

# 中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

高職組 化工、衛工及環工科

**第二名**

**最佳創意獎**

091101

**染料軋上太陽光繃出 DSSC—利用自製方法探討染料敏化太陽能電池效能提升**

學校名稱：高雄市立中正高級工業職業學校

作者： 職二 吳昱欣 職二 劉雅幸	指導老師： 蘇琪惠 蘇明福
-------------------------	---------------------

關鍵詞：綠色能源、染料電池、二氧化鈦

## 摘要

在眾多不同類型的太陽電池中，染料敏化太陽能電池（DSSC）因兼具透光性、易層疊、可撓曲及製造成本低之優點，有其發展契機。關於製作 DSSC 的材料與方法，有許多值得探討的地方。

由本研究得知，含花青素、深藍色系染料的電池有較好效率。以紫色高麗菜為染料的電池，在第二階段的研究中，均可達到 0.5V 以上，在某些實驗條件下會有 0.7V 以上，再現性良好。

燒結溫度控制在 450~550°C，有較好的電池效率。浸泡染料的時間可隨實驗課時間的長短做調整，10 分鐘~96 小時均有不錯的電池效率。TiO<sub>2</sub> 膠體的濃度，以 2 克的 TiO<sub>2</sub> 加稀醋酸 6mL 最佳。

最後，能以硬碟、光碟等材料自製轉旋塗佈機，其所製成的 DSSC，再現性好。在電池效益方面，可得到 0.6V 以上的電壓，及 0.09 安培以上的電流。

## 壹、 研究動機

在高一普通化學課中提到了半導體材料、矽基太陽能電池；由氧化還原、電化學的單元中了解到化學能及電能的轉換，及許多不同電池的特性；在分析化學課提到了太陽光、可見光、紫外光等光與波長。在參加化工創意營時，接觸到染料敏化太陽能電池(Dye-Sensitized Solar Cell; DSSC) 的原理與製作後，就對 DSSC 產生極大興趣。

從資料的收集、投稿，到動手做實驗。從向清華大學購買製作 DSSC 材料包開始，到自己訂購導電玻璃及  $\text{TiO}_2$ 、配製稀醋酸及電解質溶液等材料。在數不清的實驗次數裡不斷的遇到了困難，雖然受挫，但好奇心驅使著我們想要進一步去探討有關染敏電池的各個變因，期待能驅動一個物件，期待能有更好的發電效率。

在第一階段的研究過程中，分別討論了各種染料的轉換效率、串聯染敏電池的方法，觀察染敏電池的發電效率是否隨時間而改變，觀察不同燒結溫度對電池效率的影響等，期待能提高電壓穩定度及發電效率。

在第二階段的研究中，探討了浸泡染料的時間對發電效率的影響，觀察不同濃度的  $\text{TiO}_2$  膠體的透光率及發電效率。為降低手工塗佈不均所造成的實驗誤差，進而在正修科大借用旋轉塗佈機，並測試转速及討論發電效率。最後，在希望擁有自己的旋轉塗佈機的情況下，以廢棄的硬碟、光碟等自製旋轉塗佈機，並以自製旋轉塗佈機製備 DSSC 及效能測試。

希望藉由實作與討論分析所得之結果，能進一步應用於 DSSC 之效能提升改善。

## 貳、 研究目的

基於好奇心而進行了染料敏化太陽能電池（DSSC）研究，在收集及閱讀相關資料，並與老師討論後，能就染敏電池作到下列各項：

- 一、 藉由可得之天然染料，找出能大幅提升電池轉換效率的染料。
- 二、 探討染敏電池串聯方式，提升 DSSC 的輸出電壓與效能。
- 三、 觀察染敏電池的發電效率隨時間改變情況，找到穩定度較好的天然染料。
- 四、 觀察不同燒結溫度對電池效率的影響，找到最佳的燒結溫度。
- 五、 探討浸泡染料的時間對電池效率的影響。
- 六、 以旋轉塗佈機塗佈  $\text{TiO}_2$  膠體，並測試旋速及討探電池效率。
- 七、 觀察不同濃度的  $\text{TiO}_2$  膠體的透光率及電池效率。
- 八、 自製旋轉塗佈機及其效能測試。

最後，希望藉由實作的過程，對染敏電池有進一步的認識，也希望研究的結果對於後續的研究有貢獻。

## 參、 研究設備器材

### 一、實驗器材：如下圖



圖一、相關實驗器材，分別為向清大購買的材料包（左），及目前所使用的器材（右）

### 二、實驗有關設備與藥品：相關規格如下表一

表一、實驗器材表

藥品名稱	規格	數量
透光導電玻璃 ITO	2.5cm×2.5cm	一組 2 片
二氧化鈦粉末	粒徑 10-50nm	數克
乙酸溶劑		數毫升
介面活性劑		數毫升
碘		數克
KI		數克
植物染料		
滴管、燒杯		各四組
隱形膠帶		1 捲
可控溫平板式加熱器		1 臺
長尾夾		2 個
三用電表	附測試導線、楔型夾	1 組
檯燈		1 臺
AB 膠		1 組
培養皿		數個
碳膠		1 捲
銅膠		1 捲

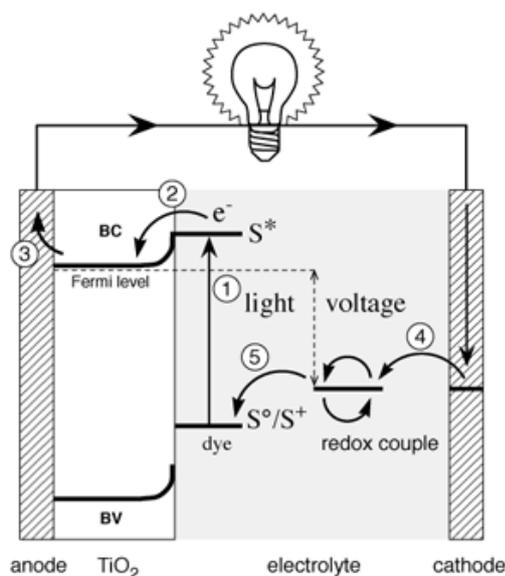
中華民國第 51 屆中小學科展  
高職 化工、衛工及環工科  
—染料軋上太陽光纖出 DSSC—

乙二醇		數毫升
酒精	濃度 95%	1 瓶
研鉢		一組
蠟燭		1 根
棉花棒		1 包
鑷子		2 支
太陽能功率計		1 檯

## 肆、 文獻探討及相關理論

### 一、 染料敏化太陽能電池的原理：

有關染料敏化太陽能電池原理如下圖所示，工作原理如下列五個步驟所示。



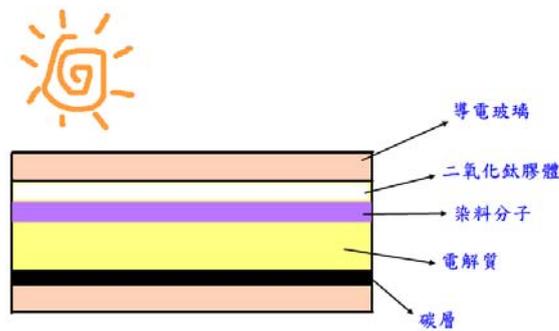
圖二、染料敏化太陽能電池的結構

- (一)照光後，吸附在 $\text{TiO}_2$ 上的染料會將 $\text{TiO}_2$ 上的載子(carrier，電子)，使得染料本身從基態( $S^0$ )改變成較高能量的激發態( $S^*$ )。
- (二)然後會將激發的電子導入 $\text{TiO}_2$ 的傳導帶(conduction band)，此時激發態的染料因為失去電子而變成帶正電的氧化態( $S^+$ )。
- (三)然而，這些電子就會在 $\text{TiO}_2$ 層間傳遞並經由外電路直到對電極(陽極)。
- (四)到了對電極的電子，會使電解液中的 $\text{I}_3^-$ 轉變成 $\text{I}^-$ 。
- (五)最後 $\text{I}^-$ 會被帶正電的染料氧化成  $\text{I}_3^-$ ，並使染料回到基態( $S^0$ )。

