

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

新能源關鍵材料之研究規劃--染料敏化太陽能電池關鍵材料與元件技術開發(子計畫四) 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：整合型
計畫編號：NSC 97-3114-M-009-003-
執行期間：97年12月01日至98年11月30日
執行單位：國立交通大學應用化學系(所)

計畫主持人：刁維光

計畫參與人員：博士班研究生-兼任助理人員：呂學沛
博士班研究生-兼任助理人員：藍啟銘
博士班研究生-兼任助理人員：黃威凱
博士後研究：李陸玲

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 99 年 03 月 19 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

新能源關鍵材料之研究規劃－染料敏化太陽能電池關鍵材料
與元件技術開發（子計畫四）

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 97-3114-M-009-003-

執行期間：97年12月1日至98年11月30日

計畫主持人：刁維光

共同主持人：

計畫參與人員：李陸玲、駱立揚、呂學沛、藍啟銘、黃威凱、張羽成、
蔡喬盈、吳慧屏、劉尚恩、許順茹、曾珮琪、陳奕如、林佳蓉

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：國立交通大學

中華民國 98 年 3 月 19 日

摘要

本成果報告詳述吾人執行國科會新能源關鍵材料規劃計畫之第四子計畫「染料敏化太陽能電池關鍵材料與元件技術開發」所產生的豐碩成果。我們規劃 DSSC 的關鍵材料與技術包括以下五大項：(1)新穎染料的設計與合成；(2)新型電極結構的開發；(3)電解液的設計與改良；(4)固態元件的開發；(5)元件機理之探討。其中我們在第一、二、五項的開發已在一年執行期限內產生顯著的成效，而在第三、四項的研發尚待後續之努力。我們的研發成果在 2009/1-2010/3 短短十五個月的時間內已發表了 15 篇 SCI 論文，其衝擊參數的總和高達 57.7。

關鍵字：二氧化鈦、陽極處理法、奈米管、染料敏化太陽能電池、紫質染料

Abstract

This report describes the fruitful results coming from executing my one-year NSC proposal for planning development of key materials for new energy resources, the subproject 4 “Development of Key Materials and Device Technology for Dye-Sensitized Solar Cells”. In this sub-project, we made a plan for the development of key materials and device technology in five directions: (1) Design and synthesis of new dye sensitizers; (2) Development of new structures for electrodes; (3) Design and improvement for new electrolytes; (4) Development of solid-state devices; (5) Understanding working mechanism for DSSC. Among these planned items, we have made achievement in items 1, 2, and 5, while give room for further developments of items 3 and 4. Our results came out with 15 SCI papers during 2009/1-2010/3, for which the total impact factors reach 57.7.

Key words: Tatania, anodization, nanotube, dye-sensitized solar cell, porphyrin dye.

前言

本計畫執行之目標在於規劃染料敏化太陽能電池的關鍵材料以及元件製備技術，以便在未來發展出高效率的染料敏化太陽能電池元件。本計畫自 97 年 12 月 1 日起開始執行至 98 年 11 月 30 日止為期一年，已依照原計畫規劃完成太陽光源模擬器、鈦材質水熱罐、與三滾研磨分散機等設備的採購，同時進行下列量測系統之建立：(1) 太陽能電池光電轉換效率量測系統(I-V curve)；(2) 電子傳導效能(I_{SC} decay 量測電子在半導體上之擴散常數) 及電荷收集效率量測(V_{oc} decay 量測電子生命期時間常數)；(3) 太陽能電池入射光子-光電流轉換效率(Incident Photon-to-current Conversion Efficiency, IPCE)量測；以及 (4) TiO_2 奈米薄膜電極材料之製備。

