

知識天地

太陽能發電的過去與未來 (The history and future of solar cells)

韓謝忱研究助技師 (應用科學研究中心)

隨著世界人口不斷攀升、工業與科技迅速發展，致使能源消耗與日俱增和環境污染日益嚴重。尤其是工業革命後二氧化碳濃度增加超過28%導致地球發燒，如無法有效的控制溫室效應，其造成氣候改變與海平面的上升，將使人類付出極大的代價。因臺灣為一傳統能源匱乏的島嶼國家，目前95%以上的能源是仰賴進口，而且進口的都是碳、煤和石油等高污染的石化燃料；加上產業也都是高耗能科技產業，根據行政院環保署的統計，若由部門分攤電力消費加以計算後工業之二氧化碳排放占燃料燃燒總排放的49.0%(圖1)，[1] 所以臺灣2013年每人碳排放量約為11.3噸，遠遠超過聯合國新發佈的報告(IPCC AR5)中每人每年的碳排放量要低於2噸的5倍以上。然而臺灣過去只重視傳統的火力與核能電廠的開發，對於再生能源的技術開發並無明確方向，這對我國未來經濟發展及環境保護的衝擊將日趨嚴峻。在反核聲浪的驅使與科技發展不能停滯的情況下，開發潔淨的能源對臺灣而言顯得更加迫切。

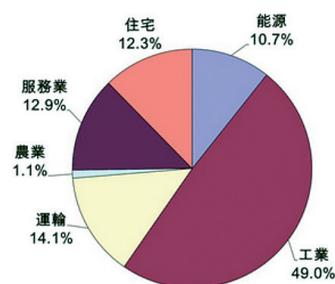


圖1：2013年部門別CO₂排放占比[1]

在眾多具有經濟價值之替代能源中，氫能被視為未來理想的燃料源之一，因為它只需要廉價與豐富的水作為來源，更重要的是它無須經過危險的開採過程，它可從綠色發電技術所產生的電力電解水產生。另一個主要原因是氫氣是無碳燃料，所以製造與使用的過程中不會像燃燒石油和煤炭一樣產生二氧化碳，因而導致溫室效應與空氣汙染。氫氣也可作為燃料電池的燃料，用於化學還原碳氧化物產生化學燃料，並應用於汽車、飛機、船隻等交通工具，甚至比燃油還更有效率。然而，目前世界上95%的氫氣主要源自化石燃料，使用再生能源電解水製造氫氣的貢獻只有約5%，主要原因還是再生能源的產生成本過高，未來如何提升綠色發電科技的效率與降低其成本，才可能使氫能變得更具有競爭力。太陽能為取之不盡用之不絕而且不必花錢就可以隨手取得的能源，科學家於1972年就開始研究使用光能來電解水產氫，發展至今光水解產氫主要分為三種型式：(1)光催化水解(photocatalytic water splitting);(2)光電化學水解(photoelectrochemical water splitting)與(3)光伏水解(photovoltaic water splitting)。水解產氫研究趨勢主要為尋找便宜、且地球上蘊藏量較富的元素為基礎，以之設計高性價比、高轉換效率、長生命週期的光電化學水解產氫元件。光電化學水解成為研究熱點主要因為其理論上的水解產氫效率可以高達85%，高於直接利用電能進行水解產氫的65%。雖然它有非常高的理論水解產氫效率，但實際應用上，藉由直接太陽光轉成氫的整體轉換效率還是遠低於間接光伏水解方式產氫，如目前廣泛被使用的金屬氧化物半導體作為光催化陰極(photoanode)的光電化學水解方式產氫，截至目前為止的資料顯示，無論進行哪一類的改善其最終可以達到的太陽光轉氫氣效率都在5%以下，主要是因為金屬氧化物半導體為寬能隙材料無法有效的吸收太陽光。有鑒於此，科學家使用串座式III-V族太陽能電池(GaInP/GaInSb tandem solar cell)作為光電水解的電擊來逕行光電化學水解產氫(圖2)，在吸收太陽光範圍增加下太陽光轉氫氣效率可達14%，[2]雖有接近商轉的門檻轉換效率(15%)，但是III-V族太陽能電池造價非常昂貴，且不易大面積化，更麻煩的是這類的元件都是將整個元件浸泡在電解液中在直接照光進行反應，元件在進行光化學反應時，所產生的路易斯酸或鹼會嚴重蝕刻元件的組成，普遍都缺乏長時間穩定性。[3] 相較於光伏水解直接使用一般太陽能電池至

