

# 中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 化學科

第三名

080209

自製高效能蝦殼電池-新型太陽能電池的探究

學校名稱：靜心學校財團法人臺北市私立靜心高級中等學校

作者：  小六 劉若晞  小六 費之熹  小六 賴振翔  小六 陳麒軒	指導老師：  王晶瑩  蔡垂其
---	-----------------------------

關鍵詞：染料敏化太陽能電池、伏打電池、幾丁聚醣

## 摘 要

研究以生物材料製成電極和太陽能電池的製作方法。以自製四點探針器測自製膜的電阻，得最佳電極條件：溶液 pH 4.7，-18°C、24 hr 前處理後噴 TPP，在氯化鈉 0.1 M 下反應，電阻率最低  $6.76 \Omega \cdot \text{m}$ ，機械強度 1244.19 g，結構穩定且可提升  $\text{I}^-$  的轉換效率。以鋁網-幾丁聚醣氧化石墨烯膜為負極、銅箔-幾丁聚醣氧化石墨烯膜為正極，能使電子移動方向穩定，提升電流，且可彎曲增加應用性；使用花青素/葉綠素天然染料及 0.5 M 碘酸鉀/碘化鉀電解液，最後製成的電池電功率最高 19.58 mW，可取代 ITO 玻璃且串聯 3 顆可讓 Led 亮，以  $500 \text{ W/cm}^2$  強光照射電池組 7 天，電功率仍有 31.21 mW，具高抗衰減能力，未來可推廣至生活及教具使用。

## 壹、前言

### 一、研究動機

自然課時老師提到目前各國都在積極開發新的能源來替代化石燃料，且近日核三廠二號機停役後，將由再生能源等承接發電。我們經過資料搜尋後發現：太陽是地球上最大的能量來源，因為它每年為世界提供 173000 TW 的能源，換句話說，一小時內到達地球的太陽能量比人類一年消耗的能量還要多，我們決定妥善利用太陽光，目前染料敏化太陽能電池通常由兩片導電玻璃構成，透明度高但不易彎曲且反射率也高，於是我們想到上屆學長姐研究的幾丁聚醣，可能具有高分子導電膜的特性，我們試著從幾丁聚醣膜改質上開始進行探討，再從電解液、染料層、分層組裝探討，期待能取代 ITO 導電玻璃並且能增加太陽光的吸收波段，製成有良好發電效益的太陽能電池。

### 二、研究目的

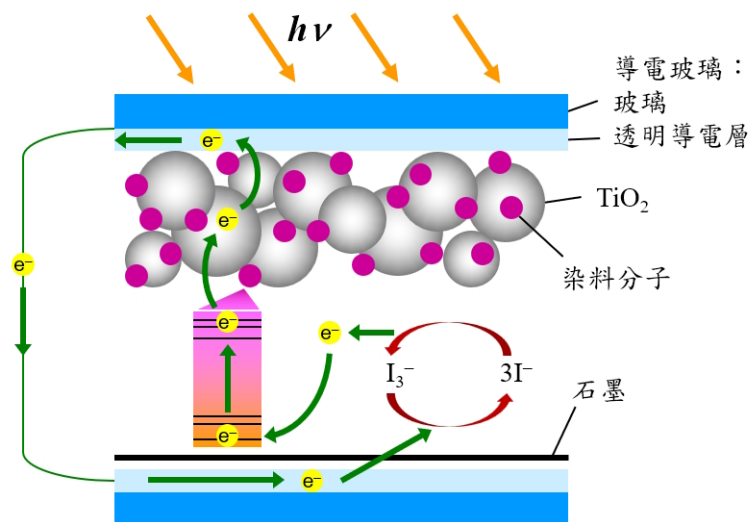
- (一) 探討不同生物材料製成的電極
- (二) 探討不同添加物製成混合膜的電極
- (三) 探討三聚磷酸鈉對混合膜電極的影響
- (四) 探討氯化鈉溶液對混合膜電極的影響
- (五) 探討電解液及  $\text{TiO}_2$  層對電池發電量的影響
- (六) 探討天然染料對電池發電量的影響

- (七) 探討電池實際串聯的發電量
- (八) 探討電池分層順序的發電量
- (九) 探討封裝後電池的抗衰減能力

### 三、文獻回顧

#### (一) 染料敏化太陽能電池 (DSSC)

光敏性染料電池主要是利用奈米級顆粒大小的  $\text{TiO}_2$  結晶層，均勻塗布在導電玻璃上，再將染料吸附在  $\text{TiO}_2$  膜。具奈米結構的  $\text{TiO}_2$  電極層，因為有多孔洞特性而提高它的表面積，增加了染料的吸附量。染料吸收光能後，電子會由原先的基態被激發而至激發態，電子就由染料上注入至  $\text{TiO}_2$  的傳導帶，並藉由外電路向外導出，流至陰極時，便由電解液中的  $\text{I}_3^-$  產生還原反應形成而回到原本基態的分子【圖 1】。



【圖 1】染料敏化太陽能電池示意圖，圖引自「簡易染料敏化太陽能電池製作」

#### (二) 幾丁聚醣

幾丁聚醣 (chitosan) 為甲殼素的衍生物，溶解於稀酸，由兩個主要基團組成，D-葡萄糖胺 (D-glucosamine) 和 N-乙醯葡萄糖胺 (N-acetyl-D-glucosamine) 以  $\beta$  (1 $\rightarrow$ 4) 鍵結之直線長鏈結構，具有羥基和胺基等極性官能基。幾丁聚醣由於從天然甲殼廢棄物中取得對於環境友善，現今已應用在甲醇燃料電池、鹼性燃料電池和生物燃料電池中作電解質和電極中的薄膜。幾丁聚醣主鏈具有一些官能基能進一步改變性能，本研究參考「自製幾丁聚醣化身紋身貼紙」的萃取方法，試著找

