模組的工作壽命剛開始時。P 型太陽電池幾乎都會遇到光衰減(Light Induced Degradation, LID)，因硼-氧對(Boron-oxygen Pair)產生的缺陷與少數載子再結合，造成光衰(單晶比多晶嚴重，但 N 型則無此問題)，功率會損失 0.5~5%。嬰兒故障期問題如：接觸故障、串接斷路、玻璃破碎、框架鬆散、接線盒故障等。
2. 中年故障期：故障發生在使用 10~15 年後。因太陽能模組與地面長期的高電壓作用，形成高強度負電壓，會發生潛在誘發衰減(Potential Induced Degradation, PID)，使得玻

璃、封裝材料之間存在漏電流，於是大量電荷聚集在電池表面，鈍化了電池，降低模組輸出。熱斑(Hot spot)是部分太陽能模組的表面被陰影遮擋，不論是被陰影、鳥糞或樹葉長時間遮擋，或者是在製造或實驗過程中，產生隱裂、碎片、焊接不良等，被遮擋的地方不能發電，而且還產生很大的電阻，造成熱消耗，可能會燒壞模組。中年故障期問題尚有：旁通二極體(Bypass Diode)故障、電池內部焊接破損，玻璃劣化，EVA變色，板層與導電覆蓋層分離(Delamination)，電池破損，熱、紫外線及潮濕造成的蝸牛痕跡(Snail Track)。

3. 磨損故障期：問題如電池及內部焊接腐蝕、模組腐蝕等。

## (六) 最新技術的發展

### 1. 結晶矽(Crystalline Silicon, c-Si)太陽電池及材料(圖 13)

- (1) 韓國漢華 Q Cells 量產線多晶矽太陽電池超過 3.5 GW。在其 Q.ANTUM Cell 報導中指出，實驗室太陽電池效率來到 20.7%。2015 年單一太陽電池模組輸出為 280 W，2019 年將達 320 W。
- (2) Fraunhofer ISE 在今年 9 月 15 日發布其隧道氧化物鈍化觸點(Tunnel Oxide Passivated Contact, TOPCon)的太陽電池 Fill Factor 為 83.2%，Voc 718 mV，效率 25.1%，創下雙面接觸矽太陽電池新的世界紀錄。
- (3) 鈣鈦礦及矽晶太陽電池都在做堆疊式結構。
- (4) 韓國現代重工在其 C-Si-I-02 報告中指出，其 n-type back junction PERT 結晶矽太陽電池利用 Ni/Ag 接點、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 背面鈍化和網印 Al BSF 技術應用於 156 nm 的 n 型直拉單晶矽晶圓上，其結果為開路電壓(Voc) 671 mV，效率為 21.2%。
- (5) 對不同的透明導電膜(Transparent Conductive Oxide, TCO)和以 Si 為基礎的本質和摻雜層，金屬技術(metal technologies)讓異質結(Heterojunction)太陽電池減少了寄生損耗。松下公司(Panasonic)展示具有良好的熱穩定性、效率為 25.6%的 N 型單晶矽(c-Si)異質結背接觸(HBC)太陽電池。鐘化公司(Kaneka)也展示了效率為 25.1%的 Cu 金屬化異質結晶體 Si 太陽電池。
- (6) 韓國樂喜金星(LG)電子發布了 300 W 大功率的 N 型太陽電池模組，而 320W 高功率模

組也在市場上推出。

(7) 有關矽錠生長技術，氧氣濃度和牽引速度在 n 型錠少數載子壽限中，扮演了關鍵因素。

## 2. 薄膜矽晶(SiF)太陽電池及材料(圖 14)

(1) 日本國立研究開發法人產業技術總合研究所(AIST)研發的  $\mu\text{c-Si:H}$  堆疊式矽薄膜太陽電池初期效率達到 11.8 %，而三界面非晶矽/微晶矽/微晶矽得到新的紀錄為 13.6%。

(2) 荷蘭代爾夫特理工大學(TU Delft)對於 a-Si 組成的串聯結構：H/微晶 Si 太陽電池，使用調變的表面紋理得到初始效率 14.8%。

(3) 台灣南開科技大學在微晶矽電池插入 N-a-Si 緩衝層，由於降低了 n 區收集載體的障壁，可提高電流密度。

(4) 韓國電子通訊研究院(Electronics and Telecommunications Research Institute, ETRI)在建築整合太陽能(Building Integrated Photovoltaic, BIPV)應用，a-Si:H 和 a-SiGe:H 製造方面，完成效率超過 7%，平均透射率 30%的透明太陽電池。在 a-Si:H 透明太陽電池的製造，超薄透明電極已被用來展現各種顏色。

(5) 韓國國立忠州大學(Chungju National University)在非晶矽氧(Amorphous Silicon Oxide, a-SiO<sub>x</sub>: H)太陽電池，用 100nm 的吸收層，得到初始效率 8.4%。

## 3. II-VI 族硫系化合物(CIS)太陽電池及材料(圖 15)

(1) 在第 8 場大會演講(Plenary 8)上，日本 Solar Frontier 公司 Dr. Katsumi Kushiya 指出，2015 年在日本宮城縣(Miyagi)已完成其第四座年產量達 150 MW 的薄膜太陽電池工廠。Solar Frontier 是日本昭和殼牌石油(Showa Shell Sekiyu K.K.)100%擁有的子公司，是全球規模最大、轉換效率最高且商業化量產能力最強的 CIGS 廠商，在日本宮崎縣已擁有 3 座工廠，年產能合計 960 MW。2013 年 12 月宣布斥資 130 億日圓於日本宮城縣設立第 4 座工廠，年產能 150 MW，如今已完工，此新工廠目標是降低生產成本、以及生產轉換效率最少為 18%的太陽電池，完工後總年產能提升至 1,110MW，亦完成面積為 1228 平方公分、輸出 170 Wp、效率 13.8%的模組。

(2) 韓國光伏設備生產商 Wonik IPS 公司展示了最高效率 16%、平均效率 14.3%、90x160 平方公分大小的 CIGSSe 薄膜模組，近期模組效率目標為 18%。

- (3) 銀合金(AgCu)(InGA)Se<sub>2</sub> 吸收層顯現出均勻性和薄膜的粘附性的改善。
- (4) CZTS 帶隙可經由控制 Ge 的摻入，得到最高效率為 10.03%，與 0.54V 的開路電壓。
- (5) 將 Ge (30 nm)加在 Cu<sub>2</sub>ZnSnSe<sub>4</sub> 上，可改善開路電壓，得到效率超過 10%。
- (6) 鈉(F)摻入共蒸發的 Cu<sub>2</sub>ZnSnSe<sub>4</sub>，證明對平面和大晶粒生長是有效的，太陽電池效率可達 11%。
- (7) 無 Cd 的 CIGS 型太陽電池效率高於 18%的建議主要是利用 CIGS 層和 ZnSnO 緩衝層的特性。
- (8) 純硫化銅銻鎵碲太陽電池已有 15.5%的效率。
- (9) 利用拉曼、原子力顯微鏡和 PL 測繪技術，完成分析硫化鎘在吸收層上的隔離，同時進行了 CIGS 和 CZTS 比較性研究。

#### 4. 有機染料敏化(OSC)太陽電池及材料(圖 16)

- (1) 在第 4 場大會演講(Plenary 4)上，大陸科學院院士李永舫教授指出，藉由研發新的材料，如：聚電解質和 n 或 p 摻雜的溶膠-凝膠金屬氧化物，可得到效率 12 %、壽命 10 年之高分子有機太陽電池(Polymer Solar Cell)，全印刷(All-printed)OPV 模組效率為 ~8%。
- (2) 韓國 Dongjin Semichem 公司開發了半透明的染料敏化太陽電池(Dye Sensitized Solar Cell, DSSC)模組，並將 DSSC 實際運用在建築 BIPV 上。

