

綠色科學之教學活動設計

-自製染料敏化太陽能電池

胡焯淳、林自奮

國立台東大學自然科學教育學系助理教授

李璿、張凱萍

國立台東大學自然科學教育學系學生

壹、前言

近幾年來，隨著人口的增長及工業的發展，地球上可供利用的能源逐漸短缺。除了要呼籲人們節省能源外，開發其他可再生能源是刻不容緩的事情。可再生能源中，以太陽能源應用於生活中最為常見，市面上太陽能車、太陽能熱水器的出現，證實了太陽能源的利用已被高度的重視與廣泛的開發，Gratzel 等人在 1991 年發表光電轉換率達 8% 的低值染料敏化太陽能電池(Dye Sensitized Solar Cells；DSSC)（Gratzel & O' Regan，1991），於 1997 年其光電轉換率更提高到 10~11%，此一發展更是奠定了染料敏化太陽能電池未來具有相當大的發展潛力（張仕欣，民 94）。以二氧化鈦為原料，與矽晶圓相比，可大幅降低成本，耐熱的穩定性及產品透明度也更適用於遮陽車窗及玻璃鏡面（曾玠郡，2006）。

本教學活動所設計的染料敏化太陽能電池，目的在於教導學生如何將太陽能轉換為電能，利用目前耳熟能詳的奈米級銳鈦礦型二氧化鈦，也就是光觸媒之一（呂宗昕，民 92），結合生活中容易取得之材料，製作出太陽能電池，亦打破以往傳統太陽能電池過於繁複的製作過程。

貳、教學活動設計

一、學習領域：自然與生活科技

二、教學主題：太陽能電力公司

三、設計理念：

我們由 Wisconsin-Madison 大學 Nanostructured Material Interdisciplinary Education Group 網站得知本實驗的製作過程，此實驗原是由 Smestad 所研發出來的(<http://www.solideas.com/solrcell/cellkit.html>)，Wisconsin-Madison 大學科教網站加以改進，其實驗結果電壓值在照光前後反應相當明顯，此現象可供學生觀察並引發學生高度的好奇心，藉此培養學生觀察及獨立思考的能力。

根據網站上製作太陽能染料敏化電池的原製備過程先將二氧化鈦加入稀釋的醋酸，以及介面活性劑(Triton X-100)後使用瑪瑙研鉢磨至光滑膏狀即可，利用三用電表測出導電玻璃的導電面，使用膠帶將導電玻璃三側黏貼固定於桌面上，將磨製好的二氧化鈦用玻棒塗抹於導電面上，完成後將膠帶移除後，把二氧化鈦面朝下放到加熱器(約 350°C) 10-20 分鐘，顏色會逐漸變成咖啡色，烤到一段時間後二氧化鈦顏色會變回綠色或白色，讓其在室溫下逐漸冷卻，之後泡在染劑中一段時間，使用水以及丙酮潤洗，將另一片導電玻璃的導電面在蠟燭的火焰上燒烤至整面呈現黑色即為碳電極，二氧化鈦電極與碳電極錯合側邊加入電解液三碘化鉀溶液，製備時使用 0.5 M 碘化鉀 和 0.05 M 碘在無水的乙二醇中)，電解液會因毛細現象擴散，太陽能敏化電池就製作完成。

因為製造材料不易取得且製作過程過於繁複，經過數次實驗後加以簡化，在本研究中利用一般容易獲得的材料取代複雜的化學藥品，將染料太陽能電池的製作方法簡化，並提供先製備好半成品供學生使用以節省時間並簡化流程。

本研究中以藥用的碘液代替原本的電解液，以地瓜葉萃取出的葉綠素取代原本的藍莓染劑，以市售清潔劑替代介面活性劑，最後用家用食用醋酸取代冰醋酸以達到有效分散二氧化鈦的目的。將複雜的原理簡化成學生易懂的概念，將電子的移動以深入淺出的方式向學生說明：染劑吸收太陽光以後，從基態跳到激發