系統建構成果

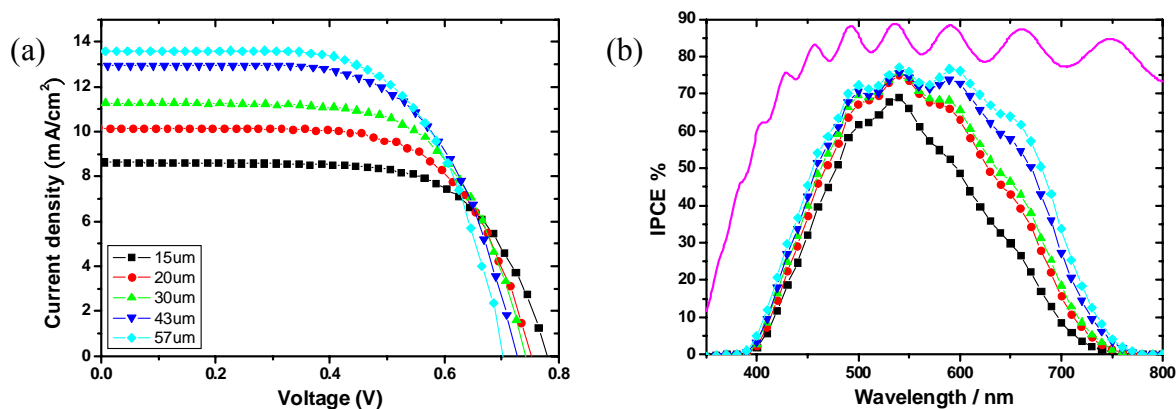
(1) 太陽能電池光電轉換效率量測系統之建立(I-V 曲線)

測定染料敏化太陽能電池元件的特性與效能最直接的方法即是量測電池元件的輸出光電流和光電壓曲線，亦即 I-V 曲線。太陽電池光電轉換效率(η)的定義如下：

$$\eta = \frac{P_{mp}}{P_{in}} = \frac{J_{mp} V_{mp}}{P_{in}} = \frac{J_{sc} V_{oc} FF}{P_{in}}$$

其中 P_{in} 為 AM1.5 太陽模擬光源的功率，一般固定在一個太陽的照度($P_{in} = 100 \text{ mW cm}^{-2}$)； J_{sc} 為短路電流密度(short-circuit current density，其單位是 mA cm^{-2})； V_{oc} 為開路電壓 (open-circuit photovoltage，其單位是 V)；FF 為填充因子(fill factor)。

配合實驗室已擁有之太陽光源模擬系統與 Keithley 2400 電性量測機台之組合，以上各重要參數值皆可由 I-V 曲線之量測而求得，進而量測電池元件之性能並分析關鍵材料對元件特性的影響。針對本實驗室在一維結構奈米管工作電極的開發研究中，製備不同長度的 TiO_2 奈米管薄膜工作電極，並進行電池元件的組裝與 I-V 曲線的量測，其結果如圖一(a)所示。可觀察到隨著管長的增加，可有效增加染料吸附量，進一步提昇短路電流密度及元件效率提昇到 6.1 %。此部份的研究成果已在 *Journal of Materials Chemistry* 發表，表示本實驗室在於染料敏化太陽能電池的元件製備與 I-V 曲線的量測技術上已非常成熟，未來將可進一步配合開放相關研究團隊所需之材料及元件量測。



(c)

$L/\mu\text{m}$	Dye loading / nmol cm^{-2}	$J_{sc}/\text{mA cm}^{-2}$	V_{oc}/V	FF	$\eta/\%$
15	97	8.6	0.78	0.67	4.5

20	108	10.2	0.75	0.66	5.1
30	157	11.3	0.74	0.66	5.5
43	255	12.9	0.73	0.64	6.0
57	312	13.6	0.70	0.64	6.1

圖一、不同 TiO₂ 奈米管薄膜厚度所製備之電池元件測得之(a)*I-V* 曲線圖；(b)IPCE 光譜；(c)由 *I-V* 曲線圖所得之元件特性參數表。

(2) 太陽能電池入射光子-光電流轉換效率(Incident Photon-to-current Conversion Efficiency, IPCE)量測

元件光電效能量測的另一部份為利用白光分光以後進行單一波長的光電轉換效率，即所謂之 *IPCE*，其值可由下式求得：

$$IPCE(\lambda) = \frac{\# \text{electrons}}{\# \text{photons}} = \frac{1240 \times I_{SC} (\mu\text{A}/\text{cm}^2)}{\lambda(\text{nm}) \times P (\mu\text{W}/\text{cm}^2)}$$