#### 5. 鈣鈦礦(PRV)太陽電池及材料(圖 17)

- (1) 韓國蔚山科學技術研究院(UNIST)Dr. Seok 在第 1 場大會演講(Plenary 1)上，介紹了鈣鈦礦型太陽電池研究的歷史和形成均勻鈣鈦礦薄膜的關鍵技術。最初開發非溶劑液滴程序，再形成碘化鉛 6-DMSO 中間相(Phase)來改進過程，才獲得大晶粒的形成。
- (2) 日本九州工業大學研究基於無鉛的錫基鈣鈦礦(Pb-free Sn Based Perovskite)和控制帶隙的鉛/錫基鈣鈦礦太陽電池，提高了效率和穩定性。
- (3) 日本兵庫縣立大學(Hyogo University)發展新的無機空穴輸送材料如：硫氰酸亞銅和一氧化鎳，共同使用晶矽多堆疊太陽電池和鈣鈦礦太陽電池的製程。
- (4) 韓國首爾的梨花女子大學(Ewha Womans University)及新加坡的南洋理工大學

(Nanyang Technological University)都在研究鈣鈦礦太陽電池的深度運行機制。

#### 6. 新概念(New concepts, Novel materials and devices, NMD) (圖 18)

根據大會資料，入選新概念的幾乎清一色是韓國的設計及研究，整理如下：

- (1) 韓國國立全北大學(Chonbuk National University, CNU)大學將均勻的薄膜鈦酸鋇( $\text{BaTiO}_3$ )奈米顆粒成功地應用在有效的鈣鈦礦太陽電池的製造上。
- (2) 韓國首爾的梨花女子大學使用表面週期性奈米錐陣列，在高效率的矽太陽電池應用上，增強了光的補捉(light trapping)。
- (3) 韓國科學技術院(Korea Advanced Institute of Science and Technology, KAIST)在高效能太陽能轉換應用上，成功地應用金屬輔助化學蝕刻技術在 GaP 奈米錐的製作上。
- (4) 韓國首爾國立大學(Seoul National University, SNU)在膠體硫化鉛量子點太陽電池的研究上，採用有機電子閉鎖層(Blocking Layer)得到~4.8%的功率轉換效率(Power Conversion Efficiency, PCE)。
- (5) 韓國科學技術院(KIST)應用量子點作為光轉換材料，來完成從量子點到 GaAs 太陽電池的非輻射能量轉移率。
- (6) 韓國漢陽大學(Hanyang University, HYU)利用濺鍍與原子層沈積法(ALD) $\text{Al}_2\text{O}_3$  中間層，在平面混合(Planar Hybrid)正矽/PEDOT:PSS 太陽電池上，使功率轉換效率升高達 11.16%
- (7) 韓國大邱慶北科學技術院(Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology, DGIST)利用嵌入式金屬奈米粒子在 PEDOT:PSS 的混合正矽/PEDOT:PSS 平面異質結太陽電池，提高了光的吸收。

#### 7. III-V 族聚光型及太空用(GAS)太陽電池及材料(圖 19)

在此議題上有 3 個口頭報告、2 個海報展示和 2 個大會演講。演講的內容是有關生長磷化銦晶體層的太陽電池和 III-V 在矽晶上生長的太陽電池的新方法。重要內容整理如下：

- (1) 最突出的是 III-V 族在矽晶磊晶生長技術、做 5 接面太陽電池的嘗試和 CPV 模組技術。
- (2) 演講後的討論涵蓋了從商業化角度來看 CPV 技術的重要性，包括開發高性能聚光光學的成本問題，和開發高性能多接面太陽電池的可靠性測試標準。

- (3) III-V 和 CPV 系統技術和產品正面臨的任務是，即使環境狀況在比傳統 PV 更糟的情形下，如：CPV 系統使用較少的土地面積，在更高的溫度下能通過可靠性測試。因此，能源供應商要能提供適當的解決方案，才是有競爭力的。
- (4) 沒有例外地，在技術和經濟上 III-V 和 CPV 系統應該給客戶利益。在會議上，與會者和演講者之間建設性的互動，揭示了今後研究領域的潛在工作項目。

#### 8. 太陽能元件模組及系統(MSI) (圖 20)

- (1) 日本國立研究開發法人產業技術總合研究所指出，2016 年 4 月日本福島再生能源研究所(Fukushima Renewable Energy Institute, FREA)針對分散式能源(Distributed Energy Resources, DER)將推出世界上最大的設施，以進行測試和開發功率調節系統(PCS)。它包括四個試驗台：電網連接、安全、電磁相容及系統性能。
- (2) 在 IEC61724 標準下，及 FIT 政策、經濟等不同的情境下，泰國湄洲大學做了 350 kW 光伏發電系統的性能及能源產量監測的分析。
- (3) 韓國公州國立大學(Kongju National University)在 EnergyPlus 和 PVsyst 建築效能研究計畫下，完成光伏建築一體化系統(BIPV System)新的建模與模擬報告。
- (4) 澳大利亞新南威爾斯大學(University of New South Wales, UNSW)研發出有效的工具，以計算平板太陽光熱能(Plate Photovoltaic-thermal, PVT)模型的熱效率。

#### 9. PV 可靠度及標準化(RES) (圖 21)

- (1) Fraunhofer 的矽太陽能電池中心(Center für Silizium-Photovoltaik, CSP)對潛在誘發衰減(PID)做了全面性、極佳的介紹和肇因分析。
- (2) 美國優力國際安全認證(UL)台灣研發技術部王奕仁先生，介紹了光伏模組性能和材料退化的相關性研究報告，題目是：材料退化和光伏模組的性能、特性的實際測試及數學相關性分析。
- (3) 韓國嶺南大學發表了軟體模擬工具，做實驗室抽象語法樹(Abstract Syntax Tree, AST)數據和現場性能數據的定量連接。
- (4) 國際 KTL 公司在光伏環境健康與安全(Environmental Health and Safety, EH&S)風險評估的標準化方面有新的工作項目提議，題目是：對光伏模組的 EH&S 風險評估和溶

出(Leaching Test)測試的標準化研究。

(5) 韓國公州(Kongju)國立大學做了光伏模組和熱移除系統的報告，該系統透過空氣或液體來移除光伏模組的熱。

(6) 日本國立研究開發法人產業技術總合研究所(AIST)發表了，在不同的掃描速度和條件下，進行鈣鈦礦太陽電池磁滯 IV 曲線測量的研究。

## (七) 耆老的經驗傳承

Dr. Masafumi Yamaguchi 在 11 月 18 日大會上演講的報告”Present and Future of Super-high Efficiency III-V Multi-junction, Concentrator Solar Cells and Modules”指出，日本福島核災事件後，日本政府積極鼓勵發展太陽能 and 風力等再生能源。據了解災害前，日本政府原本規劃在 2030 年前，把核電占比由 30% 提高到 50%。福島事件後，日本已停止該規劃。Dr. Yamaguchi 認為開發高性能、低成本和高可靠性的太陽光電，特別是開發高性能的聚光型太陽能是非常重要的。根據實驗室電流轉換效率、輻射阻抗實際量度的現狀、及可靠性和成本，顯示各種類型的太陽電池的比較，單/多晶矽的效率分別在 25.6% 及 20.8%；而聚光型 III-V 族多界面太陽電池具有最高的效率，達 46%。未來應積極改進 III-V 族太陽電池主要的問題，如：(1)復合耗損(Recombination Loss)包含：半導體內部(Bulk)、表面(Surface)、介面(Interface)；(2)電壓耗損(Voltage Loss)；(3)填充因子耗損(Fill Factor Loss)；(4)光學耗損(Optical Loss)；(5)能量不足的光子耗損(Insufficient-energy photon loss)等。其各項問題原因及改進技術如圖 22。Dr. Yamaguchi 認為在超高效率多界面太陽電池過去、現在及未來將會遭遇的議題有：頂部電池材料(Top Cell Material)、第三個電池材料(The 3<sup>rd</sup> Cell Materials)、底層電池材料(Bottom Cell Materials)、基層(Substrate)、隧道界面(Tunnel Junction)、晶格匹配(Lattice Matching)、載子限制(Carrier Confinement)、光子限制(Photon Confinement)及其他，如圖 23 所示。總之，要提高  $J_{sc}$ 、 $V_{oc}$  和 FF 才可完成高效率太陽電池。在結晶的質量、太陽電池製程、前表面和後表面鈍化的改進、降低串聯電阻、增加分流電阻和光損耗等，對於高效率太陽電池的製作都是關鍵問題。至於未來 CPV 與矽晶在太陽電池及模組之成本與效率比較，如圖 24。CPV 模組、系統成本分別約在 USD 1.3/W、3.1/W 時，效率分別約在 30%、25%。未來將朝向模組、系統成本 USD 0.5/W、1.2/W，效率 40%、36% 方向努力。Dr. Yamaguchi 對於未來太陽電池的效率的