少生命週期超過20年來說短少許多，這也造成元件浸泡式光電化學水解產氫的成本居高不下而無法進行商轉。

目前光伏產氫多半是以矽太陽能電池為主，不過矽太陽能電池

產業仍是高耗能產業的一種，造成回收年限過長與環境的污染疑慮，所以使光伏產氫也無法被廣泛使用。新世代太陽能電池中，鈣鈦礦太陽能電池(perovskite solar cells)於2009問世，短短的幾年時間效略從3%進步至20%以上(圖3)，效率已與無機太陽能電池不相上下，相較於無機太陽能電池鈣鈦礦太陽能電池可以使用環保與非常簡易的溶劑製程，也可結合快速與大面積製作的卷對卷生產方式，成本預期可大幅的降低。

Michael Grätzel等人在2014年時提出了將催化觸媒電極與太陽能電池元件分離的想法；結合低成本、旋塗式製程所製作的鈣鈦礦串太陽能電池，最後達成產氫效率高達12.3%，[4] 然而可達高效率的鈣鈦礦太陽能電池材料中含有毒的鉛，且元件壽命還不能像無機太陽能電池使用長達20年，不過此工作已看得出鈣鈦礦太陽能電池有朝一日可使光伏產氫蓬勃發展。但，尚有許多太陽光波段的能量不僅無法轉電，甚至轉加熱整個太陽能電池元件導致轉換效率下降。

有鑒於此一關鍵問題，本中心曾提出一種結合光熱電化學產氫概念之系統，目的在將太陽光充分利用，研究將開發高效率低成本之光波導板、光伏元件、有機朗肯循環系統(Organic Rankine Cycle)並將它們整合成為一符合經濟效應的光熱電化學產氫系統，如圖4所示。

以鈣鈦礦太陽能電池為例，其吸收轉換電能的光譜一般為涵蓋800奈米以下波段，長於800奈米波段的光也就是紅外光波段(佔整個太陽輻射能量的43%)不但不能轉成電能，更有甚者還會加熱整個太陽能電池元件導

致轉換效率下降。若能夠將這些有害的廢熱取出，將會降低元件溫度提升轉換效率，更棒的是還能夠利用這些原本有害的廢熱結合有機朗肯循環透過一連串的冷媒相變過程將熱能轉變成機械能再轉成電能。若800奈米波長的電磁波導向可替換的光電化學水解產氫元件或是太陽能電池串聯產氫水解槽進行產氫。其餘的太陽光(紅外線；>800nm波長)，透過聚焦後則會穿過波導管並抵達安裝於波導管下方的雙選擇性光吸收材料，加熱後的流體透過熱交換器將熱導入有機朗肯循環進行發電，依照溫度的不同其發電效率自10%甚至達到30%[5]。想當然爾，亦可以直接將低階廢熱應用於建築物內之熱水需求，例如溫水游泳池、淋浴、冬季暖房、夏季冷房等更高效之直接型熱源應用方式。

中研院為我國學術最高研究機構，於基礎與應用學術研究成果屢創新猷，於社會責任上更不落人後。身為地球公民的一份子，廖俊智院長率領周美吟副院長、王瑜前副院長等與應用科學研究中心蔡定平主任團隊積極進行「智能電網與低碳環境營造計畫 Carbon neutral campus」。該實驗計畫是以實際建立一個全波段太陽綠能永續平台的試驗計劃，試驗系統在第一期建置時以現有已商轉化之最先進太陽能、綠能相關技術來進行系統整合以期未來達成利用太陽光全波段能量之核心目標。第一期計畫建立之系統完成後即開始針對系統實際收集