染料敏化太陽能電池是近年來被廣為研究的一種太陽電池，它是半導體、染料和光觸媒等跨領域多元科技的整合。

### 二、 染料敏化太陽能電池的構造：

染料敏化太陽能電池的構造示意如下圖



圖三、染料敏化太陽能電池之構造

### 三、染料的探討

#### (一)天然植物染料

可應用於染敏太陽能電池的天然植物染料有很多，例如藍莓、覆盆子、黑梅、澎大海、石榴果、蔓越莓等，這些染料含有花青素；另外，花椰菜、紅鳳菜、榕樹葉子、聖誕紅的葉子等，這些染料則含有葉綠素。

花青素具有較強的吸收紫外線的能力，例如原花青素的最大波長在280 nm 附近，使其具有強的吸收能力。葉綠素是植物一生最重要的一種能接受光激作用的化學物質，葉綠素主要吸400~520nm的光線波長，對光合作用影響最大。

陽光其波長範圍為280~3600nm，通常區分為紫外線區、可見光區、與紅外光區。人眼可察覺之波長範圍為380~760nm，可再區分為各種顏色。

TiO<sub>2</sub>只能吸收紫外光區（10~400nm）的太陽光，這限制了光電轉換效應。故藉由染料可擴大電池的吸光範圍，色澤偏深藍色色系之含有花青素的染料，主要是吸收太陽光譜內紅外光至紅光範圍的可見光。

#### (二)人工合成染料

##### 1、金屬錯合物

通常是使用含有鈦(Ru)離子的錯合物，如N3染料、N719 染料等。另外，銅、鐵、鐵、鉑等金屬系列的色素也可以。中央大學 吳春桂 教授與其研究團隊利用分子工程合成遠紅光純有機染料搭配鈦金屬錯合物染料使用，提升DSSC光電轉換效率為11.5%，是目前文獻中效率最高者。

##### 2、有機色素

包括甲基染料色素類、酞菁、偶氮、香豆素等。

二氧化鈦有三種天然的結晶形態，即金紅石，鈦銳礦，板鈦礦，其中金紅石、鈦銳礦是屬於正方晶系，板鈦礦是斜方晶系。

人工合成氧化物加強熱或使無水四氯化鈦在高溫氣體狀態下藉氧或空氣氧化，燃燒水合氧化物能獲得鈦銳礦型，則變成金紅石型，藉四氯化鈦的直接氧化所獲得的是金紅石型。易導電，所測得的電壓也較高。

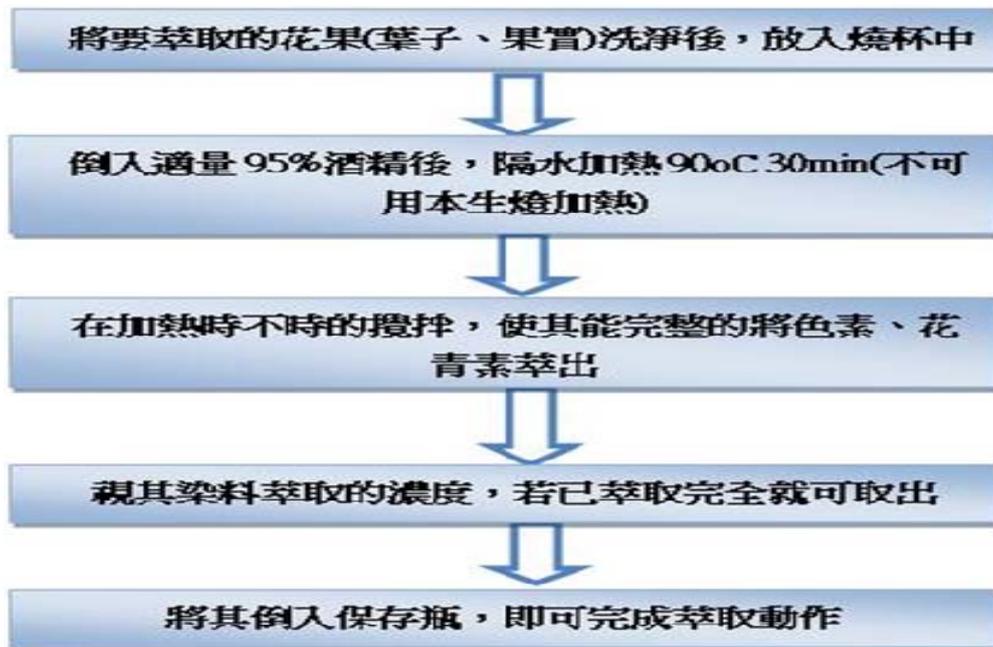
與其他的半導體材料相較，二氧化鈦的主要優點有四：

- (一) 可耐強酸、強鹼及有機溶劑。
- (二) 在光化學反應中，不會發生自身溶解現象。
- (三) 不含有毒性物質。
- (四) 二氧化鈦的原料鈦礦源豐富，價格低廉。

## 伍、 研究過程

一、染料敏化太陽能電池的製備：

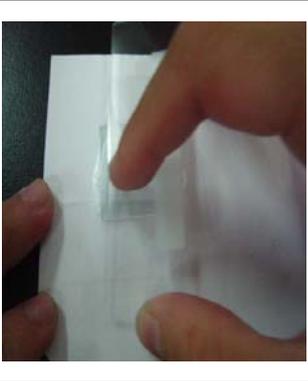
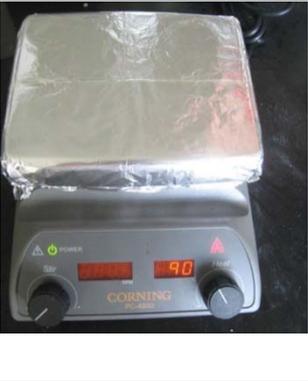
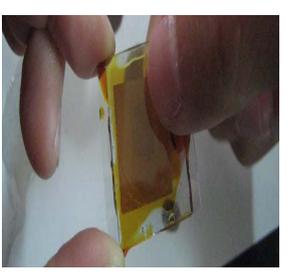
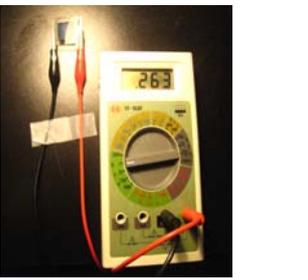
(一) 染料的萃取步驟：如圖四

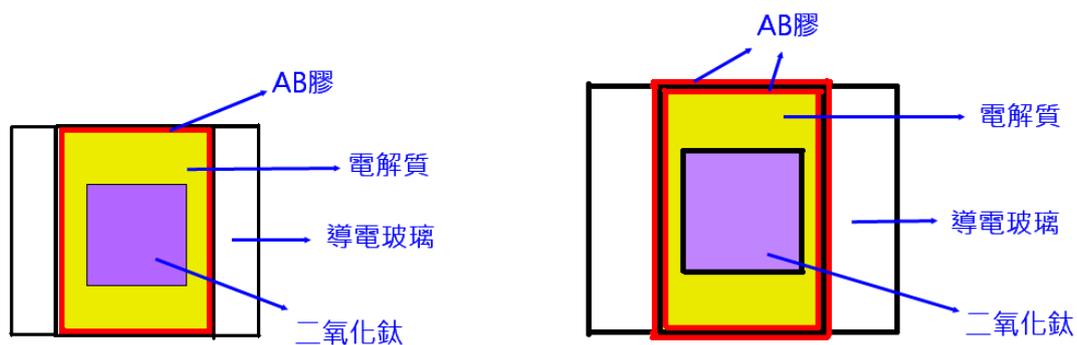


圖四、染料的萃取步驟

(二) DSSC 的製作，如下

<p>(1)使用秤量紙精秤 2g 二氧化鈦</p>		<p>(2)將其倒入研鉢中，加入 10mL 稀醋酸和 3 滴介面活性劑</p>	
<p>(3)以洗碗精搓洗導電玻璃，再以酒精擦拭並用三用電表測其導電面</p>		<p>(4)在導電面四周貼上隱形膠帶，形成一個正方形</p>	