態，釋出一個電子，電解液馬上補充染劑一個電子；二氧化鈦照光後產生電子跟電洞，染劑的電子跑到電洞中，二氧化鈦釋出一個電子，經過外迴電路到了電解液，染劑接受電解液的電子後恢復到穩定的狀態，染劑又開始吸收光能，不斷的循環著，將光能轉換為電能（張仕欣，民 94）。使用學習單的輔助，藉此了解學生多元的想法。搭配學習單，了解學生對染料敏化太陽能電池的認知及吸收程度。

四、單元目標：

- 1、學生能體會到開發可再生能源的重要性。
- 2、學生能利用方法判別是否能導電。
- 3、學生能夠列出二氧化鈦在日常生活中的應用。
- 4、學生能觀察出電壓改變的變因與光線有關。
- 5、學生能從本實驗中體會到太陽能是可被利用的能源。
- 6、能藉由此一實驗，喚醒學生愛惜地球上能源的意識。

五、教材分析：

- 1、太陽能為可再生能源中最易取得的能源，再加上課程中教師雖有提起但未深入探討其原理及種類，藉由此教學活動了解染料敏化太陽能電池的原理與簡易製作過程。
- 2、教學過程中採小組活動進行分組實驗，開放更多問題讓學生親自實驗、自行思考、觀察並紀錄實驗過程。
- 3、讓學生由舊經驗來連結新概念。例如：學生利用之前所學「通路」之觀念，來判別導電玻璃的導電面。
- 4、本單元活動設計較適合國小高年級學童。

六、九年一貫學習能力指標：

- 1-3-1-1 能依規畫的實驗步驟來執行操作。
- 1-3-4-4 由實驗的結果，獲得研判的論點。

綠色科學之教學活動設計—自製染料敏化太陽能電池

1-3-5-4 願意與同儕相互溝通，共享活動的樂趣。

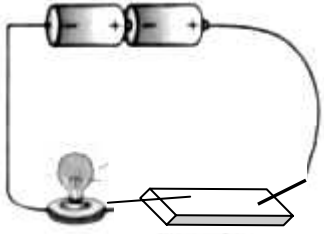
5-3-1-3 相信現象的變化有其原因，要獲得什麼結果，需營造什麼變因。

4-2-4 能運用簡單的科技以及蒐集、運用資訊來探討、了解環境及相關的議題。

七、教學時間：共 80 分鐘(兩節)

八、教學流程

教學活動：太陽能電力公司			
能力指標	1-3-1-1、1-3-4-4、1-3-5-4、5-3-1-3、4-2-4	教學時間	80 分鐘
教學目標	1-1 學生能說出目前使用的其中三種能源。 1-2 學生能比較再生能源與非再生能源的差別。 1-3 學生能體會資源有限，開發再生能源重要性。 2-1 學生可以利用迴路判別物質是否可導電。 2-2 學生可以利用三用電表判別物質是否可導電。 3-1 學生能說出二氧化鈦在日常生活中的其中一種應用。 4-1 學生能從照光變因的改變，觀察出電壓值的不同。 4-2 學生能從三用電表的電壓值變化，推導出影響電壓改變的因素。 4-3 學生能改變其他照光變因，比較實驗結果的差異。 5-1 學生能從實驗中體會到太陽能電池需要光。 5-2 學生能體會到太陽能是可被利用的能源。 6-1 學生能了解綠色能源為不會造成污染的能源。 6-2 學生能提出一種節約能源的方法。		
教具使用	1、染料敏化太陽能電池教學相關投影片。 2、學習單。 3、非再生、可再生能源相關比較。 4、三用電表、小燈泡座、省電燈管檯燈。		
實驗材料	1、導電玻璃 2、二氧化鈦(7nm，銳鈦礦型，anatase) 3、染劑(用酒精萃取地瓜葉的葉綠素) 4、藥用碘液 5、碳電極(用蠟燭燒)		

