

# 中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 化學科

第三名

030202

照過來～「投影片」與「石墨烯」天生一對，成就了自製可撓式染料敏化太陽電池

學校名稱：苗栗縣立頭份國民中學

作者：  國二 陳詩君  國二 高華苓  國二 徐子筑	指導老師：  李桂雲  劉鈞瑋
---	-----------------------------

關鍵詞：投影片、石墨烯、

自製可撓式染料敏化太陽電池

# 照過來~「投影片」與「石墨烯」天生一對，成就了

## 自製可撓式染料敏化太陽電池

### 摘要

我們以投影片為底，分別塗上導電膠、導電碳膠、鎳絲、不同粒徑的石墨粉或石墨烯等導電材料製作可彎曲的導電片，用它們來取代價格昂貴的 ITO(銻錫氧化物)透光導電玻璃片，以製作染料敏化太陽電池(簡稱 DSSC)。自製的 DSSC 的兩極中間塗了奈米級  $\text{TiO}_2$ (14 nm)晶粒，並以紫羅藍花(乙醇當溶劑)為染劑，再以鹿角蒿苣(溶於乙二醇的溶劑中)作為電解液。實驗結果發現，最好的導電材料首推「石墨烯」，並發現以「投影片/鋁膠帶/石墨烯」組合作正極，以可透光的「投影片/導電膠」作為負極，可獲得較高的發電效率。自製的太陽電池不僅製作成本很便宜，而且還可以彎曲喔！

### 壹、研究動機

去年暑假，參加學校舉辦的「奈米科技暨能源科學營」活動，其中有一堂實驗課邀請清大教授指導我們製作「染料敏化二氧化鈦奈米晶粒太陽電池」(*Dye Sensitized  $\text{TiO}_2$  nanocrystalline Solar Cell*；以下簡稱染料敏化太陽電池及 DSSC)。實驗中，有同學們打破昂貴的 ITO 玻璃，讓大家對 ITO 玻璃印象深刻。課程將結束時，大夥對 DSSC 產生了熱烈的討論。其中，有人問到是否有其他材料可同時兼具透光、耐摔、可撓等性質；如可撓且透光性佳，並能耐到  $130^\circ\text{C}$  的投影片(影印機可用者)，若塗上導電物質，是否可用以取代昂貴的 ITO 玻璃？並對此可行性、應用性、降低成本…等諸多問題產生了不少討論；因此，開啟了這個科學實驗的探討。

#### 【作品與教學相關單元：電學、電池、有機化合物、能源開發與運用】

### 貳、研究目的

- 一、研究影響製備染料敏化太陽電池之內部因素。
- 二、探討影響自製可撓式染料敏化太陽電池之正、負極組成之條件。
- 三、運用石墨烯及備長碳為導電材料、開發鄉土性材料作為電解液，以改良自製可撓式染料敏化太陽電池之製備條件。





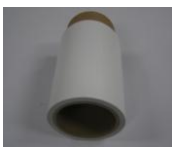




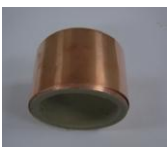
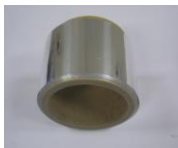

四、探討推廣自製可撓式染料敏化太陽電池的製作及成本。

### 參、研究器材

1.可撓式基材：ITO 塑膠膜(250Ω、550Ω)、投影片(以下簡稱 PET)。

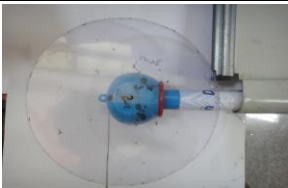

2.導電材料：

表一、實驗所使用之各項材料示意圖

材料名稱	市售 ITO 膜 (250Ω)	ITO 膜 (550Ω)	投影片 (PET)	導電碳膠
照片				
材料名稱	導電膠	石墨粉	鎳絲	石墨烯
照片				
材料名稱	PU 膠	銅膠帶	鋁膠帶	手工塗佈導電碳膠之 PET 膜
照片				



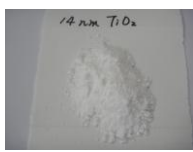
3.掃描式電子顯微鏡(SEM)：向國立清華大學工程與系統科學系借用。

4.小型馬達：

	
<p><b>【改良前】</b> 轉速較慢的馬達 (多啦 A 夢風扇筆)</p> <p>---導電碳膠之分散性差</p>	<p><b>【改良後】</b> 轉速較快之馬達 (小風扇)</p> <p>---導電碳膠之分散佳</p>


5.二氧化鈦晶粒：0.2 微米( $\mu\text{ m}$ )、22 奈米(nm)、14 奈米(nm)：購自立禾國際有限公司。

表二、實驗所使用不同粒徑之二氧化鈦晶粒

	0.2 微米	22 奈米	14 奈米
不同粒徑 二氧化鈦			

6.染劑：甜菜根、洛神花、黃梔子、紫羅蘭花、藍莓、藍藻、紫地瓜、圓仔花、蜀葵花、油桐花等，以等量乙醇浸泡萃取其花青素，作為染劑使用。

表三、實驗所使用之各種染劑材料

染劑名稱	甜菜根	洛神花	黃梔子
照片			
染劑名稱	紫羅蘭花	藍莓	藍藻
照片			
染劑名稱	紫地瓜	圓仔花	蜀葵花
照片			
染劑名稱	油桐花		
照片			

7.模擬光源之種類：(1)T5 燈管：56W、(2)檯燈(U 型節能燈管)：13W、(3)紫外燈(UV 燈)：130W、(4)白熾燈：150W、(5)鹵素燈：150W。

表四、實驗所使用之各種模擬光源

光源	T5 燈管	檯燈	紫外燈	白熾燈	鹵素燈
照片					
功率	56W*2 支	13W	130W	150W	150W
光源顏色	白晝光	白晝光	紫光	白晝光	白晝光

8.藥品：碘化鉀、碘、乙二醇、乙醇、稀醋酸、界面活性劑等。

## 肆、研究方法

### 一、研究影響製備染料敏化太陽電池之內部因素

- 1.探討不同粒徑之二氧化鈦：0.2 微米( $\mu m$ )、22 奈米(nm)、14 奈米(nm)，對染料敏化太陽電池的影響。
- 2.探討不同種類之染劑，觀察對染料敏化太陽電池的影響。
- 3.探討不同種類之模擬光源，觀察對染料敏化太陽電池的影響。

由前述三項實驗中，挑選開路電壓、電流較高之處理組，接續實驗。

### 二、探討影響自製可撓式染料敏化太陽電池正、負極組成之條件

#### 1.負極之組成：

- (1)可撓式基材：以 ITO 膜、耐高溫投影片(PET)等材料，為可撓式基材。
- (2)導電膜：PU 膠及鎳絲、導電膠。
- (3)可撓式負極之製作：結合(1)可撓式基材與(2)導電膜。(以 ITO 玻璃作為對照組)
- (4)由實驗一(不同粒徑之二氧化鈦)的結果中，挑選出開路電壓、電流較高的二氧化鈦粒徑，將之塗佈於可撓式負極的導電面上。

#### 2.正極之組成：

- (1)可撓式基材：ITO 膜、耐高溫投影片(PET)、銅膠帶、鋁膠帶等材料。
- (2)導電膜製作：燃燒蠟燭生成奈米級之碳黑粒子(用在 ITO 玻璃對照組)、導電碳膠、導電碳膠/100mg 鎳絲、導電碳膠/200mg 鎳絲、導電碳膠/300mg 鎳絲等、石墨粉(粒徑為 48 微米、10 微米、3.2 微米)、導電膠等材料。
- (3)可撓式正極之製作：結合(1)可撓式基材與(2)導電膜。(以 ITO 玻璃作為對照組)。

(4)將手工塗佈導電碳膠之方式，改良以馬達分散導電碳膠。說明如下：

		
1.自製直徑 12cm 的 PET 圓膜，裝置到馬達上，取 10 克的導電碳膠置於 PET 圓膜上。	2.開動馬達的開關，則導電碳膠漸分散。	3.利用馬達轉動產生之離心力，將導電碳膠均勻分散。

