中華民國第54屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組　化學科

佳作

030209

『銀』在起跑『線』～探討提升第二代自製可撓式染料敏化太陽電池效能之研究

學校名稱：苗栗縣立頭份國民中學

作者：	指導老師：
國二 曾致程	李桂雲
國二 潘秋瑄	江彥穎
國二 黃郁萍	

關鍵詞：奈米銀線、少層奈米石墨烯、

水溶性幾丁聚醣

『銀』在起跑『線』~ 探討提升第二代自製可撓式染料敏化太陽電池效能之研究

摘　要

為提高耐溫性、製程需求等因素，選用 PC 薄膜為可撓式基材，製備第二代可撓式染敏太陽電池建議條件，負極：PC/導電膜/TiO_2/紫羅蘭/奈米銀線，正極：PC/導電膜/少層奈米石墨烯第一層組合。塗佈奈米銀線提升導電性，降低電池內電阻，使二代自製電池效能提升。加入水溶性幾丁聚醣於電解液，製成糊狀電解質，改善電解液易滲的問題，延長電池工作時間。串聯 3-4 組二代自製電池，可驅動數位時鐘及計時器，增加其運用性。自製可撓式光量子點 4 層之太陽電池，其效能與第二代自製可撓式染敏太陽電池相近。

壹、研究動機

參與本校奈米科技暨能源科學營隊，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(以下簡稱：染敏太陽電池)。有鑑於 ITO 玻璃價格高，日前學長姐已研發出可取代 ITO 玻璃的第一代自製可撓式染敏太陽電池。能源，是全球人類關切的議題，面對著自製第一代可撓式染敏太陽電池的問題缺點，限制它的應用性；如能經本實驗的研究改良-「第二代自製可撓式染敏太陽電池」，將效能再提升，更是我們所企盼！因此，希望透過本實驗，採用不同奈米材料與設計巧思，改善第一代自製可撓式染敏太陽電池的問題，提升該電池之效能，並增廣其運用性。

第一代自製可撓式染敏太陽電池	
正、負極材料	問題缺點
正極：PET/導電膜/TiO_2/紫羅蘭 負極：PET/鋁膠帶/石墨烯	1.可撓式薄膜不耐高溫 2.電解液易滲出而乾掉 3.內電阻高，電池串聯仍無法驅動電器

【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、研究不同的材料，對第二代自製可撓式染敏太陽電池效能的影響。

二、研究不同來源的染劑及再處理，對第二代自製可撓式染敏太陽電池效能的影響

三、探討不同的組裝方式，觀察對第二代自製可撓式染敏太陽電池效能之影響。

四、測試串聯電路，觀察對第二代自製可撓式染敏太陽電池的效能差異。

五、比較自製可撓式光量子點太陽電池與第二代自製可撓式染敏太陽電池之效能差異。

參、研究器材

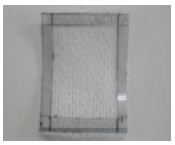
1.可撓式基材：

(1)PET：聚對苯二甲酸乙二酯 (Polyethylene terephthalate；以下簡稱為：PET)。

(2)PI：聚醯亞胺 (Polyimide；以下簡稱為：PI)。

(3)PC：聚碳酸酯 (Polycarbonate；以下簡稱為：PC)。

2.實驗材料：　　表一、實驗所使用之各項材料示意圖

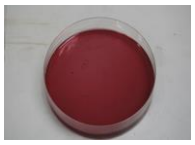
器材名稱	PET 薄膜	PC 薄膜	PI 薄膜	導電膠
照片				
器材名稱	少層奈米石墨烯	多層奈米石墨烯	奈米石墨烯分散液	奈米碳管粉末
照片				
器材名稱	奈米碳管分散液	白金溶液	奈米金	奈米銀
照片				
器材名稱	奈米銀線	中空墊片	中空墊片+尼龍網	中空墊片+紗布
照片				
器材名稱	中空墊片+金屬網			
照片				

3.染劑：

(1)天然花青素：選用藍紫色系花朵，包括紫羅蘭花(歐洲)、矮牽牛、風鈴草等、乾燥後的花朵，以等量乙醇浸泡萃取其花青素，作為染劑使用。

(2)化學性染劑：取釕金屬染料 0.18g，加入絕對酒精定量至 300ml，攪拌溶解後備用。

表二、實驗所使用之染劑材料

染劑名稱	藍紫色花朵之天然花青素			化學性染劑
	紫羅蘭(歐洲)	矮牽牛	風鈴草	釕金屬
照片				

4.其他器材：燒杯、滴管、玻棒、鑷子、黏著劑、膠帶、夾子、漏斗、鱷魚夾、三用電錶、平板加熱器。

5.掃描式電子顯微鏡(SEM)：感謝國立台灣大學高分子所，協助提供掃描式電子顯微鏡之拍攝。

6.模擬光源：T5 燈管(56W)。

7.藥品：粒徑 14nm TiO_2、碘化鉀、碘、乙二醇、乙醇、稀醋酸、界面活性劑、絕對酒精、硝酸銀、硫化鈉、太白粉、關華豆膠、水溶性幾丁聚醣。

肆、研究方法

一、研究不同的材料，對第二代自製可撓式染敏太陽電池效能的影響。

1.不同的可撓式基材：統整三種可撓式基材(PET、PC、PI 薄膜)的各項性質，依透光率、耐熱性、耐溶劑否、支撐性，擇一較合適的薄膜，作為可撓式基材。

2.不同的正極材料：PC/導電膠為導電基材，負極塗佈 14nm TiO_2，正極材料為奈米碳管、奈米碳管分散液、奈米銀液、多層奈米石墨烯、少層奈米石墨烯、奈米石墨烯分散液，製備二代可撓式染敏太陽電池，測量開路電壓、短路電流之結果。

3.於負極上以不同材料再處理：正極為少層奈米石墨烯第一層，負極是 PC/導電膠/TiO_2，於負極 TiO_2 表面加上不同再處理，分別是：奈米金、奈米銀、奈米銀線，製備二代自

製可撓式染敏太陽電池，測量結果。

4.奈米銀線的不同加入方式：比較塗佈法、以不同體積混入 TiO_2 中，觀察其差異。

二、研究不同性質的染劑及再處理，對第二代自製可撓式染敏太陽電池效能的影響。

1.不同性質的染劑：以 PC /導電膜為導電基材，負極塗佈 14nm TiO_2，分別以少層奈米石墨烯第一、二、三層為正極材料，分別浸泡兩種性質不同的染劑，第一種為是藍紫色花朵的天然花青素，包括有：紫羅蘭、風鈴草、矮牽牛；第二種是化學性染劑：釕金屬；將負極分別浸泡於不同染劑 30 分鐘，取出乾燥備用。

2.負極再處理的有無： 以 PC /導電膜為導電基材，負極塗佈 14nm TiO_2，分別浸泡紫羅蘭與釕金屬染劑後，塗佈一層奈米銀線之再處理，比較有、無塗佈奈米銀線對之二代自製可撓式染敏太陽電池的開路電壓、短路電流之影響。

3.日照 2 小時：負極 PC/導電膜/TiO_2/紫羅蘭/奈米銀線，正極 PC/導電膠/少層奈米石墨烯粉末之二代自製染敏太陽電池，置於戶外日照 2 小時(上午 10 時-12 時)，測量結果。

4.以本實驗室內模擬光源為例，計算第二代自製可撓式染敏太陽電池之光電轉換效率 (η_{power})。

光電轉換效率 η_{power} **(%)** 的計算：

$$\eta_{power}(\%) = P_{out} / P_{in} * 100\ \% = (FF*I_{sc}*V_{oc}) / P_{in} * 100\ \%$$

