

教育部教學實踐研究計畫成果報告

Project Report for MOE Teaching Practice Research Program (Cover Page)

計畫編號/Project Number：PMS1080016

學門專案分類/Division：數理

執行期間/Funding Period：108.08.01-109.07.31

有機材料化學課程應用在太陽能電池實作教學實踐研究計畫
(配合課程名稱/”有機材料化學”與”太陽能電池及系統實作”)

計畫主持人(Principal Investigator)：張源杰

共同主持人(Co-Principal Investigator)：周大新，賴英煌，王迪彥

執行機構及系所(Institution/Department/Program)：東海大學化學系

成果報告公開日期：

立即公開 延後公開(統一於 2022 年 9 月 30 日公開)

繳交報告日期(Report Submission Date)：109 年 9 月 17

目錄

一. 報告內文(Content)(至少 3 頁)

1. 研究動機與目的(Research Motive and Purpose)/文獻探討(Literature Review)
2. 研究問題(Research Question)
3. 研究設計與方法(Research Methodology)
4. 教學暨研究成果(Teaching and Research Outcomes)

二. 參考文獻(References)

三. 附件(Appendix)

(有機材料化學課程應用在太陽能電池實作教學實踐研究計畫)

一. 報告內文(Content)

台灣未來能源發展目標以綠色能源替代核能發電，所謂綠色能源分別指再生能源及節能與提升能源效率的技術。再生能源指的是水能、生物能、太陽能、風能、地熱能和海洋能。這些能源消耗之後可以恢復補充，很少產生污染。這些能量的轉換以及儲存都牽涉到化學的基本氧化還原反應，因此我們在理學院有開設兩門“有機材料化學”與“太陽能電池及系統實作”的選修課程，由四位系上老師一同授課，利用深入淺出的講課方式讓理學院大三以上以及碩博士班學生從中瞭解從次世代顯示器、薄膜電晶體、太陽能電池、燃料電池基本工作原理，以及現今能源之儲能方式基本電池工作機制之介紹。雖然這樣子的課程，能夠有效幫助學生瞭解大一到大三所學習到的基本化學基礎，如何應用到人們生活中，化學是如何增加生活之便利性。類似這樣個課程，在很多大學裡面都有開設，但是僅用投影片講課傳授知識的傳統授課方式來實施這門課程，大學有很多的跟理工相關之必修或選修課程大多是教授基本學科知識，利用考試壓力來迫使學生吸收課程內容。這樣的教學方式，對未來台灣的大學教育是迫切需要被改善的，推論下列幾點與徵詢相關領域專家學者針對「有機材料化學」課程問題：**(1)** 授課教材偏重理論，課程內容過於抽象，缺乏與實際應用結合；**(2)** 考試導向學習與實務操作之缺乏；**(3)** 互動式學習教學仍顯不足。

因此，我們四位老師從學生對這兩門“有機材料化學”與“太陽能電池及系統實作”課程的回饋，發現學生吸收成效無法達到最佳化。因此，我們四位老師提出一項教學實踐研究改善計畫，主旨為“從做中學，藉由動手操作實驗深入理解綠色能源之精義。”

1. 研究動機與目的(Research Motive and Purpose)

World Nuclear Association 2001 年指出，人類未來 50 年中，所將面臨的十大挑戰中最迫切需要解決的問題為能源與環境。近年來油價居高不下加上全球暖化持續加溫，所引發一系列連鎖效應，誠如 Friedman 所稱的世界又熱、又平、又擠，失控的程度遠超乎我們的想像，也因此如何發展與應用能源科技，將可能影響一國的環境發展、經濟發展、民生健康甚至國家安全，在這新一波的綠色革命下，許多國家都將能源產業的發展視為戰略性產業，能源產業的競爭力更是影響整體國力的關鍵力量。隨著全球氣候變遷，化石能源逐漸面臨枯竭，能源議題已為各國積極推動之研究項目，在國內外環保能源陸續展開合作的趨勢之下，發展太陽能電池是刻不容緩。又染料敏化太陽能電池(Dye Sensitized Solar Cells, 簡稱 DSSCs), 是第三代的奈米薄膜太陽電池，優點在於原料成本低、製程容易與簡單的製程設備，未來可降低太陽電池發電成本至 US\$0.2/Wp 以下，為所有太陽能電池中製作成本最低者，僅約傳統矽基太陽電池成本的 1/5~1/10。加上近年來各界環保意識抬頭，台灣科技產業也開始宣導綠色能源，有機材料對於環境不會造成污染之外，還可以將其應用在染敏太陽能電池，產生無污染的再生能源。而將有機太陽能電池實驗引入課程中，可以讓多數同學因修習基本課，從有機無機合成的概念，結合實驗課及電池元件的組裝量測，進而引發學生對於有機光電材料研究的興趣。除此以外，本課程也將介紹全世界最重要之矽基太陽電池讓理工的學生能夠有所認識，從我們生活中的實際例子，讓學生體會發展太陽能電池的重點，搭配實驗設計，讓學生能夠深入理解太陽能電池之工作原理，並了解現今發展的趨勢，進而引發學生學習興趣。另外在燃料電池與鋰電池的發展，目前已經實際運用到車子上的動力來源，TOYOTA 已經有一台燃料電池車已經在日本與北美上市，除此之外，鋰電池的儲能技術已經滲透至人類生活中，但是在學生學習過程中，往往對於電池工作機制原理跟自己在大二大三的必修課程上所修的有機化學、無機化學及物理化學無法實際連結，在這些電池當中有許多技術上的知識，都跟他們所學息息相關，這也是目前大學高教深耕中對於課程上課方式須要積極改善的