其中 P 為入射光在波長為 λ (nm) 時之功率，可由一般小功率之 power meter 量得； I_{SC} 為在 λ (nm) 時的短路電流密度，可由數位電表量得。*IPCE* 曲線可與樣品的吸收光譜相比較，以了解分子的吸收、材料的結構與光電轉換效率之間的關係，故可以提供我們寶貴的資訊。針對本實驗室在上述不同長度的 TiO₂ 奈米管電池元件的量測上，其 *IPCE* 結果如圖一(b)所示。我們可觀察到 *IPCE* 圖譜隨著管長的增加而變寬，表示管長的增加有效地增強了光的散射效應，使得元件能利用到較長波長的光，使利用的光譜範圍能延伸至接近 750 nm。若將所測得之 *IPCE* 曲線的積分值與短路電流密度 J_{SC} 比較，其誤差值 <10 %。

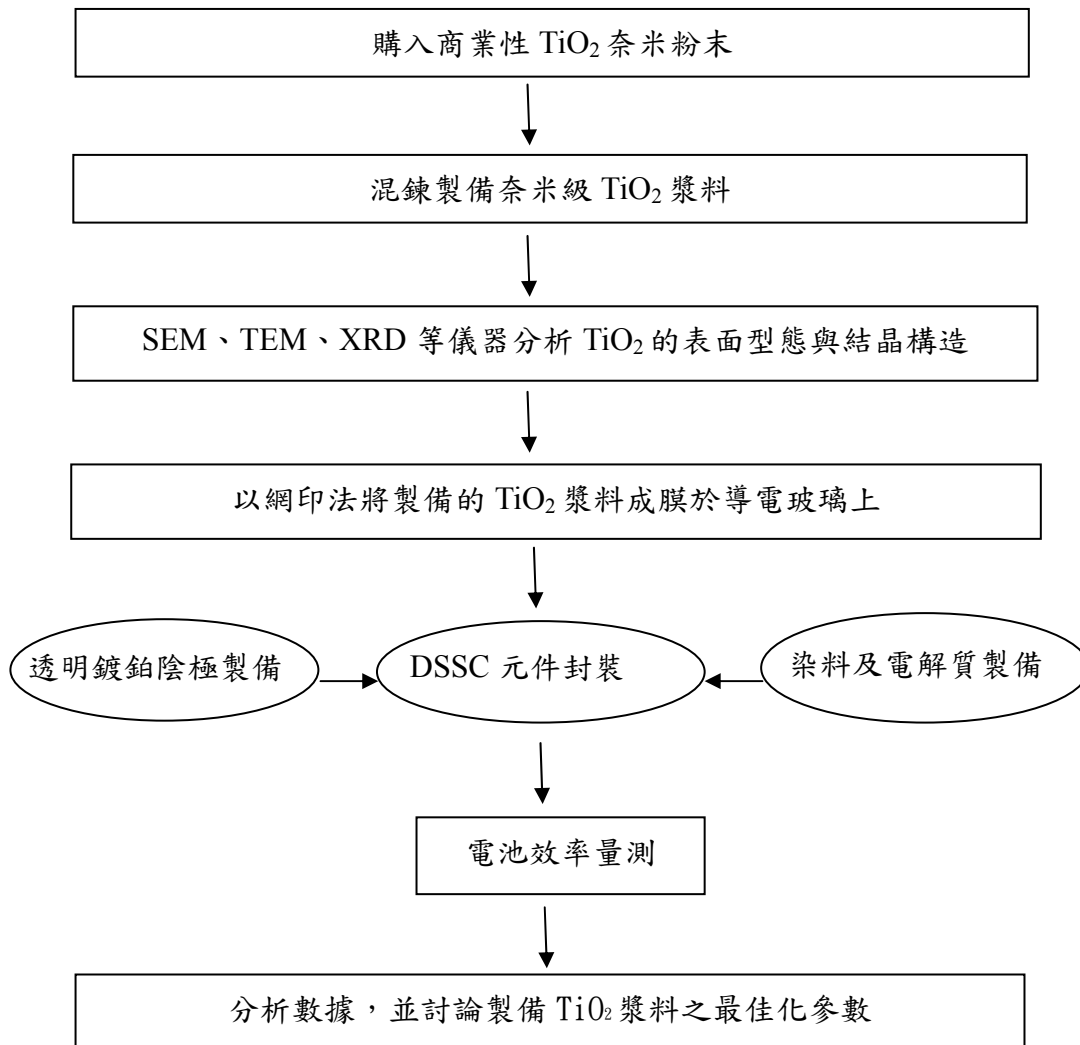
(3) 電子傳導效能(I_{SC} decay) 及電荷收集效率量測(V_{oc} decay)