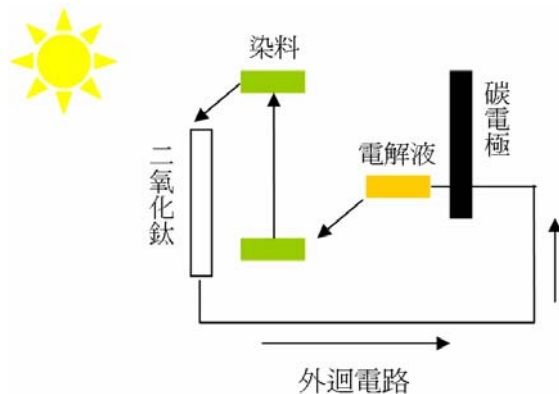
教學步驟	教學資源	教學評量
一、準備活動 1、以「太陽能電力公司」為主題，讓學生發表自己曾經聽過或看過的太陽能產品。 2、引導學生回答出除了太陽能外，還有哪些能源？進而讓學生自行將提出的能源分類成可再生能源及非再生能源，並比較其不同。 3、讓學生知道非再生資源還可使用的年限剩下多少，喚醒學生愛護資源，進而開發再生資源的危機意識。 4、太陽能為可再利用能源，而我們今天就是要學習一種利用太陽能的方式，製作太陽能電池。 二、發展活動 1、介紹主要材料(導電玻璃、二氧化鈦、正負電極) 2、測試導電玻璃的導電面： 方法一： (1) 讓學生觀察是否可使用肉眼看出導電玻璃兩面的不同。 (2) 先組裝一個燈泡的迴路，測試燈泡是否會亮。 (3) 確定通路形成後，將導電玻璃加入迴路中，再次檢測燈泡是否會亮。《圖三》 (4) 將導電玻璃換面，第二次檢測燈泡是否會亮，並且將能使迴路導電的導電面朝上。 (5) 結論：導電玻璃只有其中一面具有導電性。 	非再生、可再生能源相關比較 導電玻璃、二氧化鈦 燈泡、電池、電池座、導電玻璃	學生能發表自己的想法 學生能自行組裝一個迴路 學生能從實驗中得知導電玻璃的導電面

《圖三》利用燈泡迴路測量導電玻璃能否導電 3、介紹二氧化鈦。舉出生活中含有二氧化鈦的物質：白色油漆、立可白、立可帶，說明其用途(何鎮揚、陳雅玲、廖家榮，2004)。用來做染料敏化太陽能電池的二氧化鈦顆粒非常的細小，對光會非常敏感，光照後會產生電子跟電洞，電子帶負電，電洞帶正電，所以可以吸收太陽光的能量，將光能轉換成電能。《圖四》 《圖四》光觸媒二氧化鈦反應圖 4、製作染料敏化太陽能電池。《圖五》 《圖五》染料敏化太陽能電池示意圖 (1) 步驟一：製作碳電極。先測試導電玻璃的導電	二 氧 化 鈦 (7nm，銳鈦礦型，anatase)
--	---------------------------------------

面，將導電面朝向蠟燭，在燭火中迅速晃動，使碳均勻附著在導電面上。 (2) 步驟二：放映投影片，觀賞負電極的製作過程。 (因為時間及設備限制，無法讓學生在課堂上實際演練) (3) 步驟三：將正負電極錯合，在其中滴入碘液（電解液），用膠帶纏緊。 (4) 步驟四：用三用電表測量電壓，將三用電表調至 2000 毫伏特，觀察其電壓值。 (5) 步驟五：將染料敏化太陽能電池置入省電燈管檯燈下，讓學生觀察檯燈開關間其電壓值變化。	蠟燭、鎳子 製作負電極的 投影片 碘液、膠帶 三用電表 檯燈	學生能合作， 製作出光敏化 太陽能電池
三、綜合活動 1、將染料敏化太陽能電池置於檯燈下，碳電極面朝上，觀察其電壓值變化，填寫於學習單中。 2、將染料敏化太陽能電池置於檯燈下，調整太陽能電池與檯燈燈管間的距離，觀察其電壓值變化，填寫於學習單中。 3、將太陽能電池置於檯燈下，以檯燈模擬太陽光，分別改變太陽能電池的傾斜角度(左傾 45 度、水平放置、右傾 45 度的照光)，注意太陽能電池與檯燈間的距離不可改變（15 公分），觀察其電壓值變化，填寫於學習單中。 4、將太陽能電池放在太陽下，讓學生觀察其電壓值變化將測量出的電壓值填寫於學習單上 5、讓學生自由改變照光變因，觀察其電壓值變化，將測量出的電壓值填寫於學習單上，並說明改變電壓值的原因為光的強弱、光的多寡、太陽能電池與檯燈的位置(遠近、角度)，小組討論後上台發表。	學習單 學習單 學習單 學習單 學習單	學生能比較各種照光情形下的電壓差異，及填寫出學習單上相關問題