其中，P_{in}：太陽電池之入射光功率。 P_{out}：太陽電池之放射光功率，

又 $P_{out} = FF*I_{sc}*V_{oc}$，其中，**FF(fill factor)**為填充因子、

V_{oc}：自製太陽電池的開路電壓、I_{sc} 為自製太陽電池的短路電流。

三、探討不同的組裝方式，觀察對第二代自製可撓式染敏太陽電池效能之影響。

1.第 I 階段：取兩片 PC 薄膜做為正負極可撓式模板，上導電膠後，中間區域分別塗佈 TiO_2、奈米石墨烯第一層，作為負、正極導電材料，加入墊片組裝、添加電解液後，組成第 I 階段二代自製可撓式染敏太陽電池，觀察其結果。

2.第 II 階段：將墊片面積縮小，使塗佈導電材料面積加大，側向上膠封裝；墊片中空區域加入一片吸附電解液材質(尼龍網、紗布、300 目金屬網)，觀察結果。加入黏稠劑(太白粉、關華豆膠、水溶性幾丁聚醣)，製備糊狀電解液，測量結果。

四、串聯電路，對第二代自製可撓式染敏太陽電池的效能影響，比較改良前、後電池之效能。

1.分別串聯第一、二代自製可撓式染敏太陽電池 2、3、4 組：觀察比較其差異。

2.串聯二代自製可撓式染敏太陽電池：接上數位時鐘及計時器，觀察結果。

五、比較自製可撓式光量子點太陽電池與第二代自製可撓式染敏太陽電池之效能差異。

1.自製可撓式光量子點太陽電池：負極：PC /導電膠/14nmTiO_2，於二氧化鈦表面，依化學沉積法，施以 1~9 層的硫化銀(Ag_2S)之光量子點處理，反應式如下；

$$2\ AgNO_3 + Na_2S \rightarrow Ag_2S + 2\ NaNO_3$$

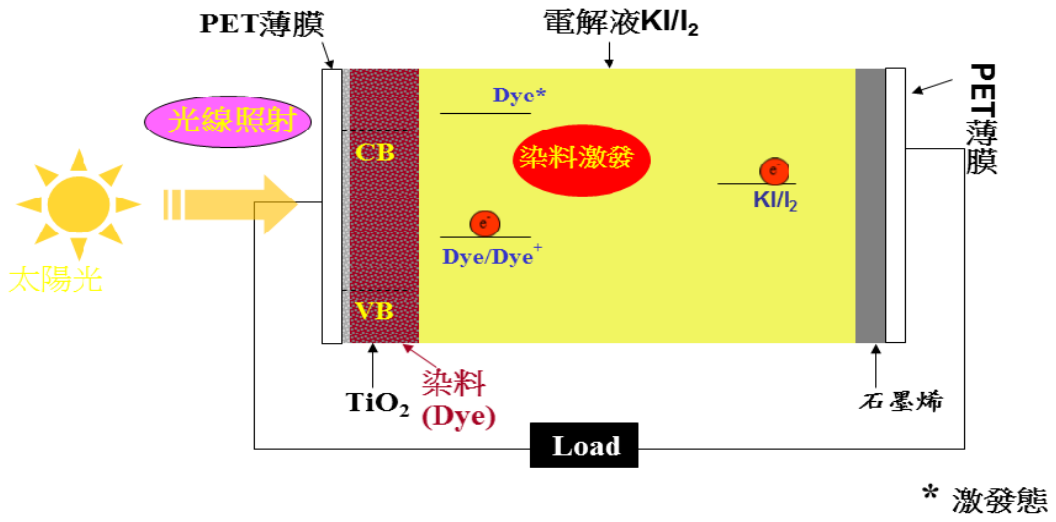
將材料浸泡在 1M $AgNO_{3(aq)}$ 1 分鐘，取出，用乙醇溶液沖洗掉未附著的離子，以 75℃溫度乾燥，浸泡於 0.5M $Na_2S_{(aq)}$ 3 分鐘，取出，用甲醇溶液洗掉未附著的離子，以 75℃溫度乾燥之，完成第 1 層作法、重複兩次為第 2 層…，以此類推，分別製作第 1 層~9 層硫化銀(Ag_2S)光量子點，作為負極備用。正極：PC /導電膠/少層奈米石墨烯第一層，電解液：KI+I_2/乙二醇，光源：T5 燈管；組成自製可撓式光量子點太陽電池。

2.第二代自製可撓式染敏太陽電池：PC 薄膜/導電膠/14nmTiO_2/紫羅蘭/奈米銀線為負極，正極 PC 薄膜/導電膠/少層奈米石墨烯第一層；電解液：KI+I_2/乙二醇；光源：T5 燈管。

3.比較自製可撓式光量子點太陽電池與二代自製可撓式染敏太陽電池之效能。

伍、文獻整理及說明

◎<u>第一代</u>自製可撓式染料敏化太陽電池：



◎工作原理：

1.染劑吸收太陽光後，使染劑分子內的電子獲足夠的能量，從基態(Dye)躍遷成激發態(Dye*)。因激發態的電子是較不穩定的，易被緊鄰的奈米 TiO_2 吸收，而注入到 TiO_2，使 TiO_2 獲得電子，此時，失去電子的染劑轉為帶正電(離子態)；激發態染劑(Dye*)，推動負極 TiO_2 的電子：

Dye(基態) + light → Dye*(激發態)

Dye*(激發態) + TiO_2 → e^- [TiO_2] + Dye^+(離子態)

2. 失去電子的染劑，會從液態電解質(I^- / I_3^-)中獲取電子，使染劑回復：

Dye^+(離子態) + 3/2 I^- → Dye + 1/2 I_3^-

3.進入 TiO_2 導電的傳導電子，在微晶網絡中交互傳遞，電子經過外部迴路到達另一基板(正極)的石墨烯導電層，再經太陽元件的迴路產生流通的電流。

e^- [TiO_2] + [電解質 C.E.] → TiO_2 + e^- [C.E.] + energy(電能)

4.經過上述之反應不斷循環，而持續產生電能。

陸、研究結果與討論

一、研究不同的材料及處理，對第二代自製可撓式染料敏化太陽電池效能的影響。

1.不同可撓式基材： 選用三種基材 PET、PI、PC 薄膜，為可撓式模板，統整、比較相關性質，結果如下：

表三、三種可撓式薄膜基材之相關性質表

材料名稱 / 相關性質	PET 薄膜	PC 薄膜	PI 薄膜
耐溶劑否	是	是	是
支撐性	佳	佳	不足 (太軟)
顏　色	無色(透明)	無色(透明)	淡黃色
厚　度 (mm)	0.100	0.125	0.020
透光率 (%)	91 %	90 %	85 %
耐溫性 (℃)	60℃	120~130℃	250~300℃