影響 DSSC 元件效能的因素包括了光吸收的效率(light-harvesting efficiency)、電子注入效率(electron injection efficiency)、電子-電動再結合機率(charge recombination probability)與電荷收集效率(charge collection efficiency)等，要了解這些因素對元件效能的影響，光譜動力學與光電化學方面對於界面電荷傳輸(interfacial charge transport)行為的基礎研究顯得異常重要。配合已採購之光纖式太陽光源與光源及分光系統，以及本研發團隊已具備的設備與技術，由元件的 I_{SC} decay (在短路條件下測量光電流的衰減時間常數) 或 V_{oc} decay (在斷路條件下測量光電壓的衰減時間常數) 來量得；前者可以提供注入電子的數目與電子傳到 TCO 的擴散常數 (electron diffusion coefficient, D_n)，而後者則可以提供電子在開路條件下的時間常數 (electron lifetime, τ_n)。目前我們已針對紫質染料電池元件進行有系統的研究，未來我們將能更廣泛地對染料-TiO₂ 奈米管/奈米棒體系進行一系列的研究與探討，以幫助我們更進一步了解 DSSC 內部的電子轉移機制，從而進一步了解影響 DSSC 效率的決定因素而對未來元件的設計做出具體的貢獻。

(4) TiO₂ 奈米薄膜電極材料之製備流程

我們針對不同功能性的粉末，以單一或混合不同比例的方式研磨混練，再以不同性能的研磨機相互配合，最後製作出可用於網印法成膜的 TiO₂ 漿料。TiO₂ 漿料製備完成後，利

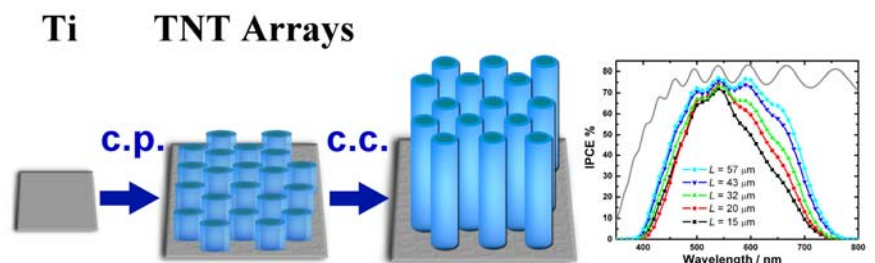
用網印法將 TiO_2 塗佈於導電玻璃上，經過 500°C 燒結後製作成 DSSC 之工作電極，再組裝成元件後測試其光電轉換效率。另外，我們也會以 SEM 或 TEM 來進行微結構的分析，並以 XRD 數據做 TiO_2 晶相之探討。實驗的流程如圖二所示，我們的目標在製作出高分散性與成膜性佳的 TiO_2 漿料，以作為未來 DSSC 元件商品化後之關鍵材料。



圖二、實驗流程圖

突破性成果簡介

(a) 在新穎一維奈米材料的開發上，我們已成功發展出利用陽極處理法製備二氧化鈦奈米管 (TNT) 的技術，並更進一步將此奈米管結構製備成染料敏化太陽能電池元件，我們利用此陽極製成的小面積 NT-DSSC 元件其