完成後，使用螺旋測微計測量導電碳膠的膜平均厚度。

3.分別組裝不同材料之正負電極，觀察、記錄製出可撓式 DSSC 開路電壓及電流的結果。

### 三、運用石墨烯及備長碳為導電材料、開發鄉土性材料作為電解液，以改良自製可撓式染料敏化太陽電池的製備

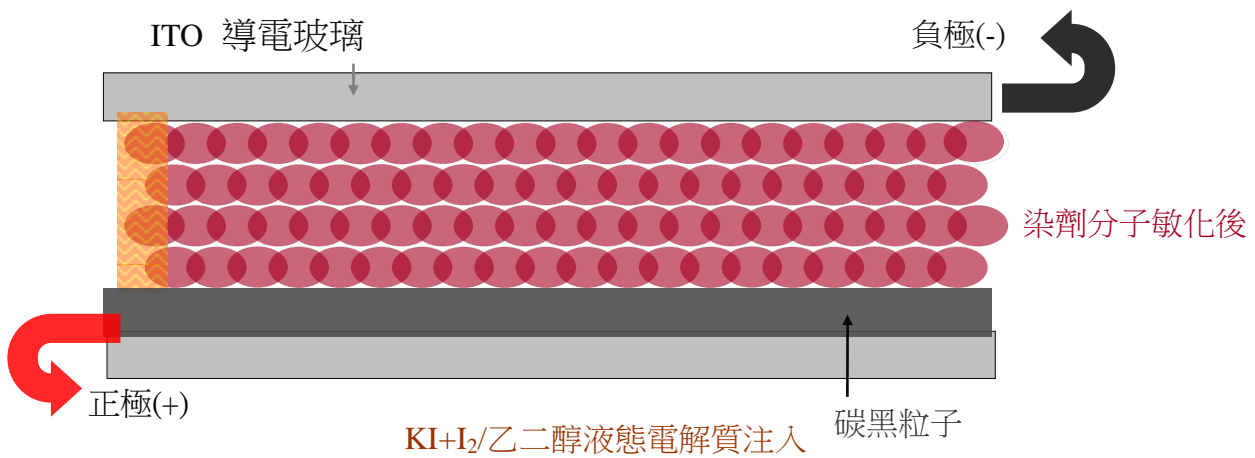
- 1.為提升可撓式 DSSC 的電壓及電流值，使用透明膠帶黏附不同層次之石墨烯及備長碳，為正極導電材料，以 SEM 掃描式電子顯微鏡拍攝結構比較，並分別製成可撓式 DSSC，觀察開路電壓及電流的差異。
- 2.使用不同膠帶，黏附不同層次石墨烯，做為正極，搭配不同之電解液製作可撓式 DSSC，觀察開路電壓及電流之差異。
- 3.以鋁膠帶分別黏附一、二、三層的石墨烯，以乙二醇萃取不同含電解質之蔬菜做為電解液，觀察與對照組的差異。
- 4.以「PET/鋁膠帶」為正極之可撓式導電材料，分別黏附、撕開成為第一、二、三層的石墨烯，在不同模擬光源照射，觀察開路電壓、電流之結果。

### 四、探討推廣自製可撓式染料敏化太陽電池的製作及成本

- 1.以最簡易、成本低廉的方法，討論自製可撓式染料敏化太陽電池使用的各項材料。
- 2.串聯自製可撓式染料敏化太陽電池，觀察開路電壓及電流之變化，並與對照組比較成本。

## 伍、文獻探討

以 ITO 玻璃，製作染料敏化電池(DSSC)之結構如下：



DSSC 之工作原理:染料分子經光線敏化後，將電子傳給 TiO<sub>2</sub>，TiO<sub>2</sub>再傳給 ITO 導電玻璃(負極)，ITO 導電玻璃經過外部迴路將電子傳給對面電極(正極 ITO-碳黑粒子)，最後經 KI<sub>3</sub>氧化還原將電子傳遞回染料，形成一個循環的電子迴路而導電。

【備註說明：一般 DSSC 製作，使用材料為 ITO glass、染料(藍莓)、電解液(KI+I<sub>2</sub>/乙二醇)，因此，後續實驗以這些材料作為對照組】

## 陸、研究結果與討論

### 一、研究影響染料敏化太陽電池之內部因素

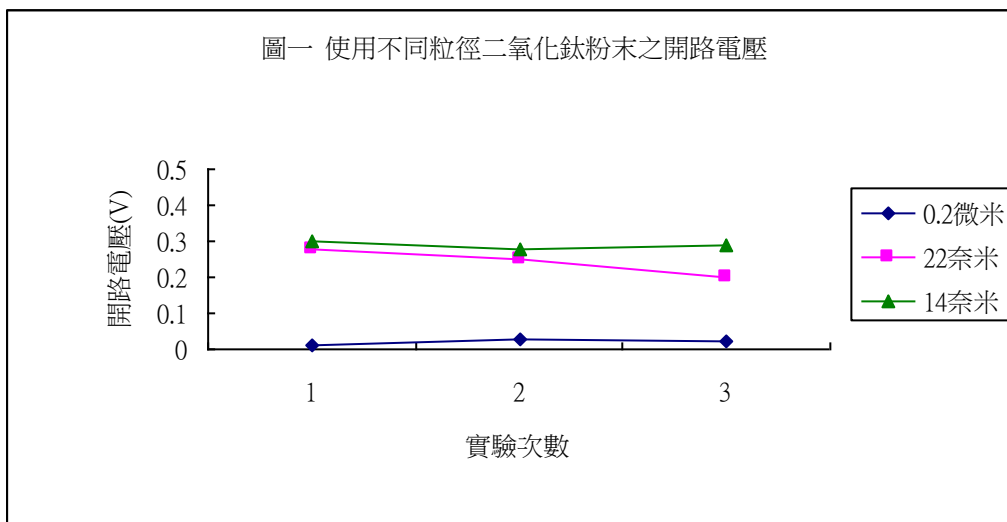
#### 1. 二氧化鈦粉末之粒徑

(1)使用 ITO 玻璃為正、負極，搭配不同粒徑之二氧化鈦粉末，測量開路電壓、電流之實驗結果。表五為使用不同粒徑 TiO<sub>2</sub> 製作 DSSC 之開路電壓、電流平均值，由結果可知，奈米級的 TiO<sub>2</sub> 有較高之電壓、電流值，14nm TiO<sub>2</sub> 可能因其粒徑小，浸泡染料時接觸表面積增加，使得 TiO<sub>2</sub> 電子較易被激發。

表五、使用不同粒徑二氧化鈦粉末製成 DSSC 之開路電壓、電流值

不同粒徑 TiO <sub>2</sub> 實驗次數	0.2 微米(200 奈米)	22 奈米	14 奈米
	開路電壓 V (電流μ A)		
1	0.01 (5)	0.26 (33)	0.30 (40)
2	0.03 (6)	0.25 (32)	0.28 (39)
3	0.02 (5)	0.20 (31)	0.29 (40)
電壓平均值(V) (電流平均值μ A)	0.02 (5)	0.24 (32)	0.29 (40)

(染劑：藍莓，電解液：KI+I<sub>2</sub>/乙二醇，光源：T5 燈管)


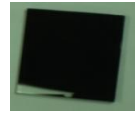




















(2)表六為使用不同處理之自製可撓式導電片，分別搭配粒徑 22nm 與 14nm 之二氧化鈦粉末，與 ITO 玻璃(對照組)之實驗結果。結果顯示，以 14nm TiO<sub>2</sub> 搭配負極 (PET/50mg 鎳絲)、正極 (PET/導電碳膠/50mg 鎳絲) 之組合，有較佳之開路電壓及電流值。與對照組相較，發現自製手工塗佈導電碳膠/鎳絲，可取代價格較昂貴、碎裂之 ITO 玻璃；由表五、六之結果可知，14nm TiO<sub>2</sub> 因粒徑微小，有效增加與染劑分子的接觸面積，因此，以 14nm TiO<sub>2</sub> 接續實驗。使用市售 ITO 膜(250Ω)，於染劑處理後，出現導電層基材分離現象，可能造成該組電壓、電流值較低，後續的實驗將不使用市售 ITO 膜(250Ω)；市售 ITO 膜(250Ω)與 ITO 膜(550Ω)表面塗佈的 TiO<sub>2</sub> 均有脫落之現象，所以此二組的開路電壓值都較低。



表六、使用粒徑 22nm 與 14nm 二氧化鈦晶粒，比較可撓式與 ITO 玻璃(對照組)製出之 DSSC 實驗結果。

(染劑：藍莓，電解液：KI+I<sub>2</sub>/乙二醇)