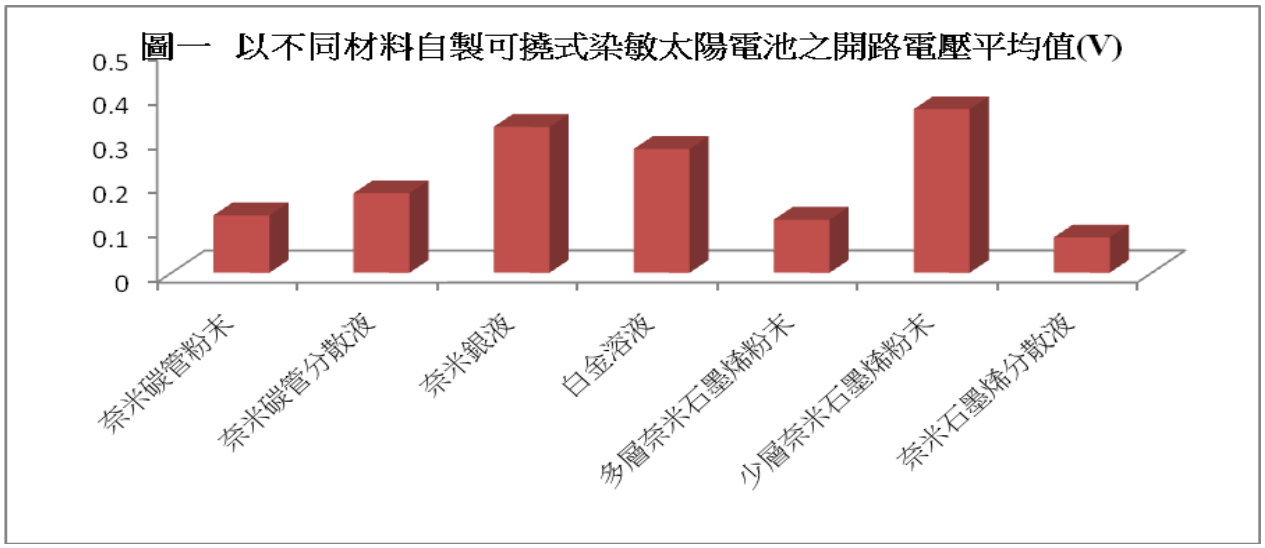
可撓式模板並不影響導電，但攸關後續製程處理，因此，優先考量耐溶劑性、支撐性、透光率、耐溫性等性質，做為選用依據。因 PET 耐溫性不足，PI 支撐性不佳，PC 的各項性質較合適，因此選用 PC 薄膜做為可撓式之基材。

2.不同正極材料：使用 PC/導電膜做為導電基材，負極塗佈 14nm TiO_2，正極材料為奈米碳管粉末、奈米碳管分散液、奈米銀液、多層奈米石墨烯粉末、少層奈米石墨烯粉末、奈米石墨烯分散液，自製染敏太陽電池，測量開路電壓、短路電流，結果如下表，以少層奈米石墨烯之處理組結果較佳。

表四、負極 PC/導電膜/TiO_2 材料，搭配不同正極材料，對二代自製可撓式染敏太陽電池之影響

實驗次數 / 正極材料	開路電壓 V (閉路電流 μA)			
	實驗次數 1	實驗次數 2	實驗次數 3	平均值
奈米碳管粉末	0.13 (20)	0.14 (22)	0.12 (21)	0.13 (21)
奈米碳管分散液	0.17 (21)	0.17 (22)	0.18 (24)	0.18 (22)
奈米銀液	0.31 (37)	0.33 (37)	0.33 (36)	0.33 (37)
白金溶液	0.27 (30)	0.27 (29)	0.29 (29)	0.28 (30)
多層奈米石墨烯粉末	0.13 (25)	0.11 (28)	0.12 (26)	0.12 (26)
少層奈米石墨烯粉末	0.38 (50)	0.34 (50)	0.36 (52)	0.37 (51)
奈米石墨烯分散液	0.13 (21)	0.14 (22)	0.13 (27)	0.08 (23)

(染劑：紫羅蘭，電解液：KI+I_2/乙二醇，光源：T5 燈管）



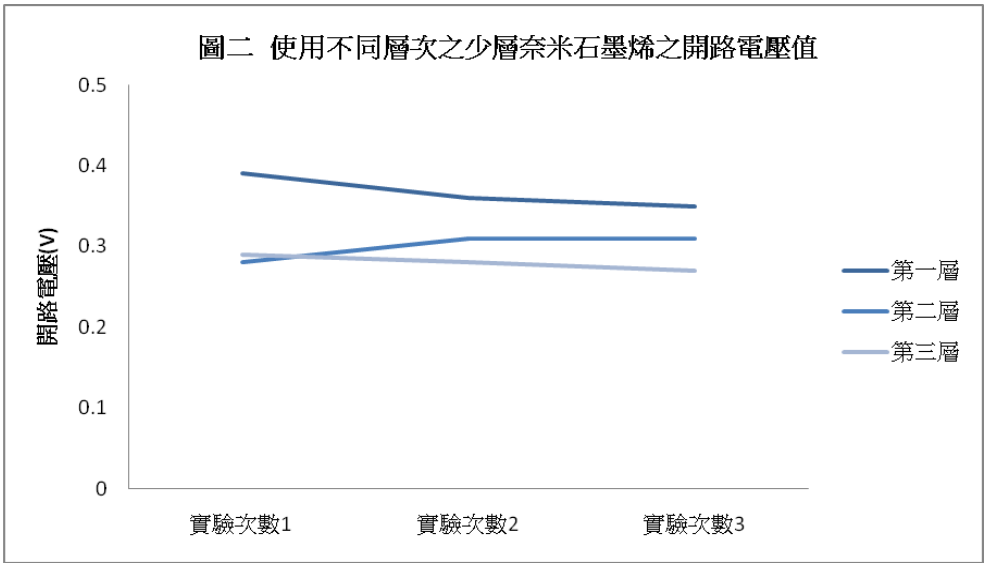
圖一 以不同材料自製可撓式染敏太陽電池之開路電壓平均值(V)

負極：PC/ 導電膜/TiO_2，正極：分別將少層奈米石墨烯以導電膠黏附做為第一層、二層、三層，製備二代可撓式染敏太陽電池，結果如下表。其中，以少層奈米石墨烯的第一層作為正極材料，有較佳結果。

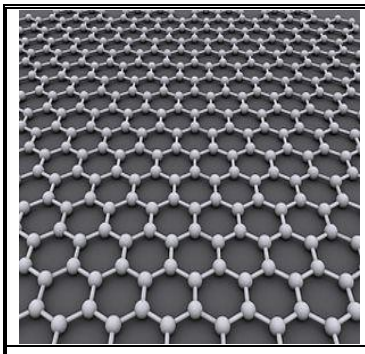
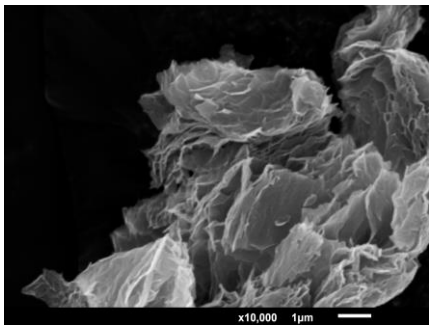
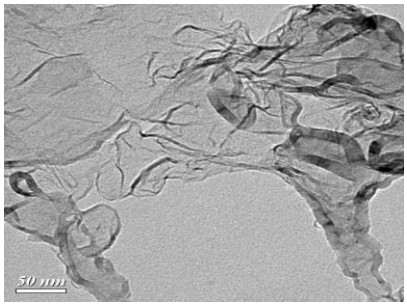
表五、負極為 PC/ 導電膜/TiO_2，正極為少層石墨烯之不同層次，對第二代自製可撓式染敏太陽電池之影響

實驗次數 / 少層奈米石墨烯之層次	開路電壓平均值 (閉路電流平均值 μA)			
	實驗次數 1	實驗次數 2	實驗次數 3	平均值
第一層	0.39 (68)	0.36 (65)	0.35 (60)	0.37 (64)
第二層	0.28 (42)	0.31(46)	0.31(34)	0.30 (41)
第三層	0.29 (36)	0.28 (31)	0.27 (30)	0.28 (33)

(染劑：紫羅蘭，電解液：KI+I_2/乙二醇，光源：T5 燈管）



表六、石墨烯結構與少層奈米石墨烯在 SEM 電子顯微鏡下照片

		
石墨烯 (graphene)	少層奈米石墨烯 (nano-graphene)	少層奈米石墨烯之厚度 (厚度平均約 3.5nm)

