中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組　生活與應用科學科(三)

033011

「藜」「鎖」「碳」「染」-結合染敏技術與碳轉化的光碳複合電池

學校名稱： 臺南市立復興國民中學

作者：	指導老師：
國二 陳韻淇	黃怡綸
國二 陳宥甄	黃吉楠

關鍵詞： 台灣藜、染敏電池、捕碳

摘　要

本研究製作新型染敏電池，分為四大部分：一、正極材料改以易取得的石墨片來代替傳統燻黑奈米碳；二、製作膠態電解質來減緩電解液的蒸發與滲出；三、染料採用農業廢棄物-台灣藜殼，以 75%的酒精當溶劑，利用微波輔助來萃取色素，提高萃取的效率，並將染液調配成 pH=4.8 左右，其發電效益有最好的表現；四、負極材料採用奈米級的二氧化鈦，搭配醋酸、Triton X-100，並在添加硫酸銅後，電池發電效益增為 1.43 倍。歷經改良後製得的第三代電池，是利用碳膠銅網電極做為正極材料，製作出可捕碳的染敏電池-光碳複合電池，照光後的最高開路電壓可達 1.120 V，最高短路電流為 0.622 mA，此電池能在利用太陽能的同時，同時捕捉空氣中的二氧化碳，希冀藉此達到永續環保的新理念。

壹、前言

一、研究動機

在翻閱及欣賞歷屆科展作品時，找到染敏電池相關的實驗，我們還看到了有關此電池的相關報導，聽說染敏電池只要有微弱的光線即可產生電力，且不受光照角度，電池兩面皆可收集、吸收光能影響發電效益，價格也便宜，毒性低，不容易造成汙染，因此讓我們不禁對這個傳說中的「低汙染」電池產生了極大的好奇心，所以我們進行了以下實驗。

二、研究目的

(一) 研究染敏電池的原理及基本裝置方式。

(二) 自行研發測量工具。

(三) 研究台灣藜殼染料最佳萃取方式。

(四) 找到染敏電池最佳的正負極材料及電解液。

(五) 製作捕碳的染敏電池-光碳複合電池。

本報告除圖 1-3-2 外，其餘照片與圖表，皆由第一作者或第二作者拍攝與繪製。

三、文獻回顧

(一) 染料敏化電池

1. 基本介紹

目前現行的太陽能電池以傳統矽晶為主，在太陽直射的戶外有較佳的光電轉換效率，其製作過程繁瑣、結構複雜，且成本過高，製程中會產生不少汙染物與廢棄物；而染敏電池主要應用於室內弱光、半戶外，結構相對簡單，在室內弱光的條件之下，染敏電池的光電轉換效率非常高，可以高達 30%，且耗能回收時間成本較低，更重要的是其汙染程度遠低於矽晶，是更乾淨的太陽能。

染料敏化電池，簡稱染敏電池(dye-sensitized solar cell，縮寫為 DSSC、DSC 或 DYSC)，其運作原理如圖 1-3-1 所示。

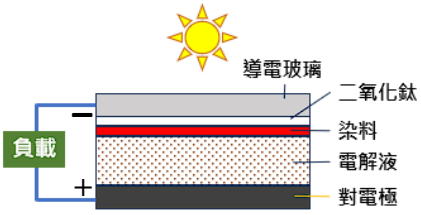


圖 1-3-1 染敏電池運作原理的示意圖
(圖片由第二作者繪製)

光子的吸收： 當太陽光照射到染敏電池表面時，染料分子吸收光中的光子後，染料分子的電子會被激發到更高的能階(激發態)。這意味著原本處於低能階(基態)的電子，吸收了足夠的光子能量後，進入了較高的能量狀態。如式(1)

電子注入： 激發態的染料分子將其激發態的電子，從染料中轉移到鄰近的導電材料(通常是二氧化鈦，TiO_2)的導帶中，而失去電子的染料分子成為氧化型態(Dye^+)。如式(2)

電子流產生： 進入二氧化鈦的電子躍遷至傳導帶，匯集於導電玻璃上，經外部電路傳至電池內的對電極-正極，以構成電子流。失去電子的染料會從電解液中捕捉電子，並回到基態。如式(4)，失去電子的電解液會吸收正極傳來的電子，並重複光子的吸收與電子激發的過程。

(1) $Dye(基態) \xrightarrow{光能} Dye^*(激發態)$ 【染料激發】

(2) $Dye^* + TiO_2 \rightarrow e^-[TiO_2] + Dye^+$ 【電子注入 TiO_2】

(3) $I_3^- + 2e^- \rightarrow 3I^-$ 【電解質還原】

(4) $2Dye^+ + 3I^- \rightarrow I_3^- + 2\ Dye(基態)$ 【染料、電解質再生】

染敏電池是通過吸收光子(來自太陽光的可見光和紅外光子)來發電的，因此光子是光能轉換為電能的主要能量載體。

2. 歷年來的演化過程:

自 20 世紀以來，科學家們不斷改良其材料與結構，以提升效率和穩定性，並降低成本，以下說明：

(1)初期發展: 瑞士科學家 Michael Grätzel 和其團隊開發了第一個染敏電池，利用二氧化鈦(TiO_2)作為多孔半導體、釕基(Ruthenium-based)染料作為光敏化劑、碘化物(I^-/I_3^-)作為電解液。

(2)材料改良階段: 導電材料也嘗試了其他如氧化鋅(ZnO)，但二氧化鈦仍是最主流的選擇。科學家們開發了各類有機染料和無機染料以替代昂貴的釕基染料。重點是提升光吸收範圍(特別是紅外和可見光波段)的效率。且開始使用凝膠或固態電解質，減少液態電解液的揮發性問題。

(3)高效改良階段: 通過改善染料和電解液組合，染敏電池的效率。再加入穩定劑和封裝技術，延長染敏電池的壽命。而多樣化顏色染料電池，慢慢擴展到裝飾和建築方面的應用。

(4)固態電池階段: 在二氧化鈦層上進行納米結構優化，以提高電子傳輸效率。開發出固態或準固態電解質，減少電解液的漏液問題，使用導電高分子(如 PEDOT:PSS)或鈣鈦礦(Perovskite)材料替代原來的電解液。

(5)鈣鈦礦和混和型電池的融入: 鈣鈦礦材料(如 CH_3、NH_3、PbI_3)的出現大幅提升了染敏電池的效率。而染敏電池開始與鈣鈦礦技術融合，形成混合型電池。科學家們也逐漸使用無毒染料、有機導電材料，以減少有毒金屬(如釕和鉛)的使用及汙染。

本研究仍以初期染敏電池的製作方法，利用二氧化鈦(TiO_2)作為多孔半導體，台灣藜殼中的色素染料作為光敏化劑，搭配碘化物(I^-/I_3^-)作為電解液，並嘗試製作膠態電解質，減少電解液漏液問題。。

(二) 台灣藜

台灣藜主要分布於台東及屏東，可作為穀物食用也可釀酒，然而，在台灣藜的加工過程中會產生大量的殼廢棄物未被妥善處理，因此我們選擇用屏東的台灣藜殼製造染料，台灣藜殼中含有 11%蛋白質、42%膳食纖維及礦物質、多酚化合物、甜菜色素等，而甜菜色素中含有羥基，可以幫助電子從染料轉移到二氧化鈦。

甜菜色素的最佳萃取環境為：

- 溫度：60℃
- 溶劑：50%～75%酒精
- 酸鹼性：pH = 4～5
- 其他：可添加酵素或吸附材料

(三) 螯合作用

螯合作用(Chelation)指化學反應中金屬離子以配位鍵與同一分子中的兩個或更多的配位原子(非金屬)連結而形成含有金屬離子的雜環結構(螯環)的一種作用。 類似蟹鉗的螯合作用，故名。本研究染料來源為台灣藜殼，其中富含甜菜色素，如圖 1-3-2 所示，推測其可與特定金屬產生螯合作用。

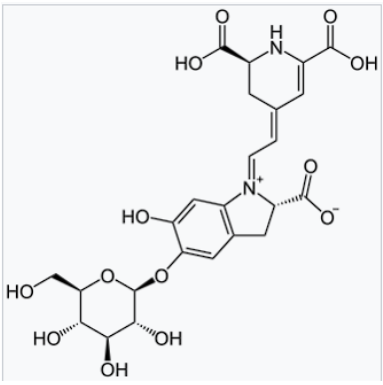


圖 1-3-2 甜菜色素(圖片取自維基百科-甜菜根紅素)

(四) 歷屆科展分析比較

蒐集歷屆科展資料，染敏電池的染料來源大多為紫色高麗菜，或紫色系列的染劑為主，分析如表 1-3-1，本作品嘗試以廢棄的台灣藜殼，來做為染敏電池的染料，希望能將農業廢棄物有效再利用的環保理念。

表 1-3-1 歷屆科展作品比較分析表

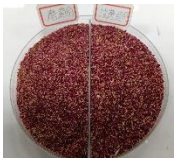
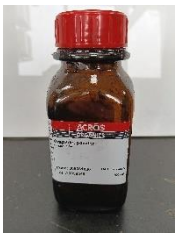
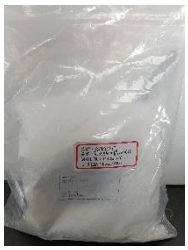
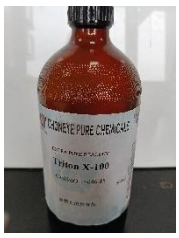
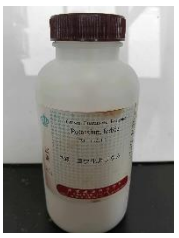
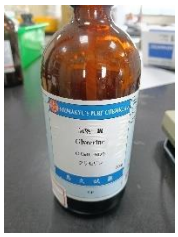
屆次	作品名稱	作品內容摘要
46 國中 理化	鈦白粉也發電—染料敏化太陽能電池之相關研究	研究不同種類的染料、二氧化鈦膜的厚度、不同 pH 的電解液和不同色光對電池發電效能之影響。最後也對其電池的材料比例和壽命作探討。**染料：甲基藍**
		最佳電壓: 0.644(V) / 8cm^2
		最佳電流: 0.142(mA) / 8cm^2
		對應本作品的最佳 A 值: 0.091 / 8cm^2
48 高中 化學	自製臺灣植物染敏太陽能電池及性質研究	藉由二氧化鈦光觸媒的特性，利用導電玻璃和各種常見的染料製作增感行太陽能電池，找出最適合太陽能電池的染料；且改變其溫度和光線作為變因，比較不同環境下對電池發電效果的影響。**染料：紫甘藍**
		最佳電壓:0.530 (V)
		最佳電流: 0.215(mA)
		對應本作品的最佳 A 值: 0.114
51 高職 環工	染料軋上太陽光蹦出 DSSC—利用自製方法探討染料敏化太陽能電池效能提升	探討不同天然染料、串聯方式、燒結溫度和染料浸泡時間對發電效果的影響。最後想利用廢棄光碟、硬碟自製的旋轉塗佈機製備 DSSC 及測試效能。 **染料：紫色高麗菜**
		最佳電壓: 0.628(V)
		最佳電流: 0.107(mA)
		對應本作品的最佳 A 值: 0.067
56 國中 化學	簡易可撓式電極染敏電池之研究	試著加入電極片、將電極染敏電池製作過程簡化且具可撓的功能、後以立可白取代了二氧化鈦負極層、以印表機碳粉和鉛筆石墨來取代原正極處理、用紗布和護貝膜解決了原先電解液存放不易的問題，以提高電池的發電效率。**染料：藍色白板筆**
		最佳電壓: 0.701(V)
		最佳電流: 0.104(mA)
		對應本作品的最佳 A 值: 0.073
57 高中 工程 (二)	以廢棄蝦殼製作染料敏化太陽能電池之研究	探討如何利用廢棄蝦殼，製作最佳化的幾丁聚醣薄膜為載體，來取代傳統的導電玻璃玻璃，再加上由鋁網銅箔兩片電極片加上全混溶液、去除二氧化鈦及碳黑，欲簡化製程，並探討染敏電池之各種發電效益。**染料：葡萄皮**
		最佳電壓: 0.51(V) / 9cm^2
		最佳電流:0.60 (mA) / 9cm^2　(電解液：碘液與碘化鉀溶液)
		對應本作品的最佳 A 值:0.31 / 9cm^2