預測是，目前聚光型三接面、四接面太陽電池的轉換效率已來到 44.4%、44.7%，未來在新的 III-V/Si 和量子奈米結構、五接面太陽電池、CPV 太陽電池和模組量測技術標準的建立下，實現 CPV 超過 50% 高效率太陽電池是可預期的，讓 CPV 成為太陽能發電的翹楚是指日可待的。以上是由技術的論點綜觀本次 PVSEC-25 的成果。

## (八) 太陽能產業的未來

2010 年 9 月 16 日台積電初期斥資 79.2 億元，以銅銦鎵硒(CIGS)薄膜產品進軍太陽能產業，但五年後，連張忠謀都說要「賭了」的太陽能新事業，卻於 2015 年 8 月 25 日宣告退出太陽能事業。究其原因，台灣區電機電子工業同業公會理事長郭台強表示，誰也沒想到原油會跌破每桶 40 美元，擠壓到替代能源的成長空間，台積電放棄太陽能產業是「沒有辦法的事」。其實台積電的退出並不意外，因為原本德國最大太陽能電池製造商，就連金融海嘯期間仍然獲利良好的 Q-Cells 公司，於 2012 年 4 月申請破產保護，可見太陽能產業的慘烈。但儘管如此，2015 年 9 月 9 日，澳洲再生能源機構(Australian Renewable Energy Agency, ARENA)及澳洲清潔能源財務公司(Clean Energy Finance Corporation, CEFC)挾 USD 350 百萬，大規模投資太陽能發電，建置多達 10 個大型太陽能電廠，目的是降低太陽能電池的開發成本及激發更多的創新。太陽能產業起起伏伏、孰是孰非，只有歷史來鑑定了。

極端氣候的到來，威脅人類的生命與環境，造成生活的變遷，全世界各國為響應世界氣象組織代表在 2014 年 12 月 1~12 日秘魯首都利馬(Lima, Peru)召開的第二十次聯合國締約國氣候變遷大會(COP20)，積極降低溫室效應，加強了使用燃煤發電的約束，條文由 1997 年少於 40 條到 2014 年的 480 多條，代表未來汙染環境的能源將逐步減少，而綠色能源太陽能產業終會抬頭。如今 2015 年聯合國氣候峰會第 21 次締約方會議(COP21)及《京都議定書》第 11 次締約會議，在遭到恐怖襲擊、示威遊行和集會下，各國領袖齊聚巴黎，正視氣候變化的問題。維基百科指出 COP21 被視為「最後一個拯救地球的最佳機會」，同時也是最多國家領導人參與的一屆。隨著《京都議定書》將於 2020 年到期，與會國希望能通過具有法律效力的決議以取代《京都議定書》，讓地球暖化速度在 2100 年時全球氣溫不會上升超過 2°C。

事實上，全球太陽能產業目前仍在淒風苦雨中煎熬。受到美國頁岩油開採的影響，石油價格由 2014 年 6 月每桶 114 美元急速下降，到 2015 年 8 月紐約市場西德州中級(WTI)原油

價格盤中首度跌破每桶 40 美元，而 2015 年 12 月 11 日 WTI 原油的 2016 年 1 月期貨價格下跌 1.14 美元，收在每桶 35.62 美元，為 2009 年 2 月以來最低水準，對太陽能產業帶來相當大的衝擊。加上世界各能源大國，如德國，政策性地減少優惠和補助，讓太陽能產業不得不依照市場機制來運轉。隨著產業規模擴大及技術的成長，太陽能發電成本大幅降低。美國能源部 Sunshot 計畫預計系統價格，會由 1980 年的每瓦 23 美元，降至 2020 年每瓦 1 美元。太陽能模組價格下降速度也是極快，由 2009 年底，模組價格平均下降了約 80%，造成大型太陽能發電系統成本，從 2010 年到 2014 年減為一半。矽晶模組價格在德國也下降超過 70%，從 2010 年 3 月的€1.95/Wp 下降到 2015 年 10 月的€0.58/Wp。公用事業規模(Utility-scale)太陽能的安裝成本，已經下降到約\$0.09/kWh。在不久的將來，大型太陽能發電系統與石化燃料發電系統成本是可以競爭的，在世界一些地區達到電網平價(Grid Parity)是可以預期的。在未來新科技的領航下，不只是太陽能發電系統成本下降，其他如新的快速硬體架構、寬頻無線通信網路、優化功率輸出、雲端即時監控與預知維護的能力，都能提高整體系統性能。在降低製造成本的同時，維護成本也因故障率下降、問題快速排除而得以銳減。我國太陽能產業應利用此低油價利基，將國內技術精進，讓產品有所差異，提升其附加價值。政府也應積極鼓勵太陽能產業、落實獎勵投資政策，以免市場逐步萎縮。為了展現我國支持聯合國降低溫室效應及避免未來受油價巨幅波動的影響，發展太陽能技術是我們更應積極進行及努力的目標。

#### **(九) 2050 年太陽能全球安裝量預測**

大會引用 SEMI 太陽光電委員會及晶體矽光伏技術與製造組織(Crystalline Silicon Technology and Manufacturing, CTM Group)在 2015 年 7 月出刊之國際光伏技術地圖(International Technology Roadmap for Photovoltaic, ITRPV)2014 Results 資料顯示，根據國際能源署(International Energy Agency, IEA)預測，在未來三年 PV 年安裝量將不會超過 60 GW。到 2022 年會高於 80 GW，2030 年約為 220 GW。然後年安裝量會下降，2040 年為 150 GW，2050 年為 100 GW。IEA 預估全球 PV 累積安裝量至 2050 年將達 4.7 TW；其中世界其他地區成長至 1.6 GW，美國至 0.6 TW，大陸/印度/亞洲至 2.3 TW，歐洲/日本成長至 0.4 TW。

## 四、建議事項

「打斷手骨顛倒勇」可說是目前全球太陽能產業的寫照。為了挽救環境，拯救人類賴以為生的地球，太陽能產業終究是一項值得且必須投資的產業。再多的打擊，無形中只會堅定全球太陽能產業自力更生的信念；擁抱失敗換個思維，以技術的角度、成本的考量、經濟的眼光、民生的立場，來開發太陽能產業，才具宏觀的視野，才是全方位的投資。

參加 PVSEC-25 的建議如下：

### (一) 凝聚國內研究能量，持續開發本土化太陽能預測技術

以再生能源來取代化石或核能發電是世界趨勢，國際能源署(IEA)預估全球 PV 累積安裝量至 2050 年將達 4.7 TW。當太陽能發電市場愈大時，電網穩定性愈發重要。太陽能預測技術除了可提升效益、電能管理、市場交易外，亦可避免上述不穩定現象發生。世界主要先進國家為因應太陽能發電蓬勃發展，對於太陽能預測技術倍加重視。以美國為例，能源部(DOE)2013 年 2 月提供 National Center for Atmospheric Research 為期 3 年計畫共 400 多萬美元，開發 36 小時太陽能預測技術。目前國內鮮有單位從事太陽能預測技術，而國際上僅能提供粗略解析度的太陽能預測資料，無法滿足精確電力調度的需求。核研所在太陽能發電技術已有相當之成果，爾今開發太陽能預測技術，無論短、中、長期預測及應用，已有初步成果。配合已建置之 8 組戶外日照氣象監測站，可驗證太陽能預測的正確性。期盼國內研究機構能齊力合作，發展本土化太陽能預測技術。