圖三：定電壓(c.p.)/定電流(c.c.)兩段式陽極處理法示意圖，圖右顯示其 NT-DSSC 元件隨管長增加而表現出優異的色散效果。

效率在 20 μm 管長條件下高達 7.0%，其結果已在美國物理化學期刊(*J. Phys. Chem. C* 2008, 112, 19151)發表。後續的研究使我們發表了一系列相關的論文(APA2008, 2009, JES2009)，尤其是我們最近成功發展出來的新技術(如圖三所示)，利用定電壓/定電流的 hybrid anodic method，我們發現 TNT 管長與陽極處理時間成線性的關係，因此可以在短時間成長出很長的 TiO_2 奈米管陣列，而將元件光電轉換效率更進一步提升至 7.6% 的世界紀錄，這個令人興奮的結果即將發表在英國著名材料期刊(*J. Mater. Chem.* 2010, DOI:10.1039/B922003H)。

(b)本研發團隊與中興化學系葉鎮宇教授實驗室合作在今年(2009)

有相當不錯的研究成果產出。例如，我們找出世界上光電轉換效率最好的綠色紫質染料(YD-系列)，其元件效能與 N3 染料相當，而大面積的元件亦有不錯的效率與穩定性，我們的初步結果已在德國著名化學期刊(*Chem. Eur. J.* 2009, 15, 1403)發表，在短短一年又三個月的時間內，該論文已被國際期刊引用超過 18 次以上，且該論文在 2009/1-2009/12 期間為該期刊點閱率的第五名，可見此研發成果之重要性。我們發現此一系列染料之所以具高效率乃因存在一個壽命非常長的電荷分離態；而其中之一紫質衍生物(YD12)在不加散色層的情況下其元件效能甚至超越 N719 染料，而光譜與動力學方面的基礎研究也使得我們更加了解其界面電子轉移機制，此結果已發表在英國著名的物理化學期刊 (*Phys. Chem. Chem. Phys.* 2009, 11, 10270)，該論文並被 promote 為 cover story (如圖

四所示)，PCCP 也請專業科學文評撰文推薦之 (Highlights in

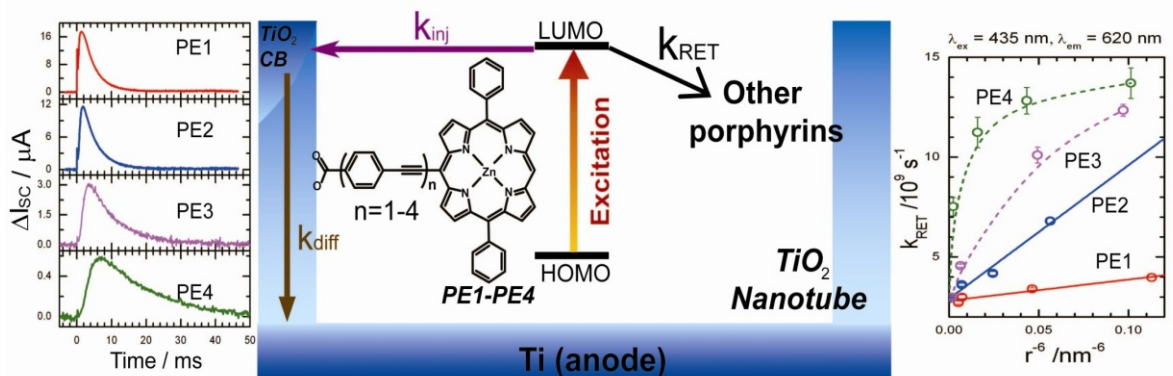
Chemical Science, 21, October, 2009)。此外，我們亦針對一系列具推拉電子基的紫質分子 (YD0-YD8)進行光譜電化學、動力學與光電轉換效率的量測，其光譜動力學的解析結果已在美國著名的物理化學期刊發表(*J. Phys. Chem. C* 2009, 113, 20990)，而合成與光譜電化學鑑識的結果即將發表在英國著名的材料化學期刊(*J. Mater. Chem.* 2010, 20, 1127)；我們在染料敏化太陽能電池的跨領域合作研究亦擴及現在正熱門的”紫質雙體”染料，我們發現紫質雙體(YDD0-YDD3)的共軛效應可以延展其吸收光譜至近紅外光的位置，且兩個紫質單體的耦合效應可以有效地提升在紫質兩吸收帶之間的光電轉換的量子效率，我們的初步結果即將發表在英國最著名的化學期刊(*Chem. Commun.* 2010, 46, 809)。