<p>(5)以載玻片用刀刮法將二氧化鈦膠體均勻塗佈在導電玻璃上</p>		<p>(6)將鋁箔紙包覆於加熱板上以致受熱平均(要先調至 90°C 預熱)，將塗有二氧化鈦膠體的 ITO 放置加熱板上加熱</p>	
<p>(7)從 90°C 開始每 1 分鐘將溫度上升 10°C 烤至 450°C(燒結去除有機物)</p>		<p>(8)自加熱板上取下，至其冷卻放入染料中浸泡 24 小時</p>	
<p>(9)浸泡完畢後用鑷子小心夾起，以清水用滴管滴洗</p>		<p>(10)先在塗有二氧化態膠體的導電玻璃上以 AB 膠塗抹於導電面四側</p>	
<p>(11)將其放置 1 分鐘左右，再滴上碘化鉀電解液</p>		<p>(12)取另一導電玻璃將其覆蓋至步驟(13)的導電玻璃上，緊密貼合</p>	
<p>(13)放至 AB 膠完全凝固，即可完成製作。</p>		<p>(14)以楔型夾夾住兩側未覆蓋的導電面使用三用電表測其電流</p>	



圖五、封裝染敏電池（紅色部分為AB膠）

二、以自製旋轉塗佈機塗佈 TiO<sub>2</sub> 膠體，如下

<p>(1)先開啓電源</p>		<p>(2)將導電玻璃以膠帶固定在光碟片上</p>	
<p>(3)以滴管吸取二氧化鈦滴至導電玻璃未貼膠帶空白處</p>		<p>(4)旋轉電流控制鈕使其開始旋轉</p>	
<p>(5)蓋上蓋子 (較安全)</p>		<p>(6)完成後以鑷子取下導電玻璃</p>	
<p>(7)完成</p>			

### 三、研究過程：

依照研究目的，進行下列實驗項目：

#### (一) 實驗一：染料的選擇

不同的植物色素，其最大吸收波長不同，例如原花青素的最大波長在 280 nm 附近，而葉綠素在 400 ~ 520nm，所以吸收光照能量的效果也不同。本次實驗所用的天然染料包含藍莓、紫高麗、花椰菜、茄子、紅鳳菜、蔓越莓、火龍果等七種染料。

#### (二) 實驗二：串聯染敏電池方式的技術

串聯可提高電壓。當串聯兩個電池時，實驗數據與理論數據相差不大，但至第三個電池串聯時，數值就比預估的小很多，甚至比單個電池數據還小。推測可能是串連時，無法使 ITO 與 ITO 之間有良好的接觸，使得電子無法順利傳遞，因此針對 ITO 與 ITO 之接觸面的改善做探討。分別在接觸面上：

- 1.用 2B 鉛筆塗 ITO 與 ITO 之接觸面
- 2.將 2B 筆心磨成粉，夾在 ITO 與 ITO 之接觸面
- 3.將活性碳口罩內層的碳，夾在 ITO 與 ITO 之接觸面
- 4.將印表機碳粉夾在 ITO 與 ITO 之接觸面

(三) 實驗三：每天測量自製染敏電池的電壓和電流，觀察電壓和電壓隨時間變化，進而了解自製染敏電池的壽命。

(四) 實驗四：燒結溫度會影響  $\text{TiO}_2$  層的表面結構。在實驗時，以相同的升溫速度，分別升溫到 250°C、300°C、350°C、400°C、450°C、500°C、550°C 等不同的燒結溫度，以探討不同燒結溫度的影響。

自實驗五開始，進入了實驗的第二階段。在染料的選擇方面，考量到產季、普遍性、價位等問題，以及實驗一和實驗三的實驗結果，決定以一年四季皆可得、價位較低、效能較好、穩定性較好的紫色高麗菜汁為染料。

(五) 實驗五：將塗佈  $\text{TiO}_2$  的導電玻璃、浸泡於紫色高麗菜汁，浸泡的時間分別為 10 分鐘、2 小時、1 天、2 天、3 天、4 天等，以探討浸泡染料的時間對電池效率的影響。

(六) 實驗六：使用於塗佈機的  $\text{TiO}_2$  膠體的配製，參考中央大學碩士論文<sup>11</sup>後，將原本的

$$\frac{\text{TiO}_2}{\text{稀醋酸溶液}} = \frac{2\text{g}}{5\text{mL}} \text{ 改爲 } \frac{\text{TiO}_2}{\text{稀醋酸溶液}} = \frac{2\text{g}}{10\text{mL}}$$

900r.p.m.、30 秒，實際進行實驗時，分別將轉速控制在 500、600、700、800、900、1000r.p.m.，時間 30 秒。觀察  $\text{TiO}_2$  膠體的成膜情況，並測電池效率。



圖六、在正修科大借用的旋轉塗佈機，因左邊的塗佈機無法顯示轉速，所以改借用右邊的塗佈機。

(七) 實驗七：配製不濃度的  $\text{TiO}_2$  膠體，觀察塗佈  $\text{TiO}_2$  膠體後之 ITO 的透光率，即固定太陽能功率表的輻射照度 ( $\text{W}/\text{m}^2$ )，將塗佈  $\text{TiO}_2$  膠體後之 ITO 遮蓋於太陽能功率表的測量點，比較遮蓋前後的輻射照度 ( $\text{W}/\text{m}^2$ )，並測電池效率。

(八) 實驗八：自製旋轉塗佈機及其效能測試

#### 1、旋轉塗佈機材料選擇：

自製旋轉塗佈機材料選擇，以容易取得且價位較低的材料為主。曾想過的材料有離心機、磁石攪拌器、電風扇、果汁機、硬碟、電腦風扇等，以資源再利用與隨手可得兩大特性完成自製塗佈機之製作，來達到十~二十幾萬真實塗佈機之模仿。

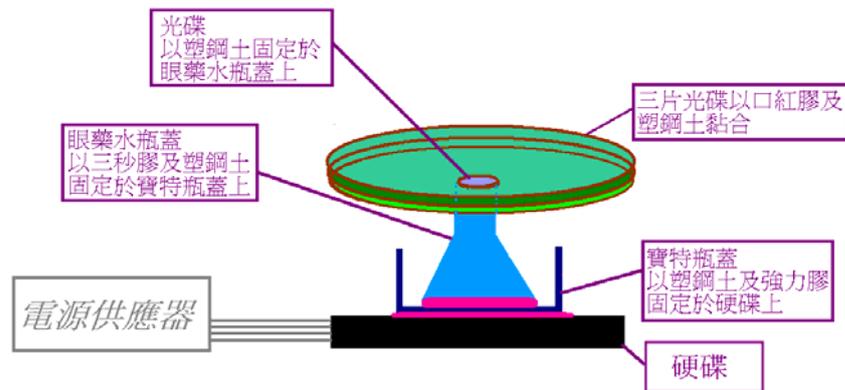
##### (1)、塗佈機馬達選擇：

真實塗佈機轉速為 200rpm~6200rpm，然而電腦主機內的硬碟最高轉速為 6200rpm，經由降低其電流來完成速度之衰減，來達到模擬的效果。

##### (2)、塗佈機轉盤：

塗佈機轉盤處，使用廢光碟片，因為光碟片表面光滑，大小與厚度也經由專業儀器處理過，是製自塗佈機轉盤很好的材料選擇。

2、組裝材料：硬碟、保特瓶蓋、眼藥水瓶蓋、光碟及電源供應器



圖七、自製旋轉塗佈機

3、接著劑材料選擇

表二、接著劑的優、缺點比較

	第一代 -白膠-	第二代 -三秒膠-	第三代 -強力膠-	第四代 -塑鋼土-
優點	可以使馬達的鐵面和瓶蓋塑膠面完全密合	有很強的黏性，乾掉的速度也很快，可快速修補	結合了第一代白膠的特性(可以使馬達的鐵面和瓶蓋塑膠面完全密合)和第二代三秒膠(可以有很強的黏性)，的兩大特點。	如同黏土般，可以使光碟盤角度不因此容易位移，塑鋼土乾後，強度如同水泥般堅固。
缺點	白膠的黏性不夠，在 6200rpm 下，會使光碟盤彈出	黏性雖強，但馬達的鐵面和瓶蓋塑膠面接合處無法密合，6200rpm 高速下，也無法承受太久的時間	乾涸的速度太慢，如果在乾的過程，中，稍有不小心中碰到光碟盤，將使光碟盤位置歪掉。	如在密合過程中，內部有空氣，會使塑鋼土於高速旋轉下破裂。但用針筒注入強力膠於塑鋼土空隙中，可使接合面更牢固。