出低電阻、高透明度、高機械強度

的生物材料，且利用幾丁聚醣膜可彎曲的特性，最後進行封裝，將幾丁聚醣應用在太陽能電池的電極上。

【表 1】染料敏化太陽能電池相關的研究

作品類型	題目	研究焦點
中華民國第 64 屆中小學科學展覽會	自製幾丁聚醣化身紋身貼紙	以甘油和蛋白酵素去除蛋白質，檸檬酸去除礦物質，得到去乙醯化程度 88.2 % 的自製幾丁聚醣。
中華民國第 57 屆中小學科學展覽會	以廢棄蝦殼製作染料敏化太陽能電池之研究	以廢棄蝦殼粉、水、醋酸質量比 6：200：1 製成幾丁聚醣膜載體，透光度 72.4%。以氯化鈉為電解液製得 3cm*3cm 大小電池，電壓 0.72 V、電流 16.13mA 其電功率 11.61 mW，經 I-V 曲線求得轉換效率為 0.8 %。
中華民國第 63 屆中小學科學展覽會	蟹葉「銅」「鋁」來電-環境友善光電強化銅鋁電池的探討	在鋁銅電池兩電極間置入幾丁聚醣 3.0%為載體含有葉綠素、氯化鈉 0.6%、及醋酸 1.0% 膠態電解質所組成的三明治電池。電池以鋁網為陽極、中空銅框為陰極，照光情形下含葉綠素之電池比不含葉綠素之電池電功率下降速度慢很多。

一般染料敏化太陽能電池，以 ITO、FTO 玻璃作為電極容易碎裂，我們試著以蝦殼廢棄物萃取的幾丁聚醣加金屬作為電極，進一步改善幾丁聚醣的性能，想要得到高透光率、柔軟且與二氧化鈦能有較好附著力的電極，並且研究不同電解液及染料的發電效益，目標增強光捕獲、強電荷傳遞效率，製成光電轉換效率高的太陽能電池。

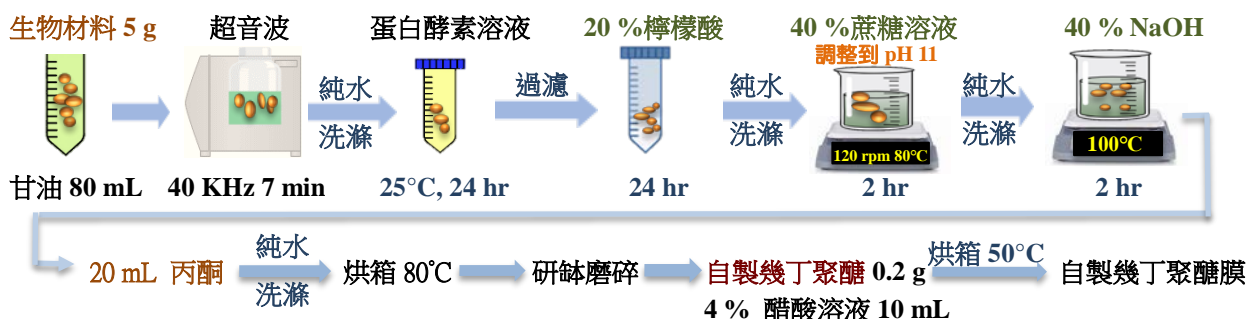
## 貳、研究設備及器材

- 一、市售材料或藥品：奈米級二氧化鈦、95 % 乙醇、木瓜蛋白酵素、市售幾丁聚醣、甘油、檸檬酸、氫氧化鈉、冰醋酸、石墨烯、三聚磷酸鈉、丙酮、氧化石墨烯、氯化鈉、海藻酸鈉、地瓜粉、小麥粉、樹薯粉、碘酸鉀、碘化鉀、AB 膠
- 二、生物材料：三點蟹殼、胭脂蝦殼、大白蝦殼、透抽軟骨、草蝦殼、紫色葡萄皮、榕樹葉
- 三、器材：氙燈、鋁網、銅箔、燒杯、pH 計、離心管、離心管架、漏斗、篩網、攪拌棒、玻璃樣品罐、塑膠樣品罐、針筒、不鏽鋼容器、玻璃容器、電蚊拍、電表探針、導線鱷魚夾、滴管、砝碼、烘箱、冰箱、加熱器、海綿、果汁機、護貝膠膜、打火機、鐵尺
- 四、儀器：光度計、三用電表、離心機、超音波震盪機、旋轉攪拌加熱器、電子秤

## 參、研究過程或方法

### 第一部分：預備實驗

#### 一、幾丁聚醣膜製作方法



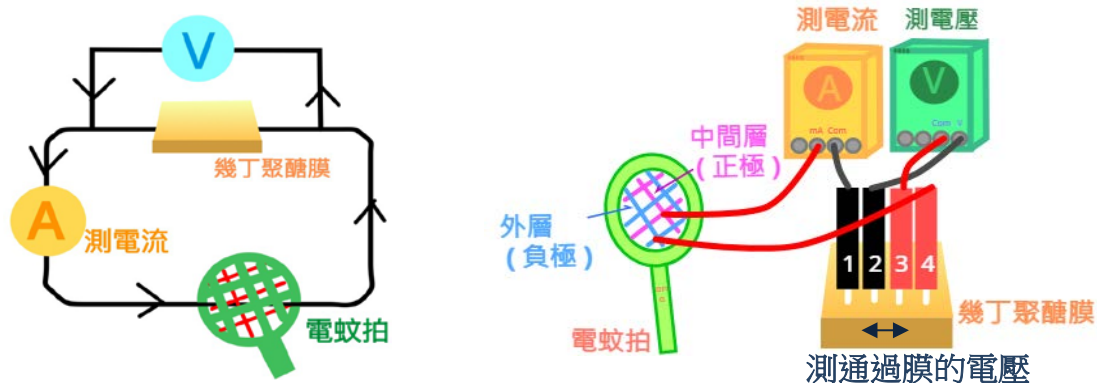
【圖 2】自製幾丁聚醣萃取方法示意圖

#### 二、電阻測量

(一) 原理：我們參考「四點探針法」來測量幾丁聚醣膜的電阻，利用兩根探針提供電流通路，另外兩根探針用來量電壓，實驗後卻發現實際通過幾丁聚醣膜的電流量太小，超出電表偵測的範圍而且我們也無法再增加電源供應器的電壓。根據歐姆定律推測幾丁聚醣膜的電阻應該是大的，於是我們想到使用具高電壓的電蚊拍作為電源供應器再來測量通過幾丁聚醣膜後的電壓及電流，希望能增加實驗的準確性。

(二) 步驟：

1. 在塑膠板上畫出四點放置探針的位置，每點間距 1.0 cm 且呈一直線。
2. 將探針放在步驟 1 的位置，用強力雙面膠固定住。
3. 測量出電蚊拍電流 4.3  $\mu$ A、電壓 1070.0 V，將探針 1、4 分別接上三用電表測電流及電蚊拍供應電流，探針 2 及探針 3 接上三用電表測電壓，電阻測量接法如【圖 3、4】，分別紀錄二組三用電表的電流、電壓值。