註：本作品 A 值定義為平均開路電壓×平均短路電流，說明請參照第 10 頁。

貳、研究設備及器材

一、研究材料：

表 2-1-1 各藥品、儀器的實品照片圖

	 1cm × 3cm				
台灣藜殼	導電玻璃	食鹽	石墨粉	優質酒精	丙酮
					
二氧化鈦 (奈米級)	Triton X-100	醋酸	硫酸銅	碘化鉀	市售碘液
					
吉利丁粉	檸檬酸	甘油	市售膠水	紫外燈條	市售石墨片
					
活性炭粉	二氧化錳	電磁加熱攪拌器			

本表照片皆由第一或第二作者拍攝

二、研究器材：三用電表、電子秤、刮刀、量筒、滴管、燒杯、實驗用濾紙(圓形、長條形、正方形)、液晶溫度計、培養皿、研磨機、研缽、筆電、鋁箔。

參、研究過程與方法

一、研究流程圖

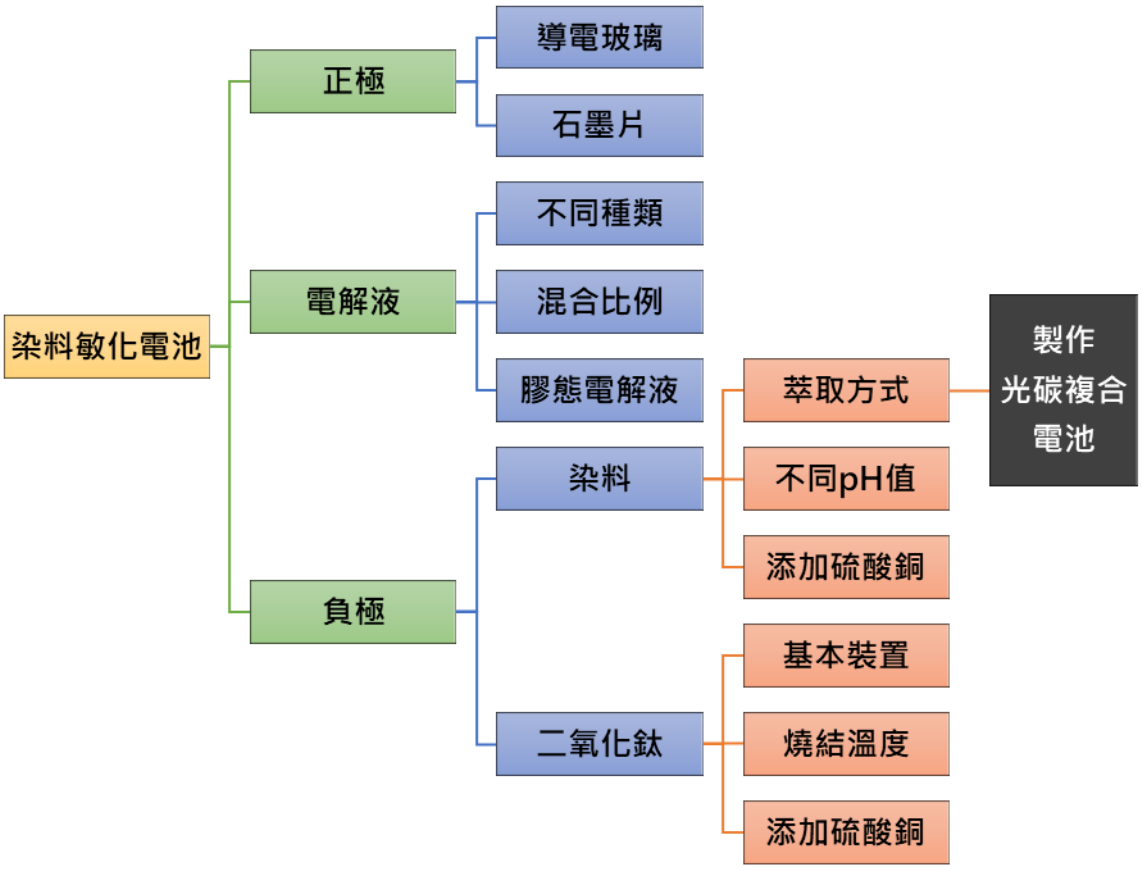


圖 3-1-1 研究流程圖

二、基本量測方法與工具

(一)自製簡易測量工具

一開始我們參考歷屆科展作品的測量方式進行染敏電池組裝後的測量，如圖 3-2-1，遇到以下困難，彙整如表 3-2-1：



圖 3-2-1 染敏電池初測的實作情形
(圖片由第一作者拍攝)

表 3-2-1 初測時遇到的困難彙整

遇到困難
1. 導電玻璃導電面預留空間有限，為了照光，導電面會在玻璃下方，測量發電效益實非常不方便，即便加裝延伸電極-鋁箔，也常脫落造成困擾。
2. 液態電解質流動性較大，因此我們使用衛生紙吸附電解液，但吸附量有限且容易乾掉而無法發揮電解液的效用。
3. 堆疊後的染敏電池利用長尾夾夾住，大大減少受光的面積。

於是我們嘗試設計一個自製測量工具。首先我們將 10 片量測物品堆疊後，利用游標尺測量其厚度，得到每一片的平均厚度，如表 3-2-2 所示。

表 3-2-2 各量測物品的單一厚度

量測物品	空白導電玻璃	導電玻璃 (塗 TiO_2)	銅箔	石墨片	濾紙
10 片的厚度(mm)	6.6	6.8	1.5	1.0	1.5
平均厚度(mm)	0.66	0.68	0.15	0.10	0.15

依照此厚度表，繪製出一個測量工具，手稿如圖 3-2-2 所示，並請老師幫我們用雷切機來製作主體(材質：壓克力)，並利用木板設計一個光罩，實品圖如圖 3-2-3，依序放上正極石墨片(向右延伸)、濾紙(避免正負極短路)及電解液，左方則放上負極延伸電極-銅箔，如圖 3-2-4，最後仍須蓋上正極導電玻璃，與最後的上蓋，上下兩側預留長尾夾夾住的空間，讓測量染敏電池發電效益時，能充分照光而有較穩定的表現。

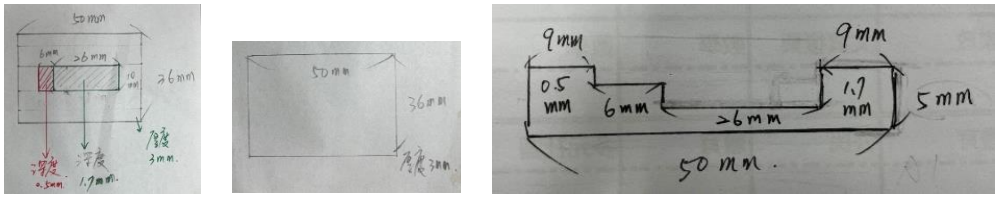


圖 3-2-2 自製儀器手繪圖(圖片由第二作者繪製)

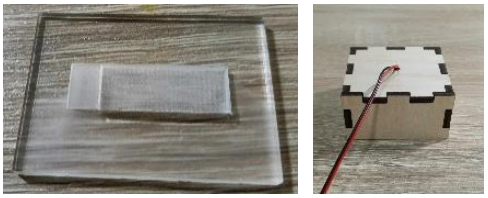


圖 3-2-3 自製儀器實品圖(右為光罩)
(圖片由第一作者拍攝)

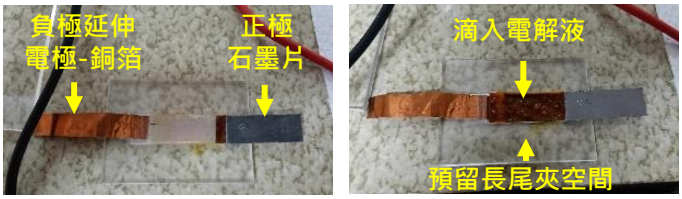


圖 3-2-4 自製儀器中放上正負極材料與電解液
(圖片由第一作者拍攝)

(二)染敏電池基本構造分層與實測方法

染敏電池實測時的分層示意圖如圖 3-2-5，我們在改變每一種變因時，皆利用此分層順序逐漸疊加，並利用銅箔將導電玻璃加裝延伸電極，方便測量。

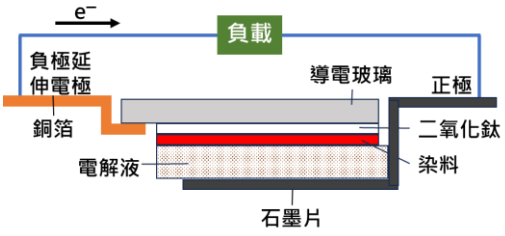


圖 3-2-5 染敏電池實測分層示意圖
(圖片由第二作者繪製)

基本操作步驟如下：

1. 利用三用電表測試導電玻璃導電面後，均勻塗上二氧化鈦膠，並置於電磁加熱攪拌器上進行燒結。
2. 將導電玻璃放入已萃取好的染液中浸泡，經過 30 分鐘後取出晾乾備用。
3. 在自製的儀器裡由下而上依序放上正極材料、濾紙、電解液以及負極導電玻璃。
4. 製作三個樣本，依序用三用電表測量其開路電壓與短路電流等數據，計算平均值後再算出 A 值。

(三)染液微波輔助萃取法

本作品選用農業廢棄物-台灣藜殼，來做為染料，查文獻得知其殼含豐富的酚類與水溶性的甜菜色素，因此一開始我們使用高溫水來萃取，但由於加熱時間較為耗時，且殼在吸水後容易膨脹，過濾染液時較費工，因此後來採用微波輔助萃取，微波爐的最大輸出功率為 800W，萃取時我們選用中強火(88%)，因此輸出功率約為 704W，採用此法後讓萃取更方便。

(四)光源選擇

為了測試染敏電池是否會受到光的激發而產生反應，查詢資料後發現二氧化鈦在光反應區間上主要分布在紫外光，因此我們購買了市售紫外線燈條，並利用光譜儀來驗證其發光波長，如圖 3-2-6，燈條規格說明：防水款 UV 紫外線 LED 5050，DC12V，功率約每米 4W，全部防水膠封。

燈條接上 12V 的電源供應器後，經過光譜儀檢測，測出光源波長約為 395 nm ±10，如圖 3-2-7，此將作為我們測試染敏電池是否發揮作用的主要光源。

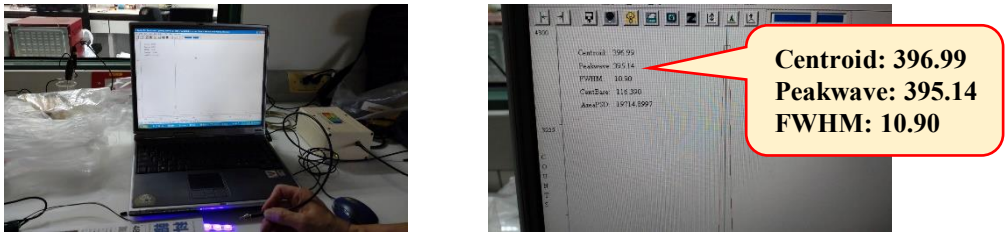


圖 3-2-6 光譜儀檢測紫外燈條實作情形(圖片由第一作者拍攝)