TiO <sub>2</sub> 粒徑	負極		正極		電壓平均(v) (電流平均μ A)
22nm	ITO 玻璃		ITO 玻璃		0.29 (對照組) (39)
	市售 ITO 膜(250Ω)		導電碳膠 /50mg 鎳絲		0.11(基材分離) (13)
	ITO 膜 (550Ω)		導電碳膠 /50mg 鎳絲		0.31 (142)
	ITO 膜 /50mg 鎳絲		導電碳膠 /50mg 鎳絲		0.38 (148)
	PET /50mg 鎳絲		導電碳膠 /50mg 鎳絲		0.44 (168)
14nm	ITO 玻璃		ITO 玻璃		0.31 (對照組) (42)
	市售 ITO 膜(250Ω)		導電碳膠 /50mg 鎳絲		0.12(基材分離) (21)
	ITO 膜 (550Ω)		導電碳膠 / 50mg 鎳絲		0.34 (135)
	ITO 膜 /50mg 鎳絲		導電碳膠 /50mg 鎳絲		0.40 (165)
	PET /50mg 鎳絲		導電碳膠 /50mg 鎳絲		0.46 (170)

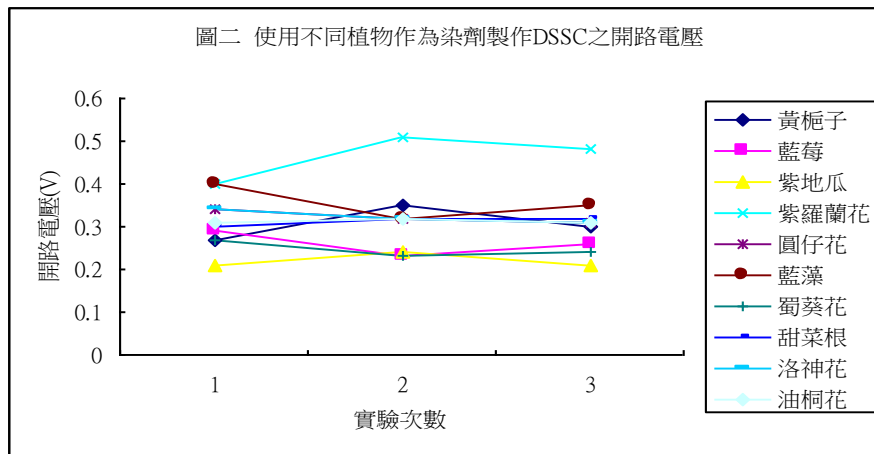
## 2.不同種類之染劑，觀察對染料敏化太陽電池的影響

表七為使用不同種類之染劑，以 ITO 玻璃為正負極，塗佈粒徑為 14nm 二氧化鈦，三

重複之實驗結果。由表中可知，以紫羅蘭花處理組有較高之開路電壓值、藍藻居於其次。這可能與 DSSC 吸收不同色系之花青素分子有關，染劑的吸收會影響到 DSSC 之化學性質。因此，選用紫羅蘭花作為染劑接續實驗。

表七、使用不同種類之染劑，以 ITO 玻璃為正負極，塗佈粒徑為 14nm 二氧化鈦，重複實驗之結果  
(光源：T5 燈管，電解液：KI+I<sub>2</sub>/乙二醇)

染劑	照片	1	2	3	開路電壓平均(V) (電流平均值μ A)
黃梔子		0.27 (36)	0.35 (64)	0.30 (40)	0.31 (40)
藍莓 (對照組)		0.29 (39)	0.23 (28)	0.26 (35)	0.26(對照組) (35)
紫地瓜		0.21 (20)	0.24 (26)	0.21 (23)	0.22 (23)
紫羅蘭花		0.40 (80)	0.51 (103)	0.48 (98)	0.46 (94)
圓仔花		0.34 (62)	0.32 (53)	0.31 (42)	0.32 (53)
藍藻		0.40 (82)	0.32 (61)	0.35 (70)	0.36 (71)
蜀葵花		0.27 (43)	0.23 (41)	0.24 (44)	0.25 (43)
甜菜根		0.30 (62)	0.32 (66)	0.32 (64)	0.31 (64)
洛神花		0.34 (64)	0.32 (62)	0.31 (60)	0.30 (62)
油桐花		0.31 (61)	0.32 (63)	0.31 (60)	0.31 (61)



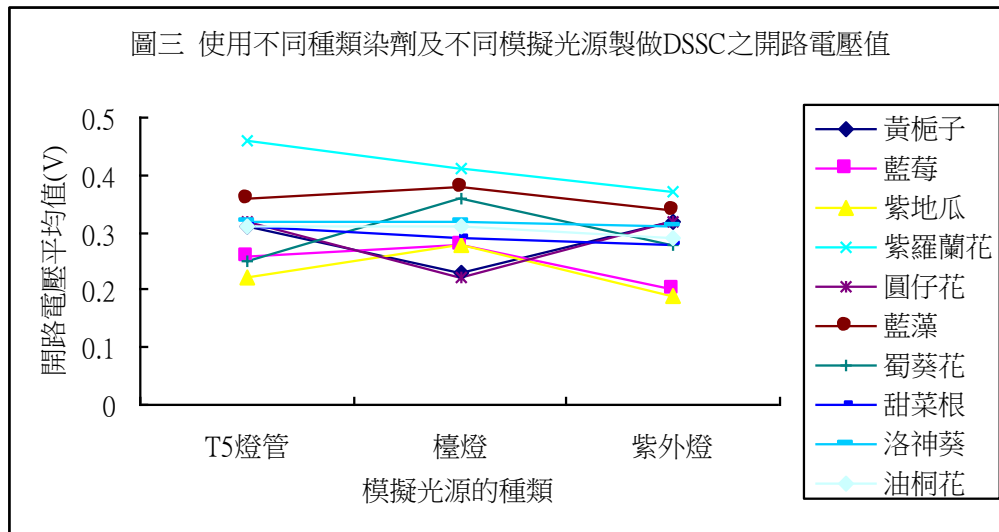
### 3.使用不同染劑、不同模擬光源，觀察以 ITO 玻璃為工作正負極之 DSSC 實驗結果。

在模擬光源部份，使用實驗室既有之光源：T5 燈管、檯燈、UV 燈(UVA 波段)三種，結果如表八，染劑以紫羅蘭花及藍藻處理組之效果較佳，T5 燈管處理組有佳的開路電壓及電流，這可能與染劑有關。文獻資料顯示(戴明鳳，2007)，藍莓等果實的花青素，易吸收偏紅光區的可見光、不易吸收藍~紫光波長；當多孔性的  $\text{TiO}_2$  層，經浸泡花青素染劑後，染劑分子會與  $\text{TiO}_2$  的  $\text{Ti}^{+4}$  離子結合，使  $\text{TiO}_2$  的顏色發生變化。T5、檯燈光源為螢光燈管。而 UV 燈(UVA 波段)，波長 320~400nm，它有很強的穿透力，可以穿透大部分透明的玻璃以及塑料。

表八、使用不同染劑、不同光源照射 15min，以 ITO 玻璃為工作正負極之實驗結果

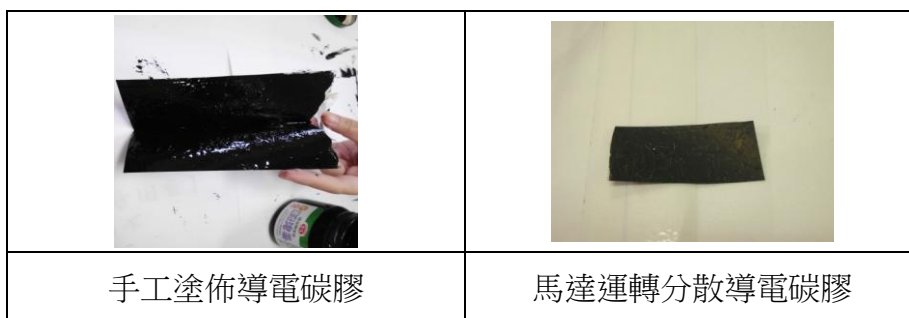
光源種類 \ 染劑種類	T5 燈管	檯燈(U 型節能燈管)	紫外燈
	開路電壓平均值 V (電流平均 $\mu$ A)		
黃梔子	0.31 (64)	0.23 (48)	0.32 (67)
藍莓	0.26 (53)	0.28 (60)	0.20 (42)
紫地瓜	0.22 (43)	0.28 (61)	0.19 (39)
紫羅蘭花	0.46 (101)	0.41 (91)	0.37 (74)
圓仔花	0.32 (67)	0.22 (45)	0.32 (64)
藍藻	0.36 (74)	0.38 (72)	0.34 (74)
蜀葵花	0.25 (58)	0.36 (81)	0.28 (60)
甜菜根	0.31 (64)	0.29 (61)	0.28 (59)