一個面向。因此改善現今課程教學方法，讓學生學習學科知識與實際生活應用能夠有效形成強力的鏈結，增加學生學習的興趣及積極度。此改善計畫強調紮實在實際操作實驗課教學上，預期有效提升學生基本知識與實驗的整合。本課程編排依此原則實行多年的結果，學生皆認為實驗課有效輔助瞭解基本有機化學的知識內容。

A. 研究計畫主題

”有機材料化學”與”太陽能電池及系統實作”兩門課程結合，將學理與實作有系統整合在一起，讓學生有效了解學用合一。

有機材料化學&太陽能電池及系統實作 課程整合



“有機材料化學”課程主題

- 有機太陽能電池導論，太陽能電池應用在室內低照度光源
 - 染敏太陽能電池
 - 鈣鈦礦太陽能電池
 - 薄膜太陽能電池
- 有機發光二極體，液晶顯示器，薄膜電晶體
 - 半導體原理
 - 有機分子設計
 - 元件應用
- 有機碳材料在燃料電池上之應用
 - 燃料電池原理
 - 燃料電池應用
- 有機碳材料在化學電池儲能(鋰電池)上之應用
 - 鋰離子電池
 - 鋁離子電池
 - 儲能材料

“太陽能電池及系統實作”課程主題

- 第三代太陽能電池染敏電池介紹與染敏電池製備組裝及量測
 - 有機及染敏太陽能電池結構及基本發電原理
 - 太陽模擬光源介紹
 - 低照度光源規範簡介

- d.有機及染敏太陽能電池實作與量測
- e.染料敏化電池結合 OLED/LED 在室內光源下的應用
- 2. 矽基半導體介紹，太陽能電池效率量測及系統整合
 - a.矽基太陽能電池結構及基本發電原理
 - b.太陽能電池與儲能系統結合介紹
 - c.矽基太陽能效率量測
 - d.有機發光二極體，薄膜電晶體升壓及降壓器模組整合實驗實作
 - e.太陽能電池與化學儲能實作
- 3.上述太陽能電池將光能轉換成化學能之實作(光輔助甲酸燃料電池)
 - a.光化學
 - b.燃料電池原理
 - c.甲酸燃料電池的展望
 - d.光輔助甲酸燃料電池
- 4.鈕扣型鋰電池組裝及實測
 - a.陰極及陽極片製備
 - b.鈕扣電池組裝
 - c.鈕扣電池之實測

B. 文獻探討

此課程，在國內外許多大學皆有開授，但實際實作的例子並不多，譬如台大有很多相關科系都有開授太陽能電池原理介紹，但由於經費及設備限制，沒辦法讓學生能夠藉由實地製作電池並進行量測，得以深入認識各種太陽能電池。相信這個課程計劃對學校及台灣未來綠能規劃能夠有效幫助到我們下一代的學子。”有機材料化學”著重學理闡述與應用介紹，”太陽能電池及系統實作”著重學生的實作課程，將兩者整合後學理與實驗並重，相輔相成。

2. 研究問題(Research Question)

本課程將結合本系周大新老師、張源杰老師、賴英煌老師及王迪彥老師本身研究的相關主題，利用個人研究資源，搭配學校的補助，希望能讓不同領域之大學生及研究生藉由動手做及理論的配合，對現今綠色能源具有深入瞭解及切身的體驗。本教學屬於系列性，評量方式以學生實際操作並且在期末進行報告為評量方式。

對象:學生須具備已修過普通化學、普通物理之理工學院基礎學科為佳。並且學生在做實驗前，必先上一堂介紹矽晶太陽能板理論、測量、數據分析等知識的課程，對矽晶太陽能有一定程度上的了解。

研究說明: 說明矽晶太陽能板/染敏太陽能電池，燃料電池及鋰電池的工作原理，並設計實驗讓學生實際測量太陽能板的效能且學習測量方法與數據分析，實作更能加深學生印象，並請在這方面的頂尖研究專家為學生進行專題演講，了解目前最新的趨勢與發展。

3. 研究設計與方法(Research Methodology)

1. 研究架構: 矽基太陽能電池/染敏太陽能電池、燃料電池及鋰電池工作原理及其如何運用

2. 研究假設:

- a. 組裝染敏太陽能電池元件，探討在不同照度下元件效率的影響及變化。
- b. 分析染敏太陽能電池元件的開路電壓與元件內電阻，對於光電子存活時間的相對關係。
- c. 矽基太陽能電池在不同的照光情形下，瞭解其電流與電壓值之變化。

- d. 在太陽光模擬器照光下，瞭解矽基太陽能板供應能量進行電解水產生高能量之化學能之變化。
- e. 燃料電池之組裝及量測其發電效能。
- f. 鋰電池之組裝及輻測其儲能功率之效能。

3. 研究方法及工具:

1. 設計染敏電池實驗 I: 利用太陽能電池光電子壽命量測儀(Controlled Intensity Modulated Photo Spectroscopy; CIMPS)分析染敏太陽能電池元件的光電子存活時間，及低照度應用研究。
2. 設計染敏電池實驗 II: 利用太陽能電池光電子壽命量測儀(Controlled Intensity Modulated Photo Spectroscopy; CIMPS)分析不同電解質影響染敏太陽能電池元件的光電子存活時間(Electron lifetime)及低照度應用研究。



圖 1、(a)太陽能電池光電子壽命量測儀 (b)多光源低照度太陽能電池量測儀
(東海化學系精密儀器中心:太陽能電池量測實驗室)