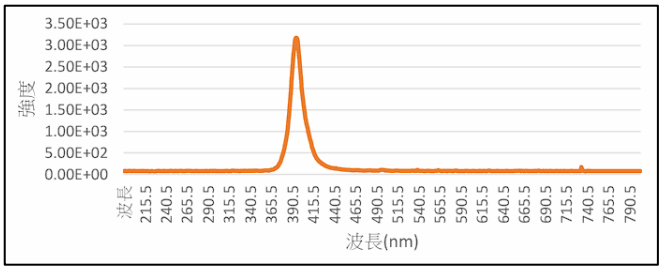


圖 3-2-7 光譜儀檢測紫外燈條的結果(圖片由第二作者繪製)

(五)二氧化碳電池吸附測試

為了確認二氧化碳電池是否有吸附二氧化碳而進行反應，我們將自製的二氧化碳電池，放入密封盒中，並通入二氧化碳氣體，經過 10 分鐘後發現，盒內二氧化碳濃度由 2500 ppm 降至 470 ppm，如圖 3-2-8，且電壓、電流值維持一定的數值，表示二氧化碳的確有參與反應。

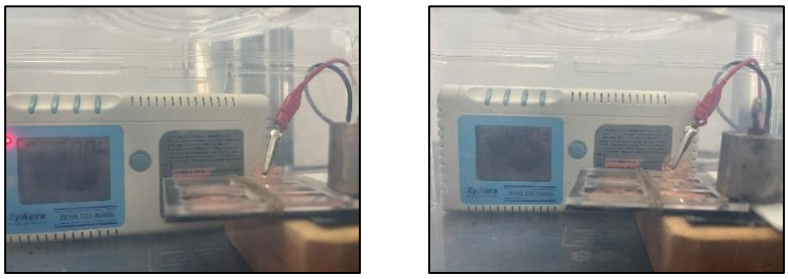


圖 3-2-8 測試二氧化碳電池吸附二氧化碳的實作情形(圖片由第一作者拍攝)

三、電池放電效益評估

【開路電壓的量測】

當電池在無外加負載狀況下，電池兩端的電壓稱為開路電壓(Voc)，我們利用三用電表，直接量測自製組裝電池的開路電壓，如圖 3-3-1 左。

【短路電流的量測】

當電池無外接電阻時(即短路)，電池流出的電流稱為短路電流(Isc)，我們利用三用電表，直接量測自製組裝電池的短路電流，如圖 3-3-1 右。

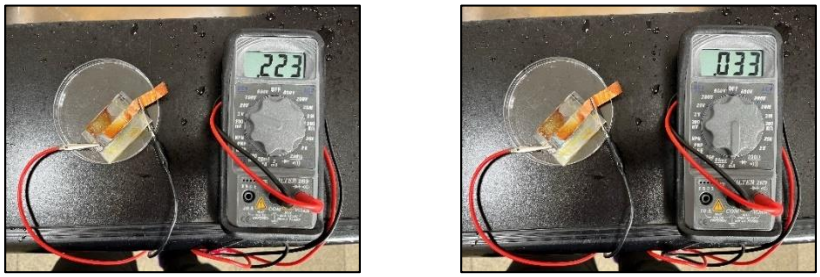


圖 3-3-1 利用自製儀器組裝染敏電池，測量發電效益的實作情形
(左為開路電壓，右為短路電流) (圖片由第一作者拍攝)

【放電效益評估】

我們每次實驗會做三個樣本，依序測出開路電壓與短路電流後，計算其平均值，再將平均開路電壓與平均短路電流的乘積，定義為 A 值，作為電池放電效益的評估，**A 值愈大，表示電池的放電效果愈好**。

四、研究過程與結果

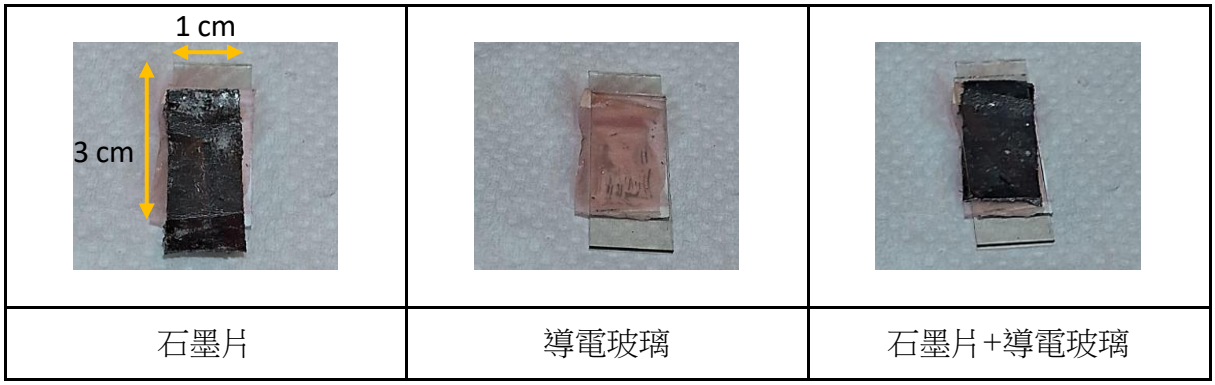
實驗一：找出最佳的正極材料

以往染敏電池是將導電玻璃用蠟燭薰黑，來做為正極材料，主要因蠟燭可製作出奈米碳，增加其接觸面積，但其製作較麻煩，且奈米碳容易脫落，因此我們嘗試利用石墨片來測試。

初測階段我們使用立可白塗在導電玻璃上，染料直接滴在其上，電解液則使用食鹽水。

(一) 操作變因：正極材料(石墨片、導電玻璃、石墨片+導電玻璃)。

控制變因：負極材料(塗有立可白的導電玻璃)、電解質(食鹽水-衛生紙)



石墨片	導電玻璃	石墨片+導電玻璃

圖 3-4-1-1 不同正極材料的製作情形(圖片由第二作者拍攝)

(二) 實驗結果：

表 3-4-1-1 各種正極材料的實驗結果

	平均開路電壓(V)	平均短路電流(mA)	A 值
石墨片	0.26	0.070	0.0182
導電玻璃	0.18	0.009	0.0016
石墨片+導電玻璃	0.18	0.051	0.0092

(三) 分析與討論：

1. 不管是開路電壓或短路電流，以只放石墨片的整體表現最佳，且實驗過程中減少了許多操作上的不便，因此爾後都選用石墨片來做為正極材料。
2. 因正極材料不需要照光，選用導電性更好的石墨片應是較好的選擇。
3. 立可白塗抹時較不易均勻，往後實驗需要改進。
4. 此種裝置設計，所得電壓較小，且維持時間過短，效果不佳。

實驗二：找出最佳電解液

一開始初測時，我們使用食鹽水來當電解液，但食鹽水只能當電解液，無法作為正極反應物，查詢文獻後將電解液調整為碘液+碘化鉀的混和溶液來嘗試，另外我們也想試試製成膠態電解質的可行性，降低電解液因流動而滲出，或接觸到空氣而慢慢脫水乾燥而失去作用。

【實驗二之 1】市售碘液中添加碘化鉀水溶液的比例對電池發電效益的影響

(一) 操作變因：電解液中 0.2M 碘化鉀水溶液和市售碘液的質量比例。

控制變因：正極材料(石墨片)、負極材料(塗普通級二氧化鈦的導電玻璃)

(二) 實驗結果：

表 3-4-2-1 不同質量比例的電解液之實驗結果

0.2M KI：市售碘液	平均開路電壓(V)	平均短路電流(mA)	A 值
4：6	0.39	0.011	0.0043
5：5	0.34	0.039	0.0133
6：4	0.13	0.033	0.0043

(三) 分析與討論：

1. 由實驗結果可看出，不管是開路電壓或是短路電流，皆以 KI 和碘液比例為 1:1 的電解液效果最佳。
2. 碘液中加入碘化鉀水溶液，可使 I_2 與 I^-結合成 I_3^-，讓正極較易發生還原反應。

【實驗二之 2】電解液添加 PVA 製成膠態電解質後，對電池發電效益的影響

(一) 操作變因：PVA 和最佳配方電解液(KI：市售碘液=1：1)的比例。

控制變因：正極材料(石墨片)、負極材料(塗普通級二氧化鈦的導電玻璃)

(二) 實驗結果：

表 3-4-2-2 最佳電解液添加 PVA 的實驗結果

PVA：電解液	平均開路電壓(V)	平均短路電流(mA)	A 值
3：7	0.31	0.018	0.0056
4：6	0.35	0.025	0.0088
5：5	0.34	0.019	0.0065

(三) 分析與討論：

1. 當 PVA 加入太少時，流動性較大，太多時則較為黏稠。
2. PVA 與最佳配方電解液的比例以 4：6 的效果最佳。

實驗三：以水當溶劑，找出染液的最佳萃取方式

我們選擇排灣族常見的食物-台灣藜，來作為我們染敏電池的敏化材料，查詢資料發現台灣藜的色素多存在於藜殼中，由於藜殼中含有部分皂素，口感較差，因此去殼台灣藜在市場上的接受度較高，那遺留的藜殼變成為農業廢棄物，為了生態的永續，讓每樣物質都能運用到極限再來丟棄，於是接洽屏東的台灣藜種植廠商，索取廢棄台灣藜殼來進行實驗。

實驗前我們先將藜殼粗篩，再利用研缽研磨成藜殼粉來進行實驗，如圖 3-4-3-1 所示。



圖 3-4-3-1 利用篩網先將台灣藜殼粗篩後，再放進研缽研磨成台灣藜殼粉。
(圖片由第一作者拍攝)

【實驗三之 1】萃取溫度對電池發電效益的影響

(一) 操作變因：台灣藜殼萃取的溫度。

控制變因：正極材料(石墨片)、負極材料(導電玻璃)、電解液(食鹽水+衛生紙) 、台灣藜殼與水的質量比例(1:10)、萃取時間(1 小時)。

(二) 實驗結果：

表 3-4-3-1 不同溫度水萃取染液的實驗結果

台灣藜殼萃取的溫度	平均開路電壓(V)	平均短路電流(mA)	A 值
40℃	0.36	0.010	0.0036
60℃	0.41	0.009	0.0037
80℃	0.24	0.007	0.0017
95℃	0.22	0.006	0.0013

(三) 分析與討論

1. 萃取溫度以 60℃的效果最佳。
2. 推測溫度過高會改變其成分結構，查詢資料發現甜菜色素的降解反應速率，隨溫度和時間的增大而增大，因此在較低溫的萃取環境下，甜菜色素會較穩定。

【實驗三之 2】台灣藜殼與水的萃取比例，對電池發電效益的影響

(一) 操作變因：台灣藜殼與水的質量比例。

控制變因：正極材料(石墨片)、負極材料(導電玻璃)、電解液(食鹽水+衛生紙)、萃取溫度(60℃)、萃取時間(1 小時)。

(二) 實驗結果：

表 3-4-3-2 以水當溶劑依不同比例來萃取的實驗結果

台灣藜殼：水	平均開路電壓(V)	平均短路電流(mA)	A 值
1：20	0.36	0.009	0.0032
2：20	0.40	0.011	0.0044
3：20	0.38	0.009	0.0034
4：20	0.37	0.010	0.0037
5：20	台灣藜吸水膨脹，所得濾液太少，未進行測量		



圖 3-4-3-2 不同比例萃取色素的實作情形(圖片由第一作者拍攝)

(三) 分析與討論：

1. 台灣藜殼與水的質量比例，以 1：10 的效果最佳。
2. 以水當溶劑時，台灣藜殼會吸水膨脹，所得濾液會偏少，但顏色呈現美麗的紅色。

【實驗三之 3】導電玻璃浸泡在染液中的時間，對電池發電效益的影響

(一) 操作變因：導電玻璃在染液中浸泡的時間。

控制變因：正極材料(石墨片)、負極材料(導電玻璃)、電解液(食鹽水+衛生紙)、染液(台灣藜殼與水以 1：10 的質量比例，在 60℃下萃取 1 小時)