表六左一為「石墨烯」(graphene)原子排列結構，單層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，延伸形成如蜂巢似二維平面結構，稱為石墨烯(graphene)，是一平面多環芳香烴原子晶體，結構穩定，碳碳鍵僅為 1.42Å，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，使碳原子不必重新排列來適應外力，從而保持結構穩定。奈米石墨烯(nano-graphene)， 也是構成「碳」的同素異形體：石墨、鑽石、石墨烯、碳奈米管和富勒烯(**C_{60}**)等。之所以稱為「奈米石墨烯」，是因其厚度在 100nm 以下，由奈米科學網之文獻顯示，奈米石墨烯具良好的導熱、導電性質。因此，本實驗嘗試使用「少層奈米石墨烯」為導電材料，照片如表六的中間及右邊照片，結果顯示，少層石墨烯第一層相較於其他處理組，具較佳的導電性，表示少層奈米石墨烯可提升二代自製可撓式染敏太陽電池的效能。

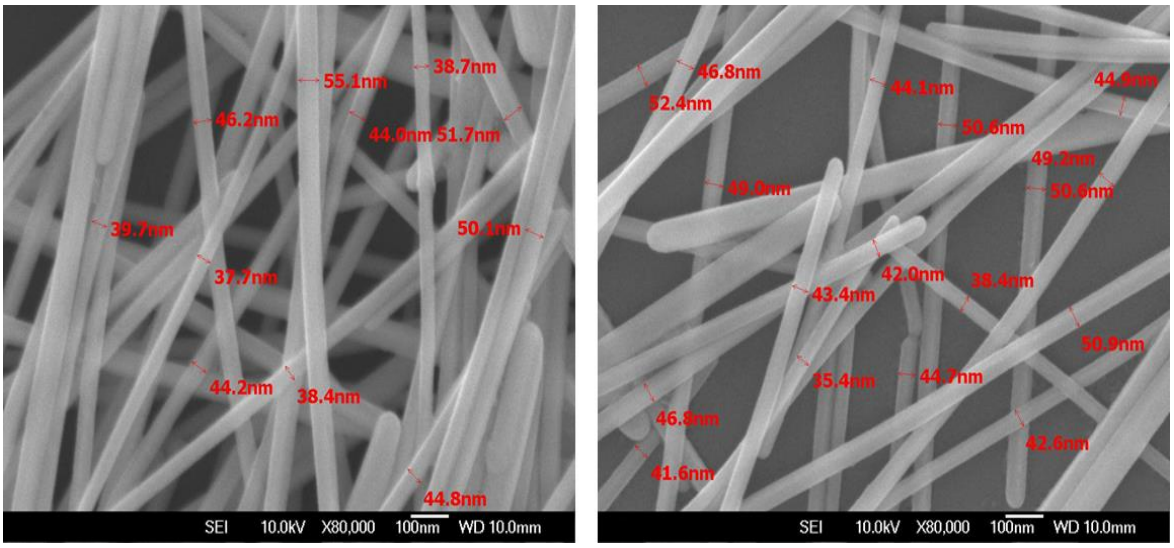
3.於負極材料表面，施以不同材料的再處理：以 PC/導電膜為基材，正極是少層奈米石墨烯第一層，於負極二氧化鈦的表面，加上不同材料再處理，材料為：奈米金、奈米銀、奈米銀線，以製備二代可撓式染敏太陽電池，結果如下表。結果顯示，添加奈米金、奈米銀、奈米銀線之處理組，有較好的效能。當金顆粒微小至數奈米時，金的物理和化學性質會隨粒徑奈米化而改變，隨著粒徑縮小，比表面積大幅增加、粒子邊緣及裸露角增加等等，金的表面形成凹凸不平的原子台階，而呈現獨特催化活性，如再搭配可還原性金屬氧化物載體，即可成為高活性的奈米金觸媒。當銀奈米化後，表面積大幅提升，衍生出新的功能，使得應用性大幅增加，包括導電性、抗菌性等，也因其功能性的強化，廣泛應用於電子元件、電路板等。文獻指出，銀的優越導電性，約為 6.3×10^5 S/cm，比銦錫氧化物高出 100 倍以上，提供比 ITO 更快的反應速度。藉由奈米化，使銀的線徑降至 100nm 以下，成為線材網格結構，奈米銀線的長寬比值高，透過控制奈米銀線的分布密度，穿透率可達 92%以上，使達成穿透率高且導電通路的功效。由圖四可知，奈米銀線是一優質導電材料，明顯降低內電阻，提升該電池之效能；圖三是奈米銀線於掃描式電子顯微鏡 SEM 下拍攝之照片。

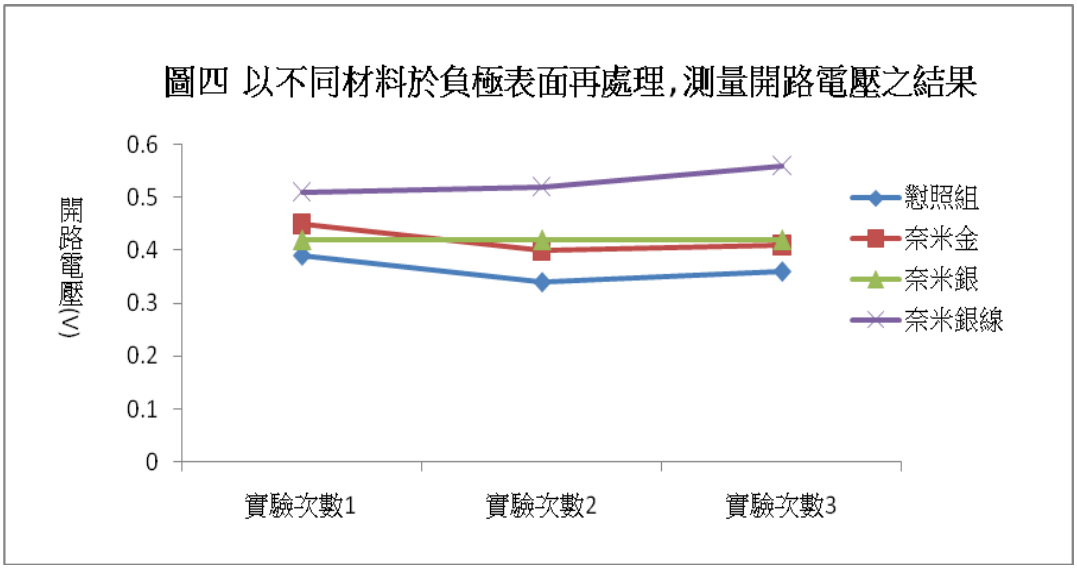
表七、於負極表面加不同材料之再處理，正極為少層石墨烯第一層，自製第二代染敏太陽電池之實驗結果

實驗次數 / 於 TiO_2 表面加不同材料	開路電壓 (閉路電流 μA)			
	實驗次數 1	實驗次數 2	實驗次數 3	平均值
空白對照組(blank)	0.39 (50)	0.34 (50)	0.36 (52)	0.37 (51)
奈米金 (50ppm)	0.45 (51)	0.40 (48)	0.41 (44)	0.42 (48)
奈米銀 (2500ppm)	0.42 (65)	0.42 (60)	0.42 (61)	0.42 (62)
奈米銀線(2500ppm)	0.51 (90)	0.52 (98)	0.56 (95)	0.53 (94)

(染劑：紫羅蘭，電解液：$KI+I_2$/乙二醇，光源：T5 燈管）

圖三、本實驗所使用之奈米銀線，於 SEM 顯微鏡下所拍攝的照片 (圖中紅字部分為奈米銀線之寬度)