3. 太陽光模擬器(或弱光量測儀)下照光與不照光下，使用 Keithley 電表掃描得到電位對電流密度之變化曲線，並計算其光轉換效率。



圖 2、(c)Keithley 2401
(東海化學系精密儀器中心:太陽能電池量測實驗室)



圖 3、(d)太陽能光模擬器(AM1.5G; AAA) (e)單波長光電轉換儀(IPCE)
(東海化學系精密儀器中心:太陽能電池量測實驗室)

4. 操作氣體層析測量分析儀(GC)進行分析氣體種類與產量，並分析數據。



圖 4、利用氣體層析測量分析儀進行分析氣體種類與產量。

5. 利用電化學循環伏安法量測燃料電池之發電表現之效能。

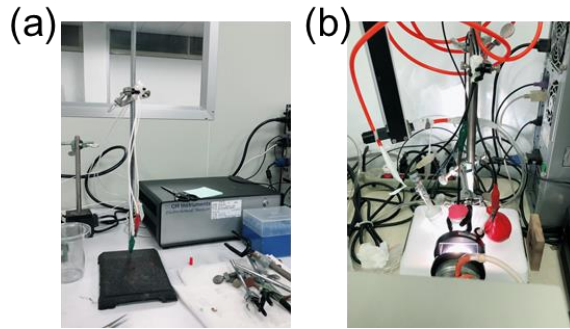


圖 5、(a)電化學工作站進行(b)燃料電池發電效能量測。

6. 充放電儀量測鈕扣型鋰電池之儲能表現效能。

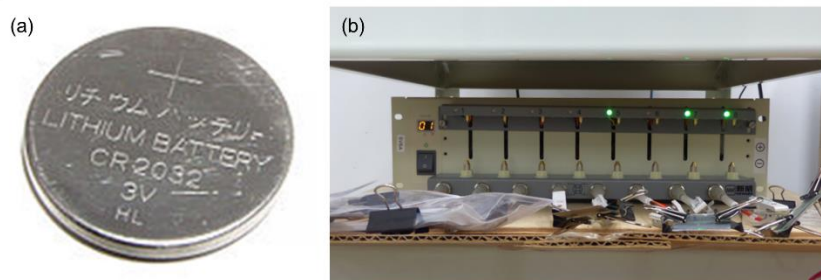


圖 6、(a)在手套箱中組裝之鋰離子鈕扣型電池，並利用(b)充放電儀器來量測其電池儲能容量之表現。

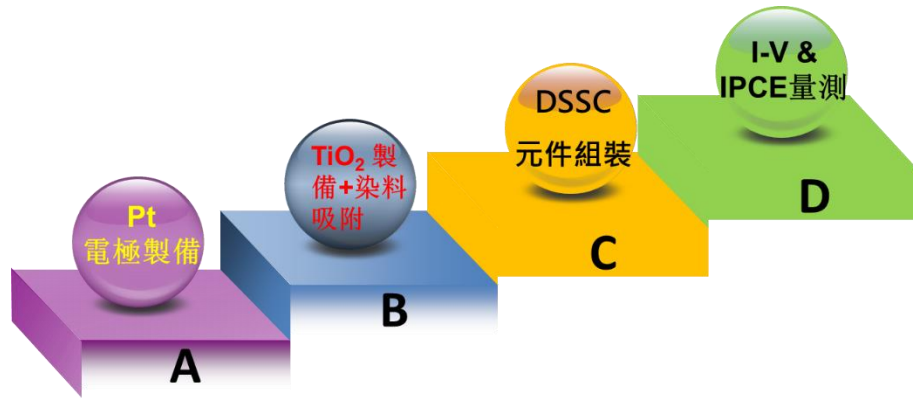
4. 實驗實施程序

1. 在室外日光、室內照明、與在暗室中等條件，利用三用電表去測量其電壓與電流的數值並記錄下來。
2. 在太陽光模擬器下照光與不照光下，使用 Keithley 電表掃描得到在不同電位下電流密度的變化。
3. 使用太陽光模擬器對矽晶太陽能板持續照光並接上外電路使用太陽能板產生的電能在一個密閉容器電解水(0.5M KOH 溶液幫助電解)，20 分鐘後用細針取出密閉容器中的氣體樣品，打進 GC(氣體層析測量分析儀)分析氣體種類與產量，並分析數據。