【圖 3、4】自製四點探針器裝置示意圖

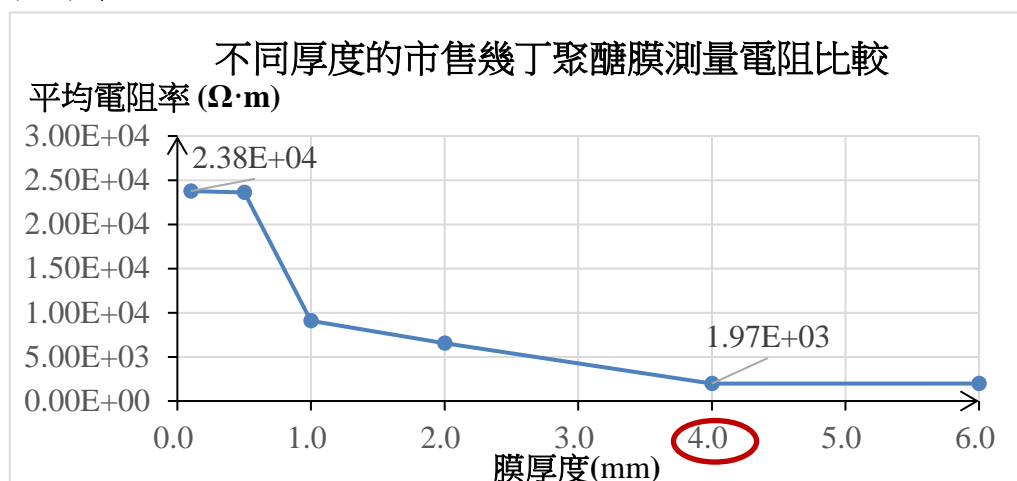




【圖 5】電阻測量過程

4. 自製幾丁聚醯膜平均厚度約 0.1 mm，我們以實驗二的步驟，用市售幾丁聚醯製作了厚度 0.1、0.5、1.0、2.0、4.0、6.0 mm 的幾丁聚醯膜，來計算公式的校正值。

(三) 測量結果：



【圖 6】不同厚度的市售幾丁聚醯膜測量電阻後結果

(四) 結果分析：

- 我們自製幾丁聚醯膜主要是作為太陽能電池的電極，需要具備薄而透光的特性，但根據電磁學原理，試片的厚度要大於擴散電流的深度，因此我們將市售幾丁聚醯膜做成不同厚度，發現厚度在 4.0 mm 以上電阻率趨近相等，找到電流擴散深度是 4.0 mm，於是我們以  $\frac{4.0 \text{ mm市售幾丁聚醯膜電阻}}{0.1 \text{ mm市售幾丁聚醯膜電阻}} = 0.1$  作為校正值。

- 電阻率公式如下：

$$\text{電阻率 } (\Omega \cdot m) = 2 \times 3.14 \times 0.01 \times \frac{\text{電壓}}{\text{電流}} \times 0.1$$

### 三、透光率測量

(一) 原理：以光度計量測初始光度後將各組幾丁聚醣膜放置感測器量測。

(二) 步驟：

1. 測量 10 組幾丁聚醣膜的厚度，每片平均厚度約 0.1 mm。
2. 以光強度為  $10 \text{ W/cm}^2$  氙燈為光源，照光角度與水平面夾角  $60^\circ$ ，描出燈架放置點。
3. 將光度計接收器放置點做記號，測量光度計初始光度。電池裝置示意圖
4. 將各組幾丁聚醣膜放置接收器上量測，如【圖 7】。透光度公式如下：

$$\text{透光度} = \frac{\text{置膜後光度}}{\text{初始光度}} \times 100 \%$$



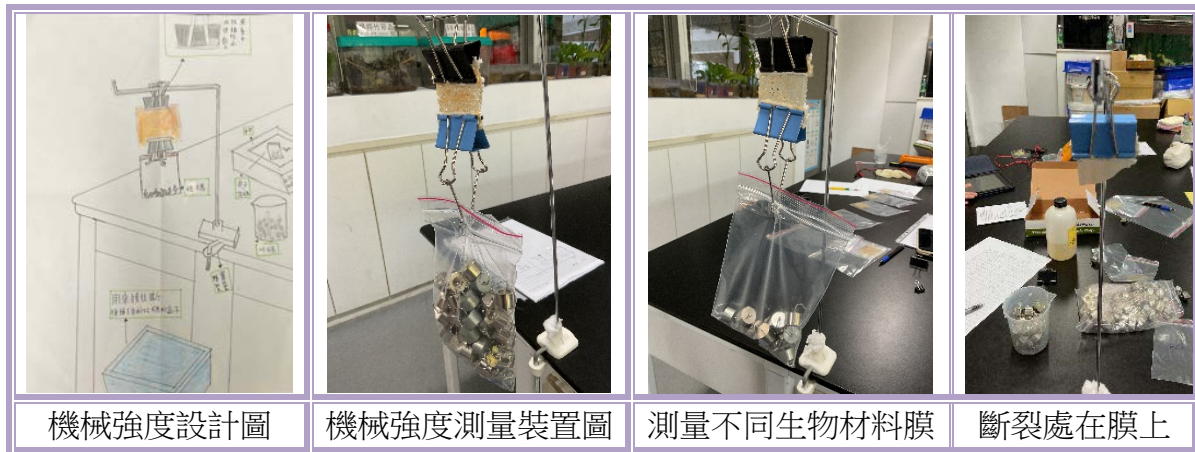
【圖 7】透光率測量過程

### 四、幾丁聚醣膜機械強度測量

(一) 原理：我們想要得到結構性強、不易破碎的幾丁聚醣膜，於是我們研究將夾具夾在幾丁聚醣膜上下方，下方夾具懸掛砝碼，測量幾丁聚醣膜能抵抗拉力的大小，且在長尾夾兩內側黏上棉線，減少幾丁聚醣膜與長尾夾之間的應力及增加摩擦力，使斷裂處在幾丁聚醣膜上。

(二) 步驟：

1. 在長尾夾兩內側貼上寬度 1.0 cm 強力雙面膠，將棉線以環繞方式貼於雙面膠上，兩側長度一樣，下方長尾夾架上鐵絲，用於懸掛砝碼。
2. 將支架架於桌子邊緣，再將長尾夾及幾丁聚醣膜懸掛上，增加懸掛砝碼的數量，若懸掛砝碼數量過多時，放入封口袋再掛在鐵絲上。
3. 幾丁聚醣膜斷裂時量測落地的砝碼與下長尾夾及鐵絲的重量並記錄。