四、結論

- 1、所以我們可以得知：影響太陽能電池的主因是光，光的強弱、多寡會造成電壓值的改變。光照強時，電壓值較高；光照弱時，電壓值較弱。
- 2、講述染料敏化太陽能電池的原理。染劑吸收太陽光以後，從基態跳到激發態，釋出一個電子，電解液馬上補充染劑一個電子；二氧化鈦照光後產生電子跟電洞，染劑的電子跑到電洞中，二氧化鈦釋出一個電子，經過外迴電路到了電解液，染劑接受電解液的電子後恢復到穩定的狀態，染劑又開始吸收光能，不斷的循環著，將光能轉換為電能。



《圖六》染料敏化太陽能電池電流示意圖

- 3、綠色能源是指能源消耗之後可以恢復補充，很少產生污染，也就是我們之前提到的可再生能源，例如：水能、生物能、太陽能、風能、地熱能和海洋能等。
- 4、學會太陽能電池之後，讓學生知道太陽能是可以被我們所利用的，我們學會了一種利用能源的方法，但是節約能源也是相當重要的，由學生發表如何節約能源。

染料敏化太陽能電池原理投影片

讓學生發表平日如何節省能源

九、教學評量

- 1、形成性評量：教師經由組間巡視理解學生的討論狀況、參與情形，給予口頭上的指導。
- 2、藉由活動學習單的輔助，確實掌握學生的學習狀況與紀錄。
- 3、總結性評量：經由後測的結果，了解學生課後對染料敏化太陽能電池的迷思概念是否解除。

十、教學準備

- 教師：
- 1、參閱 Wisconsin-Madison 大學的科教網站，了解其實驗原理、步驟、結果，再加以簡化，以深入淺入的方式教導學生。
 - 2、準備實驗所需材料。
 - 3、事先製備負電極。
 - 4、設計學習單。
 - 5、將無法實際演練的步驟，製作成投影片，以利學生了解。

參、教學建議

- 1、建議教師勿將教學重點全盤放在染料化太陽能電池的製作上，應加強節約能源的概念，並對綠色能源有更進一步的認識。
- 2、學生會將二氧化鈦聽成二氧化碳，因為發音太為相似，再加上學生對二氧化碳較為熟悉，教師可將二氧化鈦寫在黑板上，並建議在課堂上展示二氧化鈦粉末，加深學生印象。
- 3、由於學生無法實際製作負電極，部分學生認為導電玻璃上的二氧化鈦是膠帶黏上去的，所以教學上建議教師使用投影片輔助教學，讓學生明白負電極的製作過程。或者讓學生實際觀察二氧化鈦粉末以幫助了解。