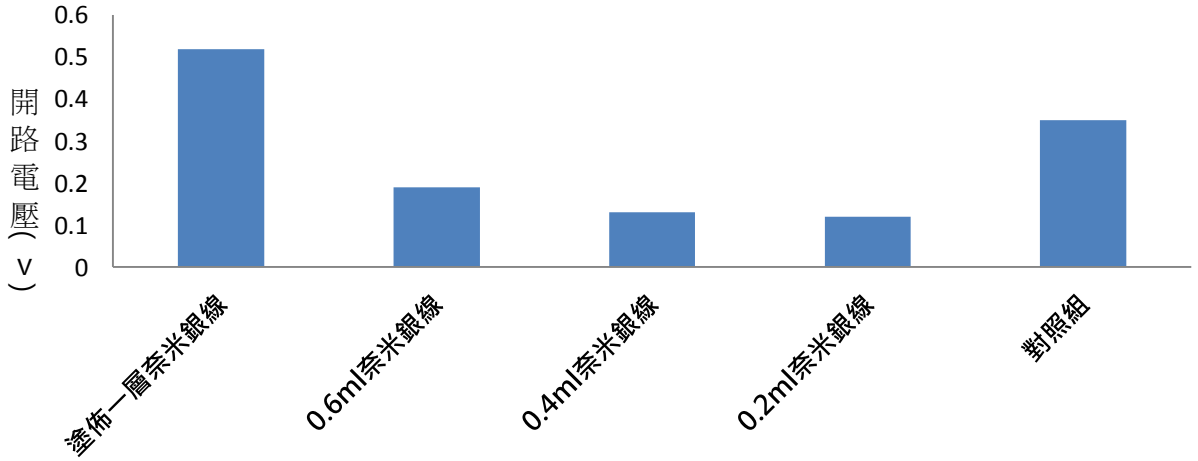
4.奈米銀線的不同加入方式：將奈米銀線塗佈於 TiO_2 表面、以不同體積與 TiO_2 混勻後塗佈，比較其差異，結果如下表。結果顯示，TiO_2 塗佈一層奈米銀線的處理組較佳。當太陽電池的電子經由外部迴路回到正極，電解液行氧化作用，以補充染劑所失去的電子，而奈米銀線優越導電性，降低電池內電阻，使電池的開路電壓及短路電流升高。可知，使用塗佈奈米銀線的再處理方式，可有效提升二代自製可撓式染敏太陽電池的效能。

表八、觀察負極二氧化鈦以不同方式加入奈米銀線，正極材料為少層石墨烯第一層，對第二代自製染敏太陽電池之影響

實驗次數 / 不同加入方式	開路電壓平均值(v) (閉路電流平均值 μA)			
	實驗次數 1	實驗次數 2	實驗次數 3	平均值
對照組 (不加奈米銀線)	0.35(53)	0.36(52)	0.34(50)	0.35(52)
TiO_2 混合 0.2ml 奈米銀線	0.13(25)	0.12(27)	0.11(22)	0.12(25)
TiO_2 混合 0.4ml 奈米銀線	0.14(27)	0.15(23)	0.11(20)	0.13(23)
TiO_2 混合 0.6ml 奈米銀線	0.21(28)	0.17(22)	0.19(23)	0.19(24)
TiO_2 塗佈一層奈米銀線	0.52(98)	0.53(102)	0.52(102)	0.52(100)

(染劑：紫羅蘭，電解液：KI+I2/乙二醇，光源：T5 燈管）

圖五 以不同方式加入奈米銀線



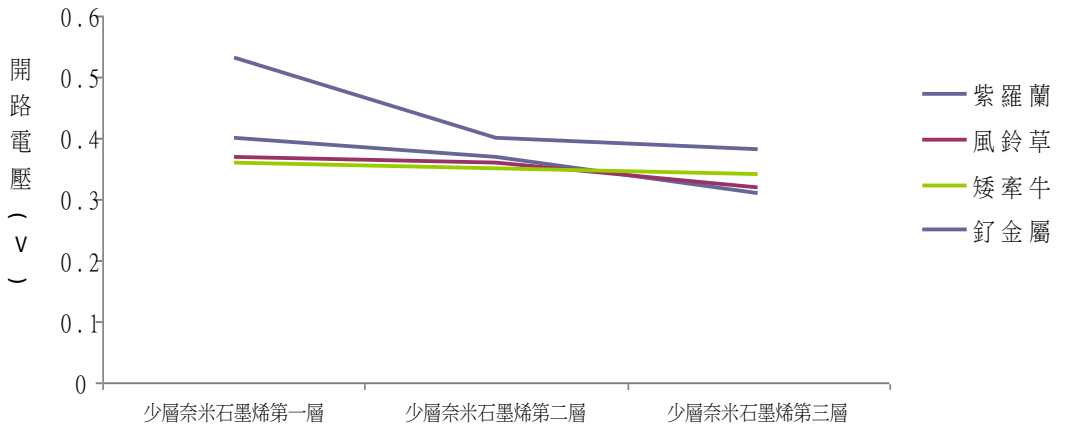
二、研究不同性質的染劑及再處理，對第二代自製可撓式染料敏化太陽電池效能的影響。

1. 不同性質的染劑：使用 PC /導電膜為基材，負極塗佈 14nm TiO_2，分別以少層奈米石墨烯第一、二、三層為正極材料，組成二代自製染敏太陽電池，測量開路電壓、短路電流，結果如下表及圖六 。結果顯示，花青素染劑-紫羅蘭、化學性染劑-釕金屬，有較佳結果。

表九、使用不同種類染劑之實驗結果 (光源：T5 燈管，電解液：$KI+I_2$/乙二醇)

正極材料 / 染劑種類		開路電壓平均值(v) (閉路電流平均值 μA)		
		少層奈米石墨烯第一層 (平均厚度：0.21mm)	少層奈米石墨烯第二層 (平均厚度：0.12mm)	少層奈米石墨烯第三層 (平均厚度：0.03mm)
天然花青素染劑	紫羅蘭	0.40 (52)	0.37 (50)	0.31 (42)
	風鈴草	0.37 (35)	0.36 (34)	0.32 (26)
	矮牽牛	0.36 (45)	0.35 (45)	0.34 (43)
化學性染劑	釕金屬	0.53 (121)	0.40 (60)	0.38 (42)

圖六 以不同染劑浸泡不同層次的奈米石墨烯, 測量開路電壓之結果



多孔性的 TiO_2，經浸泡由天然花朵中所萃取出的花青素染劑後，花青素染劑分子會與 TiO_2的 Ti^{+4} 離子結合，使 TiO_2的顏色變成青綠色；使用價昂的釕金屬染劑，屬化學性染劑，經浸泡後會使 Ti^{+4} 離子與之結合，變成紅色系。觀察表八及圖六可知，因釕金屬、紫

羅蘭處理組有較高之開路電壓值，因考量染劑的性質不同、耐光照、成本等種種因素，因此，分別選用釕金屬、紫羅蘭花作為染劑，搭配少層奈米石墨烯第一層，以接續實驗。

經文獻發現，天然花青素紫羅蘭染劑與化學染劑釕金屬的開路電壓及短路電流結果較佳。當光線照射不同顏色染劑時，會使染劑吸收產生不同波長的光線，紫羅蘭染劑吸收可見光中較短波長的光，激發電子躍遷的能力也較強，測量結果較佳。

2.染劑浸泡後，有無負極的再處理：結果顯示，浸泡天然花青素的紫羅蘭染劑，經塗佈一層奈米銀線處理組，其效能比對照組(未塗佈)較佳。浸泡釕金屬染劑，未再經奈米銀線處理組的效能較佳。釕金屬染劑價格高、對光之敏感性極高，因此，於儲存、製備時需注意光照，如需量產，亦需考量成本等因素。

表十.浸泡不同染劑及有無奈米銀線再處理之實驗結果 (光源：T5 燈管，電解液：$KI+I_2$/乙二醇)

負極材料	染劑	負極再處理	正極材料	開路電壓 V (閉路電流 μA)			
				實驗次數 1	實驗次數 2	實驗次數 3	平均值
PC/導電膜/TiO_2	紫羅蘭	無	PC/導電膜/少層奈米石墨烯第一層	0.38 (50)	0.40 (52)	0.39 (49)	0.40 (52)
	紫羅蘭	奈米銀線		0.57 (98)	0.58 (103)	0.56 (101)	0.56 (101)
	釕金屬	無		0.53 (117)	0.52 (111)	0.56 (112)	0.54 (113)
	釕金屬	奈米銀線		0.37 (67)	0.36 (62)	0.32 (55)	0.35 (61)