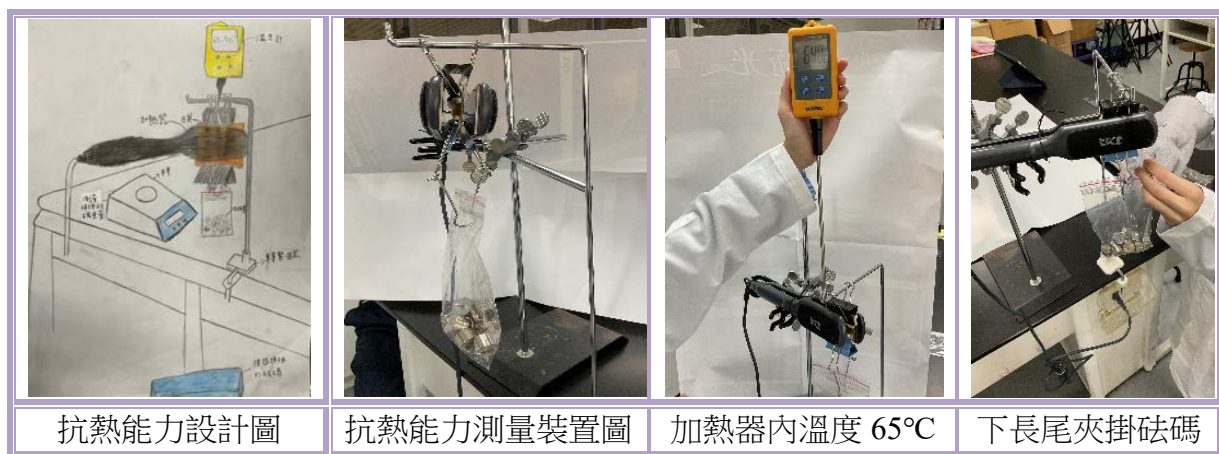
【圖 8】幾丁聚醣膜機械強度測量過程

## 五、幾丁聚醣膜抗熱能力測量

(一) 原理：大多數材料都會受熱而膨脹，甚至產生軟化、分解等情況而使機械強度降低，台灣夏天溫度高，太陽能板的表面溫度高達  $45 \sim 65^{\circ}\text{C}$ ，我們想知道幾丁聚醣膜是否能抵抗高溫，因此在  $65^{\circ}\text{C}$  下進行機械強度測量。

(二) 步驟：

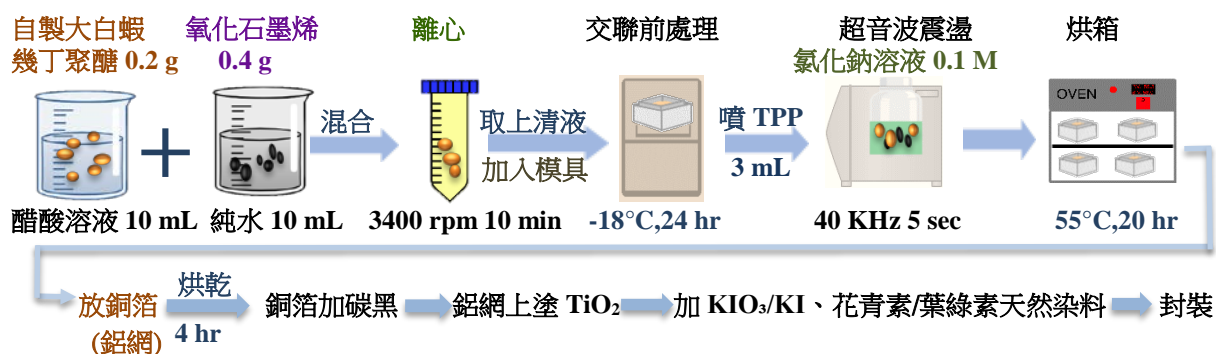
1. 機械強度測量同預備實驗四。
2. 將加熱器固定在滴定管架上，2 片加熱板距離  $3.0\text{ cm}$  中間放置幾丁聚醣膜，將加熱器溫度設定  $200^{\circ}\text{C}$ ，測量出兩片加熱器內平衡狀態時的溫度為  $65^{\circ}\text{C}$ 。
3. 戴上隔熱手套，小心的將幾丁聚醣膜懸掛上砝碼，記錄在  $65^{\circ}\text{C}$  幾丁聚醣膜斷裂時落地的砝碼與下長尾夾及鐵絲的重量。



