

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 理化科

第三名

031625

鈦白粉也發電--染料敏化太陽能電池之相關研究

學校名稱： 新竹市立光華國民中學

作者：	指導老師：
國二 汪士惟	林慧玲
國二 林浩正	

關 鍵 詞：染料敏化、太陽能電池、二氧化鈦

壹、 摘要

在本實驗，主要針對染料敏化太陽能電池的幾個變因來研究：染料、二氧化鈦膜厚度、電解質 pH 值、電解質組成比例以及光源照度對染料敏化太陽能電池光電轉換的影響。染料部分，採用了葉綠素、花青素、甲基藍、汞溴紅四種染料來比較，未染色為對照組。結果以甲基藍的敏化效率為最佳。在二氧化鈦薄膜厚度時，發現較薄的膜有較高的光電轉換效率。電解質 pH 值方面，發現酸性與中性的電流傳導效率較佳，鹼性則偏弱。此外，我們亦發現波長較短的光對染料敏化太陽能電池的電子電洞分離效果較佳。我們藉著控制電解質中碘化鉀的濃度，試著改進其電流傳導性能，結果發現在重量比(wt)為碘/碘化鉀/水(1/X/10)的系統之中，X 約等於 10-13 有最佳的表現。在光度曲線方面，將自製太陽能電池以不同照度測試其電壓、電流值，電壓電流均隨照度增度而增加，發現電壓值在超過 12000Lux 時會突然下降。最後，我們測試了染料敏化太陽能電池的壽命，發現染料敏化太陽能電池的電壓/電流值在 48 小時內無削弱的趨勢。在補充實驗裡，我們嘗試了以二氧化鈦膜的大小為變因，觀察其光電流密度的改變情形，並比較各種鍍膜方式，以找出最經濟的鍍膜方法。

貳、 研究動機

在二十一世紀的今天，能源嚴重不足，油價節節高升，而下一代的能源如風力，明顯效率不彰，而核能與火力發電等，又有難以處理的輻射和廢料問題，於是我們就把腦筋動到能源取之不盡，用之不竭的太陽上。目前的單晶／多晶矽太陽能電池由於其價格相當的高昂，難以普及。所以我們便朝向較有商業可行性、價格較低廉的色素增感型太陽能電池(染料敏化太陽能電池，DSSC)做研究，探討其染料、薄膜與電解質方面的變因，希望能改良出更環保、更有效率、價格更低廉的染料敏化太陽能電池。

參、 研究目的

藉由本次實驗，希望瞭解以下幾點事實：

- 一、不同種類染料對二氧化鈦敏化之效率。
- 二、二氧化鈦膜厚度對太陽能電池效率之影響。
- 三、pH 值對電解質效率之影響。
- 四、不同色光對太陽能電池性能之影響。
- 五、電解質組成比例對太陽能電池性能之影響。
- 六、探討自製太陽能電池之電壓/電流曲線。
- 七、染料敏化太陽能電池之壽命探討。
- 八、光電極面積大小對染料敏化太陽能電池電流密度之影響。
- 九、不同鍍膜法的產生電壓/電流之比較。

肆、 研究設備與器材

一、藥品類

奈米二氧化鈦顆粒係來自德國 Degussa 公司，平均粒徑為 20 nm，為固體粉末狀態。其餘化學藥品，二氧化鈦(金紅石型)、碘、碘化鉀、鹽酸、氫氧化鈉、PMMA(聚甲基丙烯酸甲酯， $M_n=75000$)、THF(四氫呋喃)、Aliquat336(界面活性劑)及甲基藍、紅汞液均購自 Aldrich 化學公司，不經純化即使用。染料方面，葉綠素、花青素為本實驗自行萃取，詳述於前置實驗一、二。

二、儀器類

檯燈、照度計。

三、其他

ITO 導電玻璃 (3X3cm)、三秒膠、沙拉脫、溫度計、紅、黃、藍色濾色片、紙箱及其它實驗所需使用到的設備及器材。



伍、 原理

一、光觸媒的光電轉換原理：

因為半導體有的能帶結構相當的特殊，上面一層為傳導帶，下層則為價電子帶，之間的區域稱為能隙(band gap，即禁制帶)。當原子數目少時，電子各佔據不同軌道，各軌道能帶是分離的，且各有不同能量。當原子數目增加後，各分離軌道的能量差值減小至無法分辨的情形下，會形成一帶狀區域，稱為能帶。當無外界能量激發時，所有的電子都在價電子帶中，這些電子沒有導電的作用。這些電子如果想具有導電的功能，必須越過一定的能量門檻，這個門檻的高低就是能隙的大小。當半導體材料受到外界能量（如光、熱、電場）的刺激，如果所受到刺激大於能隙能量時，在價電子帶中的電子可越過能隙，進入傳導帶中變成自由電子。自由電子在傳導帶中可移動自如，產生導電的作用。同時在原本的價電子帶中也會相對產生一個電洞，而電洞產生的數目則與自由電子一樣多。

光觸媒（photocatalyst）是一種「利用光能，進行催化反應的觸媒」。從化學作用來看，光觸媒是一種半導體結晶材料，被光照射以後，材料中的電子會跳出來，並留下一個具有強大氧化能力的帶正電孔洞，這些電子與電洞在化學上稱為「電子電洞對」。適合作為光觸媒的材料必須具有半導體特性，例如氧化鋅（ZnO）、

二氧化鈦 (TiO_2)、二氧化錫 (SnO_2)、硫化鎘 (CdS) 等都是，而所有材料中，又以二氧化鈦的氧化還原力較強，並具有化學性質穩定、對環境無害、材料價格低廉等優勢。所以，目前使用的光觸媒材料大都以二氧化鈦為主。光觸媒 (Photo-catalyst) 於照光後產生的電子與電洞在未相互結合前，將有機會移動至固體表面，以進行一連串的氧化還原反應。本實驗透過市售的大顆粒二氧化鈦，配合各種不同的染料，以不同的光源進行太陽能電池的光電流研究。