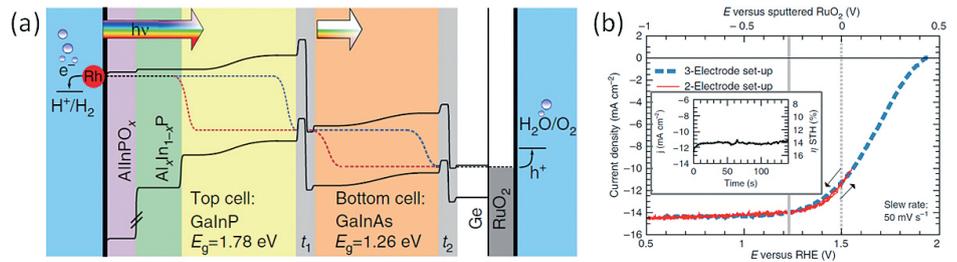


圖2：(a)光罩下串座式能階圖與(b)光罩下輸出能量曲線

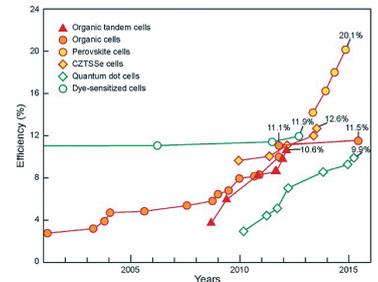


圖3：新世代太陽能電池電池發展

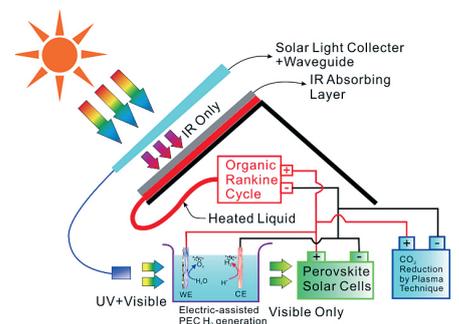


圖4：全光譜太陽綠能永續系統示意圖

發電量、環境造成之效率差異等資料收集，同時評估每一個關鍵性技術元件進行最佳化或最前沿之革命性改進以持續本計畫所提系統的創新發展和實際運作。目前已於院內活動中心頂樓、溫室等地建置了共150kW太陽能實驗場。如圖5所示，其中活動中心頂樓單晶矽與薄膜太陽能電池差異性實驗場址經過近一年追蹤實驗，結果顯示，自試驗場址建設完成後，發電量之高峰期為夏季最熱的一段期間，太陽能輸出亦正好為峰值，數據中以103-106年度之每月耗電度數來看，106年度由於太陽能實驗場址，較103-105年度之月平均電能消耗換算為電費後約節省15%左右，成效顯著。此外，數據顯示單晶矽與薄膜具有顯著之環境差異性，單晶矽強日照時轉換效率高於薄膜，但溫度效應造成之損失亦高於薄膜式太陽能電池，薄膜式太陽能電池在陰雨天極弱光條件下，仍能維持一定發電效率，而單晶矽太陽能電池已經幾乎無法進行電能輸出(data not show)。



圖5：活動中心頂樓單晶矽與薄膜式太陽能電池發電差異測試場與測試結果

另一個眾說紛紜的問題是關於：都市屋頂是否能夠使用太陽能發電？為實際模擬測試，「智能電網與低碳環境營造計畫 Carbon neutral campus」經過光照程式模擬，選擇了院區大門口旁的機車棚做為低度遮陰環境測試場址。該場址因為才更新、建設完成目前尚未有實驗數據可呈現，但，如圖六所示，自同一視角所拍攝之照片可以清楚瞭解，太陽能板的建設除綠能外尚有環境景觀正面效益。事實上，傳統式的鐵皮頂棚常見於機、汽車停車棚與房屋頂樓加蓋等用途，若單純計算其造價似乎太陽能板並無利基，然而，若詳細計算可以發現鍍鋅鐵皮容易鏽蝕不僅需要常常更新，材料成本與人工成本累積下來其實是一筆不小的花費。太陽能板屋頂正面是一片玻璃，正常情況下可以保用20年以上，而且太陽能板下的溫度較鐵皮屋頂差異極大(>5°C)，若計算空調使用成本更是高得嚇人，其他還不包含的是環境景觀的正面效益等。

展望未來，「智能電網與低碳環境營造計畫Carbon neutral campus」之最終目標是期望能夠實際建立一個全波段利用太陽綠能永續試驗平台，並將導入院內相關之前沿研究成果以取代相關元件改進此一平台內之現有已商轉技術進行實證測試，希冀能真正結合學、研、產業之能力共同為環境盡一份心力。此外，目前中研院各實驗場址之裝置容量約150KW，規劃至107年中可以達到約0.4MW的裝置容量，進一步之目標是在近期內達成全院 1~2 MW左右之裝置容量。未來在尖峰用電時段可補足院內部份尖峰用電缺口並且大幅節省院內電費支出。



圖6：院門口機車棚低度遮陰測試實驗場址更新前後對市容環境景觀亦有正面助益

參考文獻

- [1] <http://www.epa.gov.tw/ct.asp?xItem=10052&ctNode=31352&mp=epa>
- [2] Thomas Hannappel, Nature Communications 6, 8286 (2015).
- [3] Sophia Haussener, Annu. Rev. Chem. Biomol. Eng. 13 (2015).
- [4] Michael Grätzel, Science 345, 1593 (2014).
- [5] Kyung Chun Kim, Entropy 17, 2039 (2015).