(二) 實驗結果：

表 3-4-3-3 導電玻璃在染液中浸泡時間的實驗結果

浸泡時間	平均開路電壓(V)	平均短路電流(mA)	A 值
15 分鐘	0.29	0.010	0.0029
30 分鐘	0.28	0.008	0.0023
45 分鐘	0.36	0.010	0.0036
60 分鐘	0.18	0.011	0.0020

(三) 分析與討論

1. 導電玻璃浸泡在染液中，以 45 分鐘效果最佳。
2. 導電玻璃浸泡染液的時間，對電池的開路電壓影響較大。

小結：

1. 以水當溶劑來萃取台灣藜殼中的色素，藜殼對水的比例以 1：10，且需加熱至 60℃持續萃取 1 小時所得的染液，並將導電玻璃放入浸泡 45 分鐘的效果最好。
2. 以水當溶劑萃取出的染液，電池的發電效益均不佳，電流僅 0.01mA。
3. 嘗試改變電解液，並在染液中添加不同物質，看看是否能提升發電效益。

【實驗三之 4】染液中添加硫酸銅對電池發電效益的影響

(一) 操作變因：10 克原始染液配方中，滴入不同量的 0.2%硫酸銅。

控制變因：正極材料(石墨片)、負極材料(導電玻璃)、電解液(碘液+KI)、

原始染液配方與導電玻璃浸泡時間皆使用實驗三之 1~3 的最佳結果。

(二) 實驗結果

表 3-4-3-4 添加不同滴數硫酸銅後的實驗結果

硫酸銅	平均開路電壓(V)	平均短路電流(mA)	A 值
混合 5 滴	0.31	0.009	0.0028
混合 10 滴	0.32	0.009	0.0029
混合 15 滴	0.29	0.010	0.0029
混合 20 滴	0.37	0.010	0.0037
混合 25 滴	0.34	0.009	0.0031
不加	0.32	0.010	0.0032

(三) 分析與討論

1. 10g 的染液在添加硫酸銅後，雖然開路電壓有些許上升，但平均短路電流仍然很小，以添加 20 滴的效果最好，若與不加硫酸銅的染液相比，差異不大。
2. 當初實驗前做文獻探討時，發現科展作品中用台灣藜染布時，會加入媒染劑來增加上色的機會，因為台灣藜中的甜菜色素與酚類，會與某些金屬離子發生螯合作用，因此在進行此項實驗前已先用白礬(硫酸鋁鉀)、綠礬(硫酸亞鐵)和藍礬(硫酸銅)來進行實驗，結果藍礬效果較其他兩者好，因此才做更進一步研究。
3. 最後評估：染液在添加硫酸銅後，對電池發電效益並無顯著提升，因此以不另外加硫酸銅的染液來進行後續實驗。

【實驗三之 5】不同 pH 值的台灣藜殼染液，對電池發電效益的影響

(一) 操作變因：利用醋酸與氫氧化鈉來調整不同染液的 pH 值。

控制變因：正極材料(石墨片)、負極材料(導電玻璃)、電解液(碘液+KI)、原始染液配方與導電玻璃浸泡時間皆使用實驗三之 1~3 的最佳結果。

(二) 實驗結果

表 3-4-3-5 不同酸鹼性的染液其實驗結果

添加物質	pH 值(添加滴數)	平均開路電壓(V)	平均短路電流(mA)	A 值
醋酸	3.8 (6 滴)	0.34	0.022	0.0075
	4.2 (4 滴)	0.33	0.024	0.0079
	4.8 (2 滴)	0.34	0.042	0.0143
不加	5.8 (0 滴)	0.33	0.039	0.0129
氫氧化鈉	7.1 (2 滴)	0.20	0.019	0.0038
	8.3 (4 滴)	0.22	0.020	0.0044
	9.8 (6 滴)	0.24	0.021	0.0050

(三) 分析與討論

1. 許多研究報告指出，甜菜色素在酸中較能穩定地呈現紅色，在鹼中較會呈現黃色。
2. 實驗結果看出，添加醋酸後的開路電壓明顯提升，A 值以加兩滴酸後，pH 值為 4.8 的染液效果最好，但差異不明顯。

實驗四：以酒精當溶劑，找出染液的最佳萃取方式

【實驗四之 1】利用不同濃度的酒精來萃取台灣藜殼，對電池發電效益的影響

一開始查詢資料得到台灣藜殼中的甜菜色素是水溶性的，但有機化合物應多可溶於非水溶劑(非極性溶劑)中，且實驗三的結果說明以水萃取出的染液，發電效益不佳，於是我們嘗試使用有機溶劑中較無毒、環保的酒精來萃取，並比較不同濃度的酒精所萃取得到的染液，發電效益是否不同。

(一) 操作變因：以水和不同濃度的酒精做為萃取溶劑。

控制變因：正極材料(石墨片)、負極材料(導電玻璃)、電解液(碘液+KI)、台灣藜殼與溶劑的質量比例(1：10)、萃取環境(常溫 1 小時)、導電玻璃浸泡染液時間(45 分鐘)。

(二) 實驗結果：



圖 3-4-4-1 不同濃度的酒精萃取台灣藜殼後所得的染液
(由左至右依序為 0%、25%、50%、75%、95%) (圖片由第一作者拍攝)

表 3-4-4-1 不同濃度的酒精萃取後的實驗結果

酒精濃度(vol.)	平均開路電壓(V)	平均短路電流(mA)	A 值
0% (水)	0.24	0.010	0.0024
25%	0.14	0.009	0.0013
50%	0.30	0.032	0.0096
75%	0.34	0.071	0.0241
95%	0.28	0.021	0.0059

(三) 分析與討論：

1. 以 75%的酒精浸泡萃取台灣藜殼所製成染液的效果最好，A 值約為水的 10 倍。
2. 以酒精當溶劑來萃取時，較沒有像水一樣會讓藜殼膨脹，因此所得濾液較多，雖然巨觀顏色沒有水來得漂亮，但製作出的染敏電池卻有較佳的發電效益表現。

3. 在賈建麟於 2016 年發表的碩士學位論文-不同顏色臺灣藜抗氧化成分萃取與應用中提到：「黃色糠不論是水萃或酒精萃，還原力表現均比紅色糠高。黃色糠以酒精萃取的還原力效果最佳。」[10]。本研究以 75%酒精來萃取的效果較佳，推測水和酒精在此比例，能將台灣藜殼中參與反應的物質，多數萃取出。

【實驗四之 2】利用微波輔助來萃取台灣藜殼，對電池發電效益的影響

為了縮短萃取時間，想到家中常用微波爐來加熱食物，於是以微波輔助，來提取台灣藜殼中的有效成份，實作情形如圖 3-4-4-2 所示。



圖 3-4-4-2 以微波輔助來加速萃取效率的實作情形(圖片由第一作者拍攝)

(一) 操作變因：微波時間，並與浸泡 1hr(不微波)來做比較。

控制變因：正極材料(石墨片)、負極材料(導電玻璃)、電解液(碘液+KI)、台灣藜殼與 75%酒精的質量比例(5g 藜殼/ 50g 溶劑)、微波功率(704W)、導電玻璃浸泡染液時間(45 分鐘)。

(二) 實驗結果

表 3-4-4-2 微波不同時間萃取液的實驗結果

微波時間	平均開路電壓(V)	平均短路電流(mA)	A 值
微波 20s	0.29	0.009	0.0026
微波 30s	0.36	0.072	0.0260
微波 40s	0.19	0.078	0.0148
常溫浸泡 1hr	0.34	0.060	0.0204

(三) 分析與討論

1. 微波 20 秒效果不佳，推測溫度、萃取時間不足無法萃取出足夠的色素
2. 微波 40 秒效果不佳，推測溫度過高可能使色素遭到破壞，且加熱到此時間會有突沸的狀況，當台灣藜殼溢出燒杯外，就改變萃取比例，且染液量會變少。
3. 浸泡 1 小時耗時較長，效果也沒有微波 30 秒的好。
4. 整體而言，利用 75%酒精當溶劑，並微波 30 秒，有最好的效果。

總結：

1. 不管是開路電壓或短路電流，以 75%酒精當溶劑來萃取色素的效果均較水萃佳，發電效益較水提升約 10 倍。
2. 利用微波輔助大大降低時間成本，達到萃取色素的最大效益。

實驗五：找到最佳負極材料

一開始我們先用立可白測試填塗方式，但塗層厚度不均也很難塗薄，發電效益的表現非常不好，如圖 3-4-5-1 所示，經過多次不同測試後，在導電玻璃周圍貼一層 3M 的無痕膠帶，採 10 片並排方式，塗抹均勻後搭配載玻片靠在上下兩條無痕膠帶上刮過去，便能塗抹出與膠帶一樣厚的二氧化鈦膠，效果非常好，如圖 3-4-5-2。



圖 3-4-5-1 立可白塗抹效果很差
(圖片由第一作者拍攝)

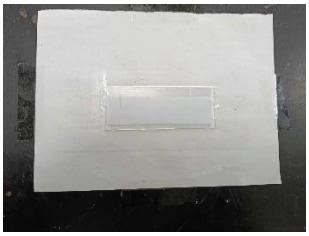


圖 3-4-5-2 利用 3M 無痕膠帶搭配載玻片塗抹
(圖片由第一作者拍攝)

查詢參考資料我們發現負極塗料以奈米級二氧化鈦、醋酸及界面活性劑均勻混合後，塗在導電玻璃的導電面上並燒結，能讓染敏電池發電效果有進一步的提升。因此我們以前述實驗的最佳配方染液、最佳配方電解液、正極則以石墨片來當導電材料，並以 1g 奈米級二氧化鈦/ 2g 醋酸/ 4g 界面活性劑的質量比例，改變不同種類的界面活性劑以及燒結溫度，找到對電池發電效益最佳的負極塗料。

【實驗五之 1】二氧化鈦中添加界面活性劑的種類對電池發電效益的影響

(一) 操作變因：界面活性劑的種類(Triton X-100 和市售洗碗精)。

(二) 實驗結果

表 3-4-5-1 不同界面活性劑的實驗結果

界面活性劑	平均開路電壓(V)	平均短路電流(mA)	A 值
Triton X -100	0.34	0.021	0.0071
洗碗精	0.29	0.002	0.0005

(三) 分析與討論

1. 以添加 Triton X -100 的界面活性劑效果較佳，其 A 值比市售洗碗精高出約 15 倍之多。

【實驗五之 2】二氧化鈦膠的燒結溫度對電池發電效益的影響

(一) 操作變因：改變不同燒結溫度(300、350、400、450、500、550°C)。

(二) 實驗結果



圖 3-4-5-3 左圖為各種溫度燒結後的導電玻璃，中圖為浸泡染液中，右圖則為晾乾後(圖片由第一作者拍攝)

表 3-4-5-2 不同燒結溫度的實驗結果

溫度(°C)	平均開路電壓(V)	平均短路電流(mA)	A 值
常溫	0.13	0.012	0.0016
300	0.18	0.024	0.0043
350	0.21	0.035	0.0072
400	0.27	0.052	0.0141
450	0.31	0.062	0.0195
500	0.37	0.071	0.0264
550	0.29	0.058	0.0169

(三) 分析與討論

1. 溫度每次調升 50°C，待達到預設溫度會停留約 5 分鐘，之後再繼續調升 50°C。
2. 燒結溫度慢慢升溫時，二氧化鈦顏色會越來越深，但達到 500°C 卻又變回白色。
3. 二氧化鈦在燒結至 500°C 有最佳的效果，與諸多文獻中的結果相符合。

【實驗五之 3】在二氧化鈦膠中添加硫酸銅對電池發電效益的影響

(一) 操作變因：在 7 克的二氧化鈦膠中，滴入不同量的 0.2%硫酸銅。

控制變因：依照實驗五之 1~2 的最佳結果。

(二) 實驗結果

表 3-4-5-3 添加不同量硫酸銅後的實驗結果

硫酸銅滴數	平均開路電壓(V)	平均短路電流(mA)	A 值
0	0.36	0.069	0.0249
1	0.34	0.070	0.0235
2	0.33	0.071	0.0233
3	0.34	0.086	0.0294
4	0.37	0.095	0.0355
5	0.36	0.084	0.0304