(c)本研發團隊與暨南應化系林敬堯教授實驗室合作在今年(2009)有相當不錯的研究成果產出。首先，我們針對一系列具不同架橋長度之紫質染料(PE1-PE4)吸附在 TiO_2 奈米粒薄膜上進行元件效能的量測，我們發現元件的光電轉換效率隨架橋(Linker)的長度增加而減小，飛秒螢光衰減的實驗結果顯示了染料- TiO_2 界面電子轉移速率並不會隨架橋長度變長而減緩，飛秒瞬態吸收光譜及動力學的實驗數據顯示，回返電子轉移(back electron transfer, BET)過程可能存在 through-bond 與 through-space 兩種傳遞路徑，而長架橋之紫質分子(PE4)可藉由 through-space 的 BET 過程而使光電流大幅降低，這合理的解釋了其光電轉換效率隨架橋長度增長而降低的特性，我們的結果分成兩篇論文發表在美國著名的物理化學期刊(*J. Phys. Chem. C* 2009, 113, 755; *ibid* 11524)。此外，我們亦將 PE1-PE4 吸附在排列整齊的 TiO_2 奈米管陣列薄膜上，我們發現同樣的光電效能隨架橋長度增長而



圖四：紫質染料在太陽電池上的應用被英國著名物理化學期刊 PCCP 採用為封面故事。

衰減的現象，光電流衰減的實驗結果說明了紫質分子架橋長度愈長，則注入 TiO_2 導帶的電子數目愈少，因此電子的傳導愈慢(如圖五所示)；飛秒螢光的實驗證明了電子從染料注入 TiO_2 的速率隨架橋長度增加而減小，但真正使注入電子數目減少的原因是分子間的能量轉移過程，而這個過程可以由不同密度的染料吸附在相同 Al_2O_3 奈米管內的螢光動力學來模擬。我們發現架橋長度愈長的分子聚集的愈嚴重，故螢光衰減的愈快；此一系列較短的兩個染料(PE1 and PE2)可以由 Förster 模型來描述，而較長的兩個染料(PE3 and PE4)則可以由 Dexter 模型來解釋；我們的結果首次提出了紫質分子是以 cluster 為最小單元的聚集方式之實驗證據，這個結果即將在英國著名的物理化學期刊上發表(*Phys. Chem. Chem. Phys.* **2010**, *16*, 1064)。另外，我們發現林敬堯實驗室所合成具 acene 官能基之新一系列的紫質染料分子亦有不錯的光電轉換效率，我們的初步結果即將發表在美國著名的物理化學期刊(*J. Phys. Chem. C* **2010**, *114*, 687)。



圖五：針對一系列具不同架橋長度之紫質染料吸附在 TiO_2 奈米管內進行元件效能的量測，發現元件的光電轉換效率隨架橋的長度增加而減小，光電流衰減(圖左)與能量傳遞(圖右)的實驗結果顯示，紫質分子的聚集效應可以合理的解釋其光電轉換效率的結果。

文獻發表

吾人執行國科會個人計畫並配合本計畫的執行，在近一年期間一共發表了 14 篇 DSSC 相關的學術論文，可說是成果相當豐碩，茲整理我們發表的論文如下：

1. Chien-Chon Chen, Hsien-Wen Chung, Chin-Hsing Chen, Hsueh-Pei Lu, Chi-Ming Lan, Si-Fan Chen, Liyang Luo, Cheng-Shiung Hung and Eric Wei-Guang Diau*
Fabrication and Characterization Anodic Titanium Oxide Nanotube Arrays of Controlled Length for Highly Efficient Dye-Sensitized Solar Cells
J. Phys. Chem. C **2008**, *112*, 19151-19157. (SCI) 96-2628-M-009-018-MY2
2. Chih-Wei Chang, Chin-Hao Chang, Hsueh-Pei Lu, Tung-Kung Wu* and Eric Wei-Guang Diau*
Fabrication and Photovoltaic Characterization of Bio-sensitized Solar Cells using Myoglobin-based Sensitizers
J. Nanosci. Nanotech. **2009**, *9*, 1688-1695. (SCI) NSC 96-2627-M-009-003