4、效能測試：

以轉速器測量自製旋轉塗佈機的轉速，以電流大小來控制轉速大小，自製塗佈機啟動後的最低轉速在 1800r.p.m.。因為電流太低時，硬碟機無法啟動。



圖八、測試自製旋轉塗佈機的轉速

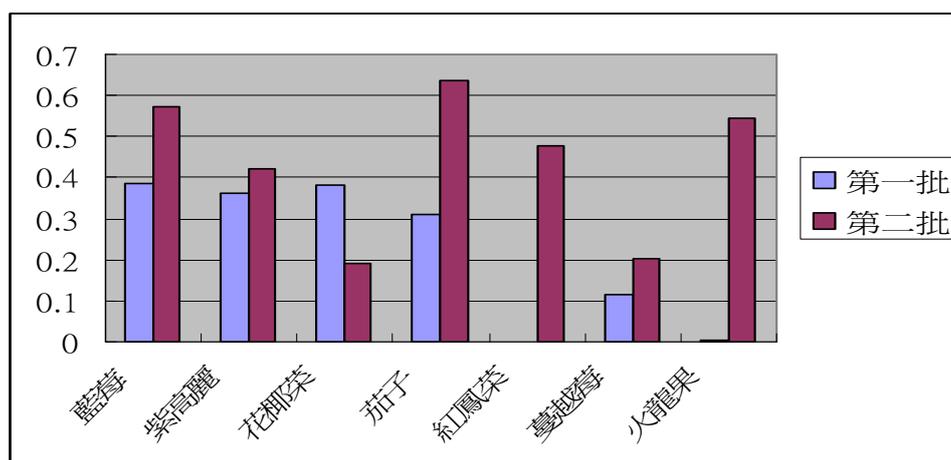
在無法控制自製塗佈機轉速在 500~1000r.p.m. (可和真正的塗佈機比較) 情況下，改以配製不濃度的  $\text{TiO}_2$  膠體，來探討以自製旋轉塗佈機製備 DSSC 的效能。並找出自製旋轉塗佈機在較高轉速下，較適合的  $\text{TiO}_2$  膠體濃度。

## 陸、 研究結果與討論

一、實驗一：各種天然染料吸收光的效率之間差異比較。

表三、兩批不同染料製成的染料敏電池，在太陽光底下的電壓 (V)

第一批染料	藍莓	紫高麗	花椰菜	茄子	紅鳳菜	蔓越莓	火龍果
電壓 V	0.387	0.360	0.381	0.309	0.000	0.116	0.005
電流 A	0.038	0.026	0.009	0.001	0.00	0.002	0.000
第二批染料	藍莓	紫高麗	花椰菜	茄子	紅鳳菜	蔓越莓	火龍果
電壓 V	0.574	0.420	0.190	0.637	0.479	0.202	0.546
電流 A	0.042	0.035	0.002	0.022	0.034	0.000	0.002



圖九、兩批不同染料製成的染料敏電池，在太陽光底下的電壓 (V)

由第一批的實驗數據得知葉綠素系的花椰菜電壓 0.381V 但電流確相當低。花青素系的藍莓電壓高達 0.387V 是全部最高的，電流雖然只有 0.038 安培，但也是全部最高的。

由第二批的實驗數據得知葉綠素系的紅鳳菜電壓高達 0.479V，電流 0.034 安培。花青素系的藍莓電壓高達 0.574V，電流雖然只有 0.042 安培，但也是全部最高的。電壓最高的是茄子 0.637V。

能有效吸收陽光的染料分子為含有花菁素的染料，其色澤偏深藍色。實驗結果與文獻所提到的相符合。因此接下來的實驗，除了電池的壽命的探討會用多種染料之外，其他實驗均以藍莓當做染料。

## 二、實驗二：串聯染敏電池方式的技術

串聯導電玻璃時以貼上絕緣膠帶的長尾夾固定，並在 ITO 與 ITO 之接觸面上塗上一些導電物質，以增加 ITO 與 ITO 之表面接觸密合度與導電度。關於塗佈的實驗結果，討論如下：

- (一) 本來考慮加熱臘燭，塗佈一層碳在 ITO 之接觸面上，但電解質可能同時被加熱而噴出，故放棄此一方法。
- (二) 在 ITO 與 ITO 聯接的地方，用 2B 鉛筆塗上碳層，所測到的數值並沒有提高。可能塗抹的不夠均勻所導致。
- (三) 將 2B 鉛筆中的鉛磨製成細緻的粉狀，再均勻灑至 ITO 與 ITO 聯接的地方，所測到的數值提高了，也較穩定。
- (四) 像三明治一樣，在 ITO 與 ITO 聯接的地方，夾一片活性碳口罩的碳層，所測到的數值並沒有提高。
- (五) 在 ITO 與 ITO 聯接的地方均勻灑上印表機碳粉，所測到的數值並沒有提高。

考慮到材料的成本，本組僅使用碳來改善接觸面的密合度。但在碳的同素異形體中，石墨才有導電性，本組所使用的碳本身是否有導電性，是需要考慮的。

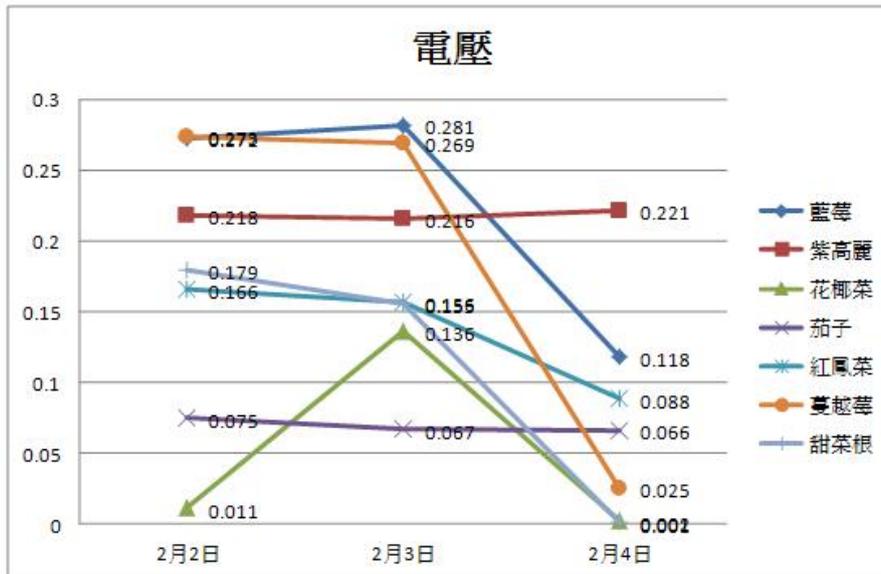
表四、太陽電池進行串聯，各種串聯方式，在檯燈照射下的電壓和電流。

實驗二	長尾夾 (對照組)	2B 鉛筆	2B 碳粉	活性碳口 罩(碳層)	印表機碳 粉
電壓 V	0.137	0.127	0.163	0.132	0.000
電流 A	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000

## 三、實驗三：自製染敏電池的壽命

第一天和第二天所測到的電壓以花青素系的藍莓和蔓越莓最高。到了第三天，藍莓、蔓越莓、紅鳳菜及甜菜根的數據均明顯的下降了。紫色高麗菜的數據變動不大，一直都維持在 0.218V 到 0.221V。茄子的數據也變動不大，但數據很低 (0.075—0.066V)。