洛神葵	0.32 (63)	0.32 (62)	0.31 (67)
油桐花	0.31 (61)	0.31 (61)	0.29 (58)














## 二、探討影響自製可撓式染料敏化太陽電池之正、負極組成之條件

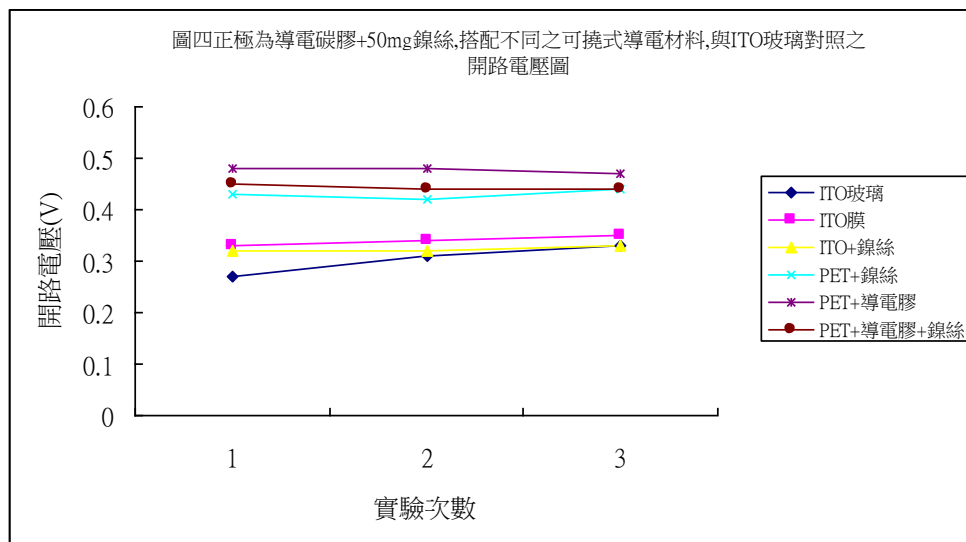
【改良】以手工塗佈導電碳膠會造成表面不平整之問題，因此，我們改用小型馬達。先使用多啦 A 夢風扇筆，結果因其轉速較慢，導電碳膠的分散性差，所以，改採使用小風扇馬達，發現碳膠分散性佳。利用馬達轉動之離心力，會將導電碳膠均勻的分散，製出平整性較佳之可撓式導電膜作為工作正極，以接續實驗。測量馬達分散後的導電碳膠之厚度平均約為  $200\mu\text{m}$  (即  $0.2\text{mm}$ )。



1. 表九是使用不同可撓式基材為正、負極，正極使用馬達將導電碳膠分散後加上鍍絲，與 ITO 玻璃(對照組)之比較，結果以 PET/導電膠為負極、導電碳膠/50mg 鍍絲之處理組有較佳的結果。

表九、以不同可撓式基材為正負極，加上導電碳膠與鎳絲，與 ITO 玻璃(對照組)比較，觀察其開路電壓、電流之結果(14nm TiO<sub>2</sub>，電解液：KI+I<sub>2</sub>/乙二醇)

負極	照片	正極	照片	1	2	3	開路電壓平均 V (電流平均 μ A)
ITO 玻璃 (對照組)		ITO 玻璃 (對照組)		0.27 (47)	0.31 (63)	0.33 (65)	0.31 (67)
ITO 膜 (550Ω)		導電碳膠 /50mg 鎳絲		0.33 (143)	0.34 (144)	0.35 (143)	0.34 (143)
ITO 膜 /PU 膠/ 50mg 鎳絲		導電碳膠 /50mg 鎳絲		0.32 (140)	0.32 (141)	0.33 (143)	0.32 (141)
PET /PU 膠/ 50mg 鎳絲		導電碳膠 /50mg 鎳絲		0.43 (185)	0.42 (185)	0.44 (186)	0.42 (185)
PET /導電膠		導電碳膠 /50mg 鎳絲		0.48 (202)	0.48 (203)	0.47 (202)	0.48 (202)
PET /導電膠/ 50mg 鎳絲		導電碳膠 /50mg 鎳絲		0.45 (185)	0.44 (186)	0.44 (187)	0.44 (186)



2.在接續的實驗中，調整鎳絲添加量，結果如表十，開路電壓及電流較高者為「導電膠/導電










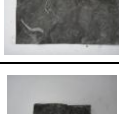

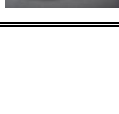
碳膠/200mg 鎳絲」及「導電膠/導電碳膠/300mg 鎳絲」之處理組，由此可知，鎳絲的添加量較高，可提升其導電性。在三種不同光源照射下有些差異，但以 T5 燈管照射之組別，開路電壓、電流較為穩定。

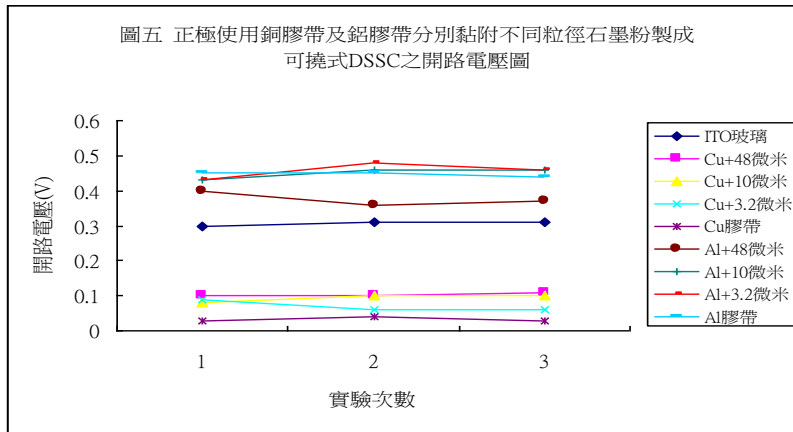
表十、使用 ITO 玻璃(對照組)、ITO 膜、PU 膠鎳絲(PET 膜/PU 膠/50mg 鎳絲)、導電膠組(PET 膜/導電膠)為正極，搭配鎳絲添加量不同的導電碳膠為負極，所組成之太陽電池，以不同光源分別照射之實驗結果。(14nm TiO<sub>2</sub>，染劑：紫羅蘭，電解液：KI-I<sub>2</sub>/乙二醇)

負極	照片	正極	照片	T5	檯燈	UV 燈
				開路電壓平均 V (電流平均 $\mu$ A)		
ITO 玻璃 (對照組)		ITO 玻璃 (對照組)		0.37 (50)	0.24 (38)	0.15 (29)
ITO 膜		導電碳膠(580 $\Omega$ )		0.35 (132)	0.34 (131)	0.33 (131)
		導電碳膠 / 100mg 鎳絲(120 $\Omega$ )		0.35 (135)	0.37 (138)	0.33 (132)
		導電碳膠 / 200mg 鎳絲(65 $\Omega$ )		0.41 (142)	0.42 (152)	0.31 (130)
		導電碳膠 / 300mg 鎳絲(45 $\Omega$ )		0.42 (155)	0.42 (156)	0.26 (93)
PU 膠鎳絲 (PET 膜/ PU 膠/ 50mg 鎳絲)		導電碳膠(580 $\Omega$ )		0.41 (176)	0.40 (175)	0.32 (170)
		導電碳膠 / 100mg 鎳絲(120 $\Omega$ )		0.42 (183)	0.40 (180)	0.37 (176)
		導電碳膠 / 200mg 鎳絲(65 $\Omega$ )		0.41 (185)	0.40 (183)	0.39 (180)
		導電碳膠 / 300mg 鎳絲(45 $\Omega$ )		0.42 (188)	0.41 (187)	0.38 (176)
導電膠組 (PET 膜/ 導電膠)		導電碳膠(580 $\Omega$ )		0.42 (190)	0.39 (186)	0.29 (175)
		導電碳膠 / 100mg 鎳絲(120 $\Omega$ )		0.42 (195)	0.41 (192)	0.36 (186)
		導電碳膠 / 200mg 鎳絲(65 $\Omega$ )		0.46 (216)	0.46 (210)	0.42 (196)
		導電碳膠 / 300mg 鎳絲(45 $\Omega$ )		0.46 (216)	0.45 (214)	0.43 (213)

