

綠色能源科技中心

中心主持人：林明璋院士

● 整體目標及分年達成情形：

- 學術上利用交大現有在半導體、光電、材料、化學等領域領先全國的研發實力，藉由國內外學術與產業界的合作，在太陽能電池技術的研究與相關人才的培育上做出重要的貢獻，並且協助產業界發展相關的核心技術與重要應用，以強化我國在太陽能電池的科技基礎與成就。半導體薄膜太陽能電池方面，我們期許發展藉由整合混成化學氣相沉積法，獨有的 Hybrid 系統製作高品質及新穎的薄膜材料，掌握關鍵智財自主技術，引領台灣建立薄膜太陽能電池技術版圖。於三五族太陽電池方面，標將致力於異質磊晶材料之整合，發展三五材料結構以異質磊晶與晶片結合方式成長於替代性基板。於有機太陽能電池方面，期許在計畫結束時可達頂尖世界研究團隊之水準，如與 UC Santa Barbara, Heeger (2000 年諾貝爾化學獎得主), UC Berkeley Jean M. J. Fréchet 及高分子太陽能電池大廠 Konark Technologies 之成果並駕齊驅，故在研究上以新有機吸光材料的設計合成及材料性質的研究為首要目標，另外在元件製程技術的改善及奈米結構分析也是整體目標之一，使台灣在有機太陽能電池這領域可以領先亞太地區並與歐美同步。在燃料電池的研究開發領先世界的高效率乙醇轉氫觸媒，具有材料成本及較低操作溫度之優勢；建立實用的乙醇燃料電池發電技術，完成材料、元件、系統、及可靠度的評估。同時完成由量子化學至計算流體力學的整合模擬軟體。本中心於 97 年新成立，故以下量化統計資料為近三年之成果。在量化部分，97-99 年發表國際期刊論文共 360 篇、獲得非國科會計畫總數共 34 件，總金額逾 3,193 萬餘元、技術移轉件數共 8 件，總金額 2,600 萬元。
- 在研究目標上達成的有：製程上已可由氫稀釋比例、基板溫度及燈絲至基板距離等條件，有效控制微晶矽結晶度，並可達 10^2 的光暗導響應比例；調控氫氣及矽甲烷氣體流量、電極間距等製程條件，開發高品質非晶矽薄膜，電池效率已可達 8.42%；開發新穎的矽基材上沉積三五族化

合物技術，大幅降低三五族高效率太陽能電池的成本；開發三五族太陽電池之穿隧層（TDs）磊晶技術並降低磊晶材料形成時不純物的濃度以增加太陽電池光電轉換效率；藉由反向變質層（IMM）於砷化鎵基板上成長 $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 磊晶材料並利用智切技術（Smart Cut）將三五族太陽電池由砷化鎵基板反轉至矽基材上，以節省三五族太陽能電池之發電成本；發展高品質的光電轉換奈米材料，使 GaAs 太陽能電池效率提升 28%；我們並率先將此種光電轉換材料應用於有機太陽能電池作 3D 立體電極，不僅提升轉換效率 10%，更增加其使用壽命達 100%；研發矽量子點薄膜太陽能電池，已可準確調控量子點的尺寸與間距於（平均尺寸 $< 6 \text{ nm}$ ，平均間距 $< 4 \text{ nm}$ ），標準差皆 $< 20\%$ ；設計新結構具高結晶性主鏈予體-受體之高光電轉換效率的高分子材料，此材料之光電轉換效率達 7.3%，在高光電轉換效率的材料開發上與世界同步；研究高分子材料內部奈米級的相分離結構並搭配新穎透明電極之元件製程，以達到最佳的光電轉換效率；開發出高效率乙醇轉氫觸媒型燃料電池，使其具有低成本及較低操作溫度之優勢，並已成功測試出數個較低成本並超過 100% 轉換率的觸媒。

- **與所設目標之差異：**在半導體太陽能電池方面，單界面非晶矽薄膜太陽能電池已可達 8.42% 的轉換效率；在前瞻奈米製程方面，應積極申請專利，推動其在元件上的量產應用。在三五族太陽電池方面，目前發展出 SiGe 緩衝層磊晶技術，此磊晶技術將可使三五族複合物成長於矽基板上，目前已與晶元光電合作，將此技術整合製產品；此外目前已經成功藉由數層 InGaAs 變質層磊晶技術（IMM）將 $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 磊晶材料成長於砷化鎵基板上， $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 摻雜過程較一般磊晶材料困難，目前正積極將此技術整合至 IMM 多層磊晶。在有機太陽能電池的研究方面，本團隊已獲得不錯之光電轉換效率，成果與世界發展並駕齊驅，但距離可商業化元件的目標（8%）尚不足，未來在新材料的開發及元件製程的最佳化方面仍需努力。在燃料電池方面，已完成實體研製並進行測試中；並已建立量子化學計算及 CFD 模型進行模擬，且與實驗比對相當符合，另可模擬取得實驗上較難偵測的一些數據。合成了奈米方塊、奈米柱和奈米管的摻雜，而其中以參雜 Ti 的奈米柱具有最高的氫氣還原量，而其最佳的氫氣選擇率為 113.5%。電極材料的研究是以溶膠凝膠法合成鎢摻雜的 $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ 燒綠石結構，最大摻雜量約為 15%，其結構式為