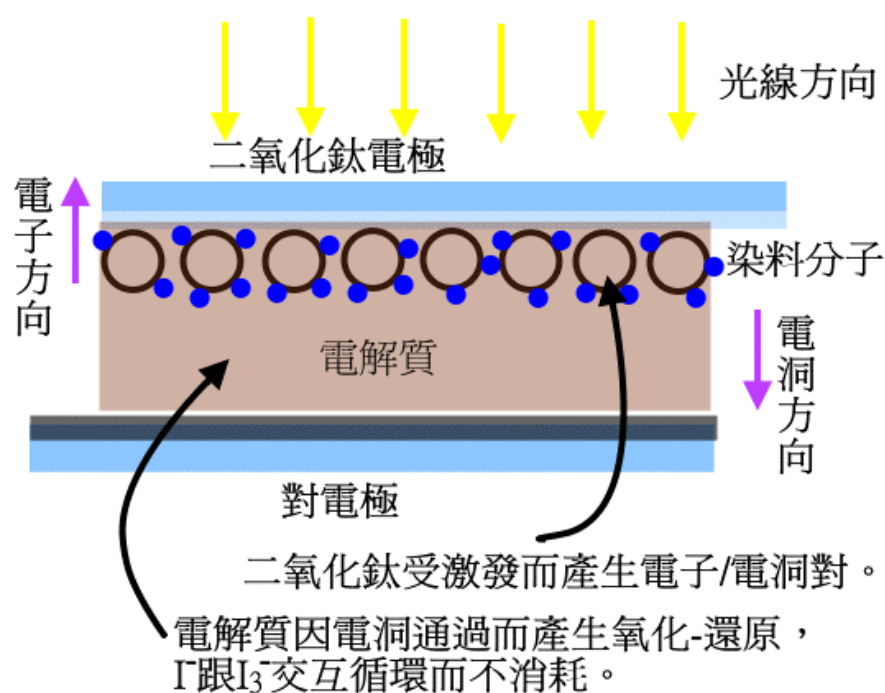
二、染料與二氧化鈦電極：

染料的功用是吸收光譜以及敏化二氧化鈦之能帶，並激發其產生電子/電洞對，當電子傳導至二氧化鈦電極，電洞則會利用電解液傳導至對電極（碳膜）。

三、電解質：

作為染料敏化太陽能電池的電解質，必須可以循環利用，以維持其壽命，目前最常見的電解質是碘與碘化鉀溶液，因為電洞通過時可以產生 I^- 與 I_3^- 離子的氧化還原反應，而可以循環不消耗。

四、染料敏化太陽能電池工作示意圖：



示意圖一：染料敏化太陽能電池

陸、 研究過程

前置實驗一：葉綠素之製備

實驗目的：以日常生活中常見的地瓜葉來提煉出所需之染色用葉綠素。

實驗步驟：

- 1、 取地瓜葉數片並放入研鉢之中。
- 2、 加入 5 mL 的酒精和 5 mL 水，並搗碎之。
- 3、 搗碎至酒精水溶液呈現出明顯的綠色。
- 4、 準備一個漏斗並在裡面置入濾紙(直徑 110 mm)，並將呈現綠色的酒精水溶液加入其內。
- 5、 等待綠色水溶液過濾出，將得到含有葉綠素之酒精水溶液。

實驗結果：得到含有葉綠素之酒精水溶液

前置實驗二：花青素之製備

實驗目的：以日常生活中常見的紫蕃薯來提煉出所需之染色用花青素。

實驗步驟：

- 1、 取些許紫蕃薯之紫色塊根部份加入研鉢內。
- 2、 加入 5 mL 的酒精和 5 mL 水，並搗碎之。
- 3、 搗碎至酒精水溶液呈現出明顯的紫色。
- 4、 準備一個漏斗並在裡面置入濾紙(直徑 110 mm)，並將呈現紫色的酒精水溶液加入其內。
- 5、 等待紫色水溶液過濾出，將得到含有花青素之酒精水溶液。

實驗結果：得到含有花青素之酒精水溶液

前置實驗三：二氧化鈦染料敏化太陽能電池之製備(見下頁圖)

實驗目的：確實的把二氧化鈦染料敏化太陽能電池製作出來，並達到一定效能。

實驗步驟：

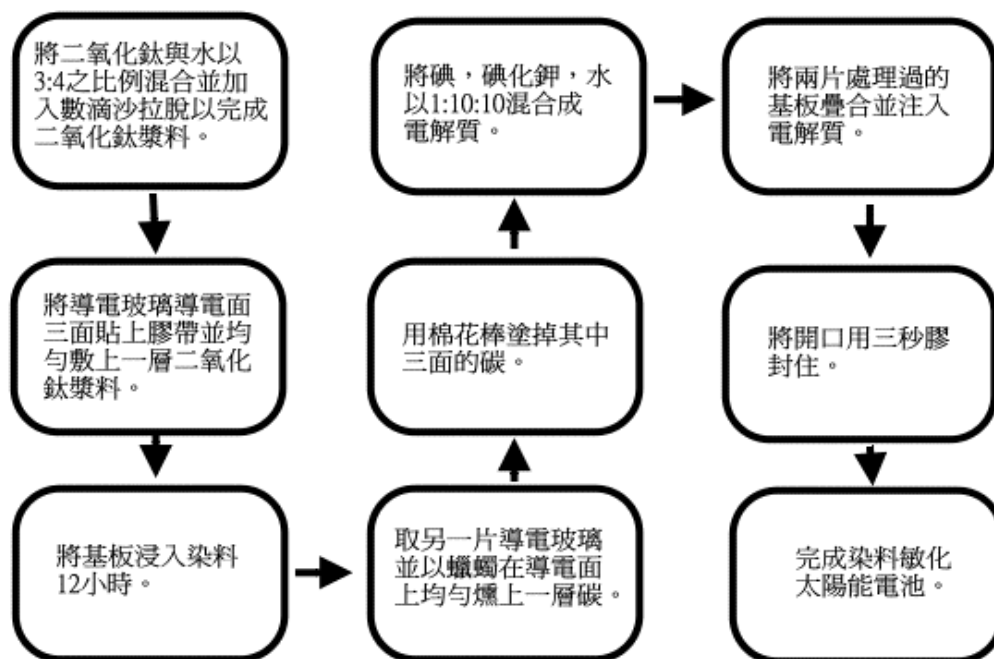
- 1、調配二氧化鈦:水=3:4(質量比)之二氧化鈦漿料。
- 2、加入 3 滴沙拉脫並攪拌均勻。
- 3、將 ITO 導電面朝上，三面貼上膠帶以控制膜厚。
- 4、均勻塗上漿料，再用玻璃刮除多餘漿料，製做出約 8 cm² 大小的二氧化鈦薄膜。
- 5、步驟 1~4 所用的導電玻璃置入染色劑(甲基藍)內染色 12 小時。
- 6、取三片乾淨 ITO，在導電面上用蠟燭燻一層碳。
- 7、用棉花棒將三邊略塗掉，塗上三秒膠。
- 8、將染色過的基板二氧化鈦面朝下覆蓋於碳膜上。
- 9、注入碘/碘化鉀/水以重量比 1/10/10 之比例混合之電解質。