3.日照 2 小時：將二代自製染敏太陽電池置於戶外日照 2 小時(上午 10 時-12 時)，測量開路電壓及短路電流之變化。結果發現，負極 PC/導電膜/TiO_2 /紫羅蘭/奈米銀線之處理組，具較高的效能。這可能與藍紫色花朵之花青素染劑，易吸收可見光中短波長的光線有關。考量環保、染劑成本、使用之便利性等因素，建議使用負極為 PC/導電膜/TiO_2/紫羅蘭/奈米銀線，搭配正極為 PC/導電膜/少層奈米石墨烯第一層之組合，實驗結果如表十二。

表十二、經日照兩小時後，比較不同處理之第二代自製可撓式染敏太陽電池效能變化結果

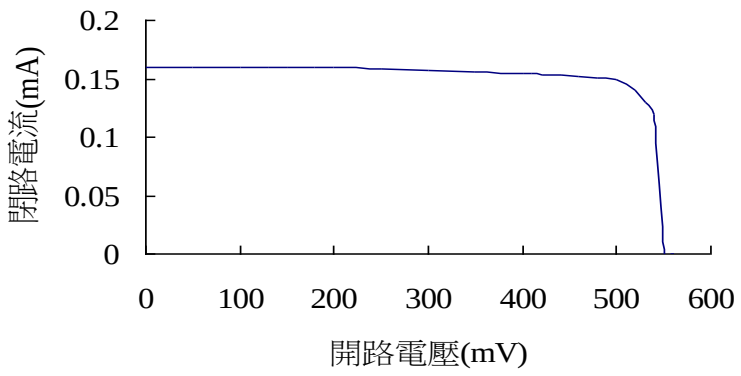
負極材料	染劑	負極再處理	正極材料	開路電壓平均值 (閉路電流平均值 μA)			
				實驗次數 1	實驗次數 2	實驗次數 3	平均值
PC/導電膜/TiO_2	紫羅蘭	奈米銀線	PC/導電膜/少層奈米石墨烯第一層	1.80 (182)	1.77 (171)	1.81 (181)	1.80 (178)
	釕金屬	無		1.13 (105)	1.19 (100)	1.20 (102)	1.21 (103)

(光源：日光，電解液：$KI+I_2$/乙二醇)

4.以本實驗之室內模擬光源為例，計算第二代自製可撓式染敏太陽電池之光電轉換率 η_{power}(%)。

光電轉換效率 η_{power}(%) ，又稱轉換效率，是衡量太陽電池所照射的入射光能轉換為電能的能力。本實驗以室內模擬光源(T5 燈管)為例，自製二代自製可撓式染敏太陽電池的光電轉換率約為 13.5%。文獻(2012，科學人雜誌)顯示，有機太陽電池的光電轉換效率約為 12%。

圖七 第二代自製可撓式染敏太陽電池 I-V 曲線圖



$$\eta_{power}(\%) = P_{out} / P_{in} * 100\% = (FF*I_{sc}*V_{oc}) / P_{in} * 100\%$$

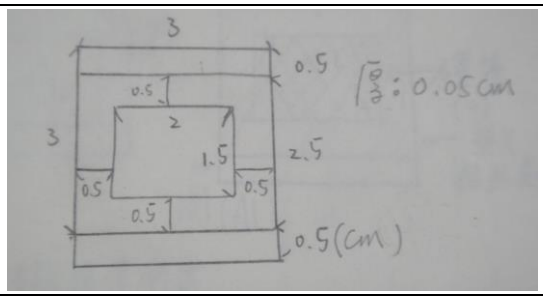
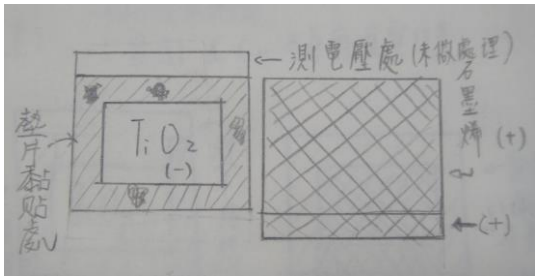
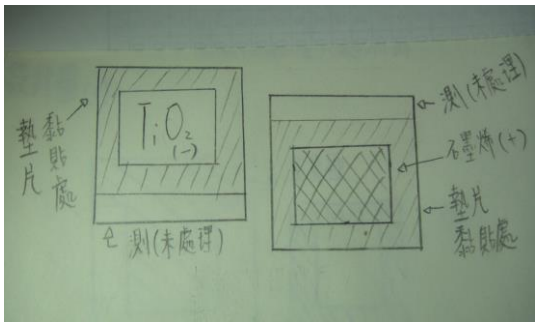
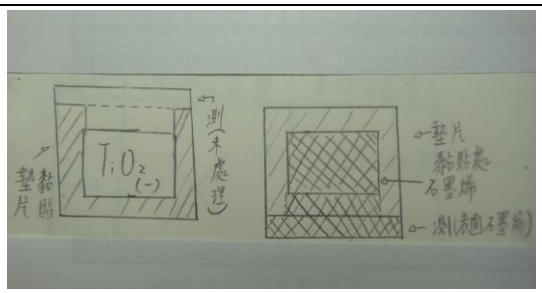
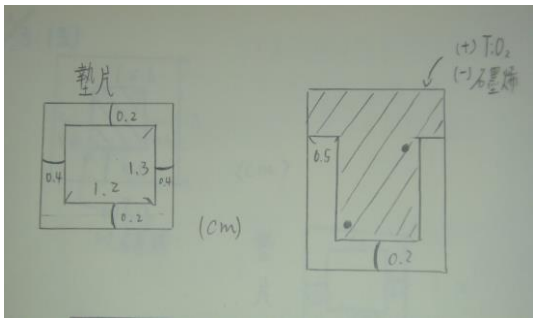
$$= 0.84* 0.16 * 560 / 558 * 100\% = 13.5 (\%)$$

三、比較不同的組裝方式，觀察對二代自製可撓式染料敏化太陽電池效能之影響。

1.第 I 階段： 取兩片 PC 膜為可撓式模板，上導電膠後，中間區域分別塗佈 TiO_2、奈米石墨烯粉末第一層，作為負、正極之導電材料，加入墊片組裝、添加電解液，組成第 I 階

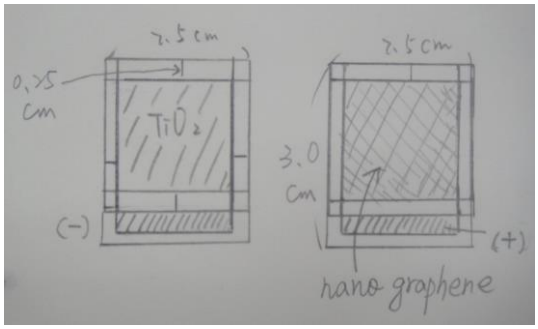
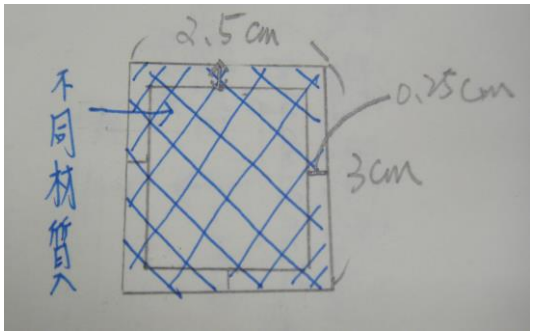
段之二代自製可撓式染敏太陽電池，說明如表十三：