(三) 分析與討論

1. 在 7 克的二氧化鈦膠滴入 0.2%的硫酸銅水溶液，皆可使電壓有更穩定的表現且大幅提升，其中以添加 4 滴效果最佳，A 值約為不加硫酸銅的 1.43 倍，提升約 42.6%。
2. 在實驗三之 4 中有說明，當初選擇添加硫酸銅，是希望甜菜色素藉由螯合作用，讓染料更穩定，在進行此實驗時也曾想著若在二氧化鈦中添加硫酸銅，利用螯合作用讓染液中的色素分子，更容易鑲在二氧化鈦中，因此嘗試添加，結果顯示添加硫酸銅後的確可以增加電池的發電效益，但此推論還須利用精密儀器來驗證。
3. 在找尋資料時另外發現參考資料九中提及，若在二氧化鈦中添加銅離子後，能有效抑制電子-電洞再結合，提供電荷額外傳遞路徑，提升表面電荷的有效利用率，推測這也可能是提升本研究染敏電池發電效益的原因之一。

實驗六：染敏電池發電效益的提升

由前述實驗結果可看出，染敏電池的開路電壓、短路電流都不大，很有可能是因為我們的導電玻璃太小(1.0 × 3.0 cm^2)，且扣掉預留的導電測量位置，僅餘 1.0 × 2.5 cm^2，希望藉著並聯方式，提高電極的反應面積，藉以提升整體電池的短路電流。

(一) 製作過程：

1. 在壓克力板上並聯黏貼五片浸泡染液後的導電玻璃，二氧化鈦面積約為 5 × 2.5 cm^2。
2. 在壓克力板周圍黏貼泡棉膠，周圍再用快乾加強密合度，如圖 3-4-6-1 左 1。
3. 導電玻璃剩餘的導電面，用鋁箔緊緊貼合在五片上，使之並聯。
4. 填上電解質膠，並蓋上正極石墨片 ，完成染敏電池，如圖 3-4-6-1。

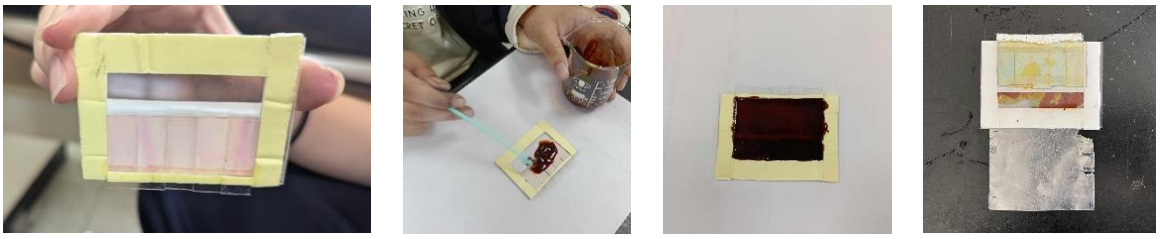


圖 3-4-6-1 五片導電玻璃並聯的組裝流程圖(圖片由第一作者拍攝)

(二) 實驗結果

表 3-4-6-1 並聯後製作出的染敏電池，經過 10 分鐘後各項發電效益的實驗結果

是否照光	沒有照光			連續照光		
時間(分)	開路電壓(V)	短路電流(mA)	A 值	開路電壓(V)	短路電流(mA)	A 值
0	0.36	0.204	0.073	0.38	0.466	0.177
1	0.36	0.203	0.073	0.38	0.464	0.176
2	0.35	0.159	0.056	0.37	0.441	0.163
3	0.36	0.158	0.057	0.36	0.427	0.154
4	0.36	0.155	0.056	0.35	0.415	0.145
5	0.36	0.150	0.054	0.35	0.399	0.140
6	0.36	0.144	0.052	0.35	0.375	0.131
7	0.35	0.127	0.044	0.35	0.364	0.127
8	0.35	0.120	0.042	0.35	0.350	0.123
9	0.34	0.109	0.037	0.35	0.348	0.122
10	0.34	0.106	0.036	0.35	0.345	0.121
衰減率	-5.6%	-48.0%	-50.9%	-7.9%	-26.0%	-31.8%

註：衰減率 = (10 分鐘的測量值-0 分鐘的測量值) / 0 分鐘的測量值

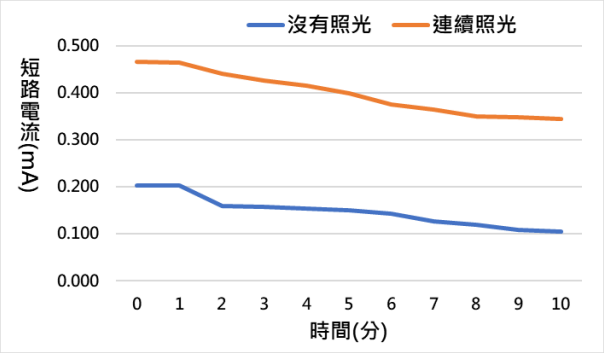


圖 3-4-6-2 染敏電池短路電流變化圖

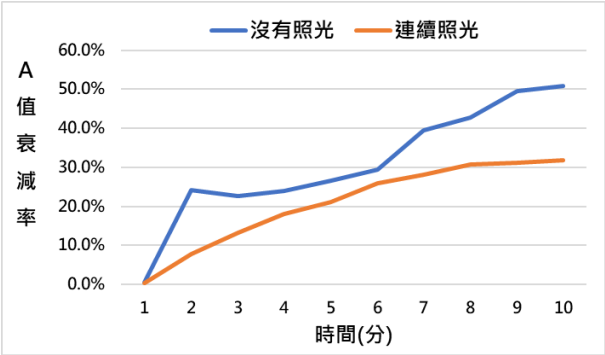


圖 3-4-6-3 染敏電池 A 值衰減率的變化圖

(圖片由第二作者繪製)

(三) 分析與討論

1. 並聯後的開路電壓與短路電流值，與單一個電池來比均有明顯上升，5 個導電玻璃並聯後的 A 值約為單一個的 2.06 倍。
2. 染敏電池在照光後，開路電壓略上升一些，而短路電流值有明顯上升，起始 A 值約為沒有照光的 2.42 倍，經過 10 分鐘後 A 值約為沒有照光的 3.36 倍。
3. 在沒有照光下，經過 10 分鐘 A 值衰減了 50.9%，若連續照光，則 A 值衰減了 31.8%，顯示照光後可延長電池的衰減，且照光後 10 分鐘的 A 值慢慢趨於穩定。

實驗七：製作光碳複合電池

【實驗七之 1】第一代光碳複合電池

二氧化碳電池的製作

去年我們進行二氧化碳電池的研究，最大的困擾是碳材不易固定，容易撒出，今年嘗試使用明膠混和液來固定碳材，期待有好的效果。

(一) 製作過程：

1. 利用 75%酒精和菠菜並搭配微波輔助來萃取葉綠素，並用紫外光燈條來驗證，如圖 3-4-7-1 所示。



圖 3-4-7-1 自行萃取葉綠素在紫外光燈條照射下呈現紅色
(圖片由第一作者拍攝)

2. 取 4 克活性碳粉放在吸濾裝置的濾紙上，倒入葉綠素萃取液，讓活性炭粉吸附葉綠素後，置入 40°C 的烘箱中烘乾。
3. 取 6 克石墨粉與前述活性碳粉混和均勻，加入配製好的明膠混和液中攪拌均勻。
4. 均勻塗抹在濾紙上或銅網上，製成正極材料。

5. 依序堆疊鋁片、二氧化錳、食鹽水、碳紙和銅網，組裝成二氧化碳電池，並置入二氧化碳吸附盒中進行放電效益的測試，確認電池可運作。

(二) 實驗結果

1. 電池成品如圖 3-4-7-2，發現將碳膠直接塗抹在銅網上，比將碳膠塗在濾紙上作成碳紙，再放上銅網的效果要好，推測此法能讓提供更多的空間讓二氧化碳吸附。
2. 將自製二氧化碳電池在吸附盒中，如圖 3-4-7-3，呈現穩定的電壓值 0.737 V。

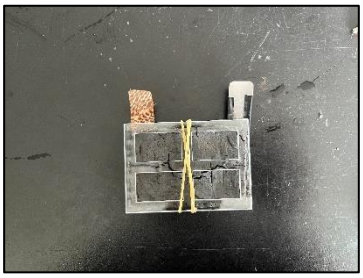


圖 3-4-7-2 二氧化碳電池的實品圖
(圖片由第一作者拍攝)

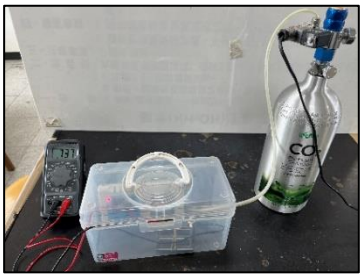


圖 3-4-7-3 電池在吸附盒中，維持穩定的電壓
(圖片由第一作者拍攝)

第一代光電複合電池的製作

將實驗六製作出的染敏電池，與前述實驗製作出的二氧化碳電池串聯結合，來提升電壓，並藉碳轉化來消耗二氧化碳，製作第一代光碳複合電池。

(一) 實驗結果



圖 3-4-7-4 光碳複合電池開路電壓的實測圖
(圖片由第一作者拍攝)

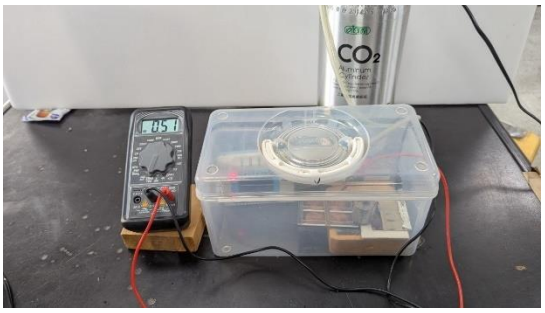


圖 3-4-7-5 光碳複合電池放在吸附盒中的短路電流實測圖(圖片由第一作者拍攝)

將兩種電池串聯後，得到開路電壓為 1.151V，置入二氧化碳吸附盒中，呈現穩定的電流值 0.51 mA，A 值為 0.5870，為單一個染敏電池的 16.54 倍，為大型染敏電池(並聯五片)的 8.04 倍。

【實驗七之 2】第二代光碳複合電池

(一) 製作過程：

1. 將第一代光碳複合電池的染敏電池的正極材料石墨，改用二氧化碳電池的正極材料-碳膠銅網，按照前述實驗操作步驟計算出 A 值，如圖 3-4-7-6 所示，並將第二代電池放入二氧化碳吸附盒中，連續測量 2 小時，如圖 3-4-7-7 所示，並計算其 A 值衰減率。

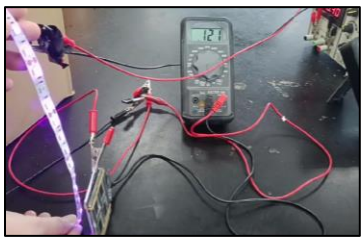



圖 3-4-7-6 第二代光碳複合電池開路電壓、短路電流的實測圖(圖片由第一作者拍攝)



圖 3-4-7-7 第二代光碳複合電池放在二氧化碳吸附盒中的實測圖(圖片由第一作者拍攝)