10、用三秒膠將另一邊封住。

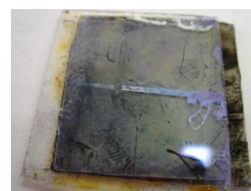
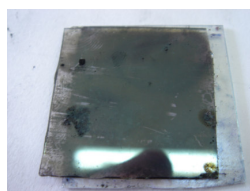
11、控制光度為 4000Lux，量測電壓、電流。

開路電壓	654mV
短路電流	148 μ A

實驗結果：做出一個染料敏化太陽能電池



示意圖二：二氧化鈦染料敏化太陽能電池之製備

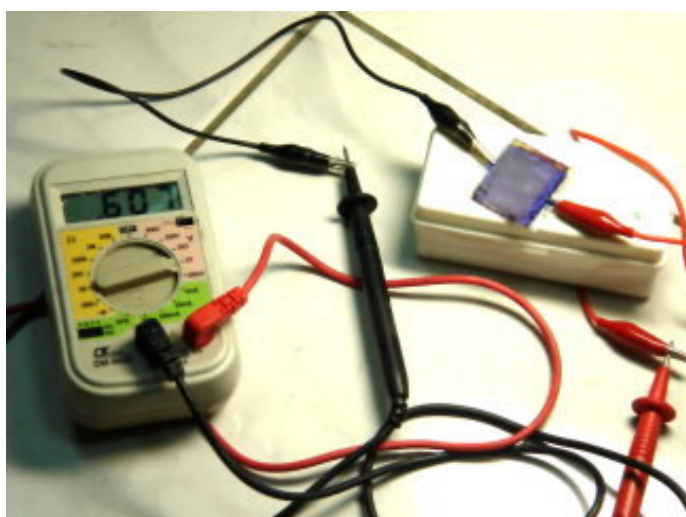


示意圖三：

二氧化鈦電極。
(已染色，甲基藍)

對電極（碳）。

太陽能電池 1。



太陽能電池 2。

一、不同種類染料對二氧化鈦敏化之效率

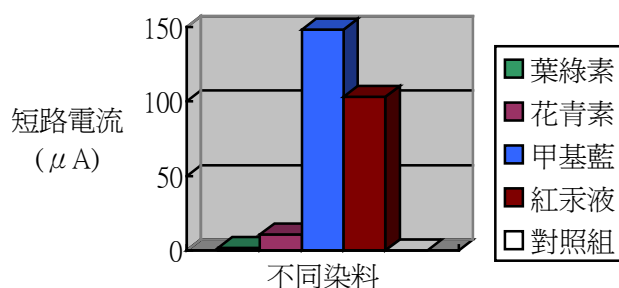
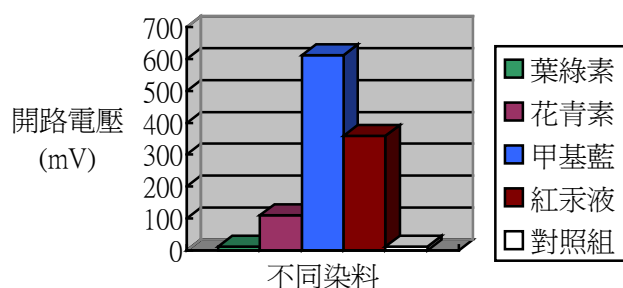
實驗步驟：

- 1、利用前置實驗三的方法製作二氧化鈦電極五片。(約 8 cm^2 大小)。
- 2、調配葉綠素、花青素、紅汞液、甲基藍溶液，將步驟 1 所製的四片基板泡入溶液中 12 小時後取出。
- 3、取五片乾淨 ITO，在導電面上用蠟燭燻一層碳。
- 4、用棉花棒將三邊略塗掉，塗上三秒膠。
- 5、將染色過的基板二氧化鈦面朝下覆蓋於碳膜上。
- 6、注入碘/碘化鉀/水以 1/10/10 之比例混合之電解質。
- 7、用三秒膠將另一邊封住。
- 8、控制光度為 4000Lux(離檯燈 20cm)，量測電壓、電流。
- 9、改用另外三種色素基板，重複步驟 4~8。
- 10、將第五片二氧化鈦基板不染色直接重複 3~8。

實驗結果：

染料種類	葉綠素	花青素	紅汞液	甲基藍	對照(未染色)
開路電壓(第 1 次)mV	10	116	353	605	21
開路電壓(第 2 次)mV	16	110	361	619	13
開路電壓(第 3 次)mV	8	104	362	612	14
平均電壓 mV	11	110	359	612	17

染料種類	葉綠素	花青素	紅汞液	甲基藍	對照(未染色)
短路電流(第 1 次) μA	1	8	99	148	1
短路電流(第 2 次) μA	2	12	104	148	0(小於 1)
短路電流(第 3 次) μA	2	13	106	147	0(小於 1)
平均電流 μA	2	11	103	148	0(小於 1)