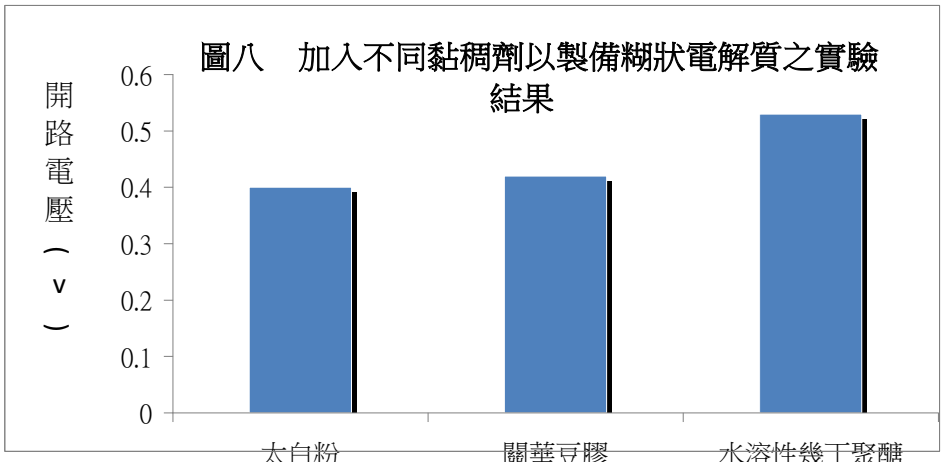
表十三、第 I 階段之不同設計要點說明及結果

階段	設計圖	設計要點說明	結果
I-1		1.正、負極相同的兩片，中間區域分別是 TiO_2 與奈米石墨烯 2.利用上膠，封閉四邊的設計	四側邊之封膠會降低導電效果
I-2		1.負極：加入一中空墊片，墊片四邊上膠固定，中空區域是 TiO_2。 2.正極：塗佈少層奈米石墨烯。	1.墊片可增電解液的填充量延長工作時間 2.墊片的膠，會沾黏奈米石墨烯而無法固定
I-3		1.負極：同上(同 I-2 的負極)。 2.正極：加入一中空墊片，四邊上膠，將墊片黏固，中空區域是奈米石墨烯	1.墊片可固定 2.兩側電極未塗佈電極材料，導電效果較差
I-4		1.中空墊片修為三邊的ㄇ字形狀 2. TiO_2 及奈米石墨烯塗佈區域為 T 字形狀	1.墊片易固定封裝 2.電解液易滲出
I-5		1.墊片修為中空四邊形，上膠封住四邊，中間區域為 TiO_2 及奈米石墨烯 2.在正極上打洞，注入電解液後再封裝	1.正負極無電解液，無法測量 2.進入第 II 階段改良

2.第二階段：將墊片面積縮小，使導電面積加大，側向封裝，在墊片中空區域加入一片可吸附電解液材質或黏稠劑，自製二代可撓式染敏太陽電池，觀察結果如表十四。

表十四、第 II 階段之不同設計要點說明及結果

階段	設計圖		設計要點	結果
II-1			1.負極上四邊外框為中空墊片，中間區域為 TiO_2，左右兩側封膠，上下兩側不封。 2.正極中間區域塗佈奈米石墨烯，四邊外框不塗佈。	1.兩側電極露出面積少，較為美觀。 2.少許電解液仍易滲出。
II-2			1.正、負極如 II-1 之做法。 2.在墊片的中空區域，加入一片可吸附電解液之材質(尼龍網、紗布、300 目金屬網)，以降低流動性。	1.增加電解液保水性。加入紗布之處理組，電解液較不易滲出。加入細網不影響效能。
II-3	 添加幾丁聚醣的**糊狀電解質**	 上下封裝，改善電解液易滲的問題	1.定量電解液中，分別秤取約 0.9 克的黏稠劑(太白粉、關華豆膠、水溶性幾丁聚醣)加入電解液，製備成糊狀電解質。 2.其中，以添加**幾丁聚醣**處理，結果較佳，如圖八。	1.糊狀電解質，明顯改善電解液易滲的問題。 2.電解質為糊狀，降低蒸發速率，使電池工作時間延長。



圖八　加入不同黏稠劑以製備糊狀電解質之實驗結果

四、串聯第一代、第二代之不同組數的自製可撓式染料敏化太陽電池，比較其差異。

1.串聯第一代、第二代不同組數之自製可撓式染敏太陽電池：表十五、十六顯示，串聯方式使自製電池總電壓增加，可看出使用奈米銀線、少層奈米石墨烯及糊狀電解質，經串聯後電壓顯著提升，顯著改善一代自製電池高內電阻缺點，有效提升二代自製可撓式染敏電池之效能。

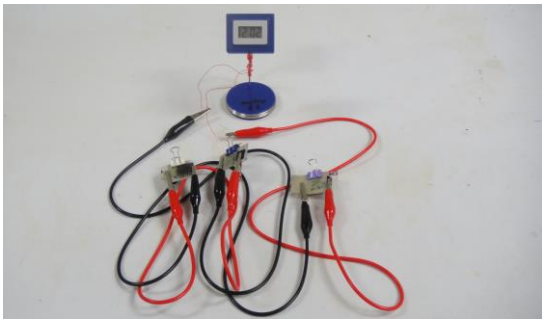
表十五、串聯不同組數的一、二代自製可撓式染料敏化太陽之結果　(光源：T5 燈管，電解液：$KI+I_2$/乙二醇)

電池之比較	負極	正極	電路處理	開路電壓(V)	短路電流(μA)
第一代 (對照組)	PET/導電膠 /TiO_2/紫羅蘭	PET/鋁膠帶/石墨烯	串聯 2 組	**0.70**	**95**
			串聯 3 組	**0.85**	**103**
			串聯 4 組	**1.08**	**109**
第二代 (使用糊狀電解質)	PC/導電膠/ TiO_2 /紫羅蘭/奈米銀線	PC/導電膠/少層 奈米石墨烯第一層	串聯 2 組	**1.05**	**111**
			串聯 3 組	**1.73**	**112**
			串聯 4 組	**2.23**	**115**

表十六、比較第一、二代自製可撓式染料敏化太陽之開路電壓效能提升之結果

電路處理	第一代自製可撓式染敏太陽電池 (對照組)	第二代自製可撓式染敏太陽電池 (改良後)	開路電壓 效能提升(%)
串聯 2 組	**0.70**	**1.05**	**50%**
串聯 3 組	**0.85**	**1.73**	**104%**
串聯 4 組	**1.08**	**2.23**	**106%**

2.串聯二代自製可撓式染敏太陽電池，應用於生活中：採串聯電池之處理方式，以提高電壓，串聯 3 組可驅動桌上型數位時鐘，串聯 4 組可驅動計時器，照片如下。希望透過本實驗，有效提升二代自製太陽電池的效能，未來可提供小型 3C 產品等電力，更可與建築物的屋頂、窗戶等結合，提升其應用性；為開發再生能源，愛護地球，盡一份心力。



串聯 3 組可驅動桌上型數位時鐘

串聯 4 組可驅動計時器

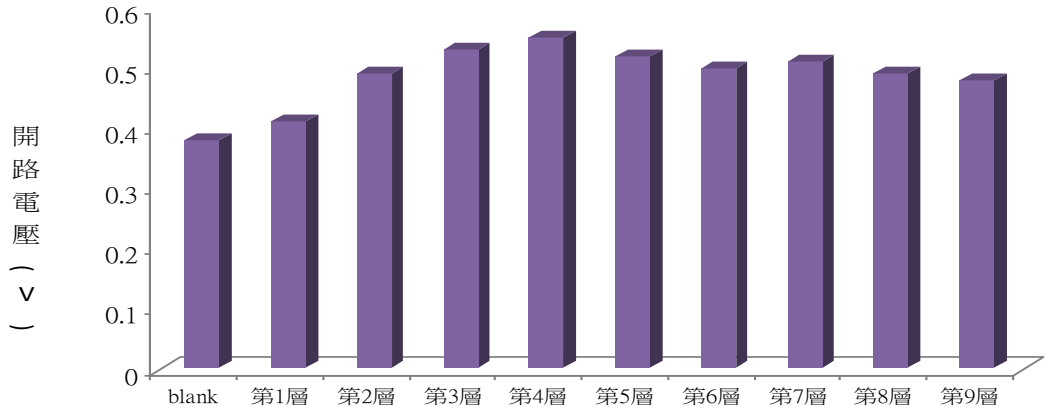
五、比較自製可撓式光量子點太陽電池與二代自製太陽電池之效能。

測量自製可撓式光量子點太陽電池與自製可撓式染敏太陽電池之開路電壓、短路電流的差異，結果如表十七。結果顯示，自製可撓式光量子點太陽電池製作層次為 4 層時，有較佳的效能。因此，建議自製可撓式光量子點太陽電池的光量子點(**Ag_2S**)的製作層次，以製備 4 層為佳，且與二代自製可撓式染敏太陽電池效能相近。圖十為自製可撓式太陽電池於 SEM 下拍攝之照片，可知自製 Ag_2S 粒徑是在奈米等級之內，是為量子點。