4. 利用水熱法製備燃料電池之陰極陽極催化劑，並組裝燃料電池之系統。利用循環伏安法量測其效能。

5. 先行製備陰極與陽極之極片，並利用氮氣手套箱在無水無氧之環境下組裝鈕扣鋰電池。
6. 染敏電池組裝及測試。



A. Pt 電極製備

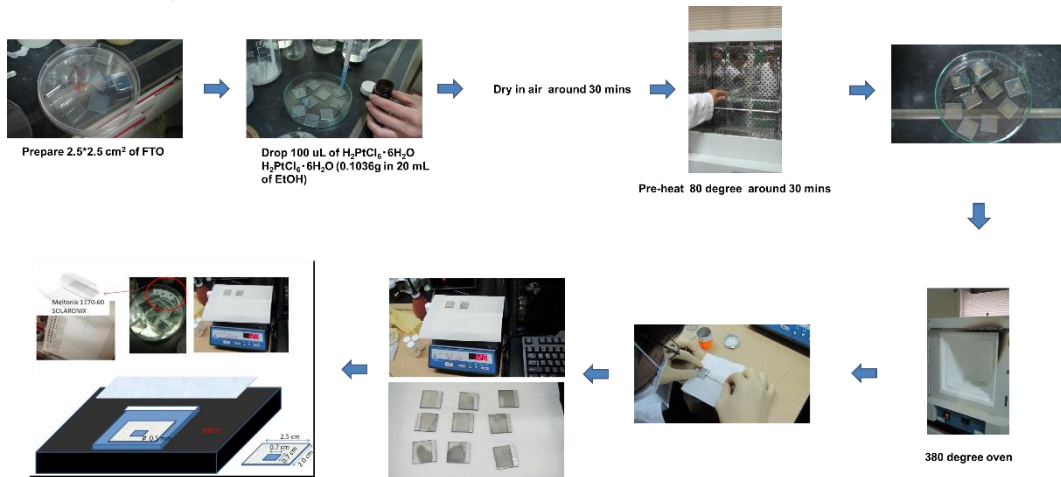


圖 7、Pt 電極製備流程

B&C. TiO 製備、染料吸附及元件組裝

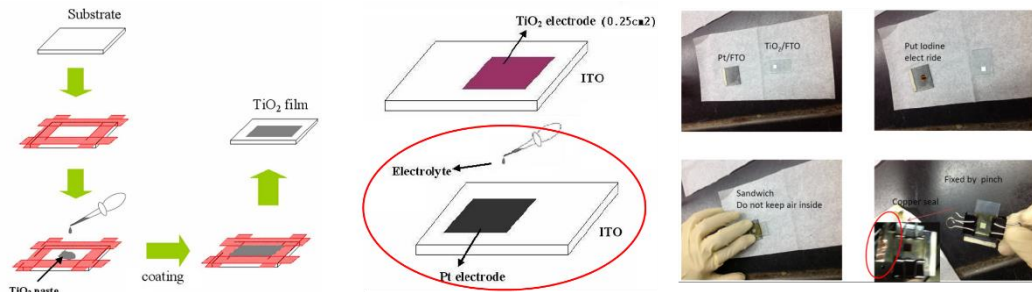


圖 8、TiO 製備、染料吸附及元件組裝流程

D1. I-V 量測步驟



圖 9、I-V 量測步驟流程

D2. IPCE 量測步驟



圖 10、IPCE 量測步驟流程

5. 資料處理與分析

1. 利用太陽光模擬器進行 I-V 系統測量與單光儀量測 IPCE 圖，並學習使用 Origin 作圖進行分析。下圖為矽基太陽能面板在太陽光模擬器下之 I-V 曲線圖與染敏電池之 IPCE 圖。
2. 氣相層析儀器操作: 利用 GC 偵測我們抽出的氣體樣品種類與實際產生的量，配合各別的檢量曲線可以算出 H_2 、 O_2 的體積，求得電解水後氫氣和氧氣的量值。圖六為 GC 測量得到之氫氣、氧氣及氮氣之氣體層析圖。並且搭配各別的檢量曲線可以算出 H_2 、 O_2 的體積，求得電解水後氫氣和氧氣的量值。
3. 利用恆電位儀量測燃料電池之效能表現，用將 data 匯出，做成圖表。

4. 利用鋰電池充放電表現圖表學習如何計算電池之充放電電容量以及相對之法拉第效率。

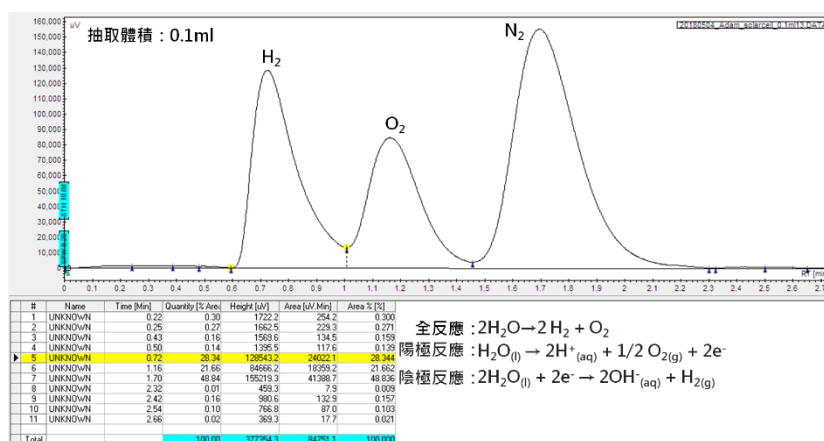


圖 11. 光電化學產生的氣體之氣相層析分析圖

4. 教學暨研究成果(Teaching and Research Outcomes)

(1) 教學成果

本研究是以修習「有機材料化學」與「太陽能電池及系統實作」的學生為研究對象，修課人數分別為 26 人與 7 人，所有修課的學生皆接受每週三小時的課堂授課與延伸的實作與討論課程，研究期程為二個學期(108 學年度上學期與 108 學年度下學期)。在課堂授課的部分，授課教師是以投影片的方式親自授課，授課內容是在教導學生對於各有機材料領域中專業理論與原理，並提供最新的技術以網路影片穿插教學。且所有的授課內容投影片，都上傳至 i-Learn 數位教學平台供修課學生複習使用，並且每堂課都會讓學生寫下心得感想。在實作與討論課程中，主要是由授課教師設計一系列的太陽能電池讓學生來做實驗與量測。當學生了解在課堂中所學的理论是能應用於實務上，學生自然就會產生學習的動力。在期末都請同學分組並且分享期末所學的報告，互動學習也加深師生間的關係。

108 上有機材料化學課程分組

1	安紀堯	林佩萱	陳建宏	蔡翔晰	葉閔昌	張嫻玲	Perovskite
2	薛乃嘉	吳冠璋	梁鈞維	張孝慈	楊志賢		DSSCs
3	許俊雯	莊佳滢	溫君潔	蔡雯亘	吳庭萱		OLED
4	康仔璇	李馨	邱筱涵	林俊佑	呂峻維		LCD
5	張易閔	劉士君	鍾浩暉	姚子頌	廖峻緯		OFET