### (二) 培養新血，充實本所發展團隊能量

太陽能預測技術涵蓋甚廣，需要具有資訊、電子、電機、光學、大氣物理、統計等方面知識的人才。目前核研所研究團隊為矩陣式小組，隨著時間巨輪的推移，資深人員的解甲，預見不久的將來，人才即會捉襟見肘。為鞏固研發能量、持續耕耘核研所太陽能產業發展技術，人才的培訓已是燃眉之需。為培養國際觀、創新力及跨越領域等關鍵能力，目前研究團隊除了定期與業界、學界討論，交換心得，未來尚會鼓勵有能力之新進同仁，積極加入團隊，期能在太陽能再次興起、大軍開拔之前厚植實力，以穩固新能源脈動。

### (三) 結合環境氣象資料，精進太陽能預測能力

目前核研所開發之太陽能預測技術，可分為長期(6~48 小時)、中期(30 分鐘至 6 小時)、短期(30 分鐘內)、及利用資料探勘技術來預測水平全天空日射量。長期預測技術是採取與國內學界合作，運用數值天氣預測模式，開發區域性之太陽能預測模式與分析技術。此外，開發程式讀取與轉換台灣地區上空 MTSAT 衛星長時間的可見光輻射資料，推估台灣地區中期地面全天空輻射量。短期預測利用天空成像儀的雲圖，以影像處理技術相關演算法之結構化影像填補法及固定閾值法等解析原始雲圖，比對不同時間雲團變化，推估水平全天空日射量。資料探勘技術則利用核研所於台灣各區域之戶外日照氣象監測站資料，建立太陽能資料庫，再利用羅吉斯迴歸，建置可達穩定發電標準之機率預測分類模型，來預測水平全天空日射量。

太陽能預測是否精準，攸關能源調度的前置時間及調度量。要驗證太陽能預測準確度，需要比對地面太陽能及環境資料。核研所在全國已建置 8 個戶外日照氣象監測站，其中以位於高雄市路竹區核研所綠能展示中心(即原路竹高聚光太陽能發電示範場)之環境資料收集設備最齊全，可蒐集水平全天空日射量、直射日照(DNI)、雨量、溫度、濕度、紫外線、風速、風向等資料。自 2009 年建置高聚光型太陽能發電示範場，收集之環境資料相當完整，適宜用來做太陽能預測準確度分析，並了解環境條件與地理位置對太陽能發電的影響。

核研所目前已在本所龍潭區完成一套天空成像儀建置，以開發短期太陽能預測技術。為利用完整的環境收集資料，比對驗證太陽能預測準確度，將於 2016 年在路竹區核研所綠能展示中心，再建置一套天空成像儀。因為該區地理位置特殊，位於海邊、面臨公路，附近又有火力發電廠，環境及氣象資料變化頗大，太陽能預測能力是一大考驗。未來，將持續發展太陽能預測技術，以建置太陽能發電預測、評估及分析平台(含天空成像儀、WRF 模式、太陽能發電與氣象資料庫、即時顯示系統等)為目標，並藉由技術移轉方式推廣成果，將研發創意落實於民生應用、造福產業、貢獻國家社稷。

## 五、附圖



圖 1、PVSEC-25 會場(韓國釜山 BEXCO 會展中心)

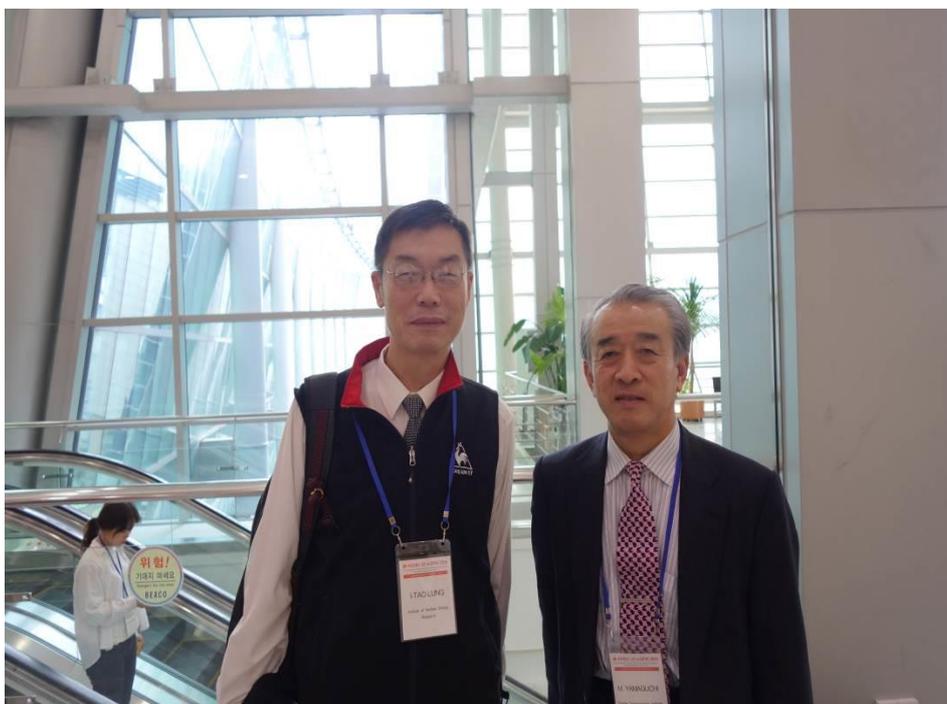


圖 2、龍員與 Dr. Yamaguchi 合影



圖 3、PVSEC-25 註冊報到



圖 4、PVSEC-25 會議現場

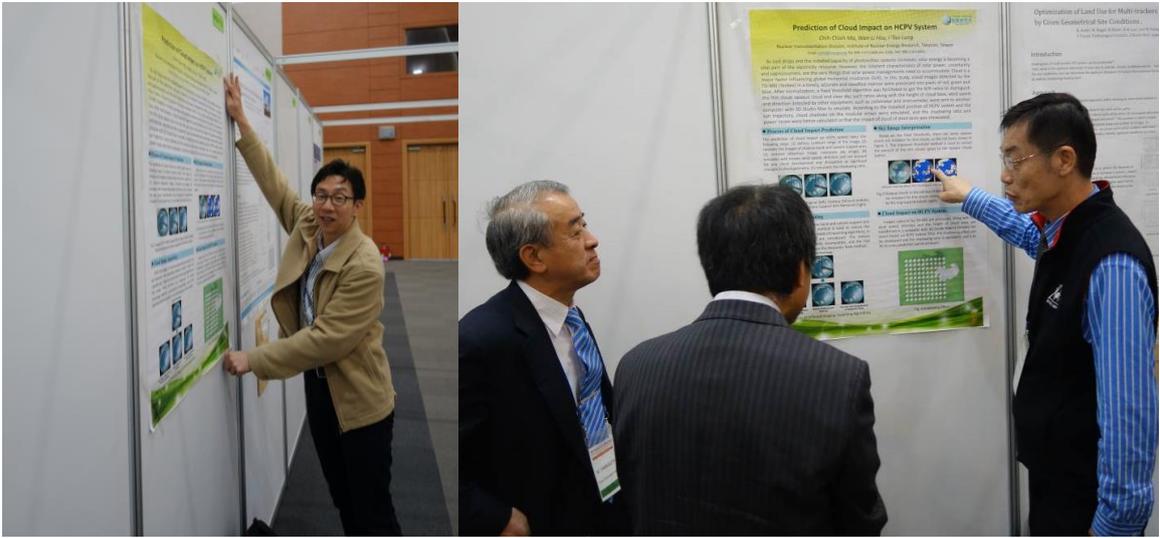


圖 5、海報張貼與解說(2015 年 11 月 19 日)