2. 負極使用 PET 膜/導電膠，正極分別使用不同的導電材料：銅膠帶、鋁膠帶，黏附不同粒徑石墨粉製作可撓式 DSSC，測量開路電壓、電流，結果如表十一。結果顯示，正極為鋁膠帶，黏附 3.2 微米的石墨粉有較高之開路電壓，其次是黏附 3.2 微米的石墨粉、鋁膠帶不黏附石墨粉之處理組；銅膠帶之各項處理組的部分，其開路電壓明顯較低，這可能因其氧化還原電位與導電膠較為接近。因此，選用鋁膠帶接續下面實驗。






表十一、以導電膠塗佈 TiO<sub>2</sub> 為負極，正極使用銅膠帶、鋁膠帶為可撓式基材，分別黏附不同粒徑(48 微米、10 微米、3.2 微米)之石墨粉，在 T5 燈管照射下之結果(14nm TiO<sub>2</sub>，紫羅蘭，KI-I<sub>2</sub>/乙二醇)

負極	照片	正極	照片	1	2	3	電壓平均 V (電流平均 μ A)	
ITO 玻璃 (對照組)		ITO 玻璃		0.30 (45)	0.31 (46)	0.31 (45)	0.31 (45)	
導電膠		銅膠帶	48 微米 石墨粉		0.10 (30)	0.10 (31)	0.11 (31)	0.10 (31)
			10 微米 石墨粉		0.08 (29)	0.10 (31)	0.10 (31)	0.09 (30)
			3.2 微米 石墨粉		0.09 (30)	0.06 (28)	0.06 (28)	0.07 (29)
			不黏附 石墨粉		0.03 (21)	0.04 (22)	0.03 (21)	0.03 (21)
導電膠		鋁膠帶	48 微米 石墨粉		0.40 (172)	0.36 (170)	0.37 (173)	0.38 (175)
			10 微米 石墨粉		0.43 (173)	0.46 (175)	0.46 (176)	0.45 (175)
			3.2 微米 石墨粉		0.43 (173)	0.48 (212)	0.46 (201)	0.47 (205)
			不黏附 石墨粉		0.45 (175)	0.45 (176)	0.44 (174)	0.45 (175)



4.表十二，不同電解液(KI+I<sub>2</sub>/乙二醇、鹿角萵苣/乙二醇)對鋁膠帶為正極，黏附不同粒徑石墨粉的結果與表十一結果相似，黏附 3.2 微米的石墨粉，搭配鹿角萵苣/乙二醇為電解液，有較高之開路電壓、電流。

表十二、以導電膠塗佈 TiO<sub>2</sub> 為負極，使用不同電解液(KI+I<sub>2</sub>、鹿角萵苣)，正極分別為銅膠帶、鋁膠帶為可撓式基材，分別黏附不同粒徑(48 微米、10 微米、3.2 微米)之石墨粉，在 T5 燈管照射下，測量開路電壓之實驗結果 (14nm TiO<sub>2</sub>，染劑：紫羅蘭)

電解液	負極	照片	正極	照片	1	2	3	電壓平均 V (電流平均 μ A)	
KI+I <sub>2</sub> /乙二醇	ITO 玻璃 (對照組)		ITO 玻璃		0.30 (45)	0.31 (46)	0.31 (45)	0.31 (45)	
	導電膠		鋁膠帶	48 微米 石墨粉		0.40 (172)	0.36 (170)	0.37 (173)	0.38 (175)
				10 微米 石墨粉		0.43 (173)	0.46 (175)	0.46 (176)	0.45 (175)
				3.2 微米 石墨粉		0.43 (173)	0.48 (212)	0.46 (201)	0.47 (205)
				無石墨 粉		0.43 (175)	0.45 (176)	0.43 (174)	0.44 (175)
鹿角 萵苣/乙二 醇	ITO 玻璃 (對照組)		ITO 玻璃		0.32 (48)	0.30 (46)	0.29 (45)	0.30 (46)	
	導電膠		鋁膠帶	48 微米 石墨粉		0.38 (175)	0.40 (172)	0.36 (175)	0.38 (174)
				10 微米 石墨粉		0.41 (170)	0.38 (176)	0.43 (184)	0.41 (177)

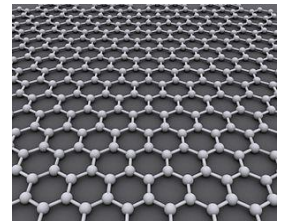


				3.2 微米 石墨粉		0.48 (220)	0.46 (212)	0.48 (220)	0.47 (217)
				無石墨 粉		0.43 (180)	0.43 (181)	0.44 (182)	0.43 (181)

### 三、運用石墨烯及備長碳為導電材料、開發鄉土性材料作為電解液，以改良自製可撓式染料敏化太陽電池的製備

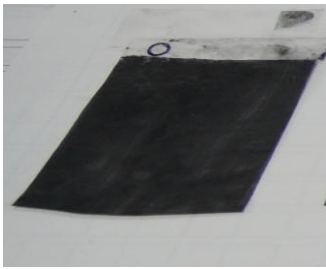
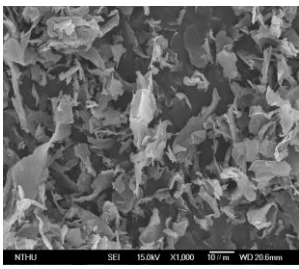
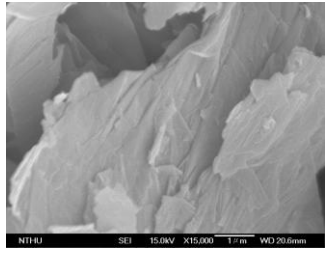
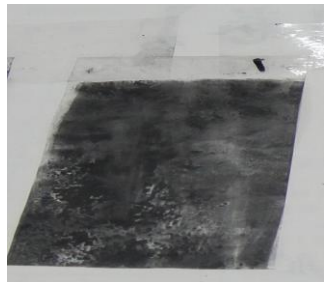
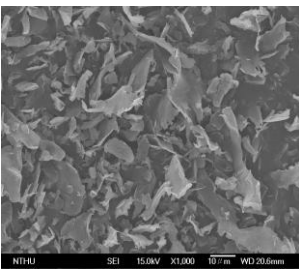
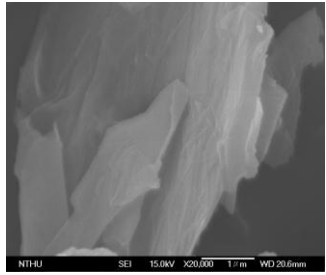
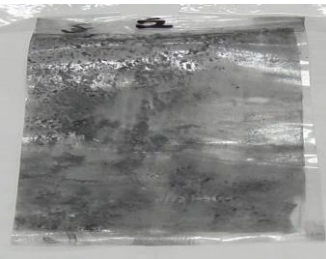
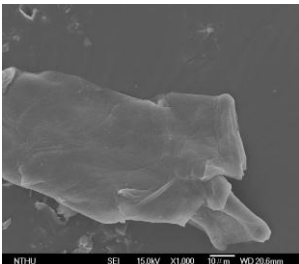
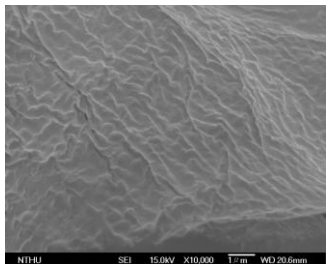
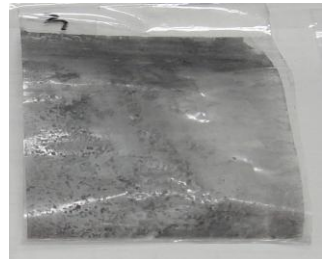
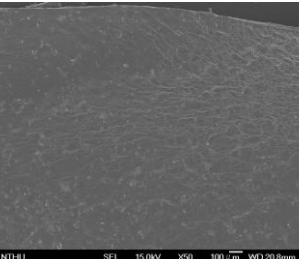
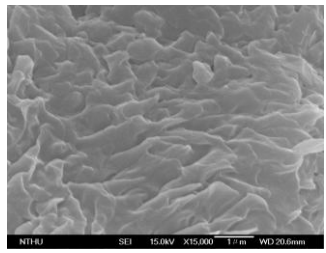