根據結果可知，電壓方面，甲基藍之效果最好，紅汞液次之，花青素第三，未染色(對照組)第四，葉綠素最弱；電流方面，甲基藍之效果最好，紅汞液次之，花青素第三，葉綠素第四，未染色(對照組)最弱(電流值小於 $1\text{ }\mu\text{A}$ 以致三用電表測不到電流值)。

二、二氧化鈦膜厚度對太陽能電池效率之影響

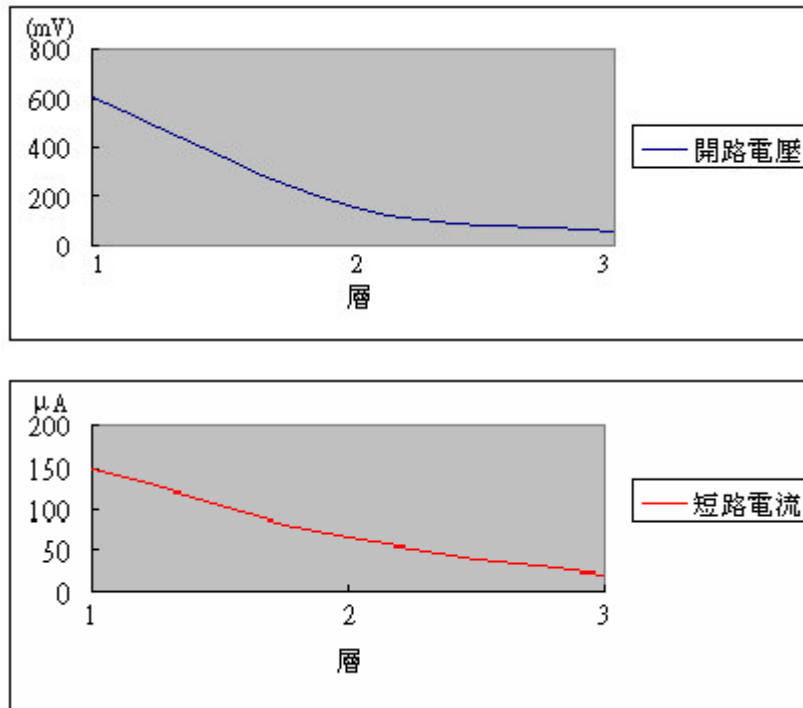
實驗步驟：

- 1、調配二氧化鈦:水=3:4 之二氧化鈦漿料。
- 2、加入 3 滴沙拉脫並攪拌均勻。
- 3、將 ITO 導電面朝上，三面貼上膠帶。
- 4、均勻塗上漿料，再用玻璃刮除多餘漿料，製做出約 8 cm^2 大小的二氧化鈦薄膜。
- 5、重複步驟 1~2，並將步驟 3 的部份改用 2 層，再重複步驟 4。
- 6、重複步驟 5，並改用 3 層膠帶。
- 7、將 3 片基板置入甲基藍溶液中浸泡 12 小時。
- 8、取三片乾淨 ITO，在導電面上用蠟燭燻一層碳。
- 9、用棉花棒將三邊略塗掉，塗上三秒膠。
- 10、將染色過的基板二氧化鈦面朝下覆蓋於碳膜上。
- 11、注入碘/碘化鉀/水以 1/10/10 之比例混合之電解質。
- 12、用三秒膠將另一邊封住。
- 13、控制光度為 4000Lux，量測電壓、電流。
- 14、改用另外兩種厚度基板，重複步驟 8~13。

實驗結果：

薄膜厚度	一層	二層	三層
開路電壓(第 1 次)mV	610	154	56
開路電壓(第 2 次)mV	600	156	50
開路電壓(第 3 次)mV	603	155	53
平均電壓 mV	604	155	53

薄膜厚度	一層	二層	三層
短路電流(第 1 次) μA	149	62	21
短路電流(第 2 次) μA	148	64	21
短路電流(第 3 次) μA	149	65	19
平均電流 μA	149	64	20