由圖九的實驗數據得知紫色高麗的穩定性較其他蔬果好，因只做一組實驗，無法得知再現性。而蔓越莓則是在製作過程中疑似封裝不完整，電解質蒸發，導致數據陡降。

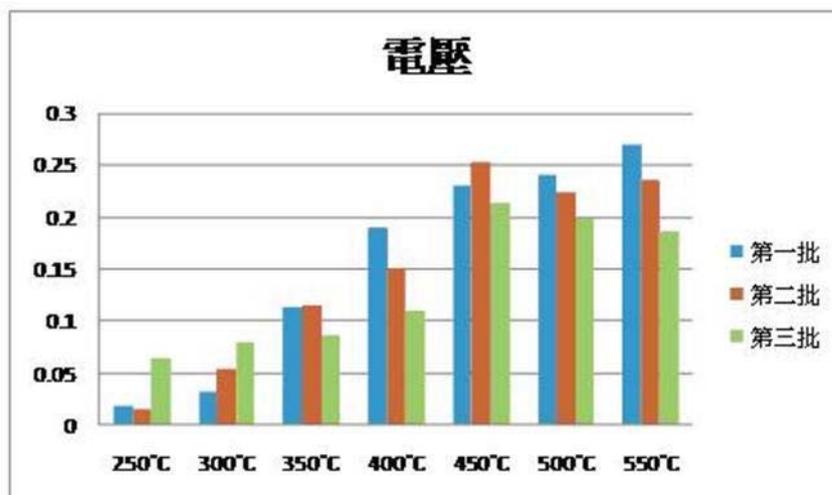


圖十、2月1日製備在檯燈照射下各種染料的電壓 (V)

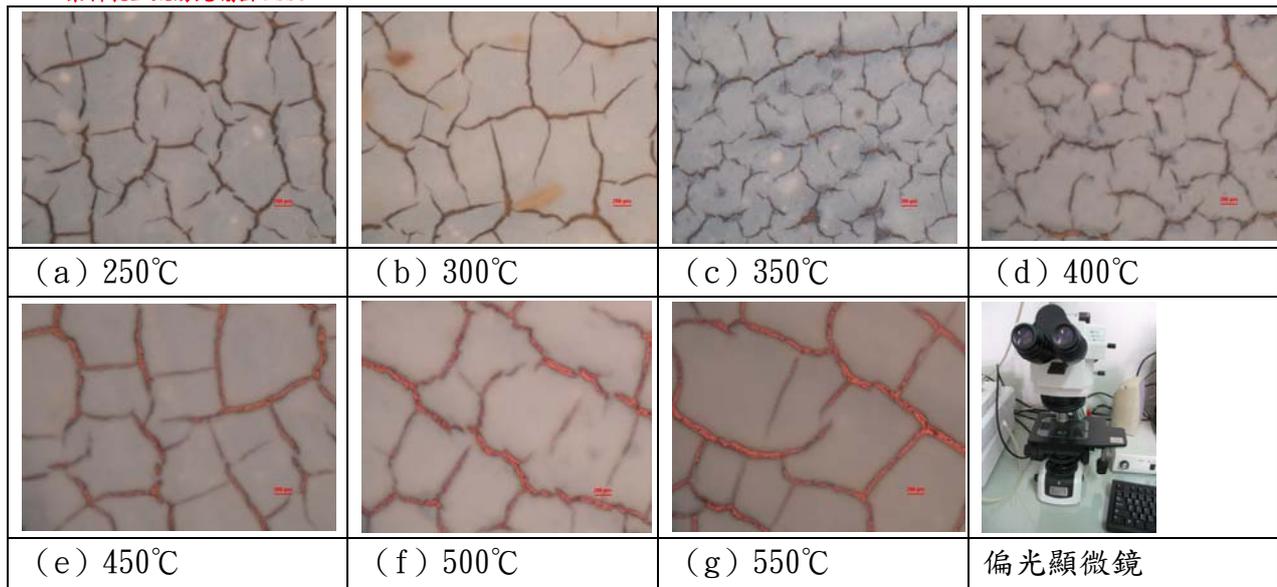
#### 四、實驗四：燒結溫度對電池效率的影響

不同的燒結溫度會影響 TiO 層的表面結構，為將水分完全蒸發，溫度一定要大於 100 °C。由圖十得知，燒結溫度越高，所測得的電壓越高。燒結溫度在 450°C – 550°C 時，所測得的電壓大部分都在 0.2V 以上。

由此實驗數據便可以解釋，為何在製備染敏太陽能電池時，一般會將燒結溫度控制在 450 °C 或 500°C。



圖十一、三批以藍莓為染料的 DSSC，在不同溫度的變化



圖十二、不同燒結溫度的 TiO<sub>2</sub> 膠體層

### 五、實驗五：浸泡染料的時間對電池效率的影響

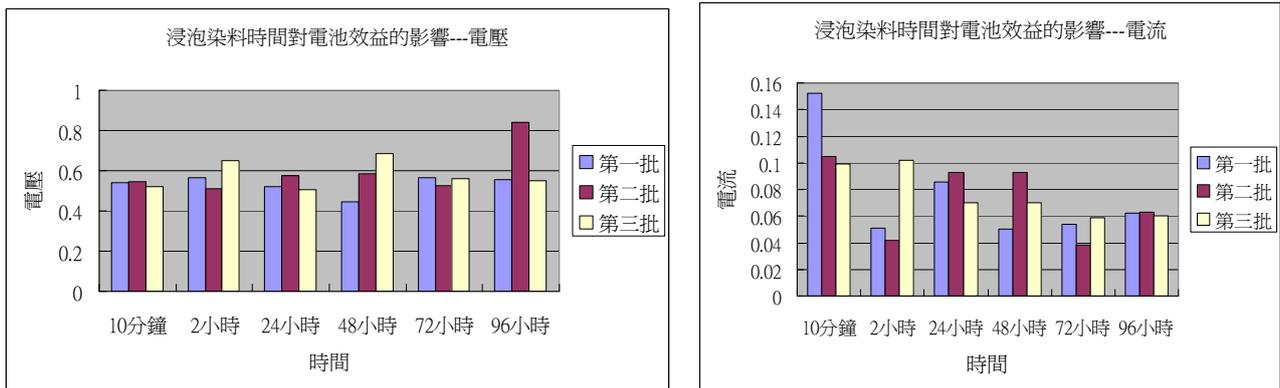
染料的吸附量會影響電池效率。浸泡染料的時間長短是否會影響染料的吸附量，進而影響電池效益呢？若浸泡染料的時間過長會不會導致 TiO<sub>2</sub> 膠體脫落呢？