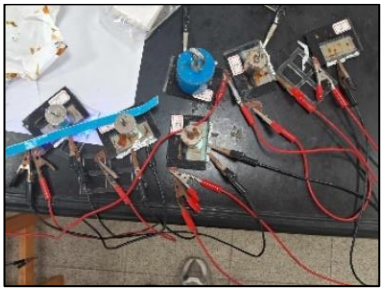
(二) 實驗結果

染敏電池在增加自製碳膠銅網電極來吸附二氧化碳後，A 值每分鐘的衰減率由 3.18% 降低至 0.11%，顯示光碳複合電池可延長電池的續航性。

【實驗七之 3】第三代光碳複合電池

(一) 製作過程：

1. 製作六個第二代光碳複合電池，改變四種不同串並聯方式，找到最佳的發電效益，如圖 3-4-7-8 所示。



3-4-7-8 第三代光碳複合電池的實作情形

(二) 實驗結果

表 3-4-7-1 第三代光碳複合電池的實作情形

串並聯方式	開路電壓(V)	短路電流(mA)	A 值
每三個並聯後，兩組再串聯	0.587	0.517	0.303
每兩個並聯後，三組再串聯	1.010	0.603	0.609
每三個串聯後，兩組再並聯	0.504	0.553	0.279
每兩個串聯後，兩組再並聯	0.578	0.697	0.403

將兩個兩個電池並聯後，再將三組串聯在一起，有最佳的發電效益，照光後開路電壓提升至 1.120V，短路電流為 0.622mA，計算 A 值 0.697，可點亮 LED 燈。

肆、討論

一、實驗時發現，若電解液直接碰觸到正極延伸電極銅箔時，電流會增大許多，電壓也會增大到 0.8V~0.9V 之間，照光後電壓不升反降，推測此時的電池可能變成銅-空氣電池，I^-/I_3^-含碘混和液則單純作為電解液，反應式如下所示，理論電壓為 0.889V，此時二氧化鈦及染料並未發揮作用，就不是我們希望製作的染敏電池，因此實驗時應避免電解液碰觸導電玻璃未塗二氧化鈦膠的導電面部分，或是延伸電極銅箔或鋁箔，並利用電池會因為照射紫外光而使開路電壓、短路電流的增加，來驗證是否為染敏電池在運作。

正極： $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$ 1.229 V

負極： $Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$ -0.34 V

全反應： $O_2 + 4H^+ + 2Cu \rightarrow 2H_2O + 2Cu^{2+}$ 0.889 V

二、製作膠態電解質時，原本期待添加的 PVA 電解質膠，在乾掉後亦可當成黏著劑，使正負極貼合在一起，但實際上做出來時，因為厚度薄，塗在兩層壓克力間，很難乾燥，最後只能退而求其次，讓電解質呈現膠態，降低液態電解液易滲出造成不便攜帶的困擾，未來仍想繼續嘗試固態電解質的製作。

三、大多歷屆科展使用紫色高麗菜做為染敏電池的染料，本研究也嘗試以水及 75%酒精萃取紫甘藍製作染敏電池，短路電流幾乎為 0，發電效益較台灣藜殼差很多。

四、製作出的第三代染敏電池，在進行更長時間的放電時，效果不佳，希望未來能持續找出問題，讓捕碳的染敏電池真正發揮其效用。

伍、結論

一、正極材料改以易取得的石墨片來代替傳統燻黑奈米碳；

二、**添加 PVA 來製作膠態電解質**，可減緩電解液的蒸發，與降低其流動性；

三、染料使用**農業廢棄物-台灣藜殼**，以 75%酒精當溶劑並利用**微波輔助來萃取色素**，**提高萃取的效率**，並將染液配製成 pH=4.8 左右的染液，有最好的效果；

四、負極材料採用奈米級的二氧化鈦，搭配醋酸、Triton X-100，並在**添加硫酸銅後，電池發電效益增為 1.43 倍**；

五、將染敏電池正極材料改為碳膠銅網電極的第三代光碳複合電池，照光後的最高開路電壓可達 1.120 V，最高短路電流為 0.622 mA ，且 A 值的衰減率明顯降低，此複合電池在利用光能發電的同時，也能消耗空氣中的二氧化碳，希冀藉此營造永續環保的新理念。

陸、參考文獻資料

一、 染料敏化太陽能電池的再突破——專訪中興化學系教授葉鎮宇 - PanSci 泛科學

二、 姚奕丞、陳韻淇、陳宥甄等(2023)。呷二氧化碳ㄟ電池。中華民國第 63 屆中小學科學展覽會化學科。

三、 汪士惟、林浩正等(2006)。鈦白粉也發電--染料敏化太陽能電池之相關研究。中華民國第 46 屆中小學科學展覽會。

四、 陳弘誌等(2008)。自製臺灣植物染敏太陽能電池及性質研究。中華民國第 48 屆中小學科學展覽會。

五、 吳昱欣、劉雅幸等(2011)。染料軋上太陽光蹦出 DSSC—利用自製方法探討染料敏化太陽能電池效能提升。中華民國第 51 屆中小學科學展覽會。

六、 吳欣芳、許天均、陳咨彣等(2014)。青青紫「金」染料敏化太陽能電池之效能分析。中華民國第 54 屆中小學科學展覽會。

七、 蔡佳霖、朱程瑋、陳士顓等(2016)。簡易可撓式電極染敏電池之研究。中華民國第 56 屆中小學科學展覽會。

八、 蔡佳霖、高湘琪等(2017)。以廢棄蝦殼製作染料敏化太陽能電池之研究。中華民國第 57 屆中小學科學展覽會。

九、 王宥喆(2015)。摻雜銅離子於二氧化鈦表面對光催化還原二氧化碳特性探討。國立交通大學環境工程研究所碩士論文。

十、 賈建麟(2016)。不同品系台灣藜殼甜菜鹼含量之比較及果膠酵素處理對甜菜鹼萃取之影響。國立屏東科技大學食品科學系碩士學位論文。

十一、螯合物，維基百科，自由的百科全書。

十二、陳儀珈(2021)。染料敏化太陽能電池的再突破—專訪中興化學系教授葉鎮宇。科技大觀園。https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/C000003/detail?ID=381d98ab-14f2-4627-830d-f52a817f721e&utm_source=chatgpt.com

【評語】033011

1. 開發萃取廢棄藜殼作為染敏電池的染料技術，可將農業廢棄物再利用。

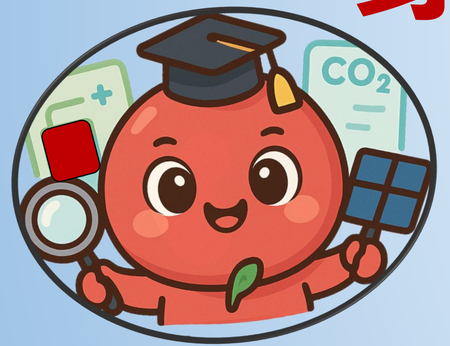
2. 改善太陽能電池發電效率，有利於綠能與減碳之推動永續環保。

3. 有系統收集資料，自行設計、組裝分析設備，實驗方法具體可行，研發之太陽能複合電池技術，有實務應用參考價值。

4. 海報技術說明清楚，回答問題明晰有條理，了解研究結果與結論之釋義及限制。

作品海報

「藜」「鎖」「碳」「染」



—結合染敏技術與碳轉化的光碳複合電池

摘　要

本研究製作新型染敏電池，分為四大部分：一、正極材料改以易取得的石墨片來代替傳統燻黑奈米碳；二、製作膠態電解質來減緩電解液的蒸發與滲出；三、染料採用農業廢棄物-台灣藜殼，以75%的酒精當溶劑，利用微波輔助來萃取色素，提高萃取的效率，並將染液調配成pH=4.8左右，其發電效益有最好的表現；四、負極材料採用奈米級的二氧化鈦，搭配醋酸、Triton X-100，並在添加硫酸銅後，電池發電效益增為1.43倍。歷經改良後製得的第三代電池，是利用碳膠銅網電極做為正極材料，製作出可捕碳的染敏電池-光碳複合電池，照光後的最高開路電壓可達1.120 V，最高短路電流為0.622 mA，此電池能在利用太陽能的同時，同時捕捉空氣中的二氧化碳，希冀藉此達到永續環保的新理念。

壹、研究動機

在翻閱歷屆科展作品時，我們發現染敏電池只要有微弱的光線即可產生電力，不受光照角度影響，價格便宜，毒性低，不易造成汙染，因此我們對這個電池產生了極大的好奇心。

貳、研究目的

(一) 研究染敏電池的原理及基本裝置方式。
(二) 自行研發測量工具。
(三) 研究台灣藜殼染料最佳萃取方式。
(四) 找到染敏電池最佳正負極材料及電解液。
(五) 製作捕碳的染敏電池-光碳複合電池。