【圖 9】幾丁聚醣膜抗熱能力測量過程

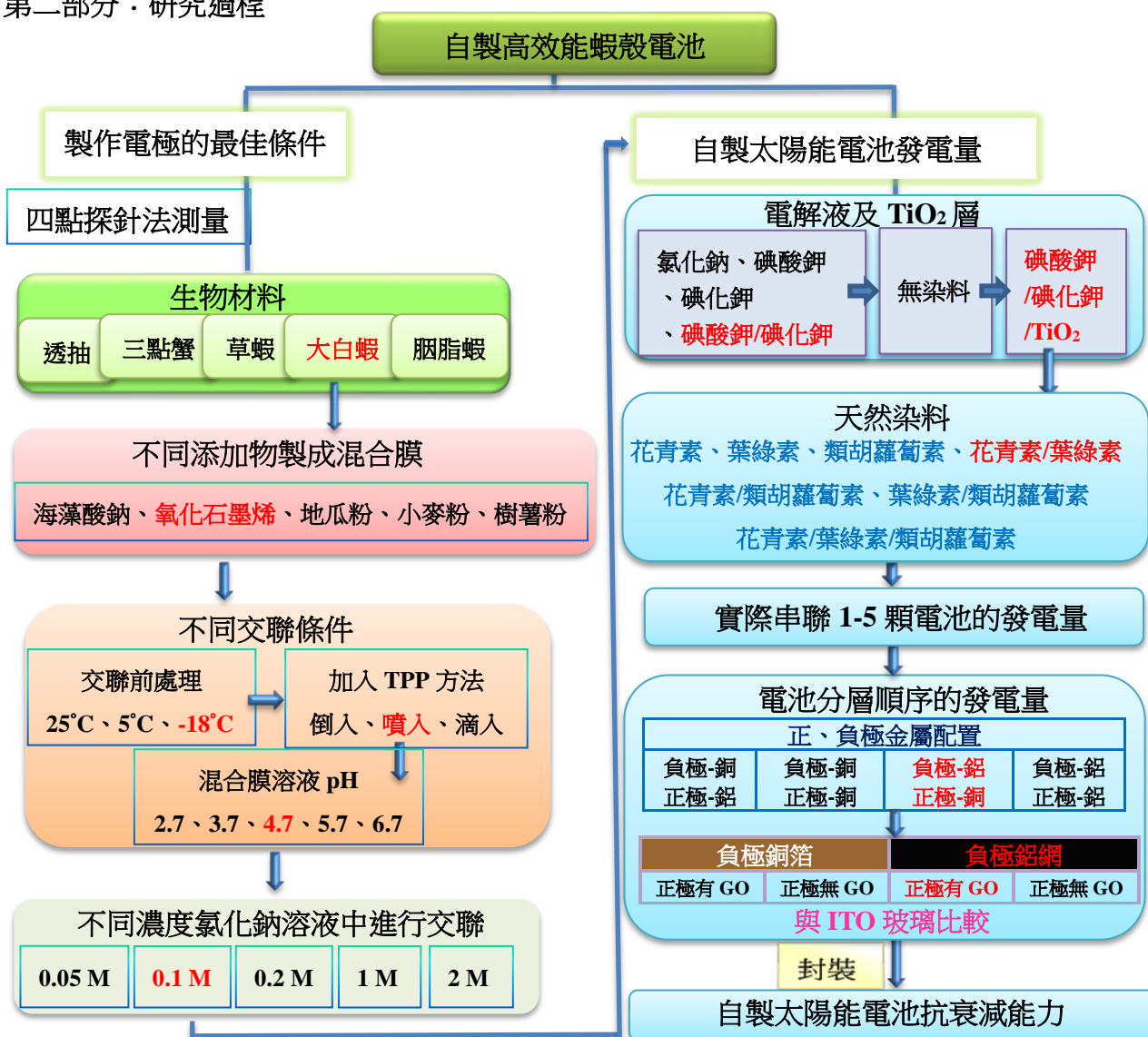


## 六、自製太陽能電池製作方法



【圖 10】自製太陽能電池製作方法示意圖

## 第二部分：研究過程



【圖 11】研究架構

## 一、實驗一 探討不同生物材料製成的電極

(一) 實驗目的：我們參考中華民國第 64 屆科展「自製幾丁聚醣化身紋身貼紙」幾丁聚醣的萃取方法，增加以丙酮去除蝦、蟹殼中的色素，想知道以生物材料製成的

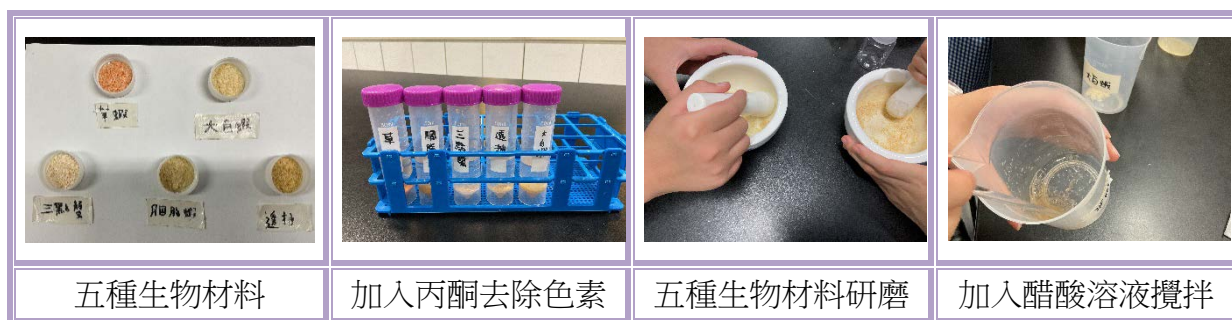
幾丁聚醣膜用在電極的可行性?

(二) 實驗變因：

1. 操縱變因：生物材料 (三點蟹殼、胭脂蝦殼、大白蝦殼、透抽軟骨、草蝦殼)
2. 控制變因：生物材料重量、溶劑體積、搖晃次數、超音波震盪時間、檸檬酸濃度體積、攪拌時間、氫氧化鈉濃度體積、烘箱乾燥時間溫度、純水洗滌體積

(三) 實驗步驟：

1. 秤五種生物材料各 5 g 剪成小塊，分別加入甘油 80 mL，放入離心管混合均勻，超音波 40 KHz 震盪 7 分鐘，經篩網過濾 1000 mL 純水洗滌，去除雜質。
2. 加 0.2 g 的木瓜蛋白酶於 40 mL 純水中，混合均勻，再將步驟 1 的生物材料加入酵素溶液中，在室溫下搖晃 50 下混合均勻，24 小時後篩網過濾。
3. 取 20 % 檸檬酸溶液 30 mL，分別加入步驟 2 之不同生物材料，放入離心管，以轉速 3000 rpm 攪拌器攪拌 5 分鐘混合均勻，24 小時後以篩網過濾經 1000 mL 純水洗滌，去除雜質。
4. 取 40 % 氫氧化鈉溶液 35 mL，分別加入步驟 3 之不同生物材料混合均勻，加熱至 100°C 持續 2 小時，再以篩網過濾經 1000 mL 純水洗滌，去除雜質。
5. 將步驟 4 不同生物材料，加入 20 mL 丙酮混合均勻，24 小時後經 1000 mL 純水洗滌。
6. 放入烘箱 80°C 乾燥，24 小時後以研鉢磨碎，得到自製幾丁聚醣。
7. 取自製幾丁聚醣 0.2 g 加入 4 % 醋酸溶液 10 mL，攪拌均勻後加入模具中，模具尺寸為 4 x 4 cm<sup>2</sup>，以烘箱 50 °C 烘乾 24 小時，得到幾丁聚醣膜。
8. 進行電阻、透光率、機械強度及抗熱能力測量，實驗方法同預備實驗二~五。