根據結果可知，薄膜越薄，太陽能電池效率越高。

三、pH 值對電解質效率之影響

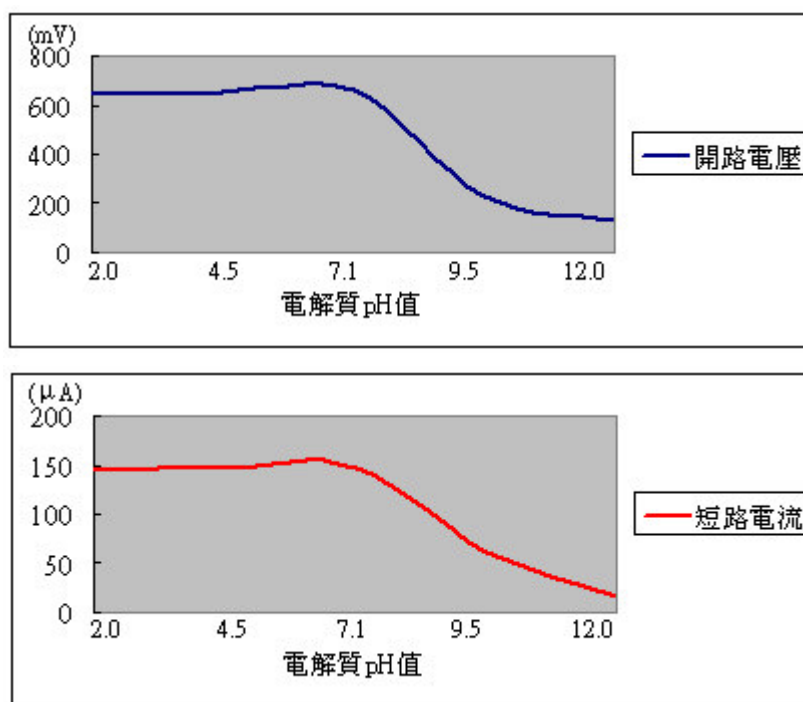
實驗步驟：

- 1、利用前置實驗三的方法製作二氧化鈦電極五片。(約 8 cm^2 大小)。
- 2、將五片基板置入甲基藍溶液中浸泡 12 小時。
- 3、取五片乾淨 ITO，在導電面上用蠟燭燻一層碳。
- 4、用棉花棒將三邊略塗掉，塗上三秒膠。
- 5、將染色過的基板二氧化鈦面朝下覆蓋於碳膜上。
- 6、注入碘/碘化鉀/水以 1/10/10 之比例混合之電解質。
- 7、用三秒膠將另一邊封住。
- 8、控制光度為 4000Lux，量測其電壓及電流。
- 9、碘/碘化鉀/水以 1/10/10 之比例混合並加入鹽酸調製成 pH=2.0 之電解質溶液。
- 10、使用此電解質重複步驟 6~7。
- 11、碘/碘化鉀/水以 1/10/10 之比例混合並加入鹽酸調製成 pH=4.5 之電解質溶液。
- 12、使用此電解質重複步驟 6~7。
- 13、碘/碘化鉀/水以 1/10/10 之比例混合並加入氫氧化鈉調製成 pH=9.5 之電解質溶液。
- 14、使用此電解質重複步驟 6~7。
- 15、碘/碘化鉀/水以 1/10/10 之比例混合並加入氫氧化鈉調製成 pH=12.0 之電解質溶液。

實驗結果：

電解質 pH 值	2.0	4.5	7.1(對照組)	9.5	12.0
開路電壓(第 1 次)mV	653	655	665	227	132
開路電壓(第 2 次)mV	651	663	657	226	133
開路電壓(第 3 次)mV	650	656	661	229	132
平均電壓 mV	651	658	661	227	132

電解質 pH 值	2.0	4.5	7.1(對照組)	9.5	12.0
短路電流(第 1 次) μA	145	148	149	61	13
短路電流(第 2 次) μA	144	150	149	62	15
短路電流(第 3 次) μA	143	147	149	63	16
平均電流 μA	144	148	149	62	14



根據結果可知，中性電解液與酸性差距不大，鹼性則較弱。

四、不同色光對太陽能電池光電效應之影響。

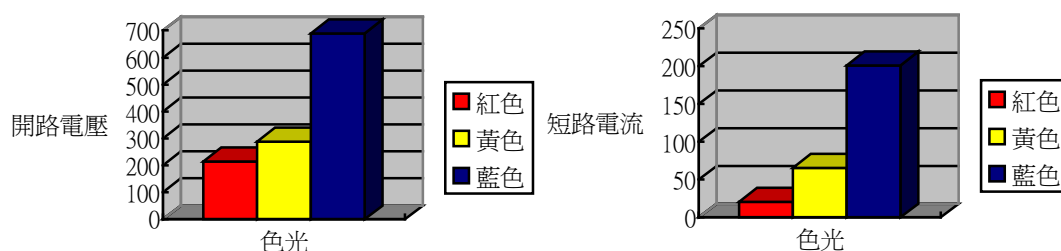
實驗步驟：

- 1、利用前置實驗三的方法製作二氧化鈦電極(約 8 cm^2 大小)。
- 2、將基板置入甲基藍溶液中浸泡 12 小時。
- 3、取乾淨 ITO，在導電面上用蠟燭燻一層碳。
- 4、用棉花棒將三邊略塗掉，塗上三秒膠。
- 5、將染色過的基板二氧化鈦面朝下覆蓋於碳膜上。
- 6、注入碘/碘化鉀/水以 1/10/10 之比例混合之電解質。
- 7、用三秒膠將另一邊封住。
- 8、分別用紅色、黃色、藍色濾色片包住光源，並將照度控制在 4000Lux，量測其電壓。

實驗結果：

色光	紅色	黃色	藍色
開路電壓(第1次) mV	211	291	691
開路電壓(第2次) mV	217	289	688
開路電壓(第3次) mV	214	287	690
平均電壓 mV	214	289	690

色光	紅色	黃色	藍色
短路電流(第1次) μA	20	66	199
短路電流(第2次) μA	21	67	202
短路電流(第3次) μA	20	65	203
平均電流 μA	20	66	201



根據結果可知，光子波長越短（帶能量越高），光電效應越強。

五、電解質組成比例對太陽能電池性能之影響

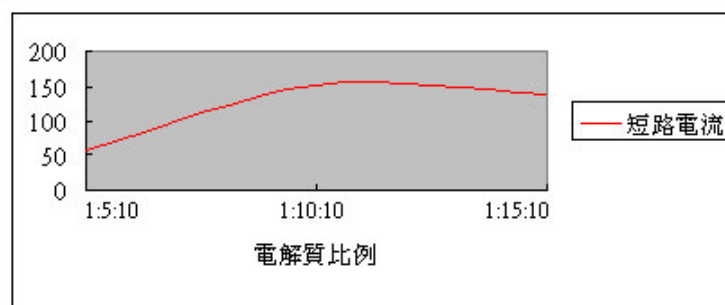
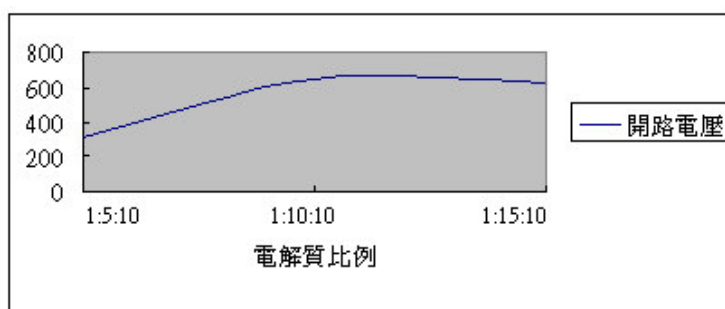
實驗步驟：

- 1、利用前置實驗三的方法製作二氧化鈦電極(約 8 cm^2 大小)。
- 2、將基板置入甲基藍溶液中浸泡 12 小時。
- 3、取三片乾淨 ITO，在導電面上用蠟燭燻一層碳。
- 4、用棉花棒將三邊略塗掉，塗上三秒膠。
- 5、將染色過的基板二氧化鈦面朝下覆蓋於碳膜上。
- 6、注入碘/碘化鉀/水以 1/10/10 之比例混合之電解質。
- 7、用三秒膠將另一邊封住。
- 8、控制光度為 4000Lux，量測電壓、電流。
- 9、將碘/碘化鉀/水以 1/5/10、1/7.5/10、1/12.5/10、1/15/10 比例混合並重複步驟 6~8。