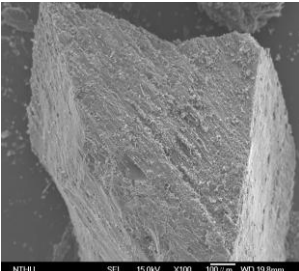
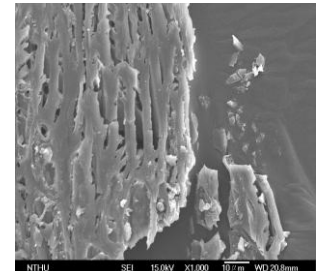
表十三為石墨烯、備長碳在 SEM 電子顯微鏡下拍攝的照片，其中，左欄：利用透明膠帶黏附不同層次之石墨烯及備長碳照片，中欄及右欄：不同層次石墨烯及備長碳在 SEM 電子顯微鏡下拍攝的照片，從不同層次之石墨烯的照片中，可以明顯看出層次感，我們用透明膠帶黏附不同層次之石墨烯及備長碳，希望可以透過 SEM 電子顯微鏡拍攝照片，看出其層次，進而運用石墨烯開發出新的可撓式導電材料。

「石墨烯」(Graphene)如右圖，單層的碳原子緊密規則排列，碳原子間以  $sp^2$  軌域互相鍵結形成六角碳環，然後延伸形成如蜂巢似的二維平面結構，被稱為石墨烯(graphene)，石墨烯被認為是平面多環芳香烴原子晶體，其結構非常穩定，碳碳鍵 (carbon-carbon bond) 僅為  $1.42\text{\AA}$ ，內部的碳原子之間的連接很柔韌，當施加外力於石墨烯時，碳原子面會彎曲變形，使得碳原子不必重新排列來適應外力，從而保持結構穩定。石墨烯是構成下列碳同素異形體的基本單元：石墨，木炭，碳奈米管和富勒烯。文獻顯示，石墨烯具有良好的導熱、導電性質，因此，本實驗嘗試使用石墨烯為導電材料，觀察其導電效果。



表十三 【左欄】利用透明膠帶黏附不同層次之石墨烯及備長碳照片。

【中欄及右欄】不同層次石墨烯及備長碳在 SEM 電子顯微鏡下拍攝的照片。

第一層石墨烯 ↓	第一層石墨烯 ↓	第一層石墨烯-拉近照片 ↓
		
第二層石墨烯 ↓	第二層石墨烯 ↓	第二層石墨烯-拉近照片 ↓
		
第三層石墨烯 ↓	第三層石墨烯 ↓	第三層石墨烯-拉近照片 ↓
		
第四層石墨烯 ↓	第四層石墨烯 ↓	第四層石墨烯-拉近照片 ↓
		
備長碳(一層) ↓	備長碳(一層) ↓	備長碳(一層)-拉近照片 ↓
		

1.表十四結果顯示，添加石墨烯有較高的電壓、電流。石墨烯具有良好的導電性，從本結果中可以得到驗證(洪偉修，2009)。另，備長碳也是本校學姐們在第 49 屆全國科展之比賽中使用導電材料之一，在實驗中我們嘗試用透明膠帶及導電膠黏附一層石墨烯及備長碳，觀察兩者差異，結果是「導電膠/石墨烯/鹿角萵苣(乙二醇)」的組合，有較佳的電壓、電流值。

表十四、以導電膠塗佈 TiO<sub>2</sub> 為負極，使用不同電解液(KI+I<sub>2</sub>/乙二醇、鹿角萵苣/乙二醇)，正極分別為透明膠帶、導電膠、為可撓式基材，分別黏附一層的石墨烯及備長碳，在 T5 燈管照射下，測量電壓、電流之實驗結果 (14nm TiO<sub>2</sub>，染劑：紫羅蘭)


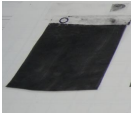
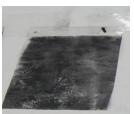


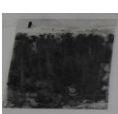



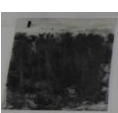
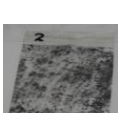
電解液	負極	照片	正極	照片	1	2	3	電壓平均(V) (電流平均μ A)
KI+I <sub>2</sub> /乙二醇	ITO 玻璃 (對照組)		ITO 玻璃		0.30 (45)	0.31 (46)	0.31 (46)	0.31 (46)
	導電膠		(1)透明膠帶 /石墨烯		0.25 (13)	0.24 (11)	0.24 (11)	0.24 (12)
			(2)導電膠 /石墨烯		0.39 (142)	0.38 (140)	0.37 (140)	0.38 (141)
			(3)透明膠帶 /備長碳		0.04 (4)	0.04 (4)	0.03 (3)	0.04 (4)
			(4)導電膠 /備長碳		0.06 (12)	0.04 (10)	0.05 (10)	0.05 (11)
鹿角 萵苣 /乙二醇	導電膠		(1)透明膠帶 /石墨烯		0.23 (11)	0.23 (11)	0.24 (12)	0.23 (11)
			(2)導電膠 /石墨烯		0.43 (196)	0.40 (192)	0.41 (193)	0.41 (194)
			(3)透明膠帶 /備長碳		0.04 (5)	0.06 (6)	0.05 (5)	0.05 (5)
			(4)導電膠 /備長碳		0.07 (8)	0.06 (7)	0.07 (8)	0.07 (8)

2. 「石墨烯」為 2010 年獲諾貝爾物理獎-兩位英國曼徹斯特大學的物理學家，Andre Geim 和 Konstantin Novoselov 用 3M 膠帶撕出來的材料。因此，我們使用不同的基材，黏附一層石墨烯(以下簡稱：第一層石墨烯)後，再用另一膠帶黏附第一層石墨烯後、撕開使成為第二層石墨烯，以此類推。表十五為使用不同材料膠帶，黏附不同層次石墨烯，做為正極，搭配不同電解液，結果顯示，導電膠黏附第二層石墨烯組合，搭配鹿角萵苣電解液有較佳之結果；這證實石墨烯具有良好的導電性，是可取代 ITO glass 的碳黑粒子，做為導電材料。表十五實驗是使用單純電解液(即未使用任何溶劑萃取)，因此，石墨烯對電解液產生疏水之現象，因此，開路電壓、電流有下降之趨勢。

「鹿角萵苣」(Lactuca sativa，又名：缺角萵菜、變葉萵苣菜、裂葉萵菜、山萵苣)，是由野生山萵苣和農作栽培的劍葉萵苣雜交產生的新品種，葉子長得比較像山萵苣,但比山萵苣寬一點,形狀像鹿角,因而得名，屬菊科蔬菜。本校學區大多為客家民族，對本區域居民的飲食習慣而言，鹿角萵苣是常吃、也常見的葉菜類，除供人類食用外，也可供雞、鴨、鵝、兔子食用，因此又稱為「角葉鵝仔菜」。在電解質預備實驗中，發現其導電效果佳，因此，使用鹿角萵苣作為電解液，成本低廉又環保。



表十五、以 ITO 膜及導電膠塗佈 TiO<sub>2</sub> 為負極，正極分別為透明膠帶、導電膠、為可撓式基材，分別黏附一層的石墨烯及備長碳，搭配不同電解液(鹿角萵苣、山萵蒿、萵蒿的汁液)在 T5 燈管照射下，測量開路電壓、電壓之實驗結果 (14nm TiO<sub>2</sub>，染劑：紫羅蘭)