【圖 12】不同生物材料製成幾丁聚醣膜的過程

## 二、實驗二 探討不同添加物製成混合膜的電極

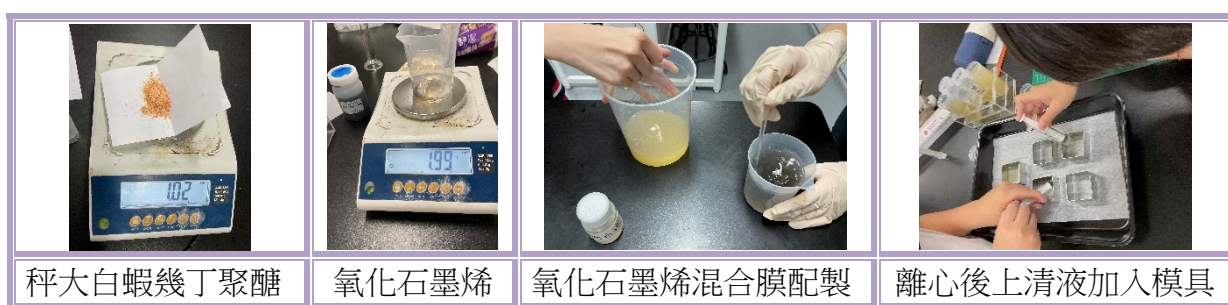
(一) 實驗目的：實驗一得知自製幾丁聚醣膜都具有高電阻率，我們想降低自製幾丁聚醣膜的電阻以達到良好的導電效果，我們參考「綠色環保質子交換膜合成製造方法」專利，將燃料電池的交換膜方法改應用在自製電極上，添加海藻酸鈉、氧化石墨烯 (GO) 製成混合膜，且與可生物降解的澱粉進行比較，希望能降低電阻且得到發電效益、機械強度高的混合膜。

(二) 實驗變因：

1. 操縱變因：不同添加物 (海藻酸鈉、氧化石墨烯、地瓜粉、小麥粉、樹薯粉)
2. 控制變因：自製大白蝦幾丁聚醣重量、離心轉速時間、離心後上清液體積

(三) 實驗步驟：

1. 秤取自製大白蝦幾丁聚醣 1 g，加入 4 % 醋酸溶液 50 mL，攪拌均勻。
2. 海藻酸鈉混合膜配製：0.5 g 海藻酸鈉加入純水 50 mL 攪拌均勻，再加入步驟 1 溶液。
3. 氧化石墨烯混合膜配製：2 g 氧化石墨烯加入純水 50 mL 攪拌均勻，再加入步驟 1 溶液。
4. 地瓜粉混合膜配製：0.5 g 地瓜粉加入純水 50 mL 攪拌均勻，再加入步驟 1。
5. 小麥粉、樹薯粉混合膜配製同步驟 4，但改為小麥粉、樹薯粉。
6. 將不同混合膜溶液及步驟 1 (對照組) 放入離心機，3400 rpm 10 分鐘。
7. 以針筒吸取上清液 15 mL 加入模具中，再以烘箱 50°C 烘乾 24 小時，得到幾丁聚醣混合膜。
8. 進行電阻、透光率、機械強度及抗熱能力測量，實驗方法同預備實驗二~五。



【圖 13】加入添加物製成幾丁聚醣混合膜

### 三、實驗三 探討三聚磷酸鈉對混合膜電極的影響

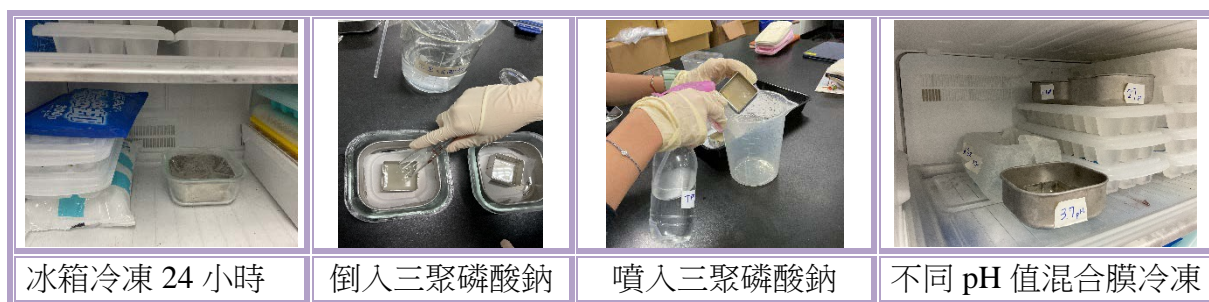
(一) 實驗目的：我們選擇電阻率最低的氧化石墨烯製成的混合膜進行後續實驗，想要提高混合膜的機械強度，於是利用交聯反應原理以三聚磷酸鈉 (TPP) 對混合膜進行改質，我們設計三種方法：1. 交聯前不同溫度的處理。2. 以不同方式將 TPP 加入氧化石墨烯混合膜溶液的交聯方法。3. 找出混合膜溶液最適合反應的 pH。希望能得到最佳化的製作電極條件。

(二) 實驗變因：

1. 操縱變因：三聚磷酸鈉不同交聯條件 (交聯前處理、交聯方法、混合膜溶液 pH)
2. 控制變因：氧化石墨烯混合膜溶液體積 pH 值、交聯前處理時間、三聚磷酸鈉溶液體積 pH 值、烘箱乾燥時間溫度

(三) 實驗步驟：

1. 三聚磷酸鈉溶液配製：配 1 % 三聚磷酸鈉溶液攪拌均勻，再調整 pH 值到 9。
2. 取經實驗二步驟氧化石墨烯混合膜溶液 50 mL，放離心機 3400 rpm 10 分鐘。
3. 交聯前處理：取步驟 2 氧化石墨烯混合膜溶液 15 mL 加入模具中，分別經室溫、冷藏、冷凍 24 小時後，倒入 3 mL 三聚磷酸鈉溶液。
4. 交聯方法：取步驟 2 氧化石墨烯混合膜溶液 15 mL 加入模具中，經冷凍 24 小時後，分別以倒入、噴入、滴入方式加入 3 mL 三聚磷酸鈉溶液。
5. 混合膜溶液 pH：經實驗二步驟的氧化石墨烯混合膜溶液 50 mL，分別調整 pH 至 2.7- 6.7 後離心，離心條件同步驟 2，再取 15 mL 加入模具中，經冷凍 24 小時後，以噴入方式加 3 mL 三聚磷酸鈉溶液。
6. 以烘箱 50°C 烘乾 24 小時，進行電阻、透光率、機械強度及抗熱能力測量。