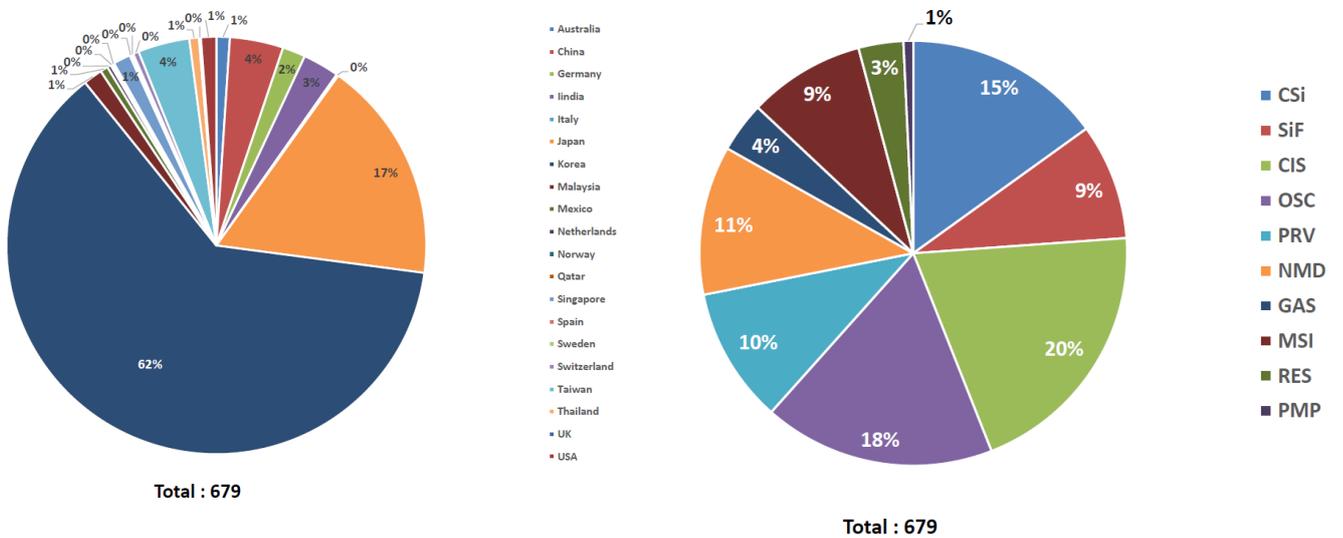
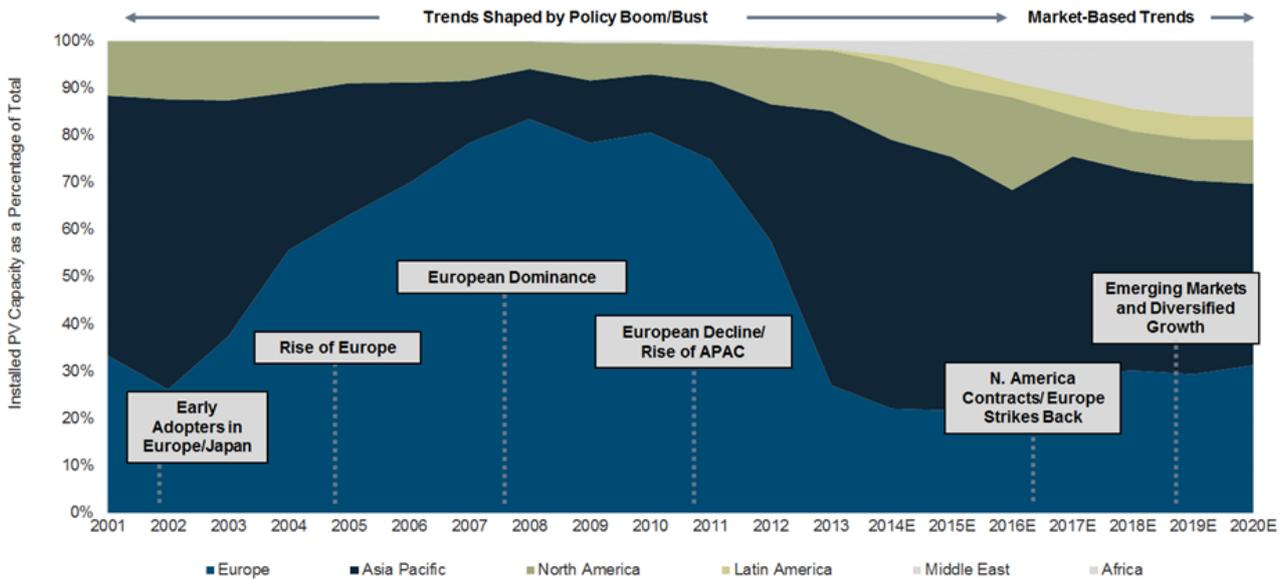
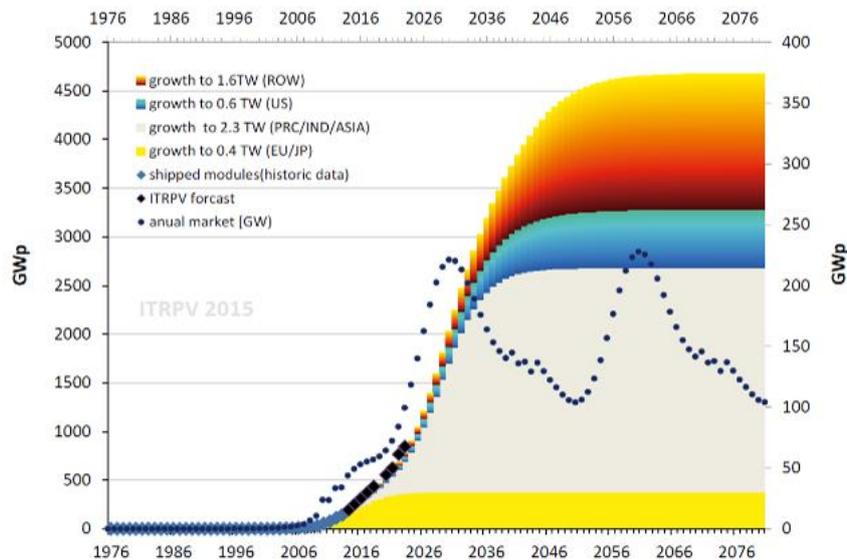


圖 6、PVSEC-25 論文分布



Source: GTM Research Global PV Demand Outlook, 2015-2015

圖 7、PV 地域需求及安裝占比(2001-2020E)



*Cumulative installed module power calculated with a logistic growth approximation for various geographic regions – Europe-Japan, China-India-Asia, the US and the rest of the world (ROW). The figures are based on IEA prediction of 4.7 terrawatts (TW) of installed PV by 2050. [Image source: ITRPV]*

圖 8、IEA 預估全球累積安裝太陽能至 2050 年將達 4.7 TW

(<http://www.itrpv.net/Reports/>)