考慮實驗課或研習時間的長短，將浸泡染料的時間設計在 10 分鐘或 2 小時，接著逐日增加浸泡時間到 96 小時。

由實驗數據得知，浸泡染料的時間 10 分鐘~96 小時，電壓大部分都在 0.5V 以上。電流強度則以浸泡染料的時間 10 分鐘及 24 小時的較佳。

表五、三批以紫色高麗菜汁為染料的 DSSC 改變浸泡染料時間，在檯燈輻射照度約 140W/m<sup>2</sup> 下，測量電壓和電流

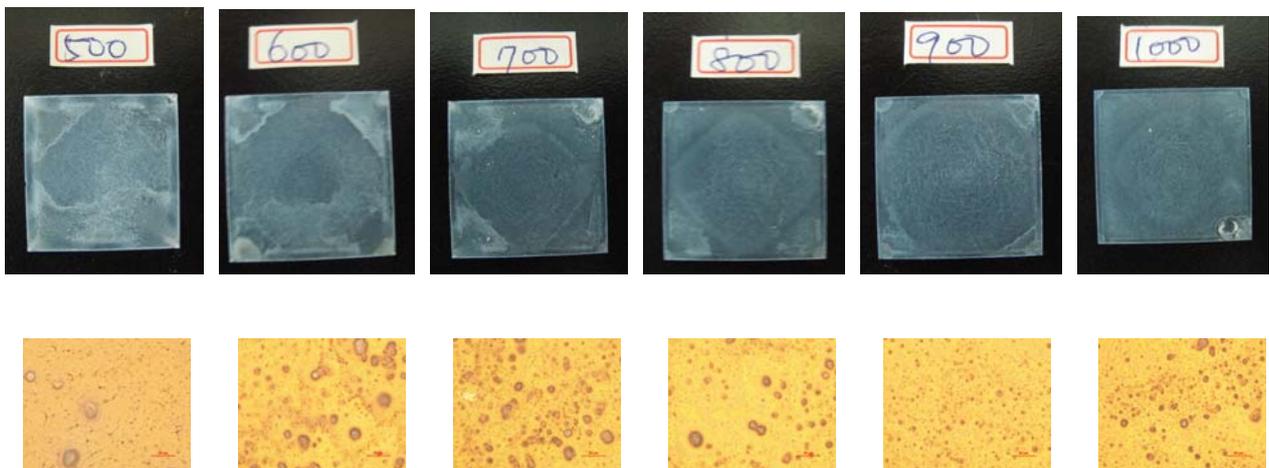
	浸泡染料時間	10 分鐘	2 小時	24 小時	48 小時	72 小時	96 小時
電壓 V	第一批	0.540	0.563	0.522	0.445	0.564	0.555
	第二批	0.543	0.509	0.575	0.586	0.527	0.841
	第三批	0.518	0.650	0.505	0.686	0.561	0.550
電流 A	第一批	0.152	0.051	0.086	0.05	0.054	0.062
	第二批	0.105	0.042	0.093	0.093	0.038	0.063
	第三批	0.099	0.102	0.070	0.070	0.059	0.060



圖十三、三批以紫色高麗菜汁為染料的 DSSC，改變浸泡染料時間，在檯燈輻射照度約  $140\text{W/m}^2$  下，測量電壓 (V) 和電流 (A)。

#### 六、實驗六：以旋轉塗佈機塗佈 $\text{TiO}_2$ 膠體，並測試转速及討探發電效率

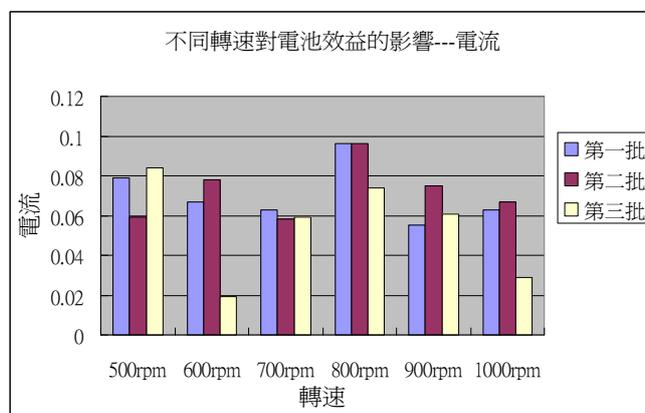
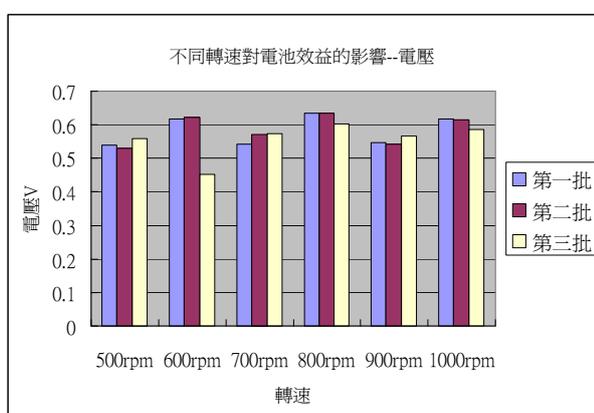
中央大學的一篇碩士論文<sup>11</sup>提到，將轉速控制在 900r.p.m.，時間 30 秒。經實際測試，由下圖得知，較高的轉速如 800、900、1000r.p.m. 有較好的成膜性。由實驗數據得知，由轉速 800r.p.m. 所製備而成的 DSSC，電壓及電流均較高。其他大部分的電壓也都有在 0.5V 以上。



圖十四、以正修科大的旋轉塗佈機塗佈  $\text{TiO}_2$  膠體，分別將轉速控制在 500、600、700、800、900、1000r.p.m.，時間 30 秒。觀察  $\text{TiO}_2$  膠體的成膜情況。(上：相機拍攝、下：偏光顯微鏡放大 200 倍拍攝)

表六、改變旋轉塗佈機的轉速，製備三批以紫色高麗菜汁為染料的 DSSC，在檯燈輻射照度約 140W/m<sup>2</sup> 下，測量電壓和電流

轉速		500rpm	600rpm	700rpm	800rpm	900rpm	1000rpm
電 壓 V	第一批	0.540	0.617	0.541	0.634	0.548	0.617
	第二批	0.531	0.623	0.572	0.634	0.542	0.614
	第三批	0.560	0.452	0.574	0.603	0.566	0.586
電 流 A	第一批	0.079	0.067	0.063	0.096	0.055	0.063
	第二批	0.059	0.078	0.058	0.096	0.075	0.067
	第三批	0.084	0.019	0.059	0.074	0.061	0.029



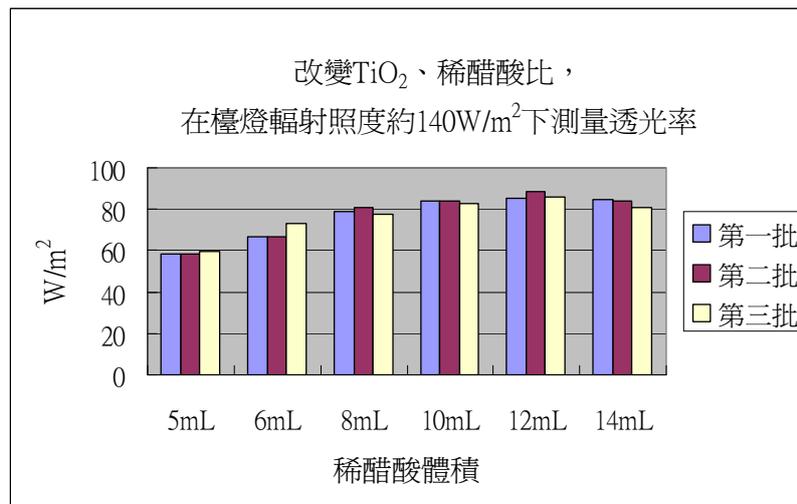
圖十五、改變旋轉塗佈機的轉速，製備三批以紫色高麗菜汁為染料的 DSSC，在檯燈輻射照度約 140W/m<sup>2</sup> 下，測量電壓和電流

### 七、實驗七：觀察不同濃度的 TiO<sub>2</sub> 膠體的透光率及發電效率

光照強度會影響電池的效益，所以 TiO<sub>2</sub> 膠體層愈簿愈好，以提高透光率。但 TiO<sub>2</sub> 膠體層愈簿，是否會導致吸附染料的量太少，而影響電池效益。以改變膠體濃度的方式來改變 TiO<sub>2</sub> 膠體層的厚度。由下列實驗數據得知，配製的濃度愈稀薄，其透光率愈好。在以 2 克的 TiO<sub>2</sub> 加稀醋酸 10、12、14mL 所製備而成的 TiO<sub>2</sub> 膠體層，在檯燈輻射照度約 140W/m<sup>2</sup> 下，還仍有 80~86 W/m<sup>2</sup> 可穿透 TiO<sub>2</sub> 膠體層。

表七、在檯燈輻射照度約 140W/m<sup>2</sup> 下，將塗佈 TiO<sub>2</sub> 膠體後之 ITO 遮蓋於太陽能功率表的測量點，測量遮蓋後的輻射照度 (TiO<sub>2</sub> 固定 2 克，僅改變稀醋酸體積)

稀醋酸體積		5mL	6mL	8mL	10mL	12mL	14mL
輻射 照度 W/m <sup>2</sup>	第一批	58.5	66.8	78.6	84.2	85.0	84.3
	第二批	58.4	66.6	80.6	84.0	88.5	84.1
	第三批	59.7	72.9	77.6	82.9	86.1	81.0