圖 12. 108 學年度上學期有機材料化學課程分組圖



圖 13. 108 學年度上學期有機材料化學課程上課情形(張源杰教授/周大新教授)

在有機材料化學課程中，我們也邀請到專家學者演講，給同學們指導。第一位是台北科技大學李紹先教授，李紹先老師主要以近年來最受到重視的有機無機鈣鈦礦太陽能電池作為演講重點，講課深入淺出，並且舉了很多我們生活中的實力，讓學生體會發展太陽能電池的重點，以及發展的趨勢來引發學生學習興趣。鈣鈦礦(Perovskite)一開始被發現在鈣鈦礦石中的鈦酸鈣(CaTiO_3)化合物，之後便在結構為鈣鈦氧之 CaTiO_3 晶體，其結構 A 位於體心為陽離子金屬鈣，而 M 之陽離子則被 X 陰離子 (O^{2-} 、 Br^- 、 I^- ...等) 包圍形成 MX_6 八面體，並以 A 陽離子為中心由八個 MX_6 圍繞形成八面體，此為基本三維鈣鈦礦結構。A 最一開始為金屬陽離子，隨著 A 位取代之陽離子逐漸被發現，後來則演變為有機基團(如， CH_3NH_3^+ 、 $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_3^+$ 、 $\text{HC}(\text{NH}_2)^{2+}$)，M 為帶正二價金屬離子(如， Sn^{2+} 、 Pb^{2+})，X 為鹵素離子(如， Cl^- 、 Br^- 、 I^-)，而目前大部分使用的鈣鈦礦材料為 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 。而此種材料之所以適合做為光吸收材料主要是因為此鈣鈦礦材料具有合適的能帶，大約在 1.5eV，與太陽光譜匹配，且具有良好的吸收係數，因此可以吸收大部分的可見光範圍。並且同時具有傳遞電子與電洞的能力，以及電荷的擴散距離長等優勢。一開始 2009 年鈣鈦礦太陽能電池效率只有 3.8%，經過數年，許多科學家的研究。在 2015 年，韓國的化學技術研究所(KRICT)的研究團隊由 Sang Seok 領導，於 Science 期刊發表利用 formamidinium lead iodide (FAPbI₃) 取代一般文獻常使用的 methylammonium lead iodide (MAPbI₃) 作為光吸收材料，並且 FAPbI₃ 製備出來的鈣鈦礦薄膜表面平整結晶性更好，元件效率可到達 20.1%。學生在演講過程中反應也相當熱烈，對此種新穎的太陽能電池也相當感興趣。



圖 14. 李紹先教授演講活動照片(演講題目：鈣鈦礦太陽能電池原理說明)

第二位專家演講者是靜宜大學陸勤偉教授，靜宜大學陸勤偉老師主要以近年來最受到重視的有機發光二極體作為演講重點，講課深入淺出，並且舉了很多我們生活中的實力，讓學生體會發展 TADF-OLED 的重點，以及發展的趨勢來引發學生學習興趣。有機發光二極體 (organic light emitting diodes, OLEDs) 是現在光電產業與學術界的新穎技術。近年來，利用過渡金屬錯合物的磷光材料突破以往螢光材料為主的 OLEDs 元件效率，不過所使用的金屬因價格昂貴，以及考慮到礦產資源的匱乏，進而發展出第三代熱活化型延遲螢光 (thermally activated delayed fluorescence, TADF) 為主的 OLEDs。從

2009 年開始迅速成為注目焦點，藉由低成本的有機小分子就能達到優異的放光表現，代表極有潛力超越磷光材料的元件效率和穩定性。

以螢光為基礎的第一代 OLEDs，因為只能利用單重態激子的放光，所以其 EL 內部量子效率 IQE 受限於只有 25%。1998 年，M. A. Baldo、S. R. Forrest 與 M. E. Thompson 教授等人使用具有過渡金屬的有機磷光分子，透過重原子效應將 S_1 激子的藉由 ISC 過程轉移到 T_1 ，使磷光材料不但可以在室溫下被利用，更大幅提升元件效率。並開創第二代 OLEDs，成為理想的高效發光材料之一，也讓科學家紛紛投入研發新型有機金屬磷光發光材料，研究文獻也發展出達到幾乎 100% IQE 的磷光材料，外部量子效率 (EQE) 可達到 20%。直到現今，磷光依然是應用在市面上高效率 OLEDs 的重要材料。然而磷光材料所含的貴金屬如 Ir (III), Pt (II) 和 Os (II) 價格昂貴，加上礦產資源有限會有消耗完的一天，所以 OLEDs 接下來的發展，勢必得克服螢光與磷光材料面臨的問題與困難，還要達到更高效且合乎經濟效益的目標。

利用硼錯合物搭配不同的 acridan 衍生物，藉由中心苯環作為連接基，donor 和 acceptor 鍵結在間位的位向，並合成出一系列的分子，透過擁擠的結構，使空間上相鄰的電子供體和受體基團能夠形成接近正交的結構，在三重態和單重激發態之間產生極小的能隙 (ΔE_{ST} ， ~ 30 meV)。最後利用光物理、電化學測量以及理論計算探討 TADF 性質，對硼錯合物的研究進行更深入的了解。