實驗結果：

碘:碘化鉀:水	1:5:10	1:7.5:10	1:10:10	1:12.5:10	1:15:10
開路電壓(第 1 次)mV	313	441	650	647	626
開路電壓(第 2 次)mV	312	444	650	650	628
開路電壓(第 3 次)mV	312	445	651	649	629
平均電壓 mV	312	443	650	649	628

碘:碘化鉀:水	1:5:10	1:7.5:10	1:10:10	1:12.5:10	1:15:10
短路電流(第 1 次) μA	56	108	151	153	139
短路電流(第 2 次) μA	57	110	152	158	139
短路電流(第 3 次) μA	58	111	152	149	136
平均電流 μA	57	110	152	153	138



根據結果可知，碘/碘化鉀/水的比例電壓部分為以 1/10/10 為最佳，電流部分則以 1/12.5/10 最佳。

六、探討自製太陽能電池之電壓/電流曲線。

實驗步驟：

- 1、利用前置實驗三的方法製作二氧化鈦電極(約 8 cm^2 大小)。
- 2、將基板置入甲基藍溶液中浸泡 12 小時。
- 3、取乾淨 ITO，在導電面上用蠟燭燻一層碳。
- 4、用棉花棒將三邊略塗掉，塗上三秒膠。
- 5、將染色過的基板二氧化鈦面朝下覆蓋於碳膜上。
- 6、注入碘/碘化鉀/水以 1/10/10 之比例混合之電解質。
- 7、用三秒膠將另一邊封住。
- 8、取光度計一台，用紙箱與光源控制光度由 1000Lux~15000Lux，同時量測自製太陽能電池之電壓/電流描下各點並連接成曲線圖形。

實驗結果：

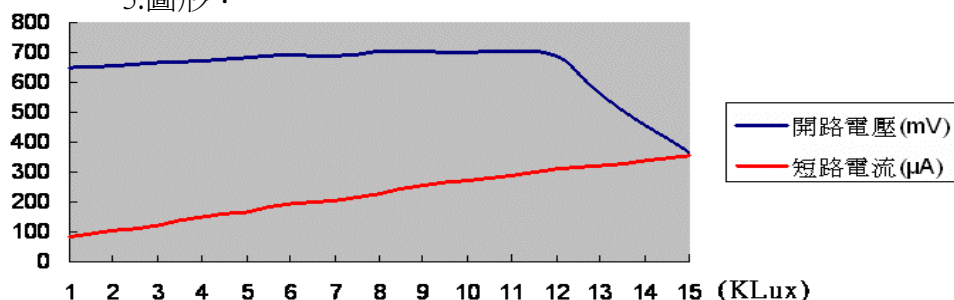
1.開路電壓：

光照度(Lux)	1k	2k	3k	4k	5k
開路電壓(mV)	651	653	667	674	686
光照度(Lux)	6k	7k	8k	9k	10k
開路電壓(mV)	692	690	705	704	699
光照度(Lux)	11k	12k	13k	14k	15k
開路電壓(mV)	705	688	560	455	367

2.短路電流：

光照度(Lux)	1k	2k	3k	4k	5k
短路電流(μA)	85	108	121	150	167
光照度(Lux)	6k	7k	8k	9k	10k
短路電流(μA)	193	205	227	256	271
光照度(Lux)	11k	12k	13k	14k	15k
短路電流(μA)	290	312	323	340	358

3.圖形：



根據結果可知，照度超過 12000Lux 時，電壓明顯降低，電流則隨照度而增加。

根據重覆實作的結果，發現重複實驗時，數據與第一次差距不大。

七、染料敏化太陽能電池之壽命探討

實驗步驟：

- 1、利用前置實驗三的方法製作二氧化鈦電極(約 8 cm^2 大小)。
- 2、將基板置入甲基藍溶液中浸泡 12 小時。
- 3、取乾淨 ITO，在導電面上用蠟燭燻一層碳。
- 4、用棉花棒將三邊略塗掉，塗上三秒膠。
- 5、將染色過的基板二氧化鈦面朝下覆蓋於碳膜上。
- 6、注入碘/碘化鉀/水以 1/10/10 之比例混合之電解質。
- 7、用三秒膠將另一邊封住。
- 8、取光度計一台，用紙箱與光源控制光度至 4000Lux，觀察 48 小時內電壓/電流的變化情形。

實驗結果：

1.開路電壓:

時間(hrs)	1	2	3	4	5
開路電壓(mV)	656	656	657	656	654
時間(hrs)	6	7	8	9	10
開路電壓(mV)	655	654	657	656	653
時間(hrs)	11	12	14	16	18
開路電壓(mV)	655	653	654	658	654
時間(hrs)	20	22	24	28	32
開路電壓(mV)	655	656	657	654	652
時間(hrs)	36	44	48		
開路電壓(mV)	653	656	652		

2.短路電流:

時間(hrs)	1	2	3	4	5
短路電流($\mu\text{ A}$)	156	157	157	158	154
時間(hrs)	6	7	8	9	10
短路電流($\mu\text{ A}$)	155	156	156	155	154
時間(hrs)	11	12	14	16	18
短路電流($\mu\text{ A}$)	153	152	154	152	156
時間(hrs)	20	22	24	28	32
短路電流($\mu\text{ A}$)	153	151	156	157	158
時間(hrs)	36	44	48		
短路電流($\mu\text{ A}$)	153	152	151		