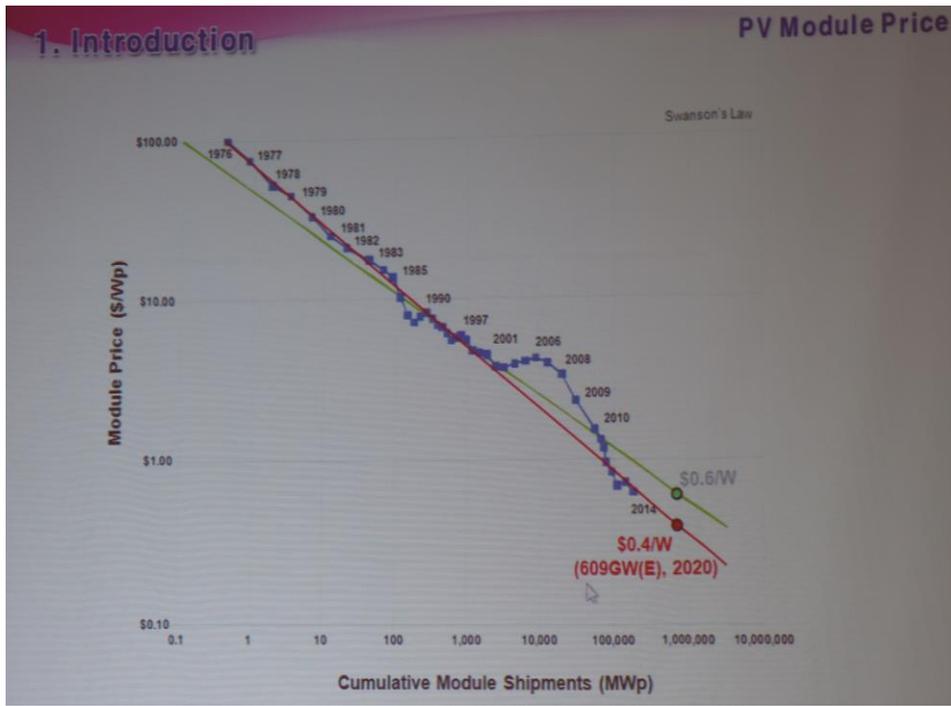
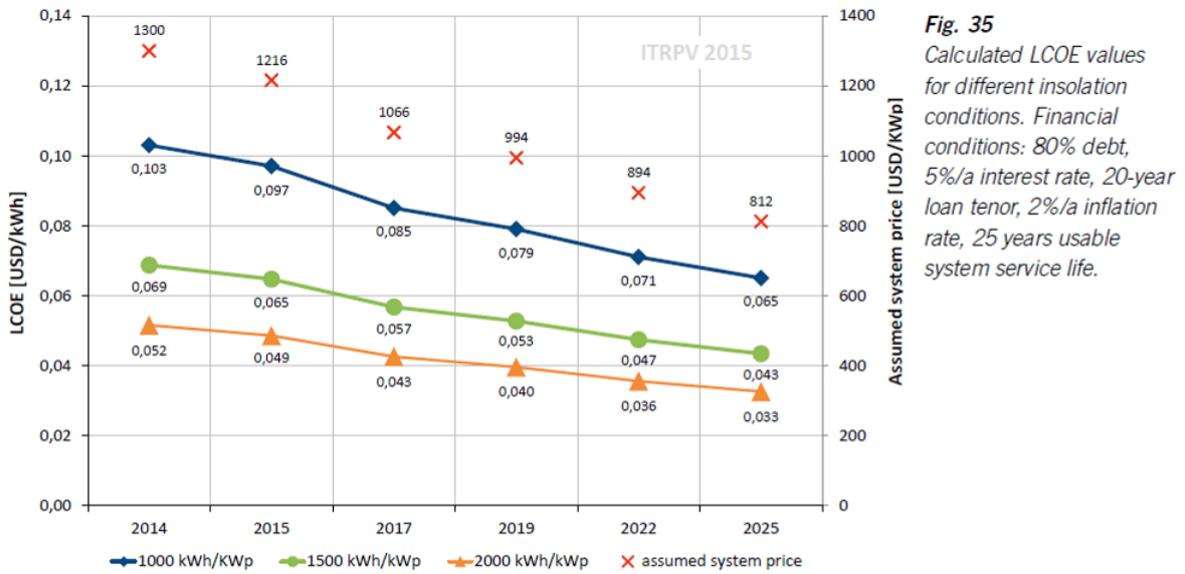


圖 9、模組價格 vs. 累積模組出貨量



**Fig. 35**  
Calculated LCOE values for different insolation conditions. Financial conditions: 80% debt, 5%/a interest rate, 20-year loan tenor, 2%/a inflation rate, 25 years usable system service life.

Source: International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV) 2014 Results

圖 10、不同日照量下 LCOE 預測

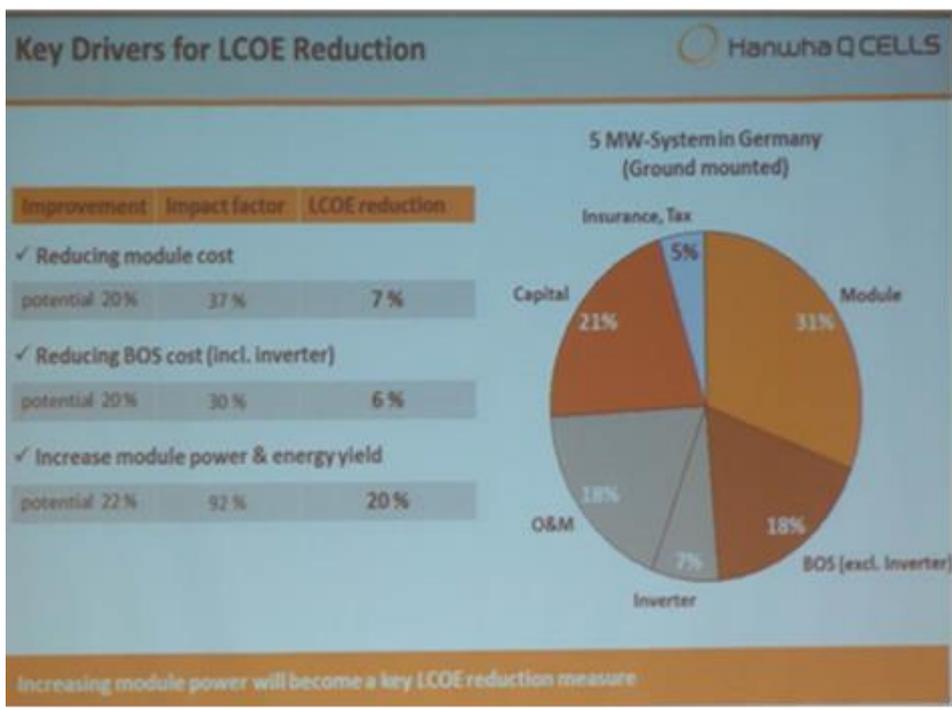


圖 11、降低 LCOE 的主要途徑

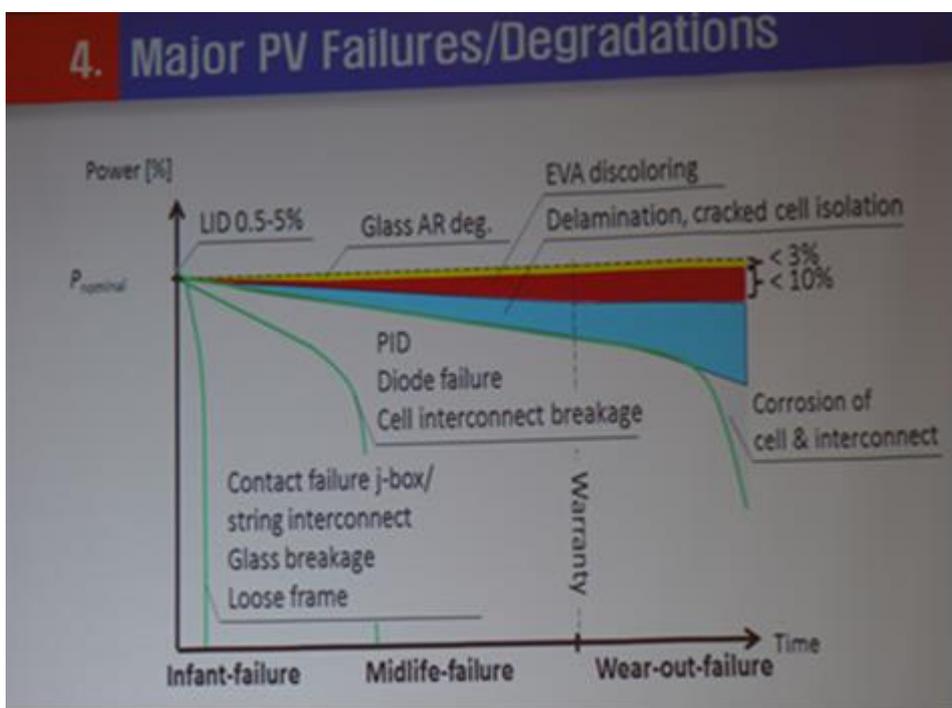


圖 12、PV 模組劣化及故障

---

**Area : Wafer-based Crystalline Silicon Cells and Materials (CSI)**

**Hanwha Q CELLS** has mass production line **over 3.5GW**, and produce **multi-crystalline Si** solar cells.

: 2015-280W module 2019-320W module targeting

R&D efficiency **20.7%** is reported in **Q.ANTUM cell**.