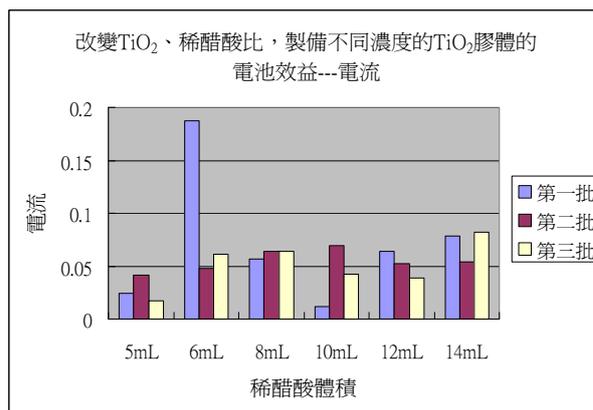
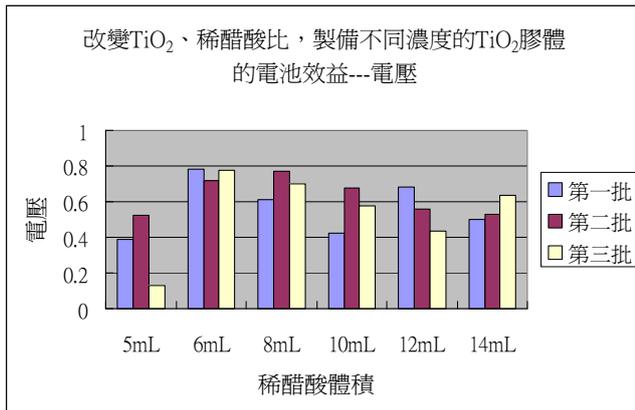


圖十六、在檯燈輻射照度約 140W/m<sup>2</sup>下，將塗佈 TiO<sub>2</sub> 膠體後之 ITO 遮蓋於太陽能功率表的測量點，測量遮蓋後的輻射照度 (TiO<sub>2</sub> 固定 2 克)

由上列實驗數據得知，TiO<sub>2</sub> 膠體濃度不同，會影響 TiO<sub>2</sub> 膠體層的量。但由下列數據可進一步得知，TiO<sub>2</sub> 膠體濃度不同，會影響吸附染料的量，最後會影響電池效益。以 2 克的 TiO<sub>2</sub> 加稀醋酸 6mL 所製備而成的 TiO<sub>2</sub> 膠體層，製作成 DSSC 後，在檯燈輻射照度約 140W/m<sup>2</sup>下，電壓均可達到 0.7V 以上。

表八、改變 TiO<sub>2</sub>、稀醋酸比，製備不同的 TiO<sub>2</sub> 膠體，以紫色高麗菜汁為染料的 DSSC，在檯燈輻射照度約 140W/m<sup>2</sup>下，測量電壓和電流 (TiO<sub>2</sub> 固定 2 克)

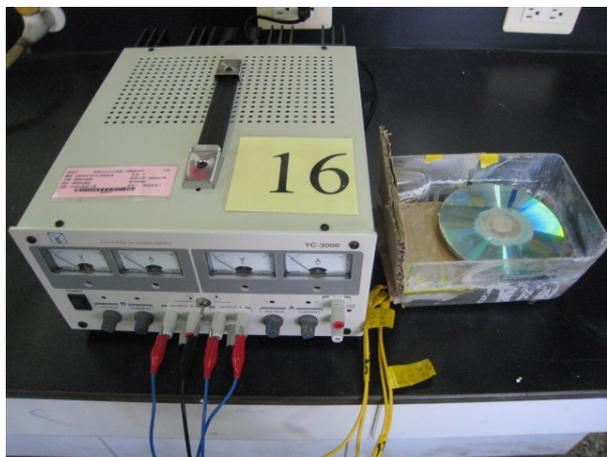
	稀醋酸體積	5mL	6mL	8mL	10mL	12mL	14mL
電 壓 V	第一批	0.390	0.782	0.610	0.423	0.685	0.499
	第二批	0.525	0.719	0.770	0.675	0.560	0.530
	第三批	0.130	0.779	0.699	0.575	0.434	0.637
電 流 A	第一批	0.024	0.187	0.057	0.012	0.064	0.078
	第二批	0.041	0.048	0.064	0.069	0.052	0.054
	第三批	0.017	0.061	0.064	0.042	0.039	0.082



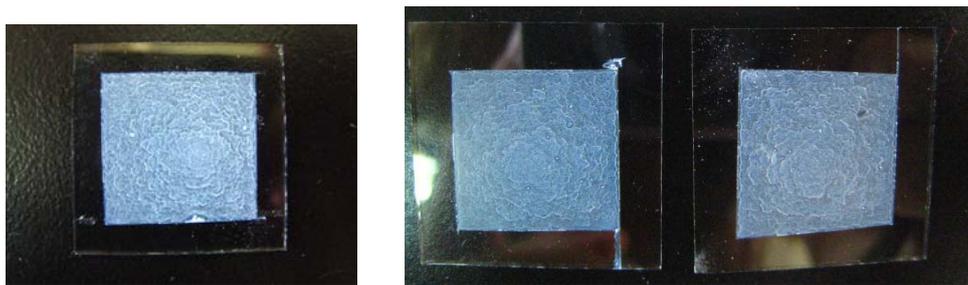
圖十七、改變 TiO<sub>2</sub>、稀醋酸比，製備不同的 TiO<sub>2</sub> 膠體，以紫色高麗菜汁為染料的 DSSC，在檯燈輻射照度約 140W/m<sup>2</sup> 下，測量電壓和電流 (TiO<sub>2</sub> 固定 2 克)

### 八、實驗八：自製旋轉塗佈機及其效能測試

以旋轉塗佈機塗佈 TiO<sub>2</sub> 膠體，可降低手工塗佈品質不一所造成的實驗誤差。在希望擁有自己的旋轉塗佈機的情況下，在和師長討論及學長的協助之下，以廢棄的硬碟、保特瓶蓋、眼藥水瓶蓋、光碟及電源供應器等，以資源再利用與隨手可得兩大特性，完成自製旋轉塗佈機之製作。真實塗佈機轉速為 200rpm~6200rpm，自製塗佈機由轉速器測的最低轉速約 1800rpm，如下圖。



圖十八、自製旋轉塗佈機，以硬碟、保特瓶蓋、眼藥水瓶蓋、光碟及電源供應器自製旋轉塗佈機。



圖十九、以自製旋轉塗佈機塗佈 TiO<sub>2</sub> 膠體，轉速約 1800r.p.m.，時間 30 秒。觀察 TiO<sub>2</sub> 膠體的成膜情況。

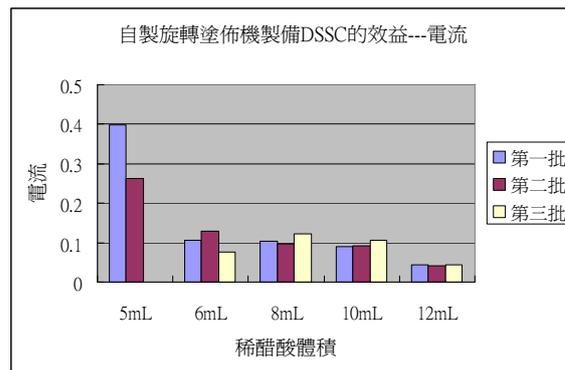
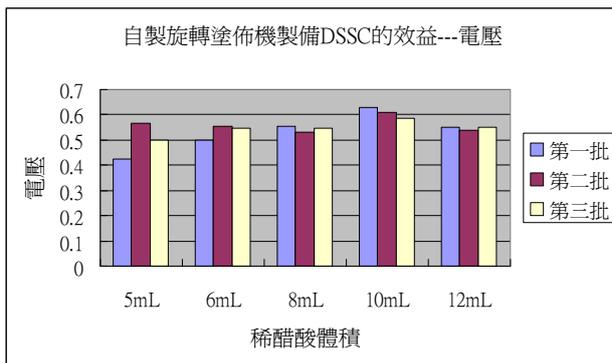
由下列的實驗數據得知，以自製旋轉塗佈機製備 DSSC，在品質上有很高的一致性。在電池效益方面，控制適當的條件，可得到 0.6V 以上的電壓，及 0.09 安培以上的電流。與實驗六的數據比較之後，以自製旋轉塗佈機製備 DSSC 的電池效益，和真實塗佈機製備的相差無幾。