【圖 14】以三聚磷酸鈉溶液對氧化石墨烯混合膜進行交聯反應



#### 四、實驗四 探討氯化鈉溶液對混合膜電極的影響

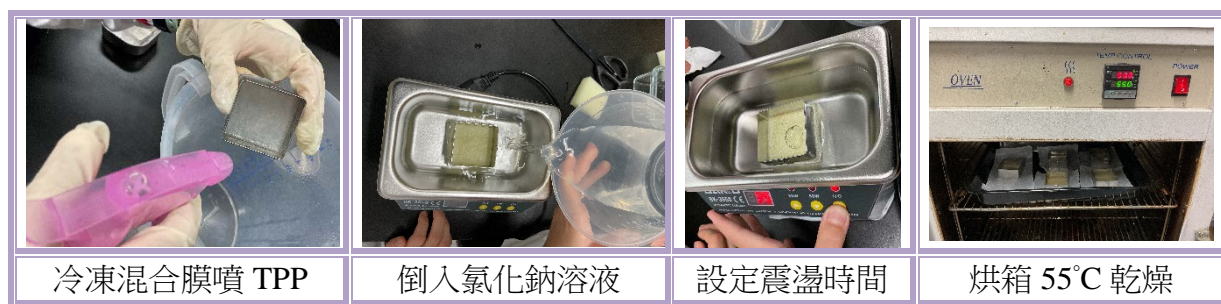
(一) 實驗目的：我們發現與三聚磷酸鈉交聯後的混合膜有不均質的狀況，我們思考若在含鹽類溶液的環境下進行交聯反應，三聚磷酸鈉是否能充分的擴散到幾丁聚醣中？為了避免冷凍後的幾丁聚醣融化且又能在最短時間充分反應，我們想到在超音波震盪機內加入氯化鈉溶液，希望能得到比較均質的薄膜。

(二) 實驗變因：

1. 操縱變因：不同濃度氯化鈉溶液 (0.05 M、0.1 M、0.2 M、1 M、2 M)
2. 控制變因：氧化石墨烯混合膜溶液體積 pH 值、交聯前處理時間方法、混合膜溶液 pH、三聚磷酸鈉溶液體積、超音波震盪頻率時間、烘箱乾燥時間溫度

(三) 實驗步驟：

1. 配製不同濃度氯化鈉溶液 400 mL。
2. 取經實驗二冷凍 24 小時後氧化石墨烯混合膜 (pH 4.7) 5 片，以噴入方式加三聚磷酸鈉溶液 3 mL。
3. 將海綿裁剪成  $5 \times 5 \times 2 \text{ cm}^3$ ，以強力雙面膠將海綿貼在超音波震盪機的底部，放上步驟 2 的混合膜，將步驟 1 的氯化鈉溶液從混合膜旁邊倒入，設定 40 KHz 震盪 5 秒鐘。
4. 小心的將海綿一同取出，快速瀝乾水後放入烘箱  $55^\circ\text{C}$  烘乾 24 小時，進行電阻、透光率、機械強度及抗熱能力測量。



【圖 15】以超音波震盪在氯化鈉溶液中進行交聯反應

#### 五、實驗五 探討電解液及 $\text{TiO}_2$ 層對電池發電量的影響

(一) 實驗目的：從實驗一～四我們得到低電阻率、高機械強度和高抗熱能力且均質的混合膜，我們參考「以廢棄蝦殼製作染料敏化太陽能電池之研究」的組裝方式，

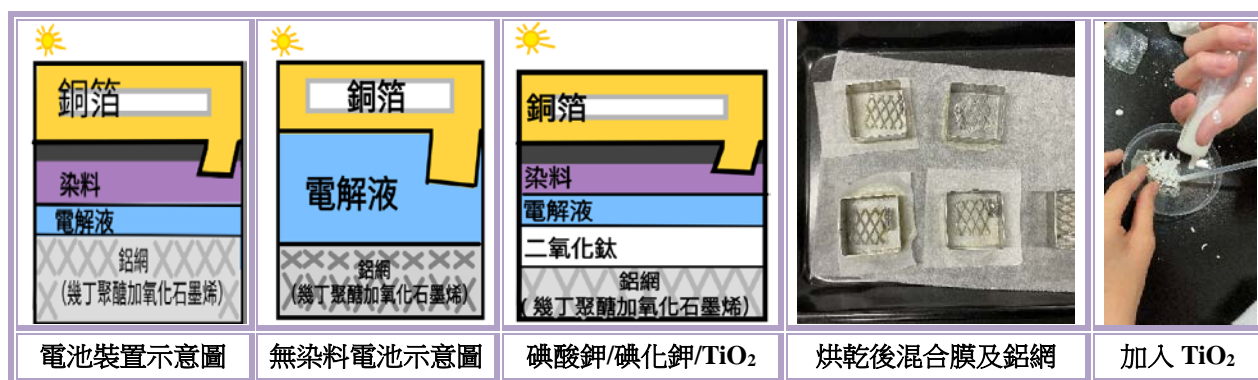
但改為將氧化石墨烯混合膜溶液倒入鋁網作為電極，如【圖 16】電池裝置示意圖，但我們也想知道是否能簡化電池，在不加染料及碳黑的情況下，如【圖 16】無染料電池示意圖，能使電池產生發電？於是進行不同電解液及無染料電池的比較，希望能得到發電量最高的電池。

## (二) 實驗變因：

1. 操縱變因：不同種類電解液（氯化鈉、碘酸鉀、碘化鉀、碘酸鉀/碘化鉀）
2. 控制變因：正負極製作方法、花青素天然染料體積、電解液濃度及體積、TiO<sub>2</sub>塗層製作方法、氙燈照度

## (三) 實驗步驟：

1. 混合膜溶液加鋁網：步驟同實驗四，但改為在冷凍前先將鋁網放入模具再倒入混合膜溶液，氯化鈉溶液濃度取 0.1 M 後烘乾固定。
2. 花青素天然染料配製：秤取紫色葡萄皮 10 g 加純水 50 mL 以果汁機打碎，收集濾液加 95 % 乙醇 45 mL 混合均勻，24 小時後取上清液使用。
3. 將不同種類電解液配製成 0.5 M 後取 2 mL 滴在步驟 1 鋁網上，再加入 8 mL 的花青素天然染料。
4. 碘酸鉀/碘化鉀電解液配製：取 0.5 M 碘酸鉀電解液 5 mL、0.5 M 碘化鉀電解液 50 mL 混合均勻。
5. 割一銅箔 3 x 3 cm<sup>2</sup>，在中間割出中空 2.5x 2.5 cm<sup>2</sup> 撒上 0.1 g 活性碳後燒成碳黑。
6. 如【圖 16】電池裝置示意圖、無染料電池示意圖，組成電池後分別將鋁網及銅箔夾上鱷魚夾，以 10 W/cm<sup>2</sup> 氙燈照射，用三用電表測量電流、電壓並計算發電功率。
7. TiO<sub>2</sub> 塗層配製：取 0.8 g 二氧化鈦奈米粒子置於針筒，以保鮮膜封住針頭，加入 1.6 mL 乙醇，攪拌均勻且避免產生氣泡。
8. 碘酸鉀/碘化鉀/TiO<sub>2</sub> 步驟同 1-7，但在鋁網上加 TiO<sub>2</sub> 塗層，使用玻棒將 TiO<sub>2</sub> 塗層攤平在幾丁聚糖氧化石墨烯混合膜及鋁網上，並移除多餘糊狀物，放入烘箱 50°C 烘乾 15 min，組成電池測量，如【圖 16】。