$\text{La}_2(\text{Zr}_{1-x}\text{W}_x)_2\text{O}_{7-\delta}$ 。此材料的離子導電度有相當幅度的提升（1.23 SK/cm@700°C）當作電解質進行電池製程最佳化並測試效率表現，結果在中溫條件約 750°C 時，最高輸出功率約為 0.5 W/cm²（工業級 YSZ 電池 0.7 W/cm²@900°C）說明其在中溫型固態氧化物燃料電池電解質材料發展之潛力。

● **成果及特色：**重要成果如下：

- 首先利用同步輻射光源進行共軛高分子及奈米碳球相分離區域量化之研究及也是這方面研究之首創，目前加州大學柏克萊分校等研究團隊預採用本方法分析高分子太陽能電池主動層之形態。小角度 X 光散射及廣角 X 光繞射技術探討異質界面高分子太陽能電池 - 聚噻吩／奈米碳球相分離，同時利用同步輻射光源進行小角度 X 光散射技術及廣角 X 光繞射技術研究經不同溫度熱處理下異質界面高分子太陽能電池-聚噻吩／奈米碳球於光反應層中的相分離情形，及研究不同聚噻吩／奈米碳球的混合重量比對聚噻吩分子堆疊方向及太陽能電池元件效率長度的影響。（發表於 *Advanced Materials*, 2008, 20, 2573 及 *Macromolecules*, 2010, 43, 428）。新穎側鏈予-受體共軛高分子／奈米碳球奈米複合材料應用於異質界面太陽能電池本人之研究團隊合成一系列具奈米碳球奈米複合材料有側鏈分子間予體-受體結構之新穎半導體高分子，即聚噻吩為主鏈而側鏈接有咪唑（imidazole）基團之高分子。此高分子為目前世界上所開發之新型高分子太陽能電池材料中光電轉換效率最高者之一。（*Advance Materials*, 2009, 21, 2093 及 *Advanced Functional Materials* 18, 2356, 2008）。提出主鏈予體-受體之高結晶性共軛高分子應用於太陽能電池元件效率的差異性（發表於 *Macromolecules*, 2010, 43, 6936-6938），此結果與美國加州大學柏克萊分校 Jean M. J. Freche 團隊得到的結果一致（*J. Am. Chem. Soc.*, 2010, 132, 7595-7597），但是我們提出的高結晶性共軛高分子具有更高的開路電壓以及共軛高分子自身強烈的排列組裝，目前也已經進一步把效率提升到 6.15% 之境界（submitted to *Adv. Mater.* 2010）。
- 張翼教授實驗室具備有 III-V 族磊晶 MOCVD 設備，並積極與晶元光電、太聚等太陽電池公司合作。其電子遷移率達到世界記錄 27,300 V/cm² 以上。成功長出 III-V 族材料於矽基板上。製作時，在矽基板上先以矽離子佈值的方法，為的是在成長矽鍍緩衝層之前利用矽離子將矽基板表面的

應力釋放之後成長兩層矽鍺緩衝層 ($\text{Ge}_{0.8}\text{Si}_{0.2}/\text{Ge}_{0.9}\text{Si}_{0.1}$)，並以其間產生的應力場有效阻絕差排的向上移動，同時克服了晶格和熱膨脹係數不匹配的問題，進而有效降低矽鍺磊晶層內的差排密度至 $3 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$ 以下。矽鍺緩衝層中的差排被緩衝層間所產生的應力場有效的阻擋，而且使用矽離子佈值的方法，成功將矽鍺緩衝層的厚度降低至 0.45 微米以減少製程成本。利用此方法可在矽基板上成長出表面平坦的鍺磊晶層，其 RMS 可達到 32 Å。依此技術目前已與晶元光電簽約共同發展此 III-V 族太陽能電池技術。運用 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 材料其光譜吸收之優勢開發多界面式太陽能電池，可達更高轉換效率且所耗用之材料較少。目前本實驗室已成功成長 In 含量高達 40% 之 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 磊晶層於 Si 基板上。完成機台的建構與薄膜太陽能元件的製作，除了最佳化各 p、i、n 層矽薄膜，對於元件介面、載子傳輸、光學特性等有相當程度的了解，目前大面積單界面非晶矽薄膜太陽能電池效率已達到 8.42%。投入矽量子點薄膜整合於矽基薄膜太陽能電池，將與矽基薄膜太陽能電池整合，有效提升元件之光電轉換效率，以邁向低成本高效率的第三代太陽能電池之目標。