根據結果可知，染料敏化太陽能電池的電壓/電流性能在 48 小時內幾乎無變化。

八、光電極面積大小對染料敏化太陽能電池電壓/電流密度之影響

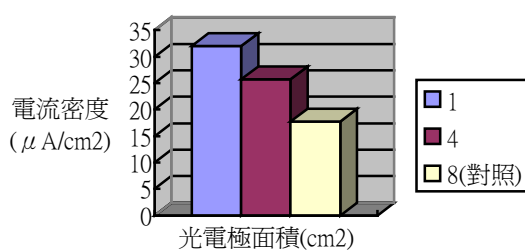
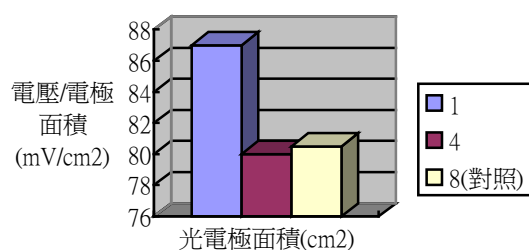
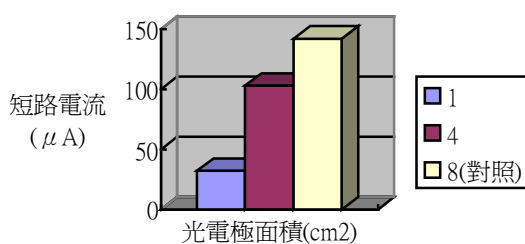
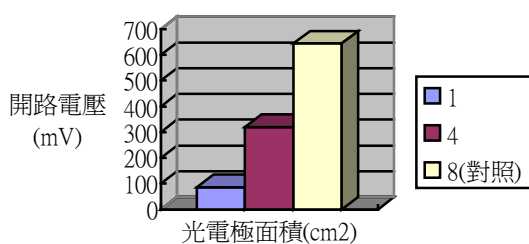
實驗步驟：

- 1、利用前置實驗三的方法製作二氧化鈦電極(約 8 cm^2 大小)。
- 2、將二氧化鈦電極的邊緣擦除，剩下 1 cm^2 大小。
- 3、如步驟 2 個別做出 1 cm^2 , 4 cm^2 , 8 cm^2 的大小。
- 4、將上述電極作成染料敏化太陽能電池並比較其單位面積輸出之電壓/電流值。

實驗結果：

光電極面積	1 cm^2	4 cm^2	8 cm^2 (對照組)
開路電壓(第 1 次)mV	86	318	644
開路電壓(第 2 次)mV	87	320	644
開路電壓(第 3 次)mV	87	323	645
平均電壓 mV	86.7	320.3	644.3
每 cm^2 輸出電壓	87	80	80

光電極面積	1 cm^2	4 cm^2	8 cm^2 (對照組)
短路電流(第 1 次) $\mu\text{ A}$	32	102	144
短路電流(第 2 次) $\mu\text{ A}$	31	102	141
短路電流(第 3 次) $\mu\text{ A}$	33	106	142
平均電流 $\mu\text{ A}$	32.0	103.3	142.3
每 cm^2 輸出電流	32	26	18



根據結果可知，光電極面積越小，電流密度越高，電壓則與光電極面積成倍數關係，每平方公分電壓輸出都在 80~88mV 之間。

九、不同鍍膜法的比較

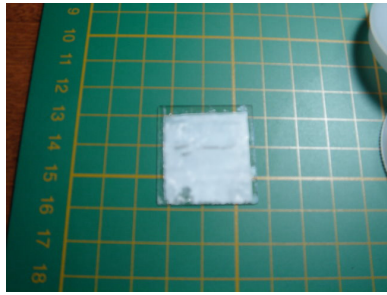
實驗步驟：

- 1、使用前置實驗的作法做出二氧化鈦電極。
($\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O} = 12/16\text{g}$ with 3drop Aliquat336).
- 2、使用旋轉塗佈，一般二氧化鈦，1000rpm,30sec 成膜。
- 3、使用旋轉塗佈，一般二氧化鈦，3000rpm,30sec 成膜。
- 4、使用旋轉塗佈，奈米二氧化鈦，1000rpm,30sec 成膜。
- 5、使用旋轉塗佈，配方更改成：
($\text{THF}:\text{TiO}_2:\text{PMMA}=16:12:0.3\text{g}$ with 3drop Aliquat336)一般二氧化鈦，1000rpm,30sec 成膜。
- 6、使用旋轉塗佈，配方同步驟 5，一般二氧化鈦，3000rpm,30sec 成膜。
- 7、使用旋轉塗佈，配方同步驟 5，一般二氧化鈦，5000rpm,30sec 成膜。



旋轉塗佈機

實驗結果：



(手工方法，一般二氧化鈦)



(旋轉塗佈，1000rpm 一般)



(旋轉塗佈，3000rpm 一般)



(旋轉塗佈，1000rpm 奈米)



(旋轉塗佈+PMMA，1000rpm)



(旋轉塗佈+PMMA，3000rpm)



(旋轉塗佈+PMMA，5000rpm)

根據結果可知，成膜均勻度以旋轉塗佈法為佳，而材料的選擇方面又以奈米二氧化鈦最佳，再者為高分子(PMMA)摻混一般二氧化鈦。本實驗所採用的手工製程方法配合一般二氧化鈦為第三種的成膜法，但略遜色於前述兩種。最差的成膜法為旋轉塗佈法配合一般二氧化鈦。

製成染料敏化太陽能電池後，電壓/電流值如下表：

不同成膜法 製作方法(TiO ₂ 等級)/ 轉速	PMMA (Normal)/1kr	PMMA (Normal)/3kr	PMMA (Normal)/5kr	不加 PMMA (normal)/1kr	不加 PMMA (normal)/3kr	不加 PMMA (nano)/1kr
開路電壓(mV)	486	501	562	208	521	858
短路電流(μA)	18	33	67	5	98	313

PMMA= 聚甲基丙烯酸甲酯 kr= 一千轉(1000rpm)