負極	照片	正極	照片	電解液			
				鹿角萵苣	山萵蒿	萵蒿	
				開路電壓之平均值(v)			
PET/ 導電膠		透明膠帶	黏附第一層石墨烯		0.19 (11)	0.11 (9)	0.17 (10)
			第二層石墨烯		0.10 (9)	0.03 (3)	0.09 (8)
			第三層石墨烯		0.02 (2)	0.01 (1)	0.01 (1)
		導電膠	黏附第一層石墨烯		0.23 (112)	0.20 (48)	0.12 (36)
			第二層石墨烯		0.26 (123)	0.14 (23)	0.07 (15)
			第三層石墨烯		0.20 (68)	0.01 (2)	0.02 (3)
ITO 膜		導電膠	黏附第一層石墨烯		0.11 (12)	0.09 (10)	0.09 (11)
			第二層石墨烯		0.10 (11)	0.06 (8)	0.07 (9)
			第三層石墨烯		0.08 (9)	0.01 (3)	0.01 (2)

【改良】為解決表十五實驗中的疏水現象，所以，採用乙二醇來萃取含電解質較高之蔬菜作為電解液，與對照組比較，觀察其差異之結果。在正極材料的部份，為提高導電性，我們嘗試以鋁膠帶來取代導電膠，選用不同的模擬光源，觀察結果是否有差異。


3.表十六為鋁膠帶分別黏附一、二、三層的石墨烯，以乙二醇萃取不同含電解質之蔬菜做為電解液，與對照組相較之下的實驗結果。結果以「鹿角萵苣/乙二醇、鋁膠帶/第二層石墨烯」的處理組有較佳之結果。

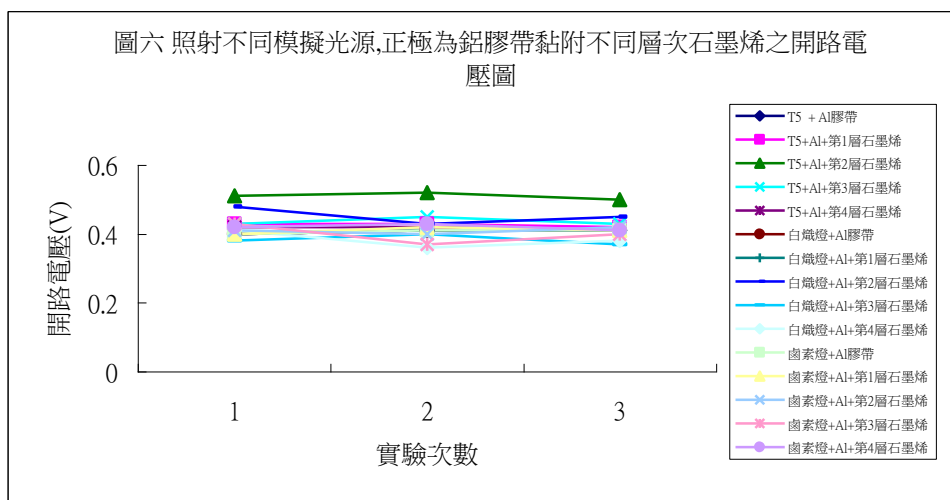
表十六、以導電膠塗佈 TiO<sub>2</sub> 為負極，正極分別為鋁膠帶為可撓式基材，分別黏附撕開成為一、二、三層的石墨烯，搭配以乙二醇萃取之不同電解液(鹿角萵苣、萵菜、胡蘿蔔、菠菜和對照組)在 T5 燈管照射下，測量開路電壓、電流之實驗結果 (14nm TiO<sub>2</sub>，染劑：紫羅蘭)

負極	照片	正極	照片	電解液					
				鹿角萵苣	萵菜	胡蘿蔔	菠菜	KI+I <sub>2</sub> (對照組)	
				開路電壓平均值 V (電流平均值 μ A)					
PET/ 導電膠		鋁膠帶	第一層 石墨烯		0.42 (186)	0.37 (96)	0.36 (88)	0.31 (79)	0.40 (143)
			第二層 石墨烯		0.45 (192)	0.36 (91)	0.41 (98)	0.32 (81)	0.39 (140)
			第三層 石墨烯		0.40 (183)	0.30 (87)	0.39 (97)	0.30 (76)	0.40 (142)

4.在模擬光源的部份，將白熾燈、鹵素燈與 T5 燈管做比較，觀察是否差異。結果如表十七，在 T5 燈管的部份，以鋁膠帶黏附第二層石墨烯有較佳之結果；其次是白熾燈+鋁膠帶黏附第二層石墨烯，如圖六。由表十六、十七的結果，可看出添加石墨烯的處理組，確實可改善可撓式染料敏化太陽電池之效能，是值得推廣的導電材料，與文獻資料(李偉立，2010)所提相同。但，目前因設備有限，希望能用單層的石墨烯，運用如「網印的技術」…等，直接將之 coating 在 PET 膜上，而不影響光線穿透可撓式膜，亦即用在太陽能負極上，這也是本研究未來延伸的努力方向。

表十七、以導電膠塗佈 TiO<sub>2</sub> 為負極，正極分別為鋁膠帶，分別黏附撕開成為第一、二、三層的石墨烯，在 T5 燈管、白熾燈、鹵素燈照射下，測量開路電壓之實驗結果(14nm TiO<sub>2</sub>；染劑：紫羅蘭；電解液：鹿角萵苣/乙二醇)



光源	負極	正極	照片	開路電壓(v) (電流平均值μ A)				
				1	2	3	平均值	
T5	PET/ 導電膠	鋁膠帶	無石墨烯		0.40 (181)	0.41 (183)	0.41 (183)	0.41 (182)
			第一層石墨烯		0.43 (190)	0.43 (189)	0.42 (187)	0.43 (189)
			第二層石墨烯		0.51 (258)	0.52 (262)	0.50 (257)	0.51 (259)
			第三層石墨烯		0.43 (237)	0.45 (243)	0.43 (239)	0.44 (240)
			第四層石墨烯		0.42 (234)	0.42 (233)	0.41 (231)	0.42 (233)
白熾燈	PET/ 導電膠	鋁膠帶	無石墨烯		0.40 (181)	0.41 (183)	0.41 (183)	0.41 (182)
			第一層石墨烯		0.40 (231)	0.41 (233)	0.41 (232)	0.41 (232)
			第二層石墨烯		0.48 (248)	0.43 (237)	0.45 (242)	0.45 (242)
			第三層石墨烯		0.38 (223)	0.40 (231)	0.37 (223)	0.38 (226)
			第四層石墨烯		0.41 (231)	0.36 (225)	0.38 (228)	0.38 (228)
鹵素燈	PET/ 導電膠	鋁膠帶	無石墨烯		0.40 (181)	0.41 (184)	0.41 (185)	0.41 (183)
			第一層石墨烯		0.40 (231)	0.42 (234)	0.41 (233)	0.41 (233)
			第二層石墨烯		0.41 (233)	0.40 (230)	0.42 (235)	0.41 (233)
			第三層石墨烯		0.43 (236)	0.37 (230)	0.40 (233)	0.40 (233)
			第四層石墨烯		0.42 (234)	0.43 (234)	0.41 (231)	0.42 (233)



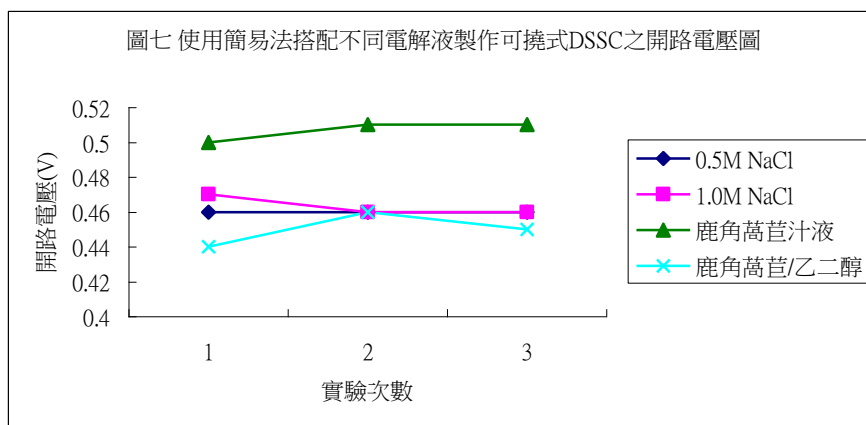
#### 四、探討推廣自製可撓式染料敏化太陽電池的製作及成本

1.觀察表十七，可朝另一方向思考~如不添加石墨烯，即不需考量石墨烯產生疏水現象，亦即電解液不需使用乙二醇溶劑來萃取，因此，產生最簡易、成本最低廉的方法來製作可撓式 DSSC。表十八，為使用「PET/導電膠」為負極、鋁膠帶為正極，搭配不同電解液之結果，結果以鹿角萵苣汁液組有較佳的結果，如圖七。所以，推廣以簡易法製作可撓式 DSSC 之各項材料，負極-PET/導電膠，14nm TiO<sub>2</sub>，正極-鋁膠帶，染劑-紫羅蘭花/乙醇萃取液，電解液-鹿角萵苣汁液或 0.5M、1.0M 食鹽水溶液。但以太陽能效能的立場而言，是未能比添加石墨烯來的佳。