[Keynote, Hanwha Q CELLS]

**25.1%** of **TOPcon cell** is reported with excellent fill factor(83.2%) and Voc(718mV). Different layers including MoOx are suggested as carrier selective layer for next step. [Plenary 5, [Fraunhofer ISE](#)]

Tandem structures with Perovskite solar cell and Silicon solar cell are researched.

**21.2%** of efficiency and 671mV open-circuit voltage of **n-type back junction PERT** solar cell with plated Ni/Ag contacts, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> rear passivation and screen-printed local Al BSF on industrial 156nm n-type Cz single crystalline silicon wafers is reported. [CSi-I-02, Hyundai Heavy Industries]

---

November 15~20, 2015,  
BEXCO, Busan, Korea

 **PVSEC-25 & GPVC 2015**

圖 13.1、結晶矽(Crystalline Silicon, c-Si)太陽電池及材料技術發展(1)

---

www.pvsec25.kr  
*Sunlight to 10W Power*

Various TCO and Si based intrinsic and doped layers, metal technologies are adapted to reduced the parasitic losses in heterojunction solar cells. **Panasonic** showed **25.6%** HBC with good thermal stability and **Kaneka** reported **25.1%** efficiency Cu metallized heterojunction crystalline Si solar cell.

**LG electronics** has been released a 300W high power solar module using n-type solar cells. **320W high power module** is introduced in the market.

Ingot growing technologies were presented that **Oxygen concentration** and **pulling speed** act as key factors in minority carrier lifetime of **n-type ingot**.

---

November 15~20, 2015,  
BEXCO, Busan, Korea

 **PVSEC-25 & GPVC 2015**

圖 13.2、結晶矽(Crystalline Silicon, c-Si)太陽電池及材料技術發展(2)

### Area : Thin-film based Silicon Cells and Materials (SiF)

For  $\mu\text{-Si:H}$  thin film solar cell, **11.8 %** of initial efficiency was obtained. (AIST)

For the tandem structure of a-Si:H/ $\mu\text{-Si}$  cells, **14.8 %** of initial efficiencies were obtained using modulated surface texture. (TU Delft)

For triple junction of a-Si/ $\mu\text{-Si}$  /  $\mu\text{-Si}$  , **13.6 % of new record** was obtained. (AIST)

In a  $\mu\text{-Si}$  single cell, *n*- a-Si buffer layer was inserted to enhance the current density due to lowering the barrier for collecting carriers in n region. (Nan kai university)

For BIPV application, a-Si:H and a-SiGe:H transparent solar cells were fabricated and they show over 7 % of efficiency and 30 % of average transmittance. (ETRI)

In the fabrication of a-Si:H transparent solar cells, the ultra-thin transparent electrode has been employed to embody various colors. (ETRI)

For a-SiO<sub>x</sub>:H solar cells, record initial efficiency of 8.4 % was obtained with absorber layer of only 100 nm. (Chung-ju university)

November 15~20, 2015,  
BEXCO, Busan, Korea

 **PVSEC-25 & GPVC 2015**

圖 14、薄膜矽晶(SiF) 太陽電池及材料技術發展

### Area :II-VI & Chalcogenide Compound based Cells and Materials (CIS)

Solar Frontier (Plenary 8)

: Started up their 4<sup>th</sup> plant of 150 MW/a in Miyagi, japan in 2015

: achieved 170 Wp at 1228 cm<sup>2</sup> module (eff. 13.8%)

Wonik IPS (CIS-I-06)

: Efficiency of 16% (record) and 14.3% (average) for 90x160 cm<sup>2</sup> sized CIGSSe module were presented by Wonik IPS, targeting 18% module efficiency.

Ag-alloying (AgCu)(InGA)Se<sub>2</sub> shows improved homogeneity and adhesion of films. (CIS-I-01)

CZTS bandgap can controlled by Ge incorporation into the films. Highest efficiency was 10.03% with Voc of 0.54V. (CIS-O-08)

The enhancement of efficiency over 10% was achieved by adding Ge (30 nm) on top of Cu<sub>2</sub>ZnSnSe<sub>4</sub> that was attributed to improve Voc. (CIS-I-04)

Na(F) incorporation in co-evaporated Cu<sub>2</sub>ZnSnSe<sub>4</sub> was effective for flat and large grain growth that was believed responsible for solar cell efficiency of up to 11%. (CIS-O-16)

November 15~20, 2015,  
BEXCO, Busan, Korea

 **PVSEC-25 & GPVC 2015**

圖 15.1、II-VI 族硫系化合物(CIS)太陽電池及材料技術發展(1)

The ways to go for realizing Cd-free CIGS solar cell with efficiency higher than 18% were suggested mainly focusing on the properties of CIGS layer and ZnSnO buffer layer. (CIS-I-05)

A pure sulfide CIGS solar cell with a record efficiency of 15.5% was presented (CIS-O-17)

CdS segregation on the absorber layer was evidenced by combined analysis of Raman, AFM and PL mapping technique. Comparison of CIGS and CZTS cases were also performed. (CIS-O-22)

圖 15.2、II-VI 族硫系化合物(CIS)太陽電池及材料技術發展(2)

Area :Organic, Dye Sensitized Solar Cells and Materials(OSC)

The development progress of molecular design strategies of conjugated polymer donor and new acceptor materials to achieve high-efficiency [Plenary 4, Chinese Academy of Science].

The development of polymer solar cells with **12 %** efficiency and **the device lifetime over 10 years** by introducing novel functional materials, such as polyelectrolytes and n- or p-doped sol-gel metal oxides. **All-printed OPV modules with a module efficiency of ~ 8%** [OSC-I-01, **GIST**].

The development of **the semi-transparent DSSC modules and the applicability of DSSC in BIPV and practical uses** [OSC-I-02, **Dongjin Semichem**].

圖 16、有機染料敏化(OSC)太陽電池及材料技術發展

## Area :Perovskite Solar Cells and Materials(PRV)

**Prof Seok** introduced research history of perovskite solar cells and the key technology for the formation of uniform perovskite thin-film. For the formation of uniform film, initially Seok group developed non-solvent dripping process and improved the process by forming PbI<sub>2</sub>-DMSO intermediate phase which lead the formation of larger crystalline grains [Plenary 1, UNIST].

**Recent progress of Pb-free Sn based perovskite** and bandgap controlled Pb/Sn based perovskite solar cells, which can improve the efficiency and stability [PRV-I-02, Kyushu Institute of Technology].

New inorganic hole transporting materials such as CuSCN and NiO and shared the progress of tandem cell of crystalline Si and perovskite solar cell [PRV-I-05, Hyogo University].

**The operating mechanism of perovskite solar cells in depth** [PRV-I-03, Ewha Womans University & PRV-I-04, Nanyang Technological University].