柒、結果與討論

- 一、在漿料中加入沙拉脫的原因是破壞其表面張力使其較易成膜，若不加界面活性劑則 TiO₂ 溶液會因表面張力使其凝結成球狀而無法成膜。
- 二、染料敏化太陽能電池的二氧化鈦電極需要染色之原因是二氧化鈦本身的能帶落在紫外線之範圍，需要使用染料來敏化其能帶，使吸收之光譜延伸至可見光來增強其性能；而未染色太陽能電池，僅能吸收紫外線光譜，所以在室內燈光下幾乎測不出電流。
- 三、當二氧化鈦膜較厚時性能較差，可能是膜較厚，染料較難吸入至薄膜底層（貼近基板），而四層、五層時無法成膜，因為太厚的膜乾燥後會成片狀剝落，造成實驗之不準確故不將之納入本實驗報告中討論。
- 四、當碘溶於碘化鉀溶液時，將會進行可逆式平衡如 $I_2 + I^- \leftrightarrow I_3^-$ ，遇鹼性物質(氫氧化鈉)會產生可逆反應： $3I_3^- + 6OH^- \rightarrow 8I^- + IO_3^- + 3H_2O$ 使溶液中 I_3^- （褐色）的比例減少，而使 I^- （無色）比例增多，因而使溶液變成透明無色（圖一），加入酸(鹽酸)後又使 I_3^- 增多，變回原色。
- 五、實驗三中 pH=2 電解質與中性電解質(對照組)之實際性能差異不大，推測是因為加入之酸對於 I^- 與 I_3^- 之比例變動不大，而 pH=12 之電解質效果較差可能是因為加入之鹼對於碘與碘化鉀之比例產生變動，故使 $I_2 + I^- \leftrightarrow I_3^-$ 無法向左進行，阻礙電洞傳導所造成。
- 六、藍光較紅色光之效果為佳，可能是因為藍光波長較短，能量較高所致。
- 七、本實驗均是以白光(日光燈)作為光源，實驗四使用濾色片控制色光。
- 八、根據實驗五，碘/碘化鉀/水的比例電壓部分為以 1/10/10 為最佳，電流部分則以 1/12.5/10 最佳。
- 九、根據重覆實作的結果，發現重複實驗時，數據與第一次差距不大。在照度為 1k~15k 時，染料敏化太陽能電池之電流接近一線性函數，藉電流讀數來推算照度，作為照度計之用。
- 十、自製染料敏化太陽能電池可在 48 小時內保持穩定電壓與電流。
- 十一、當光電極的面積增大時，會導致電流密度降低的原因，推測是因為二氧化鈦膜寬度增加後，電阻增加所造成。
- 十二、根據結果可知，旋轉塗佈在使用一般配方 (TiO₂/H₂O =12/16g with 3drop Aliquat336)成膜時，低轉速下溶液中固體易凝結成塊以致分布

不均；高轉速下因為離心力作用，外圈部分容易過薄，而內圈則因為離心力相對較小而使溶液過厚以致內外厚度不均；奈米二氧化鈦時，超微細粉末不易凝結成大塊，所以呈現均勻的半透明薄膜。

當配方改成(THF/TiO₂/PMMA=16/12/0.3g with 3drop Aliquat336)時，其中的 THF(四氫呋喃)可以溶解 PMMA(聚甲基丙烯酸甲酯)，同時可以分散二氧化鈦，因為 THF 是兩性溶劑，可以同時具備親水與親油的性質，故可以將二氧化鈦均勻分散於 PMMA 中，製成的膜厚度相當均勻，轉速越快膜越薄。



(圖一) 加入氫氧化鈉後，碘與碘離子之比例改變，溶液轉變為透明無色。(原色為褐色)

捌、結論

- 一、不同種類染料對二氧化鈦敏化之效率：
電壓：甲基藍>紅汞液>花青素>未染色>葉綠素。
電流：甲基藍>紅汞液>花青素>葉綠素>未染色。
- 二、二氧化鈦薄膜厚度對太陽能電池效率之影響：一層厚度>二層厚度>三層厚度。
- 三、pH 值對電解質效率之影響：中性>酸性>鹼性。
- 四、不同色光對太陽能電池光電效應之影響：藍色>黃色>紅色。
- 五、碘/碘化鉀/水的比例電壓部分為以 1/10/10 為最佳，電流部分則以 1/12.5/10 最佳。
- 六、當照度超過 12000Lux 時，染料敏化太陽能電池之電壓值明顯降低，電流值則隨著照度的增加而增加。
- 七、在 48 小時內自製太陽能電池的電壓/電流無明顯變化，有穩定的轉化效率。
- 八、二氧化鈦膜大小與電流密度的關係：光電極面積越小，電流密度越高，電壓則與光電極面積成倍數關係，每平方公分電壓輸出都在 80~88mV 之間。
- 九、成膜均勻度以旋轉塗佈法為佳，而材料的選擇方面又以奈米二氧化鈦最佳，再者為高分子(PMMA)摻混一般二氧化鈦。本實驗所採用的手工

製程方法配合一般二氧化鈦為第三種的成膜法，但略遜色於前述兩種。最差的成膜法為旋轉塗佈法配合一般二氧化鈦。

玖、參考資料

- 一、染料敏化太陽能電池網 <http://dssc.brchina.net/>
- 二、工研院奈米科技研發中心 <http://www.ntrc.itri.org.tw/dict/index.jsp>
- 三、科技網 <http://www.digitimes.biz>
- 四、sciscape 新聞 http://www.sciscape.org/news_detail.php?news_id=1032
- 五、奈米太陽能電池 www.iaa.ncku.edu.tw/~nano_k12/file/奈米太陽能電池.ppt
- 六、高濂 鄭珊 張青紅著/奈米光觸媒/五南出版
- 七、呂宗昕著/圖解奈米科技與光觸媒/ 商周出版
- 八、行政院國家科學委員會/科普知識 原來光觸媒是這麼回事
http://www.nsc.gov.tw/newfiles/popular_science.asp?add_year=2004&popsc_aid=6

拾、展望

對於染料敏化太陽能電池的相關研究，最重要的便是提昇其光電轉換性能，並將其價格大眾化，以大量生產，達到減少地球石化燃料消耗的目的，減少空氣污染，並進一步應用於家電產品、個人配備上，真正達到綠色能源，維護我們的地球。

評語

031625 鈦白粉也發電—染料敏化太陽能電池之相關研究

利用簡單的素材當染料，進行太陽能電池光電議題的探討，符合環保效能與實用性，唯相關實驗現象的解釋與理論的探究及實際應用推廣，值得再進一步研究。