- 4、部分學生認為黑色的碳電極即為太陽能板。因為在學生的認知觀念中認為：太陽能相關產品一定都需要太陽能板，而且深入為主的觀念認為太陽能板一定都是黑色的。所以教師在教授此一概念時，可以拿碳電極跟乾電池裡的碳電極作比較，向他們說明碳電極只是輔助用的電極，真正與陽光進行反應的是二氧化鈦。也可以比較將二氧化鈦面朝向光源跟碳電極朝向光源時電壓值有何差異。實驗結果可以明顯發現當將碳電極朝向光源時，電壓不會明顯上升，利用此一結果向學生說明，真正吸收光能的不是碳電極，而是二氧化鈦。
- 5、在進行正負電極交錯組合時，由於教具太小，導致學生觀察不易，建議教師可使用投影片，講授交錯組合的用途與目的；或是請學生分組到教室前面來了解如何操作交錯組合電池。因為此步驟為染料敏化太陽能電池的最後關鍵，教師務必確保學生都已正確完成，才能進行測量電壓的部份。
- 6、染料太陽能電池產生電子流動的原理過於繁雜，且高年級學生無法理解電子流動後在外迴電路接上電器後即可被我們所利用，建議教師在外迴電路中裝上燈泡，以發亮的燈泡輔助原理的講解。
- 7、三用電表的測量方法不夠生活化，在講解時可多利用時間說明，使學生可以推論電壓上升是因為照射太陽光的關係。
- 8、三用電表轉盤標示不夠明確，導致學生無法轉至正確位置，建議教師可在三用電表的電壓測定值的位置畫上記號，以利學生使用。
- 9、教學過程中，學生提出溫度上升，會導致電壓值升高。經實驗證明後，溫度上升電壓值下降。可以將染料敏化太陽能電池置入冰桶中降溫後，放在檯燈下使溫度慢慢回升，可以觀察出電壓值逐漸下降。
- 10、本實驗中所使用的地瓜葉色素在酸性中會呈現黃色，在鹼性中則呈現墨綠色，亦可作為酸鹼指示劑，課程的設計亦可將『自製天然酸鹼指示劑』與本課程結合，作為兩星期的活動。

肆、補充資料

1. 二氧化鈦俗稱鈦白粉，一共有三種結晶型態：金紅石 (rutile)、銳鈦礦 (anatase) 與板鈦礦 (brookite)，以前兩者含量最多，應用也最廣，目前市面上所使用的光觸媒是銳鈦礦的型態，而一般的白色漆或立可白中所含的二氧化鈦為金紅石的晶態，不具光觸媒的性質。(呂宗昕，民 92)。

2. 導電玻璃為將透明的導電物質如銦錫氧化物(indium tin oxide，ITO)塗佈在玻璃上，使其變為可以導電的玻璃，廣泛運用於光電產業。

3. 負電極的製備過程：

步驟 1、將數滴已稀釋的家用醋酸及 2 滴市售清潔劑加入一匙的二氧化鈦中，並用瑪瑙研鉢研磨。

步驟 2、用三用電表測量導電玻璃的電阻值，確認導電玻璃的導電面。

步驟 3、在導電玻璃的非導電面上切割。

步驟 4、將玻璃用膠帶在三側固定。

步驟 5、在導電面塗上二氧化鈦，最後用玻棒將其推均勻。

步驟 6、放在加熱板上烤 30 分鐘。

步驟 7、製作染料。將地瓜葉溶在酒精中隔水加熱萃取。

步驟 8、從高溫爐取出後，放入染劑中浸泡一天。

4. 染料敏化太陽能電池的工作原理：

染料分子吸收太陽光能後將之基態(Ground State)的電子躍遷到激發態(Excited State)，但激發態的電子很不穩定，因此激發態的電子快速注入到緊鄰的 TiO_2 傳導帶，染料失去的電子則很快從電解質中得到補償，進入傳導帶 TiO_2 中的電子最終進入 ITO 導電層，然後通過外迴路產生光電流（張仕欣，民 94）。

註：學習單請參考電子全文版

<http://www.npue.edu.tw/academic/grad-ms/science/magazine/contents/magazine25.htm>

參考文獻

呂宗昕(2003)。圖解奈米科技與光觸媒。台北：商周。

何鎮揚、陳雅玲、廖家榮(2004)。奈米科技交響曲 化學篇。台北：台大出版中心。

張仕欣（2005）。奈米粉體於染料敏化太陽能電池之應用。工業材料雜誌，225，91-94。

曾玠郡（譯）（2006），D. M. Kammen 著。擁抱再生能源。科學人，56，96-97。

Titanium Dioxide Raspberry Solar Cell.（2005, November 28）.

Wisconsin:Nanostructured Material Interdisciplinary Education Group. Retrieved March 8, 2006, from the World Wide Web:

<http://mrsec.wisc.edu/Edetc/nanolab/index.html>

Gratzel, M & O'Regan, B（1991）. A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films. *Nature*, 353, 737-739.