參、研究過程與方法

一、研究流程圖

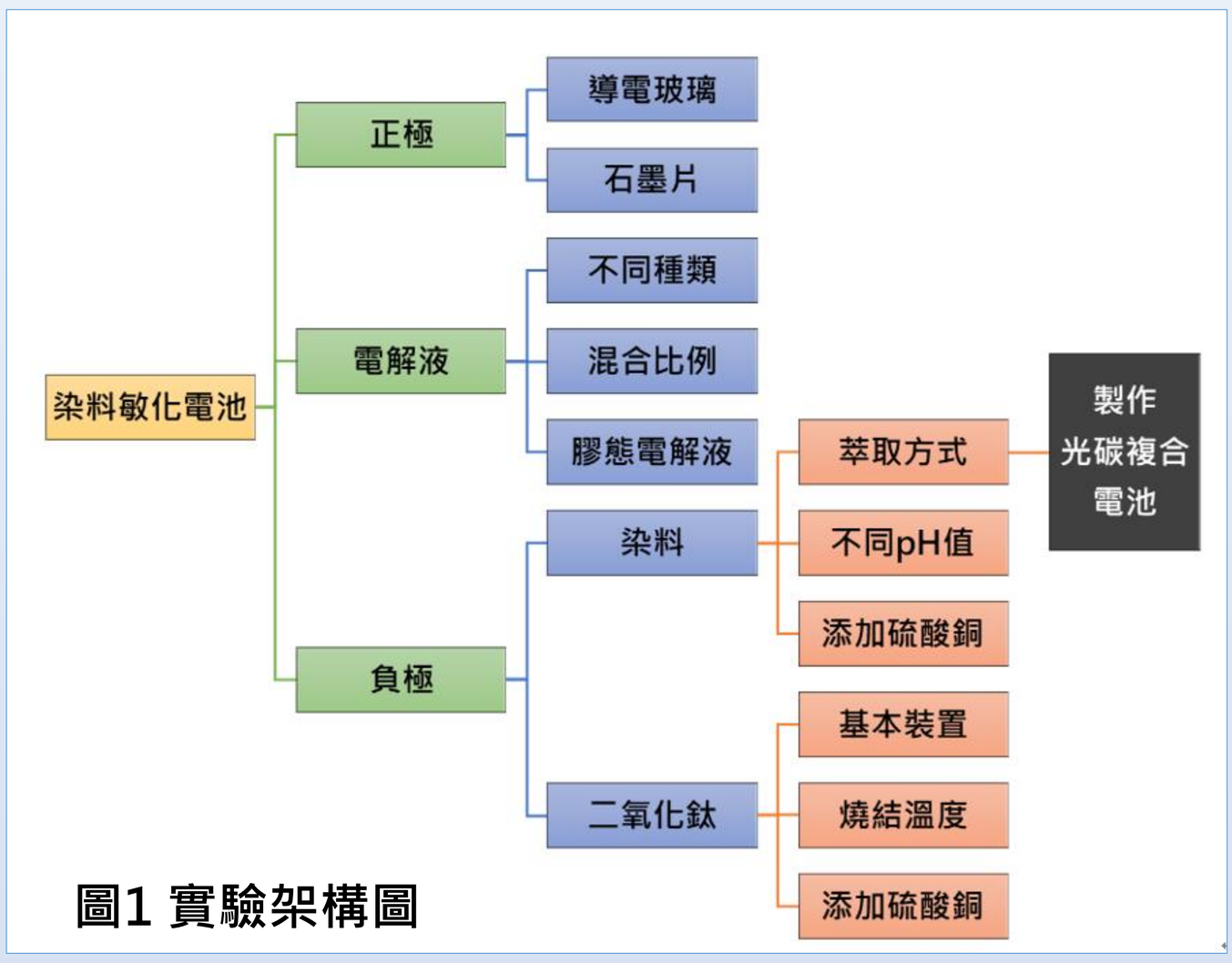


圖1 實驗架構圖

二、染敏電池結構

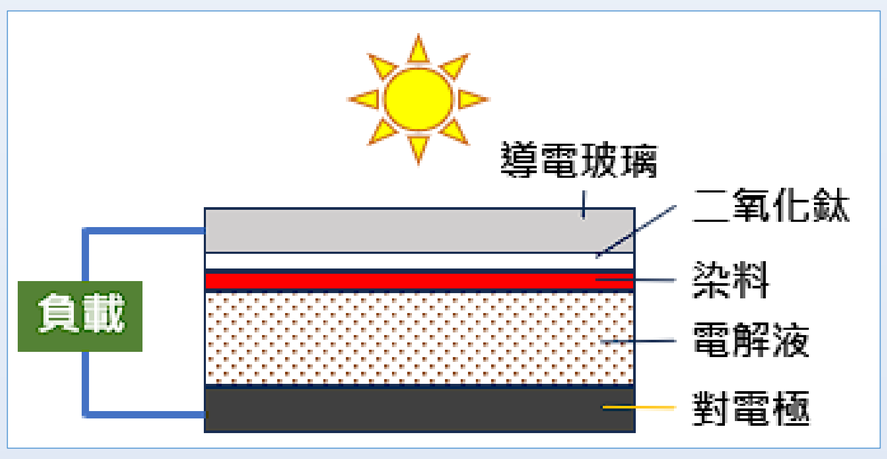


圖2 染敏電池結構示意圖

(1) $Dye(基態) \xrightarrow{光能} Dye^*(激發態)$ 【染料激發】

(2) $Dye^* + TiO_2 \rightarrow e^-[TiO_2] + Dye^+$ 【電子注入 TiO_2】

(3) $I_3^- + 2e^- \rightarrow 3I^-$ 【電解質還原】

(4) $2Dye^+ + 3I^- \rightarrow I_3^- + 2\ Dye(基態)$ 【染料、電解質再生】

圖3 染敏電池的化學反應式

三、基本量測方法

◎ 自製簡易測量工具

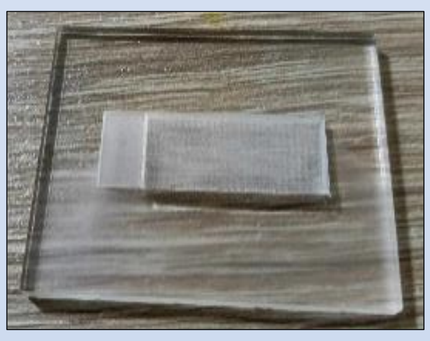


圖4 自製雷切儀器





圖5 自製測量儀器的實際組裝圖

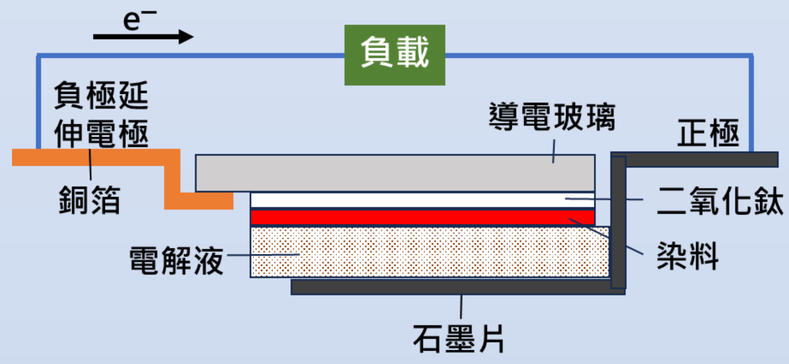


圖6 電池實測分層示意圖

◎ 光源選擇

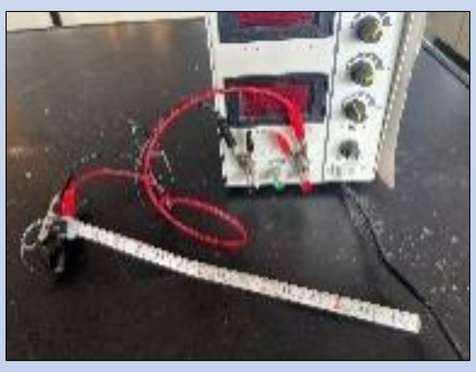


圖7 紫外燈條接上電源供應器

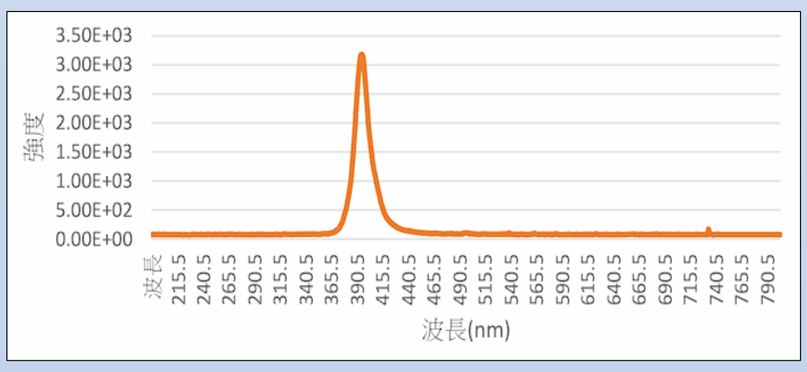
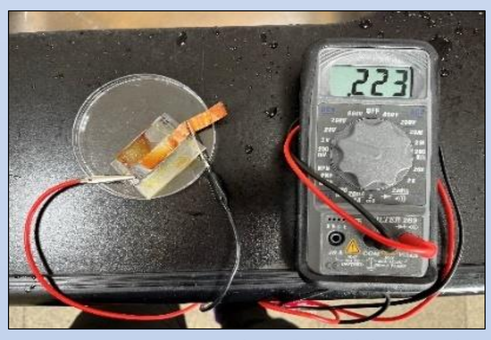


圖8 利用光譜儀來檢測紫外燈條的波長結果

◎ 電池放電效益評估

A值 = 平均開路電壓 × 平均短路電流



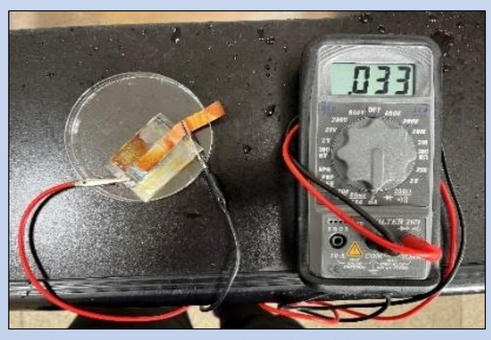


圖9 利用自製儀器組裝染敏電池的實作情形

肆、研究結果

實驗一：找出最佳的正極材料

表1 不同正極材料的各項實驗結果

正極材料	平均開路電壓(V)	平均短路電流(mA)	A值
石墨片	0.26	0.070	0.0182
導電玻璃	0.18	0.009	0.0016
石墨片+導電玻璃	0.18	0.051	0.0092

本頁圖表照片皆由兩位作者繪製或拍攝

實驗二：找出最佳電解液配方

表2 市售碘液中添加碘化鉀水溶液的比例之實驗結果

0.2M KI：市售碘液 (質量比例)	平均開路電壓 (V)	平均短路電流 (mA)	A值
4：6	0.39	0.011	0.0043
5：5	0.34	0.039	0.0133
6：4	0.13	0.033	0.0043

表3 最佳電解液配方添加PVA的實驗結果

PVA：電解液 (質量比例)	平均開路電壓 (V)	平均短路電流 (mA)	A值
3：7	0.31	0.018	0.0056
4：6	0.35	0.025	0.0088
5：5	0.34	0.019	0.0065

實驗三：以水當溶劑，找出染液的最佳萃取方式

表4 不同溫度水萃取染液的實驗結果

溫度	平均開路電壓 (V)	平均短路電流 (mA)	A值
40℃	0.36	0.010	0.0036
60℃	0.41	0.009	0.0037
80℃	0.24	0.007	0.0017
95℃	0.22	0.006	0.0013

表5 以水當溶劑依不同比例來萃取的實驗結果

台灣藜殼：水 (質量比例)	平均開路電壓 (V)	平均短路電流 (mA)	A值
1：20	0.36	0.009	0.0032
2：20	0.40	0.011	0.0044
3：20	0.38	0.009	0.0034
4：20	0.37	0.010	0.0037
5：20	紅藜吸水膨脹所得濾液太少，未進行測量		

表6 導電玻璃在染液中浸泡時間的實驗結果

浸泡時間	平均開路電壓 (V)	平均短路電流 (mA)	A值
15分鐘	0.29	0.010	0.0029
30分鐘	0.28	0.008	0.0023
45分鐘	0.36	0.010	0.0036
60分鐘	0.18	0.011	0.0020

表7 染液中添加不同滴數硫酸銅後的實驗結果

硫酸銅	平均開路電壓 (V)	平均短路電流 (mA)	A值
不加	0.32	0.010	0.0032
混合5滴	0.31	0.009	0.0028
混合10滴	0.32	0.009	0.0029
混合15滴	0.29	0.010	0.0029
混合20滴	0.37	0.010	0.0037
混合25滴	0.34	0.009	0.0031

表8 不同酸鹼性的染液其實驗結果

添加物質	添加滴數 (pH值)	平均開路電壓 (V)	平均短路電流 (mA)	A值
醋酸	3.8 (6滴)	0.34	0.022	0.0075
	4.2 (4滴)	0.33	0.024	0.0079
	4.8 (2滴)	0.34	0.042	0.0143
不加	5.8 (0滴)	0.33	0.039	0.0129
氫氧化鈉	7.1 (2滴)	0.20	0.019	0.0038
	8.3 (4滴)	0.22	0.020	0.0044
	9.8 (6滴)	0.24	0.021	0.0050

實驗四：以酒精當溶劑，找出染液的最佳萃取方式

表9 不同種類溶劑萃取後的實驗結果

萃取溶劑種類	平均開路電壓 (V)	平均短路電流 (mA)	A值
水	0.24	0.010	0.0024
25%酒精	0.24	0.009	0.0022
50%酒精	0.30	0.032	0.0096
75%酒精	0.34	0.071	0.0241
95%酒精	0.28	0.021	0.0059



圖10 不同種類溶劑萃取藜殼後的萃取液

表10 不同方式與時間來萃取藜殼的實驗結果

萃取方式與時間	平均開路電壓 (V)	平均短路電流 (mA)	A值
微波20s	0.29	0.009	0.0026
微波30s	0.37	0.092	0.0340
微波40s	0.19	0.079	0.0150
浸泡1hr	0.34	0.060	0.0204

實驗五：找出最佳負極材料

表11 不同燒結溫度的實驗結果

溫度(°C)	平均開路電壓 (V)	平均短路電流 (mA)	A值
常溫	0.13	0.012	0.0016
300	0.18	0.024	0.0043
350	0.21	0.035	0.0072
400	0.27	0.052	0.0141
450	0.31	0.062	0.0195
500	0.37	0.071	0.0264
550	0.29	0.058	0.0169