在相同的輻射照度約 140W/m<sup>2</sup> 下，與別人的數據比較。本組製備的 DSSC 約 0.6V 以上，較用悅式綠茶（低於 0.4V）<sup>6</sup>、90%黃烷醇（接近 0.6V）<sup>6</sup>製備的 DSSC 高。

本組製備的 DSSC 在 12W 燈泡下所測得的電壓，也較在 200W 燈泡（2000Lux）照射下的海藻（低於 0.5V）<sup>7</sup>高。

表九、以自製旋轉塗佈機製備 DSSC，以紫色高麗菜汁為染料，在檯燈輻射照度約 140W/m<sup>2</sup> 下，測量電壓和電流（TiO<sub>2</sub> 固定 2 克）

	稀醋酸體積	5mL	6mL	8mL	10mL	12mL
電 壓 V	第一批	0.425	0.498	0.553	0.628	0.552
	第二批	0.565	0.555	0.531	0.610	0.537
	第三批	0.498	0.548	0.548	0.585	0.549
電 流 A	第一批	0.398	0.105	0.103	0.089	0.043
	第二批	0.263	0.129	0.096	0.093	0.041
	第三批	0	0.075	0.123	0.107	0.044



圖二十、以自製旋轉塗佈機製備 DSSC，以紫色高麗菜汁為染料，在檯燈輻射照度約 140W/m<sup>2</sup> 下，測量電壓和電流 (TiO<sub>2</sub>固定 2 克)

將自製旋轉塗佈機製備的 DSSC 串連 3 片，所得到的電壓可高達 2.15V，此數值高於一般電池的 1.5V。

表十、以自製旋轉塗佈機製備 DSSC，串連 3 片 DSSC 所測得之電壓及電流

	5mL	6mL	8mL	10mL	12mL
電壓 (V)	1.103	2.15	1.382	2.02	1.722
電流 (A)	0.002	0.071	0.244	0.160	0.031

## 柒、 結論

- 一、在天然染料吸收光效率的差異比較方面，花青素系的藍莓及茄子有較好的吸收效率，可提高光電轉換效率。為有效吸收陽光，建議選用含有花菁素的染料，其色澤偏深藍色。
- 二、由圖九得知，除了花椰菜之外，第二批太陽電池的電壓均較第一批高。可能是製作及封裝技巧較純熟了，也可能是測量電壓的日期不同陽光強弱不能的影響。
- 三、為提高串聯時接觸面密合度及導電效果，可在接觸面上塗上導電效果較佳的物質。
- 四、由圖十得知紫色高麗的穩定性較其他蔬果好，但數據是否受到漏液的影響，或僅是染料性質的影響，都有待離釐清。
- 五、由圖十一得知，燒結溫度越高，所測得的電壓越高。燒結溫度在  $450^{\circ}\text{C} - 550^{\circ}\text{C}$  時，所測得的電壓大部分都在  $0.2\text{V}$  以上。控制燒結的溫度，可使二氧化鈦形成連結性良好的網狀結構。

光線的強弱會影響實驗的數據，為減少變因，最好使用固定光源。從實驗五開始進入了第二階的實驗，因購買了太陽能功率計，故可控檯燈輻射照度約  $140\text{W}/\text{m}^2$  下，進行實驗。
- 六、由圖十三得知，浸泡染料的時間 10 分鐘~96 小時，電壓大部分都在  $0.5\text{V}$  以上。若因實驗時間受限無法長時間浸泡染料，可將浸泡的時間控制在 10 分鐘，一樣會有不錯的結果。
- 七、由實驗六得知，欲使用旋轉塗佈前，應做簡單的轉速測試。本組測試的結果，以 2 克的  $\text{TiO}_2$  加稀醋酸 10mL 所製備的  $\text{TiO}_2$  膠體，以轉速 800~1000rpm、時間 30 秒，有較好的成膜性。而品質的一致性及電池效益以 800rpm 最好。1000rpm 以上的情況，需另做測試。
- 八、由表七得知，在以 2 克的  $\text{TiO}_2$  加稀醋酸 10、12、14mL 所製備而成的  $\text{TiO}_2$  膠體層，有較好的穿透率。
- 九、由表八得知，以 2 克的  $\text{TiO}_2$  加稀醋酸 6mL 所製備而成的  $\text{TiO}_2$  膠體層，製作成 DSSC 後，在檯燈輻射照度約  $140\text{W}/\text{m}^2$  下，電壓均可達到  $0.7\text{V}$  以上。
- 十、由實驗八的圖表及數據得知，以資源再利用的方法，利用硬碟、光碟等材料自製轉旋塗佈機是可行，在品質上有很高的一致性。在電池效益方面，控制適當的條件，可得到  $0.6\text{V}$  以上的電壓，及  $0.09$  安培以上的電流。

十一、以紫色高麗菜汁為染料，所測得的電壓均可在 0.5V 以上，而且穩定高。紫色高麗菜相較於藍莓或其它金屬染料，有容易取得、價位較低、環保等優點。

在動手做實驗到整理、討論數據的過程中，對後續的研究將提出幾點建議：

- 一、改變染料濃度，探討濃度對電池效率的影響，並了解染料本身的性質。
- 二、探討內電阻問題，以降低內電阻，進而提高電流。
- 三、製作膠態或固態電解質，防止漏液，以延長電池壽命。
- 四、改進不同導電材料（如  $\text{TiO}_2$ ）之特性與奈米結構，增加染料及電解質之吸附度。
- 五、燒結的溫度及升溫的速度都會影響  $\text{TiO}_2$  層是否能形成良好的網狀結構，升溫的速度亦可做為未來探討的方向。最好能有光學顯微鏡照 SEM 圖。
- 六、有關  $\text{TiO}_2$  膠體層的厚度、結構，及染料的吸附量，能以光學顯微鏡照 SEM 圖等進行探討。
- 七、持續探討自製旋轉塗佈機的效能。
- 八、探討自製旋轉塗佈機的材料、方法。

## 捌、 參考文獻與相關資料

- 一、 蔡永昌編著（2008），普通化學Ⅱ，台科大圖書公司
- 二、 蔡德華、蔡宗訓編著（2011），基礎化工Ⅱ，東大圖書公司
- 三、 江孟玲、蔡永昌編著（2010），分析化學Ⅱ，台科大圖書公司
- 四、 戴明鳳，奈米 TiO<sub>2</sub> 晶粒和藍莓或覆盆子的汁液作為染料 DIY 製作染料敏化奈米晶化太陽電池，清華大學
- 五、 徐敏賀 劉映君（2006），天然植物色素與人工染料敏化之太陽能電池，中區科展
- 六、 游捷涵、李雅柔、李宜芬、莊雅雯（2010），巧克力發電囉，中小學科學展
- 七、 游雪驊（2010），海藻葉綠體對敏化太陽能電池產電效能之研究，第八屆旺宏科學獎
- 八、 胡焯淳，自製染料敏化太陽能電池，台東大學
- 九、 羅幼旭，二氧化鈦奈米結晶多孔膜在染料敏化太陽能電池的應用研究，東華大學
- 十、 程金保，染料敏化太陽能電池及活動教學，國立台灣師範大學機電系
- 十一、 林健均（2008），二氧化鈦緻密層對染料敏化太陽能電池特性之影響，中央大學物理研究所碩士論文
- 十二、 J. Baxters et al., Nanowire-based dye-sensitized solar cells, APPLIED PHYSICS LETTERS, 86, (2005).
- 十三、 Yoon, J.H., Jsng S.R., Vittal R., Lee J., Kin K.J., (2006) "TiO<sub>2</sub> nanorods as additive to TiO<sub>2</sub> film for improvement in the performance of dye-sensitized solar cells" Journal of Photochemistry and Photobiology A:chemistry, 180.

## 【評語】 091101

1. 選擇之主題符合目前再生能源技術發展趨勢，研究動機說明詳盡，實驗方法具挑戰性，成果充實且展現方式條理分明，作品頗具創意。
2. 未來若能針對實驗方法與結果一致性加以說明，將有助於釐清最佳植物染料選擇之說服力。