表十八、以導電膠塗佈 TiO<sub>2</sub> 為負極，正極為可撓式鋁膠帶，搭配不同電解液(0.5M 食鹽水、1.0M 食鹽水溶液、鹿角萵苣+乙二醇、鹿角萵苣汁液)，在 T5 燈管照射下，測量開路電壓、電流之結果(14nm TiO<sub>2</sub>，紫羅蘭花)

負極	照片	正極	照片	電解液			
				0.5M 食鹽水溶液	1.0M 食鹽水溶液	鹿角萵苣汁液	鹿角萵苣/乙二醇(對照組)
				開路電壓 V(電流μ A)			
PET/導電膠		鋁膠帶		0.46 (187)	0.47 (188)	0.50 (193)	0.44 (184)
				0.46 (186)	0.46 (187)	0.51 (198)	0.46 (186)
				0.46 (185)	0.46 (188)	0.51 (197)	0.45 (184)
開路電壓平均值(V) (電流平均值μ A)				0.46 (186)	0.46 (188)	0.51 (196)	0.45 (185)





## 2. 串聯自製可撓式染料敏化太陽電池，觀察其電壓及電流之變化，並討論製作成本。

將自製可撓式染料敏化太陽電池分別做 2~4 組之串聯，可觀察其開路電壓有逐漸升高趨勢，電流無明顯變化。因此，如要將此電池驅動小型電器，需適度的做數組串聯以提升電壓，數組電池並聯以提升電流。傳統矽基材或薄膜式太陽電池，因其製程需在無塵室高規格環境下作業，製作程序繁瑣、特定製程及高價位生產設備，使其製作成本高居不下。而染料敏化電池之材料低廉，且可利用低成本的製程技術。將「可撓式」導電基材與 ITO glass 之製作成本相比較，可撓式導電基材可有效降低成本(其成本約只有 ITO glass 的 1/4)，請參見表十九，添加石墨烯可提升可撓式太陽電池的電壓及電流，「石墨烯」確實是一值得推廣的導電材料。希冀將自製可撓式 DSSC，應用到室內使用的小型電池、3C 產品、可攜帶式的電力系統等，更可與建築物的窗戶或百葉窗、汽車天窗等結合，以提升可撓式 DSSC 應用性，也為開發再生能源、減碳救地球，盡一份綿薄之力。

表十九、以可撓式材料與 ITO 玻璃製作 DSSC 之電壓、電流及成本之比較表(紫羅蘭花，鹿角蒿苣/乙二醇)

太陽電池之基材	負極	正極	可撓式 DSSC 處理	電壓(v)	電流( $\mu$ A)	平均成本(元)
可撓式 基材	PET 膜 /導電膠	鋁膠膜	串聯 2 組	0.58	185	40
			串聯 3 組	0.78	186	60
			串聯 4 組	0.98	186	80
	PET 膜 /導電膠	鋁膠膜 /第二層 石墨烯	串聯 2 組	0.70	254	50
			串聯 3 組	0.85	260	75
			串聯 4 組	1.08	258	100
ITO 玻璃	ITO glass	ITO glass/ 碳黑粒子	串聯 2 組	0.63	48	200
			串聯 3 組	0.86	50	300
			串聯 4 組	1.02	49	400

## 柒、結論

### 一、研究影響染料敏化太陽電池之內部因素

- 1.粒徑為 14nm 的二氧化鈦，有較佳之電壓及電流。以 14nm 二氧化鈦塗佈於負極 (PET/50mg 鎳絲)，搭配正極(自製導電碳膠/50mg 鎳絲)，製成可撓式 DSSC 有較佳的結果；ITO 膜組的二氧化鈦均有脫落之現象，因此，電壓及電流均較低。
- 2.不同種類的染劑，以紫羅藍花/乙醇萃取的花青素液效果較佳、其次是藍藻處理組。
- 3.以紫羅藍花/乙醇萃取作為染劑，搭配 T5 燈管光源的 DSSC，有較佳的結果。

### 二、探討影響自製可撓式染料敏化太陽電池正、負極組成之條件

- 1.負極使用 PET/導電膠、正極為自製導電碳膠/50mg 鎳絲，製成可撓式 DSSC 有較佳的結果。
- 2.負極使用 PET/導電膠、正極為自製導電碳膠/200mg~300mg 鎳絲，以 T5 光源照射，製成之可撓式 DSSC 有較佳的結果(若以成本考量，則選用正極添加 200mg 鎳絲)。
- 3.負極使用 PET/導電膠、正極為鋁膠帶/3.2 微米之石墨粉，製成之可撓式 DSSC 有較佳的結果；使用銅膠帶之處理組的結果均較差。(電解液均為：KI+I<sub>2</sub>/乙二醇)。
- 4.負極使用 PET/導電膠、正極為鋁膠帶/3.2 微米之石墨粉，搭配鹿角萵苣/乙二醇之電解液，製成之可撓式 DSSC 有較佳的結果。

### 三、探討運用石墨烯、備長碳為導電材料，開發鄉土性材料作為電解液，以改良自製可撓式染料敏化太陽電池的製備

- 1.負極使用 PET/導電膠、正極為導電膠/石墨烯，搭配鹿角萵苣/乙二醇之電解液，製成之可撓式 DSSC 有較佳的結果。
- 2.負極使用 PET/導電膠、正極為導電膠/第二層石墨烯，以搭配鹿角萵苣汁液為電解液之處理組，製成之可撓式 DSSC 有較佳的結果。
- 3.負極使用 PET/導電膠、正極為鋁膠帶/第二層石墨烯，搭配鹿角萵苣/乙二醇之電解液，製成之可撓式 DSSC 有較佳的結果。
- 4.負極使用 PET/導電膠、正極為鋁膠帶/第二層石墨烯，搭配鹿角萵苣/乙二醇之電解液，在 T5 光源照射下，製成之可撓式 DSSC 有較佳的結果。

#### 四、探討推廣自製可撓式染料敏化太陽電池的製作及成本

- 1.製備可撓式染料敏化太陽電池，最簡易、成本最低廉的材料是：(負極)導電膠塗佈 14nm 二氧化鈦，(正極)PET/鋁膠帶，染劑為紫羅蘭花/乙醇萃取液，電解液為鹿角蒿 芎或 1.0M 食鹽水溶液。
- 2.串聯數組可撓式 DSSC(負極：PET/導電膠、正極：鋁膠帶/第二層石墨烯)可提高電壓、並聯數組可提升電流，平均成本與 ITO 玻璃組相較，約為其 1/4，可有效降低成本。

#### 捌、參考文獻

- 1.電解質、電學、能源的開發與利用 2010 國中自然與生活科技教師手冊 康軒文教事業出版社
- 2.楊鏡堂，葉孟考，葉哲良，饒達仁，陳榮順，戴明鳳 2007 奈米科技實驗手冊 教育部中北區奈米科技 K-12 教育發展中心系列叢書
- 3.洪偉修 2009 世界上最薄的材料-石墨烯(-康熹化學報報) 康熹文化事業出版公司
- 4.呂宗昕 2009 全面攻進奈米科技與太陽電池 天下遠見出版股份有限公司 台北市
- 5.呂宗昕 2005 圖解奈米科技與光觸媒 商周出版社 台北市
- 6.李偉立 2010 挑戰不可能的任務-製作石墨超級薄片 科學月刊 12 月號 492 期 p.902~909

## 【評語】 030202

本實驗使用投影片與石墨烯做成染料酸化太陽電池的電極，具有透光性與可撓性，創意佳，成果也優，唯與 ITO 導電玻璃比較時，需注意  $\text{TiO}_2$  兩電極上的接觸異面的緊密度要差不多，比較才有意義。