3. Cheng-Wei Lee, Hsueh-Pei Lu, Chi-Ming Lan, Yi-Lin Huang, You-Ren Liang, Wei-Nan Yen, Yen-Chun Liu, You-Shiang Lin, Eric Wei-Guang Diao* and Chen-Yu Yeh*
Novel Zinc Porphyrin Sensitizers for Dye-Sensitized Solar Cells: Synthesis and Spectral, Electrochemical and Photovoltaic Properties
Chem. Eur. J. **2009**, *15*, 1403-1412. (SCI) 96-2628-M-009-018-MY2
4. Ching-Yao Lin,* Chen-Fu Lo, Liyang Luo, Hsueh-Pei Lu, Chen-Shiung Hung and Eric Wei-Guang Diao*
Design and Characterization of Novel Porphyrins with Oligo(phenylethynyl) Linkers of Varied Length for Dye-Sensitized Solar Cells: Synthesis and Optical, Electrochemical and Photovoltaic Investigation
J. Phys. Chem. C **2009**, *113*, 755-764. (SCI) 96-2628-M-009-018-MY2 and 96-2627-M-009-005
5. Chien-Chon Chen, Wen C. Say, Sheng-Jen Hsieh and Eric Wei-Guang Diao*
A Mechanism for the Formation of Annealed Compact Oxide Layers at the Interface between Anodic Titania Nanotube Arrays and Ti Foil
Appl. Phys. A **2009**, *95*, 889-898. (SCI) 96-2628-M-009-018-MY2
6. Chih-Wei Chang, Liyang Luo, Chung-Kung Chou, Chen-Fu Lo, Ching-Yao Lin, Chen-Shiung Hung, Yuan-Pern Lee and Eric Wei-Guang Diao*
Femtosecond Transient Absorption of Zinc Porphyrins with Oligo(phenylethynyl) Linkers in Solution and on TiO₂ Films
J. Phys. Chem. C **2009**, *113*, 11524-11531. (SCI) 96-2628-M-009-018-MY2 and 97-3114-M-009-003
7. Chien-Chon Chen, Wern Dare Jehng, Lu Lin Li and Eric Wei-Guang Diao*
Enhanced Efficiency of Dye-Sensitized Solar Cells Using Anodic Titanium Oxide Nanotube Arrays
J. Electrochem. Soc. **2009**, *156*, C304-C316. (SCI) 96-2628-M-009-018-MY2 and 97-3114-M-009-003
8. Hsueh-Pei Lu, Chi-Lun Mai, Chen-Yuan Tsia, Shun-Ju Hsu, Chou-Pou Hsieh, Chien-Lan Chiu, Chen-Yu Yeh* and Eric Wei-Guang Diao*
Design and Characterization of Highly Efficient Porphyrin Sensitizers for Green See-through Dye-sensitized Solar Cells
Phys. Chem. Chem. Phys. communication **2009**, *11*, 10270-10274; selected as "Hot articles" in *PCCP*. (SCI) 98-2113-M-009-014 and 97-3114-M-009-003