成功合成出一系列硼錯合物，並將 TADF 材料製成 OLEDs 元件的發光層客體，應用於客體材料的效率表現上，**B-2DMAC** 的 EQE 為 19.3% (56.8 cd/A, 42.2 lm/W) 效率最高。由實驗結果發現硼錯合物具有非常良好的特性，能夠透過結構上的調整，促使三重態與單重激發態之間產生極小的 ΔE_{ST} ，此系列 D-A-D 的分子具有極小 ΔE_{ST} (~ 30 meV)、高效率的 EQE 以及高熱穩定性等優異表現，目前此系統研究已發表於 *Org. Electron.* **2018**, 63, 166-174。



圖 15. 陸勤偉教授演講活動照片(演講題目：熱延遲螢光機制之有機發光二極體發展與未來展望)



圖 16. 實作課程學生上課情形(清洗 ITO 玻璃、對電極鑽洞)



圖 17. 實作課程學生上課情形(TiO_2 塗布，熱塑膜製備)

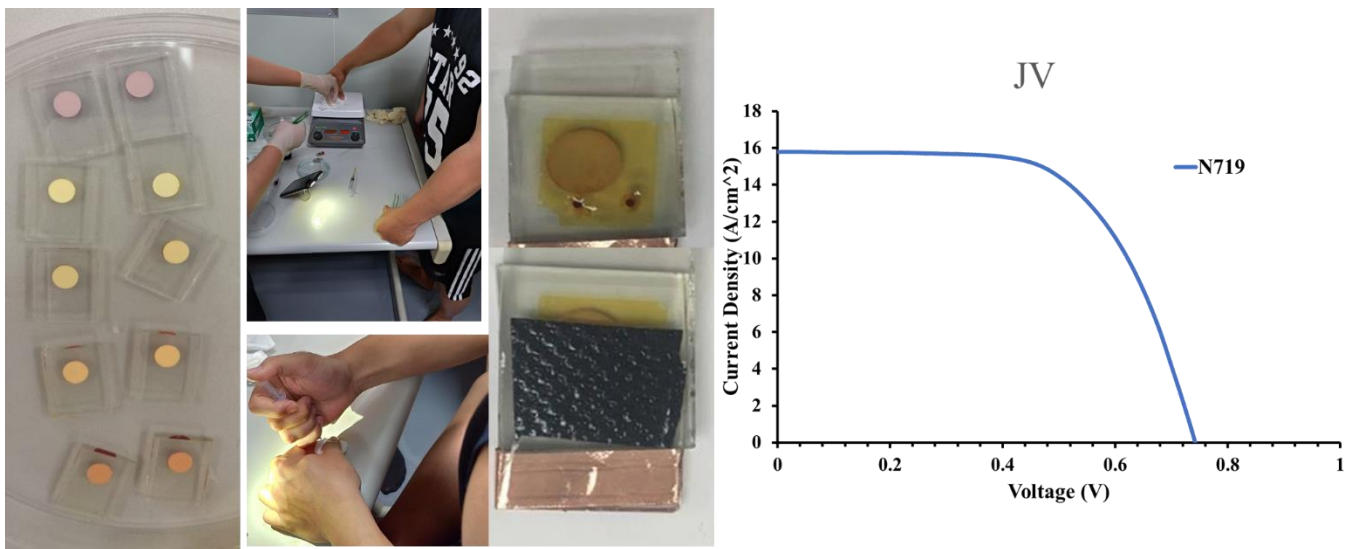


圖 18. 實作課程學生上課情形(TiO_2 塗布，熱塑膜製備)



圖 19. 實作課程學生上課情形(以太陽能板發電進行電解水實驗)

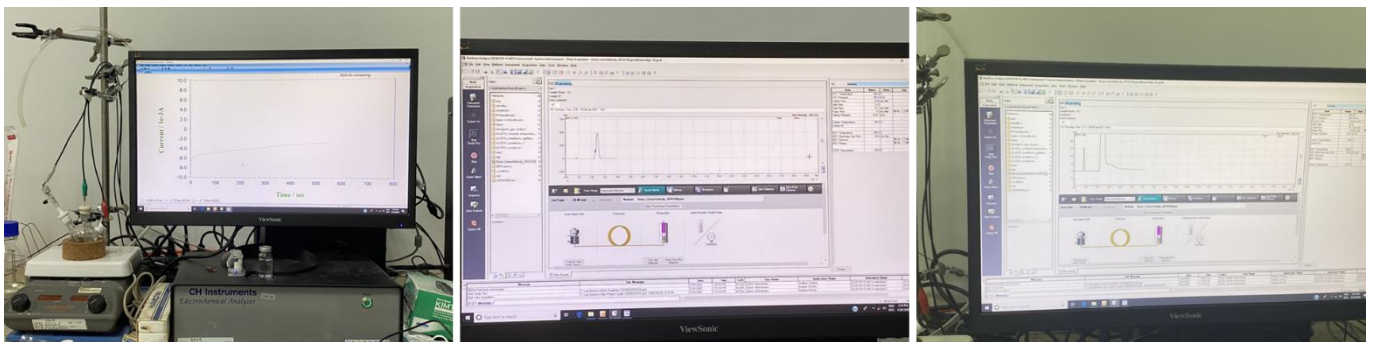


圖 20. 實作課程學生上課情形(電解水並以 GC 檢測瓶中氣體組成)