- 林明璋院士團隊研製非氧化鎳的 metal oxide-YSZ 陽極新材料，如 pyrochlore 型態 perovskite 型態，可直接使用乙醇燃料，將可大量減少陽極因 CO_2 導致的毒化現象，延長 SOFC 壽命。並將進行較大面積 ($10\text{cm} \times 10\text{cm}$) 研製。相關電化學現象將提供 CFD 及熱應力分析模擬參數調整的參考。SOFC 通道熱傳與溫度分布及熱應力分析以達最佳化設計，增強可靠度，進行電池堆製作。使用創新的不對稱孔洞搭配彈道設計於微通道中，搭配「高力熱處理公司」進行熱交換器製作測試驗證本創新構想與傳統設計的比對，與提出後續的改善設計，藉由廣泛之測試分析，開發適合 SOFC 傳統通道與本創新構想之熱交換器選機設計軟體。將利用滑動電弧或 tornado 型態的電漿增強氫氣選擇率。未來實際應用時，電漿的電源可來自太陽能或風能，故僅扮演輔助的角色，主要原因在於觸媒將採用本中心已研發成功氫氣選擇率高達 110% 的 $\text{La}_2\text{Ce}_{1.5}\text{Ru}_{0.5}\text{O}_7$ 。
- **學術地位對國家產業、社會發展之重要性及貢獻：**太陽能電池為六大新興產業之一，將來勢必會發展有機及無機太陽能電池。為了將來要在太陽能電池這一產業及發展結合交通大學在半導體、電子工程、光電工程以及材料工程在全國之優勢，相信可以在太陽能電池領域中取得先機。高分子太陽能電池

製程簡易費用低廉，可以 roll-to-roll 方式製成大面積可應用於可攜帶式及可撓式消費電子產品利於人類攜帶及使用，如手機、筆記型電腦、帳篷、衣服並因其質量輕可應用於空中飛行器材。矽基薄膜太陽能電池業界藉由國內產業及學術機構合作並投入研發，除了製程最佳化還要有創新技術，使台灣的太陽能領域形成下一個更具競爭力產業聚落。固態燃料電池系統已經被公認為人類走向無碳社會過程中最重要的分散式發電技術之一，如搭配其他次系統如後燃器及高效率熱交換器，構成 CHP 燃料電池系統，其能源轉換效率理論值將可達 70-80% 以上，間接減碳同時具有極佳的模組化優勢。

- **延攬及培育優秀人才、研究團隊建立之作法與成效：**透過國際及產學合作，開創新穎的科學技術，帶來突破性的研究成果。
- **提升教學績效、學術研究之創意機制與成效：**將成立綠色能源科技學位學程。
- **與國內外相關學校、研究機構合作之具體作法及成效：**目前已有美國華盛頓大學材料系系主任任廣禹教授透過美國空軍之支持與本團隊進行國際合作，此外在美國高分子太陽能電池研究具最好成果之美國加州大學洛杉磯分校之楊陽教授於今年 2 月底拜訪本研究團隊洽談國際合作事宜，此外美國 Solarmer 公司亦有興趣與本團隊合作。張翼教授 CSD 實驗室擬與維吉尼亞州 Mantu K. Hudait 教授的實驗室一起致力於發展四接面太陽能電池於矽基板上。目前已與晶元光電簽約共同發展此 III-V 族太陽能電池技術。將與美國 Arkansas University 之 Hye-Won Seo 教授合作執行。與 NREL (National Renewable Energy Laboratory, USA)，AIST (Advanced Industrial Science and Technology, Japan) and JAIST (Japan Advanced Institute of Science and Technology, Japan) 等交流合作，並與台科大洪儒生教授合作進行適用於疊層矽薄膜太陽電池的 TCO 玻璃製作技術開發，以及與核能研究所進行軟性基板之太陽能電池研究，透過垂直整合建立自有技術。已邀請洪哲文教授(清華大學動機系)、黃炳淮教授(中山大學材料與光電科學系)及王禎翰教授(師範大學化學系)加入本中心研究團隊。預定聘請目前在 Brookhaven 團隊實驗室專攻氫能研發並在喬治亞研發 SOFC 多年的 Yon Man Choi 博士加入團隊，以加強固態燃料電池研究團隊在材料及統計熱力學方面的陣容。並與喬治亞理工學院 Meilin Liu 教授在固態燃料電池材料與化學機制研究進行長期合作。
- **未來執行重點：**

- 本中心未成為教育部第二期頂大計畫之頂尖研究中心，但在校內將以特色頂尖計畫方式持續執行個別之研究。
- 將以所發展出之 SiGe 緩衝層技術，將三接面三五族太陽電池，直接成長於 Ge/SiGe/Si 基板上；開發具有寬廣吸光範圍的高分子材料以及主鏈側鏈予體-受體之高結晶性共軛高分子，並搭配元件內部奈米型態的先進製程技術與研究，以製作出更高光電轉換效率的有機太陽能電池，未來結合石墨烯之高透光性及高導電性之電極應用，並預期能將光電轉換效率提升至 8%。將提高 SOFC 性能及穩定性；改進量子化學計算，建立分子動力學模擬及 CFD 模擬能量，取得重要參數並期能建立完整乙醇 SOFC 系統進行耐久性測試。