November 15~20, 2015,  
BEXCO, Busan, Korea

 **PVSEC-25 & GPVC 2015**

### 圖 17、鈣鈦礦(PRV)太陽電池及材料技術發展

## Area : New concepts, Novel materials and devices (NMD)

- Uniform thin film BaTiO<sub>3</sub> nano-particle can successfully be applied in the fabrication of efficient perovskite solar cells. (CNU)
- Surface periodic nanocone arrays enhanced light trapping of for high efficiency Si solar cell applications. (EWU)
- GaP Nanocones were successfully fabricated by metal-assisted chemical etching for efficient solar energy conversion. (KAIST)
- Adoption of organic electron blocking layer in colloidal PbS quantum dot solar cells resulted in ~ 4.8 % power conversion efficiency. (SNU)
- Non-radiative energy transfer rate from the quantum dots to GaAs solar cell was achieved using quantum dots as light-converting material. (KIST)
- **ALD Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> interlayer in planar hybrid n-Si/PEDOT:PSS solar cells increased PCE upto 11.16%. (HYU)**
- Embedded metal NPs in PEDOT:PSS for Hybrid n-Si/PEDOT:PSS Planar Heterojunction Solar Cells enhanced the light absorption. (DGIST)

November 15~20, 2015,  
BEXCO, Busan, Korea

 **PVSEC-25 & GPVC 2015**

### 圖 18、新概念(New Concepts, Novel Materials and Devices, NMD)技術發展

---

### Area : III-V Compound based Concentrator and Space PV Systems (GAS)

- There were three oral sessions and two poster sessions. Two invited talks were a new method of growing InP crystalline layer for InP solar cell and an overview of III-V on Si solar cells.
- The technical topics most highlighted were a [new trial for 5 junction cell, III-V on Si epitaxial growth techniques](#), and CPV module technology.
- Discussions after each presentation covered the importance of commercial aspects of CPV technologies including the cost issue when develop a high performance concentrator optics and the reliability test criteria when developing a high performance multi-junction solar cells.
- III-V, CPV technology and products are confronting a mission to be fulfilled as the energy supplier to provide a solution adequate even in a worse environment than the conventional PVs. More compact size of land area availability or a higher temperature for the reliability test is an example in which CPV and III-V systems should be competitive.
- III-V and CPV systems without exception should give the customers benefits technically and economically when they choose them. And in the sessions, constructive interactions among participants and speakers occurred and it revealed potential work items for the future study in this research field.

---

November 15~20, 2015,  
BEXCO, Busan, Korea

 **PVSEC-25 & GPVC 2015**

圖 19、III-V 族聚光型及太空用(GAS)技術發展

### Area : PV Components, Modules and System(MSI)

FREA(Fukushima Renewable Energy Institute) launches [world's largest facility for testing and developing power conditioning systems\(PCS\)](#) for the mass introduction of DER(Distributed Energy Resources) at [April 2016](#). Its facility consists of four test beds(Grid connection, Safety, EMC, System Performance) [AIST, MSI-I-01]

Study the 350kW PV system performance and the energy monitoring yield under the IEC 61724 standard [in Thailand](#), and [FIT policy and economic analysis of each scenario](#). [Maejo Univ.MSI-O-03]

New modeling and simulation of BIPV systems are reported.  
: EnergyPlus and PVsyst building energy performance programs.  
[Kongju Nat'l Univ. MSI-O-10]

Effective tool for calculate the thermal efficiency of PVT model. [UNSW. MSI-O-11]

---

November 15~20, 2015,  
BEXCO, Busan, Korea

 **PVSEC-25 & GPVC 2015**

圖 20、太陽能元件材料及系統(MSI)技術發展

**Area : PV Reliability and Standardization (RES)**

Excellent comprehensive introduction and root-cause **analysis of PID degradation**.  
[Fraunhofer CSP, RES-I-01]

Correlation Study between Material Degradation Behavior and PV module Performance  
: Experimental tests of Material Degradation Behavior and PV module Performance and  
get the mathematical correlation analysis. [Underwriters Lab. RES-O-02]

Development of S/W simulation tools to quantitatively connect the lab AST data and field  
performance data. [Yeungnam Univ. RES-O-03]

**On the standardization for EH&S Risk Assessment of PV, new working items proposed** entitled  
'EH&S Risk Assessment for the sustainability of PV module manufacturing (KTL, RES. I. 05)

Introduction of combined PV module and Heat system  
: The system removes heat from PV module through air or liquid  
(Kongju Nat'l Univ., RES. I. 06)

Investigation of the hysteresis I-V curve measurements at various sweep speeds and conditions  
on Perovskite solar cells (AIST, RES. O. 13)

November 15~20, 2015,  
BEXCO, Busan, Korea

 **PVSEC-25 & GPVC 2015**

圖 21、可靠度及標準化(RES)技術發展

**Major losses of III-V compound solar cells.**

Losses	Origins	Technologies for improving
Bulk recombination loss	Non radiative recombination centers (impurities, dislocations, other defects)	High quality epitaxial growth Reduction in density of defects
Surface recombination loss	Surface states	Surface passivation Heteroface layer Double hetero structure
Interface Recombination loss	Interface states Lattice mismatching defects	Lattice matching Inverted epitaxial growth Back surface field layer Double hetero structure
Voltage loss	Non radiative recombination Shunt resistance	Reduction in density of defects Thin layer
Fill factor loss	Series resistance Shunt resistance	Reduction in contact resistance Reduction in leakage current, Surface, interface passivation
Optical loss	Reflection loss Insufficient absorption	Anti-reflection coating, texture Back reflector, Photon recycling
Insufficient-energy photon loss	Spectral mismatching	Multi-junction (Tandem)

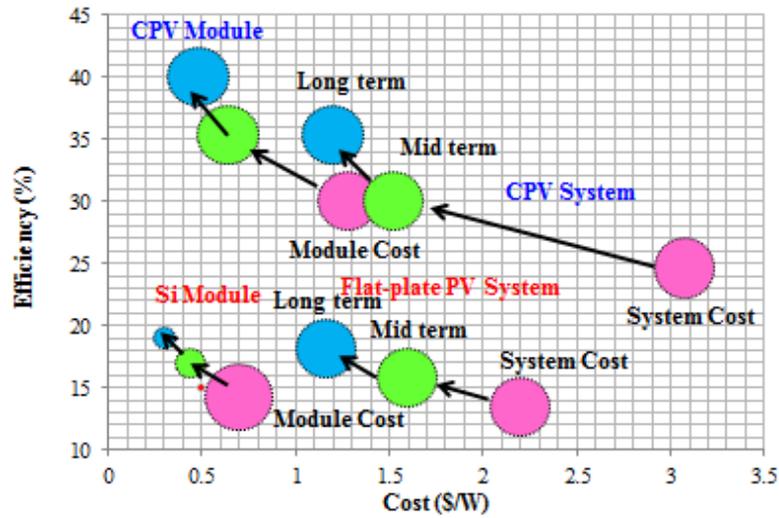
圖 22、III-V 族太陽電池主要的損失、原因及改進技術

**Key issues for realising super-high-efficiency multijunction solar cells.**

Key issue	Past	Present	Future
Top cell materials	AlGaAs	InGaP	AlInGaP
The 3rd cell materials	None	Ge	InGaAsN etc.
Bottom cell materials	GaAs	Ge	Si, Ge, InGaAs
Substrate	GaAs	Ge	Si, Ge, GaAs, metal
Tunnel junction	DH-structure GaAs tunnel junction (TJ)	DH-structure InGaP TJ.	DH-structure InGaP or GaAs TJ
Lattice matching	GaAs middle cell	InGaAs middle cell	(In)GaAs middle cell
Carrier confinement	InGaP-BSF	AlInP-BSF	Wide-gap-BSF Quantum dots (QDs)
Photon confinement	None	None	Back reflector Bragg reflector, QDs, etc.
Others	None	Inverted epitaxial growth (epitaxial growth from top cell to bottom cell layers on substrate)	Inverted epitaxial growth, epitaxial lift off (Peeled thin film off technique) <sup>58</sup>

圖 23、超高效率多接面太陽電池過去現在及未來的議題

**FUTURE DIRECTION OF CPV**



GTM Research  
H. Sugimoto, 2013 Annual Workshop on Multinary Compounds and Solar Cells, (JAXA, 2013.11.22) 133

圖 24、未來 CPV 與矽晶在太陽電池及模組之成本與效率比較