(2) 教師教學反思

以有機材料化學理論基礎及實作導向的學習方式可以得到很好的學習效果，學生的反應也都是非常正面的，對於「有機材料化學」的課程有更深入認識，有很不錯的教學成效，結合電池組裝的應用，可以大大提高學生對「太陽能電池」的理解與學習動機。由於實作與討論課程，或許在之後的課程中可以思考再增加實作與討論課程的多元性，讓學生有更多的機會接觸不同種類的科學實作實驗，學生也許會獲得更大的成長。另，授課教師亦觀察到許多修課學生仍不熟練電化學的數據分析，如 CV 等，更不用說會使用其他的儀器的問題，因此藉由增加實作與討論課程的可以加深化學系同學對於所學的儀器分析的印象，因而來改善此問題。上學期有機材料化學修課的人數有 26 人，而下學期的太陽能電池及系統實作的休克人數只有 7 位同學，詢問下得知因為時間上大部分先前有修過有機材料化學的同學課程衝堂，因而無法修這門課，這也是下次在排課上我們必須協調的。

(3) 學生學習回饋

108 學年度的修課學生對於「有機材料化學」與「太陽能電池及系統實作」的教學評鑑值，本課程所獲得的分數分別是 89.5 分與 100 分(附件一)，從以上的數據與結果顯示學生普遍對於這門課程的評價是極正面的。

二. 參考文獻(References)

- [1] A. Hagfeldt, G. Boschloo, L. Sun, L. Kloo, H. Pettersson, *Chem. Rev.*, **2010**, *110*, 6595.
- [2] F. D. Rossi, T. Pontecorvo, T. M. Brown, *Applied Energy*, **2015**, *156*, 413.
- [3] C.-L. Wang, P.-T. Lin, Y.-F. Wang, C.-W. Chang, B.-Z. Lin, H.-H. Kuo, C.-W. Hsu, S.-H. Tu, C.-Y. Lin, *J. Phys. Chem. C*, **2015**, *119*, 24282.
- [4] M.-C. Tsai, C.-Li Wang, C.-W. Chang, C.-W. Hsu, Y.-H. Hsiao, C.-L. Liu, C.-C. Wang, S.-Y. Lin, C.-Y. Lin, *J. Mater. Chem. A*, **2018**, *6*, 1995.
- [5] S. Yun, Y. Qin, A. R. Uhl, N. Vlachopoulos, M. Yin, D. Li, X. Han, A. Hagfeldt, *Energy Environ. Sci.*, **2018**, *11*, 476.
- [6] S. Yun, Y. Zhang, Q. Xu, J. Liu, Y. Qin, *Nano Energy*, **2019**, *60*, 600.
- [7] Md. K. Nazeeruddin, A. Key, I. Rodicio, R. Humphry-Baker, E. Müller, P. Liska, N. Vlachopoulos, M. Grätzel, *J. Am. Chem. Soc.*, **1993**, *115*, 6382.
- [8] M. K. Nazeeruddin, P. Péchy, T. Renouard, S. M. Zakeeruddin, R. Humphry-Baker, P. Comte, P. Liska, L. Cevey, E. Costa, V. Shklover, L. Spiccia, G. B. Deacon, C. A. Bignozzi, M. Grätzel, *J. Am. Chem. Soc.*, **2001**, *123*, 1613.
- [9] A. Kojima, K. Teshima, Y. Shirai and T. Miyasaka, *J. Am. Chem. Soc.*, 2009, **131**, 6050-6051.
- [10] L. Mazzarella, Y.-H. Lin, S. Kirner, A. B. Morales-Vilches, L. Korte, S. Albrecht, E. Crossland, B. Stannowski, C. Case, H. J. Snaith and R. Schlattmann, *Adv. Energy Mater.*, 2019, **9**, 1803241.
- [11] Y. Li, W. Yan, Y. Li, S. Wang, W. Wang, Z. Bian, L. Xiao and Q. Gong, *Sci Rep*, 2015, **5**, 14485.
- [12] S. D. Stranks, G. E. Eperon, G. Grancini, C. Menelaou, M. J. P. Alcocer, T. Leijtens, L. M. Herz, A. Petrozza and H. J. Snaith, *Science*, 2013, **342**, 341.
- [13] D. Shi, V. Adinolfi, R. Comin, M. Yuan, E. Alarousu, A. Buin, Y. Chen, S. Hoogland, A. Rothenberger, K. Katsiev, Y. Losovyj, X. Zhang, P. A. Dowben, O. F. Mohammed, E. H. Sargent and O. M. Bakr, *Science*, 2015, **347**, 519.
- [14] G. Xing, N. Mathews, S. Sun, S. S. Lim, Y. M. Lam, M. Grätzel, S. Mhaisalkar and T. C. Sum, *Science*, 2013, **342**, 344.
- [15] Q. Dong, Y. Fang, Y. Shao, P. Mulligan, J. Qiu, L. Cao and J. Huang, *Science*, 2015, **347**, 967.
- [16] M. Maciejczyk, A. Ivaturi and N. Robertson, *J. Mater. Chem. A*, 2016, **4**, 4855-4863.
- [17] B. Xu, D. Bi, Y. Hua, P. Liu, M. Cheng, M. Grätzel, L. Kloo, A. Hagfeldt and L. Sun, *Energy Environ. Sci.*, 2016, **9**, 873-877.
- [18] M. Saliba, S. Orlandi, T. Matsui, S. Aghazada, M. Cavazzini, J.-P. Correa-Baena, P. Gao, R. Scopelliti, E. Mosconi, K.-H. Dahmen, F. De Angelis, A. Abate, A. Hagfeldt, G. Pozzi, M. Graetzel and M. K. Nazeeruddin, *Nature Energy*, 2016, **1**, 15017.