9. Hsueh-Pei Lu, Chen-Yuan Tsai, Wei-Nan Yen, Chou-Pou Hsieh, Cheng-Wei Lee, Chen-Yu Yeh* and Eric Wei-Guang Diao*
Control of Dye Aggregation and Electron Injection for Highly Efficient Porphyrin Sensitizers Adsorbed on Semiconductor Films with Varied Ratios of Co-adsorbate
J. Phys. Chem. C **2009**, *113*, 20990-20997. (SCI) 98-2113-M-009-014 and 97-3114-M-009-003
10. Ching-Yao Lin,* Yu-Chien Wang, Shun-Ju Hsu, Kun-Ruei Jiang, Chen-Fu Lo, and Eric Wei-Guang Diao
Preparation, Spectral, Electrochemical and Photovoltaic Properties of Acene-Modified Zinc Porphyrins
J. Phys. Chem. C **2010**, *114*, 687-693.
11. Liyang Luo, Chia-Jung Lin, Chiau-Yiag Tsai, Hui-Ping Wu, Lu-Lin Li, Chen-Fu Lo, Ching-Yao Lin, and Eric Wei-Guang Diao*
Effects of Aggregation and Electron Injection on Photovoltaic Performance of Porphyrin-based Solar Cells with Oligo(phenylethynyl) Links inside TiO₂ and Al₂O₃ Nanotube Arrays
Phys. Chem. Chem. Phys. **2010**, *12*, 1064-1071. (SCI) 98-2113-M-009-014
12. Chi-Lun Mai, Wei-Kai Huang, Hsueh-Pei Lu, Cheng-Wei Lee, Chien-Lan Chiu, You-Ren Liang, Eric Wei-Guang Diao,* and Chen-Yu Yeh*
Synthesis and Characterization of Diporphyrin Sensitizers for Dye-Sensitized Solar Cells
Chem. Commun. **2010**, *46*, 809-811. (SCI) 98-2113-M-009-014 and 97-3114-M-009-003
13. Chou-Pou Hsieh, Hsueh-Pei Lu, Chien-Lan Chiu, Cheng-Wei Lee, Chi-Lun Mai, Wei-Nan Yen, Shun-Ju Hsu, Eric Wei-Guang Diao,* and Chen-Yu Yeh*
Synthesis and Characterization of Porphyrin Sensitizers with Various Electron-donating Substituents for Highly Efficient Dye-sensitized Solar Cells
J. Mater. Chem. **2010**, *20*, 1127-1134. (SCI) 98-2113-M-009-014 and 97-3114-M-009-003
14. Lu-Lin Li, Chiau-Yiag Tsai, Hui-Ping Wu, Chien-Chon Chen, and Eric Wei-Guang Diao*
Fabrication of Long TiO₂ Nanotube Arrays in a Short Period Using a Hybrid Anodic Method for Highly Efficient Dye-sensitized Solar Cells
J. Mater. Chem. **2010**, Advance Articles (DOI:10.1039/B922003H).

Femto-9 國際會議報告

國立交通大學應用化學系 教授 刁維光

一、參加會議經過

第九屆國際飛秒化學學術會議已於2009年八月八日至十三日在中國北京大學盛大舉行。主辦單北大物理系邀請了將近五十位在飛秒化學方面的專家學者與會,每位與會學者提出二十或三十分鐘(包括提問與討論)的口頭報告,與會者涵蓋了產學各界兩百多位之學者專家,可謂盛況空前。本人的演講被安排在第二天(八月十日)下午,講題是” Femtosecond relaxation dynamics of porphyrins on nanostructural thin-films for dye-sensitized solar cells”,吾人介紹了本實驗組最近在染料敏化太陽能電池上對於新穎材料的開發與元件效能提昇上的成果,尤其是本團隊與中興大學化學系葉鎮宇教授實驗室合作所開發出來的高效能紫質染料最受矚目,此外吾人亦將dye/TiO₂材料中之界面電子轉移研究的突破性結果做了簡單的報告,並與來自世界各地的飛秒化學專家在演講會場進行了詳盡及深入的討論,可說是受益良多。

二、與會心得

五天的研討會本人皆全程參與,與世界各地的專家學者充分討論,真可謂收穫豐碩。

三、建議

由本次會議的成功來看，飛秒化學的研究已受到世界各地學者專家的重視，這個技術早已普及到各領域而受到學術界的重視。建議台灣學界應當重視這項技術，充分利用超快雷射光譜來了解材料或生物上的基本過程，在基礎研究有所根基後，未來才能夠結合本土產學界專家一同來開發新興能源產業及奈米生物科技產業。

四、攜回資料名稱及內容

攜回 ABSTRACT {Femto IX – Femtochemistry, Femtobiology, and Femtophysics} 乙份，內容包括了所有演講的摘要。