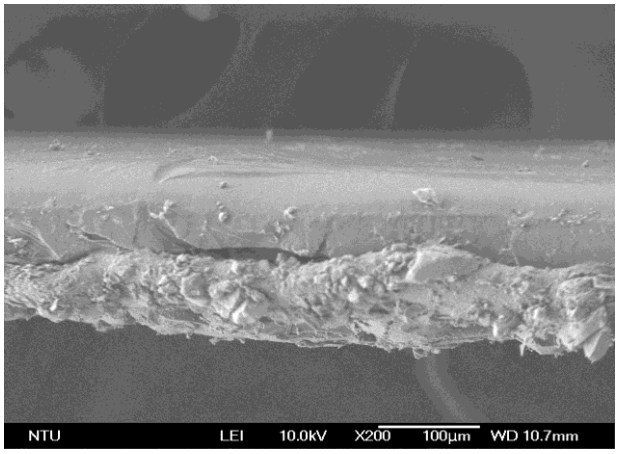
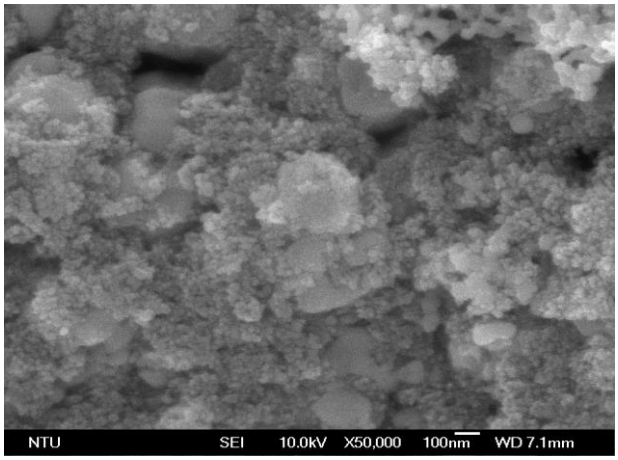
表十七、二種自製可撓式太陽電池之效能比較　　(電解液：$KI+I_2$/乙二醇，光源：T5 燈管)

自製電池名稱	負極材料	正極材料	開路電壓平均值　(閉路電流平均值　μA)									
			硫化銀(Ag_2S) 光量子點製作之層次									
			blank	**1 層**	**2 層**	**3 層**	**4 層**	**5 層**	**6 層**	**7 層**	**8 層**	**9 層**
光量子點	PC/導電膠/ TiO_2/ Ag_2S	PC/導電膠/少層奈米石墨烯第一層	**0.38 (40)**	**0.41 (51)**	**0.49 (74)**	**0.53 (80)**	**0.55 (90)**	**0.52 (81)**	**0.50 (76)**	**0.51 (75)**	**0.49 (73)**	**0.48 (70)**
二代染敏太陽電池	PC/導電膠/ TiO_2/奈米銀線/紫羅蘭		實驗次數 1 **0.57 (98)**		實驗次數 2 **0.58 (103)**		實驗次數 3 **0.56 (101)**		平均值 **0.56 (101)**			

圖九　自製可撓式光量子點硫化銀(Ag_2S) 太陽電池，測量開路電壓之平均



圖十、自製可撓式光量子點太陽電池於 SEM 顯微鏡下拍攝之照片

	
第 4 層 Ag_2S 在微米等級下拍攝(側面)	第 4 層 Ag_2S 在奈米等級下拍攝

陸、結論

一、研究不同的材料及處理，對第二代自製可撓式染料敏化太陽電池效能的影響。

1.不同的可撓式基材：選用 PC 薄膜為可撓式之基材。

2.不同正極材料：PC/導電膠/TiO_2 為基材，正極材料使用少層奈米石墨烯第一層之處理組，有較佳之開路電壓、短路電流。

3.於負極上以不同材料的再處理：正極為少層奈米石墨烯第一層，負極為 PC/導電膜/奈米銀線之再處理組，效能較佳。

二、研究不同性質的染劑及再處理，對第二代自製可撓式染料敏化太陽電池效能的影響。

1.不同性質的染劑：天然花青素染劑-紫羅蘭、化學性染劑-釕金屬，有較佳效能。

2.有無負極的再處理：負極為 PC/導電膜/TiO_2/奈米銀線，正極為 PC/導電膜/少層奈米石墨烯之組合，效能較佳。

3.日照 2 小時，效能可提升；考量環保、成本等因素，負極為 PC/導電膜/TiO_2/紫羅蘭/奈米銀線之處理組效能較佳。

4 第二代自製可撓式染敏太陽電池光電轉換率達 13.5 %。

三、不同的組裝方式：經加入墊片改良，使用水溶性幾丁聚醣製成糊狀電解質，可改善滲漏、增加保水性、延長工作時間。

四、測試串聯電路，觀察對第二代之自製可撓式染料敏化太陽電池的效能差異。

1.使用奈米銀線及少層奈米石墨烯，明顯降低池內電阻，有效提升二代自製可撓式染敏太陽電電池之效能。

2.串聯 3 組可驅動數位時鐘、串聯 4 組可驅動計時器。

五、觀察並比較自製可撓式光量子點太陽電池與自製可撓式染敏太陽電池之效能差異。

1.自製可撓式光量子點**(硫化銀，Ag_2S)**太陽電池製備 4 層時，有較佳的效能，且與二代自製可撓式染敏太陽電池的效能相近。

柒、參考文獻

1.電解質、電學、能源的開發與利用 2013 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.＜奈米銀線＞網站資料：http://www.touchtaiwan.com/download/6.%E9%8A%80%E5%A5%88%E7%B1%B3%E7%B7%9A%E5%A4%A7%E5%BB%A0Cambrios.pdf

4.奈米科學網網站：http://nano.nchc.org.tw/

5.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

6.呂宗昕 2005 圖解奈米科技與光觸媒 商周出版社　台北市

7.中華民國第 51 屆中小學科學展覽 國中組化學科作品「照過來~投影片與石墨烯天生一對，成就了自製染料敏化二氧化鈦太陽電池」。

8.科學人雜誌(2012)網站資料：http://sa.ylib.com/MagCont.aspx?Unit=featurearticles&id=1907

9. A. Tubtimtae, K. L. Wu, H. Y. Tung, **M. W. Lee**,* G. J. Wang, (2010) "Ag_2S Quantum Dot-Sensitized Solar Cells", Electrochemistry Communications, 12, 1158.

【評語】030209

本作品改進可撓式染料敏化太陽能電池的效能。獲得效能轉化率達 13.5%，若此值正確，幾乎與國際上獲得最好的值相當。但改進的部份，似乎不足以獲得如此佳作。因此作者應從未修飾改進的部分：量測轉化率確定與文獻值相當，先確認量測過程可靠，再進行改進作品的量測。