三. 附件一

東海大學108學年第1學期教學意見反映統計表

研究所理學院 化學系張源杰先生

2020/09/16 19:50 列印

課程代碼	課程名稱	A	B	C	D	E	一 學生學習自評		二 教學準備		三 教學內容與方法		四 教學態度		五 教學評量		應填寫 / 不可評量學生人數	問卷填寫率 %	問卷未填寫數		
							1 這門課的學習程度約為(A)90以上(B)80-90(C)70-80(D)60-70(E)50以下	2 我對這門課的學習興趣約為(A)6以上(B)4-6(C)2-4(D)1-2(E)0-1	3 我對這門課的學習動機約為(A)6以上(B)4-6(C)2-4(D)1-2(E)0-1	4 我對這門課的學習態度約為(A)6以上(B)4-6(C)2-4(D)1-2(E)0-1	5 師提供授課大綱、課後補充資料、進度或評量方式。	6 課後補充資料與學綱相符。	7 課程內容充實、具專業性、具挑戰性、具啟發性。	8 師提供授課大綱、課後補充資料、進度或評量方式。	9 師提供授課大綱、課後補充資料、進度或評量方式。	10 師提供授課大綱、課後補充資料、進度或評量方式。				11 師提供授課大綱、課後補充資料、進度或評量方式。	12 師提供授課大綱、課後補充資料、進度或評量方式。
5366	有機材料化學	A	12	3	7	8			10	10	8	7	8	7	7	7	7	8	26	53.85	12
		B	1	4	6	5			3	3	5	5	5	6	6	5	4	0			
		C		1					1	1	1	2	1	1	1	2	2				
		D	1	2	1	1															
		E		4																	
	評量值	(A+B)/(A+B+C+D+E)							92.9	92.9	92.9	85.7	92.9	92.9	92.9	85.7	85.7	單科	A+B人數%	90.5	
		(D+E)/(A+B+C+D+E)							0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	D+E人數%				
		單科各題分數							92.9	92.9	90.0	87.1	90.0	88.6	88.6	87.1	88.6		單科分數	89.5	
	各科平均值	(A+B)/(A+B+C+D+E)							92.9	92.9	92.9	85.7	92.9	92.9	92.9	85.7	85.7	各科目	A+B人數%	90.5	
		(D+E)/(A+B+C+D+E)							0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	D+E人數%		0.0		
		各科各題分數							92.9	92.9	90.0	87.1	90.0	88.6	88.6	87.1	88.6		平均分數	89.5	

說明：(1)每題均有A、B、C、D、E不同程度之評量尺規，分別代表：A非常同意、B同意、C尚可、D不同意、E非常不同意 (2)評量值 (A+B)/(A+B+C+D+E) 即劃A、B人數之百分比；(D+E)/(A+B+C+D+E) 即劃D、E人數之百分比。單科各題分數即 A=100、B=80、C=60、D=40、E=20的平均值。學生學習自評不計分 (3)各科平均值即評量科目數二科以上的平均評量值。(4)應評量學生3人(含)以下課程；30人(含)以下且填寫率20%(含)以下課程，教學意見調查成績不採計。(5)為了讓教師更清楚學生意見反映，當學生在網路問卷填寫D或E值時可填寫理由，教師可點選表單中的人數查詢理由說明內容。

東海大學108學年第2學期教學意見反映統計表

研究所理學院 化學系張源杰先生

2020/09/16 21:30 列印

課程代碼	課程名稱	A	B	C	D	E	一 學生學習自評		二 教學準備		三 教學內容與方法		四 教學態度		五 教學評量		應填寫 / 不可評量學生人數	問卷填寫率 %	問卷未填寫數	
							1 這門課的學習程度約為(A)90以上(B)80-90(C)70-80(D)60-70(E)50以下	2 我對這門課的學習興趣約為(A)6以上(B)4-6(C)2-4(D)1-2(E)0-1	3 我對這門課的學習動機約為(A)6以上(B)4-6(C)2-4(D)1-2(E)0-1	4 我對這門課的學習態度約為(A)6以上(B)4-6(C)2-4(D)1-2(E)0-1	5 師提供授課大綱、課後補充資料、進度或評量方式。	6 課後補充資料與學綱相符。	7 課程內容充實、具專業性、具挑戰性、具啟發性。	8 師提供授課大綱、課後補充資料、進度或評量方式。	9 師提供授課大綱、課後補充資料、進度或評量方式。	10 師提供授課大綱、課後補充資料、進度或評量方式。				11 師提供授課大綱、課後補充資料、進度或評量方式。
5372	太陽能電池及系統	A	1	1	1	1			2	2	2	2	2	2	2	2	2	7	28.57	5
		B	1			1												0		
		C																		
		D			1															
		E																		
	評量值	(A+B)/(A+B+C+D+E)							100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	單科	A+B人數%	100.0
		(D+E)/(A+B+C+D+E)							0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	D+E人數%			
		單科各題分數							100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0		單科分數	100.0
	各科平均值	(A+B)/(A+B+C+D+E)							100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	各科目	A+B人數%	100.0
		(D+E)/(A+B+C+D+E)							0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	D+E人數%		0.0	
		各科各題分數							100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0		平均分數	100.0

說明：(1)每題均有A、B、C、D、E不同程度之評量尺規，分別代表：A非常同意、B同意、C尚可、D不同意、E非常不同意 (2)評量值 (A+B)/(A+B+C+D+E) 即劃A、B人數之百分比；(D+E)/(A+B+C+D+E) 即劃D、E人數之百分比。單科各題分數即 A=100、B=80、C=60、D=40、E=20的平均值。學生學習自評不計分 (3)各科平均值即評量科目數二科以上的平均評量值。(4)應評量學生3人(含)以下課程；30人(含)以下且填寫率20%(含)以下課程，教學意見調查成績不採計。(5)為了讓教師更清楚學生意見反映，當學生在網路問卷填寫D或E值時可填寫理由，教師可點選表單中的人數查詢理由說明內容。