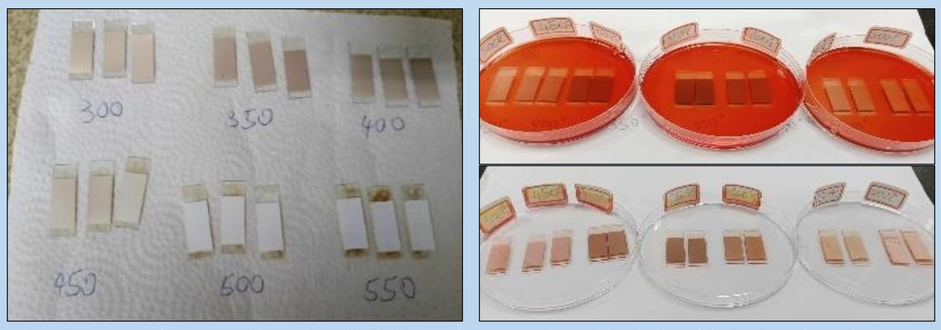


圖11 左圖為各種溫度燒結後的導電玻璃，
右上圖為浸泡染液中，右下圖則為晾乾後

表12 二氧化鈦膠中添加不同硫酸銅後的實驗結果

硫酸銅滴數	平均開路電壓 (V)	平均短路電流 (mA)	A值	提升率
0	0.36	0.069	0.0249	–
1	0.34	0.070	0.0235	-0.1%
2	0.33	0.071	0.0233	-0.1%
3	0.34	0.086	0.0294	18.1%
4	0.37	0.095	0.0355	42.6%
5	0.36	0.084	0.0304	22.1%

1. 推測在二氧化鈦中添加硫酸銅，可利用螯合作用讓色素分子更容易鑲在二氧化鈦中。
2. 參考碩士論文，推測可能是二氧化鈦在加入銅離子後，能抑制電子-電洞結合，提升表面電荷的有效利用率，藉以提升染敏電池的發電效益。
3. 推測加入銅離子可使二氧化鈦產生更多氧空缺，氧空缺可與水產生羥基，羥基與甜菜色素的羧基產生酯鍵，有利於電子傳輸。

本頁圖表照片皆由兩位作者繪製或拍攝

實驗六：提升染敏電池發電效益

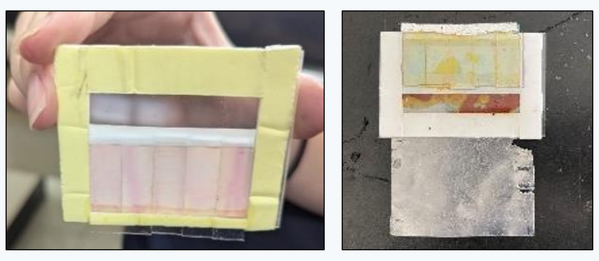


圖12 五片導電玻璃並聯成品圖

$$\text{衰減率} = \frac{\text{初始A值} - \text{該時間的A值}}{\text{初始A值}} \times 100\%$$

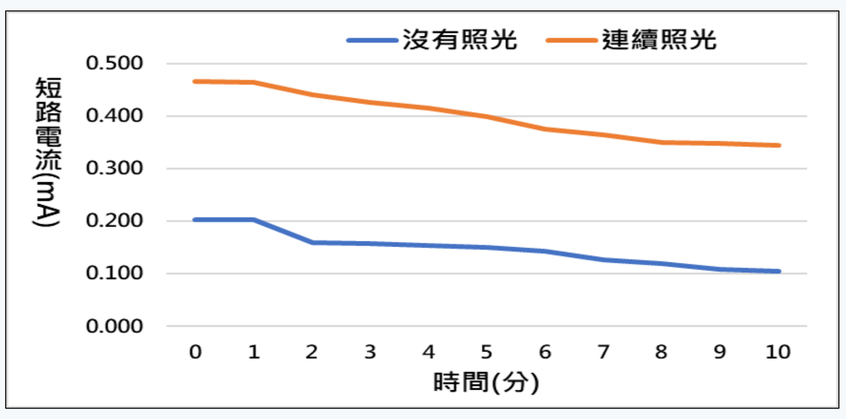


圖13 染敏電池短路電流的變化圖

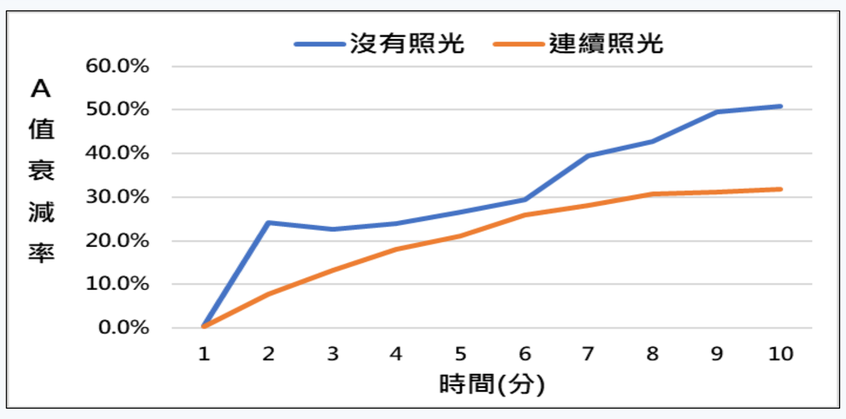


圖14 染敏電池A值衰減率的變化圖

總結：在沒有照光的情形下，經過10分鐘A值衰減了50.9%，若連續照光，則A值衰減了31.8%，顯示照光後可延長電池的衰減，且A值慢慢趨於穩定。

實驗七：製作光碳複合電池

七-1、第一代光碳複合電池

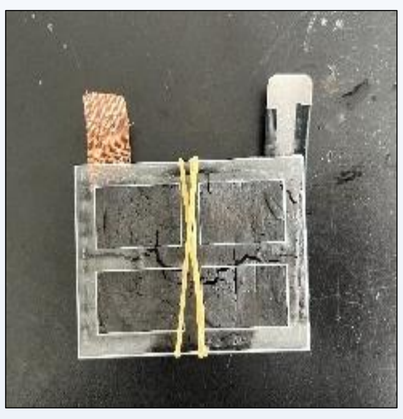


圖15 二氧化碳電池的實品圖

將自製的二氧化碳電池，與染敏電池串聯，放入密封盒中，

觀察盒內二氧化碳的濃度，及電池開路電壓、短路電流值。

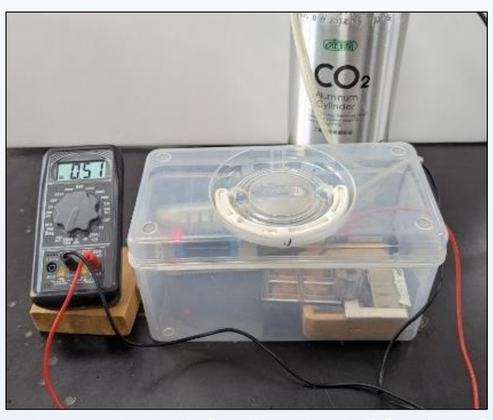


圖16 電池在吸附盒中維持穩定的短路電流

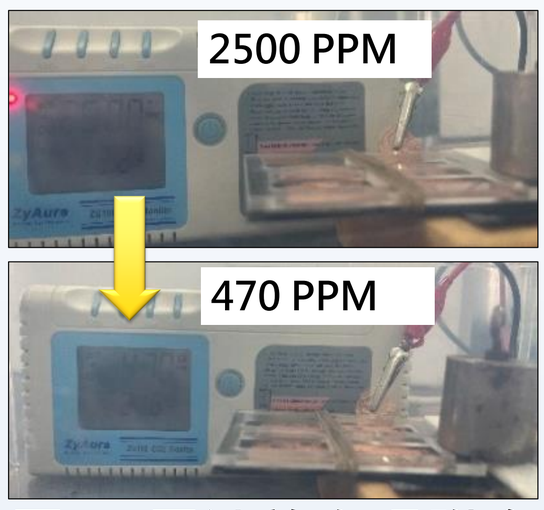


圖17 電池放在吸附盒中，二氧化碳變化情形

七-2、第二代光碳複合電池

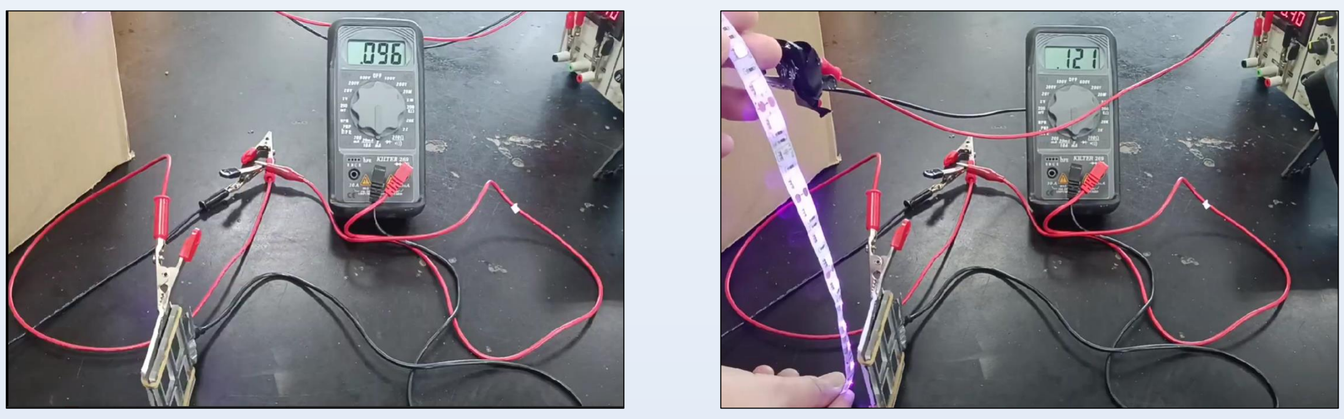


圖18 第二代光碳複合電池短路電流的實測圖，右圖為照紫外光後的情形



圖19 第二代光碳複合電池放在吸附盒中並照光的短路電流實測圖

總結：染敏電池在增加自製吸附二氧化碳的電極後，A值每分鐘的衰減率由3.18%降低至0.11%，顯示光碳複合電池可延長電池的續航性。

七-3、第三代光碳複合電池

表13 第三代光碳複合電池的實作情形

串並聯方式	開路電壓(V)	短路電流(mA)	A值
每三個並聯後，兩組再串聯	0.587	0.517	0.303
每兩個並聯後，三組再串聯	1.010	0.603	0.609
每三個串聯後，兩組再並聯	0.504	0.553	0.279
每兩個串聯後，兩組再並聯	0.578	0.697	0.403



圖20 第三代光碳複合電池的實作情形

照光後：1.120V、0.622mA

伍、討論

一. 若電解液直接碰觸銅箔，電壓會增大到0.8V~0.9V之間，照光後電壓沒有上升，推測電池可能變成銅-空氣電池，利用照射紫外光來驗證是否為染敏電池。

正極：	$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$	1.229 V
負極：	$Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$	-0.34 V
全反應：	$O_2 + 4H^+ + 2Cu \rightarrow 2H_2O + 2Cu^{2+}$	0.889 V

陸、結論

一. 正極材料改以易取得的石墨片來代替傳統燻黑奈米碳；

二. 添加PVA來製作膠態電解質，可減緩電解液的蒸發，與降低其流動性；

三. 染料使用農業廢棄物-台灣藜殼，以75%酒精當溶劑並利用微波輔助來萃取色素，提高萃取的效率，並將染液配製成pH=4.8左右的染液，有最好的效果；

四. 正極材料採用奈米級的二氧化鈦，搭配醋酸、Triton X-100，並在添加硫酸銅後，電池發電效益增為1.43倍；

五. 將染敏電池正極材料改為碳膠銅網電極的第三代光碳複合電池，照光後的最高開路電壓可達1.120 V，最高短路電流為0.622 mA ，此複合電池在利用光能發電的同時，也能消耗空氣中的二氧化碳，希冀藉此營造永續環保的新理念。

柒、參考文獻資料

一. 吳昱欣、劉雅幸等(2011)。染料軋上太陽光蹦出DSSC—利用自製方法探討染料敏化太陽能電池效能提升。中華民國第51屆中小學科學展覽會。

二. 姚奕丞、陳韻淇、陳宥甄等(2023)。呷二氧化碳ㄟ電池。

本頁圖表照片皆由兩位作者繪製或拍攝