【圖 16】自製太陽能電池過程

## 六、實驗六 探討天然染料對電池發電量的影響

(一) 實驗目的：我們想以取得方便、環保的天然色素，做為我們自製太陽能電池的染料，於是我們自製葉綠素、花青素、類胡蘿蔔素，葉綠素的吸收光譜在 400~450 nm 與 650~700 nm 之間，花青素的吸收光譜在 400~600 nm，類胡蘿蔔素的吸收光譜在 400~520 nm，若將三種天然色素混合在一起，是否就能增加太陽能電池吸收太陽光的光譜範圍，提高自製電池的電功率。

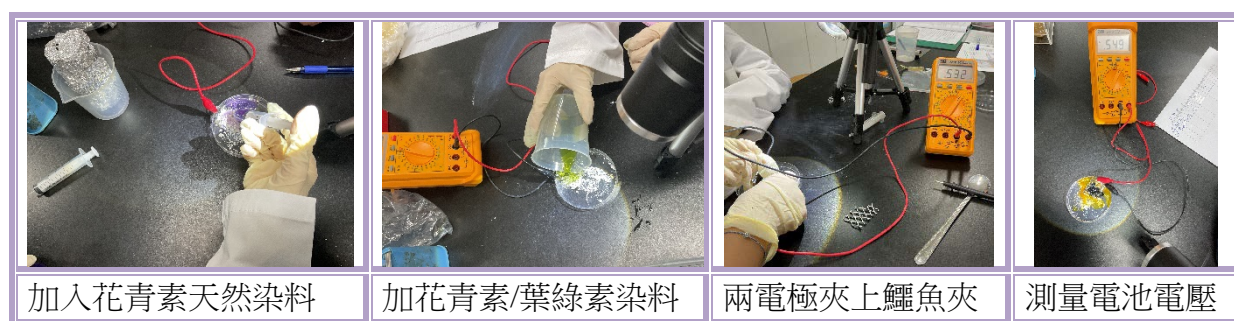
(二) 實驗變因：

1. 不同種類天然色素 (A1 花青素、A2 葉綠素、A3 類胡蘿蔔素、B1 花青素/葉綠素、B2 花青素/類胡蘿蔔素、B3 葉綠素/類胡蘿蔔素、C 花青素/葉綠素/類胡蘿蔔素)
2. 控制變因：正負極製作方法、電解液濃度及體積、萃取植物體積、萃取溶劑體積、天然染料體積、TiO<sub>2</sub> 塗層製作方法、氙燈照度

(三) 實驗步驟：

1. 花青素天然染料配製：同實驗五步驟 2
2. 葉綠素天然染料配製：秤取榕樹葉 10 g 加純水 50 mL 以果汁機打碎，收集濾液加丙酮 45 mL 混合均勻，24 小時後取上清液做使用。
3. 類胡蘿蔔素天然染料配製：同葉綠素天然染料，但再經烘箱 60°C 乾燥 48 小時，加丙酮 45 mL 混合均勻做使用。
4. 組成電池步驟同實驗五，但加入 8 mL 的 A1 天然染料改成 A2、A3、B1 (4/4 mL)、B2 (4/4 mL)、B3 (4/4 mL)、C (2.67/2.67/2.67 mL)。

5. 測量電池的電流、電壓並計算發電功率。



【圖 17】研究不同種類天然色素及混合色素的電池發電功率

## 七、實驗七 探討電池實際串聯的發電量

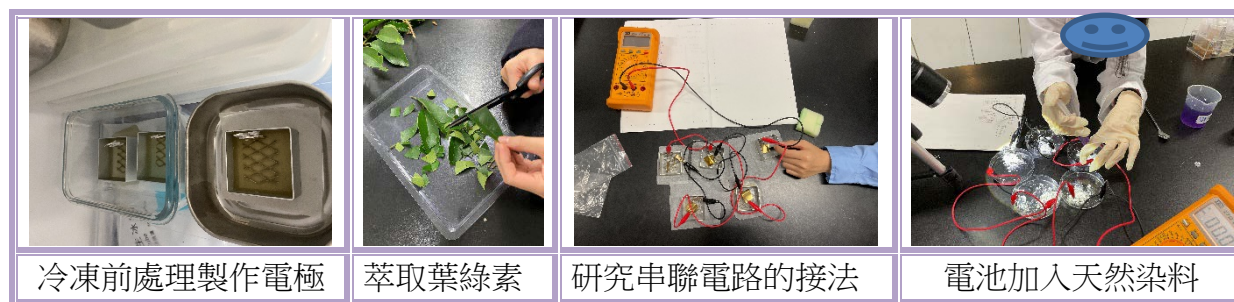
(一) 實驗目的：我們想知道自製太陽能電池經串聯後，能達到多少發電量。

(二) 實驗變因：

1. 操縱變因：串聯電池數量 (1~5 顆)
2. 控制變因：自製太陽能電池大小及製作方法、氙燈照度

(三) 實驗步驟：

1. 組成電池步驟同實驗六，但天然染料改成加入 8 mL 花青素/葉綠素天然染料。
2. 以鱷魚夾串接 1~5 顆電池，測量電池的電流、電壓並計算發電功率。



【圖 18】研究不同種類天然色素及混合色素的電池發電功率

## 八、實驗八 探討電池分層順序的發電量

(一) 實驗目的：實驗七後，我們得到串聯 5 顆電池平均電功率 4.11 mW，我們想提升電功率於是研究太陽能電池內部的反應圖，得知 DSSC 上、下兩片為 ITO 導電玻璃，我們以不同金屬做為正負極是否會影響電池的電功率？且 DSSC 負極下應該要塗佈  $\text{TiO}_2$ ，而兩片電極中會有染料、電解質，於是我們設計二種方法：1. 以伏打電池的原理，將幾丁聚醣混合膜加在銅、鋁金屬上且兩電極金屬置換。2. 改變



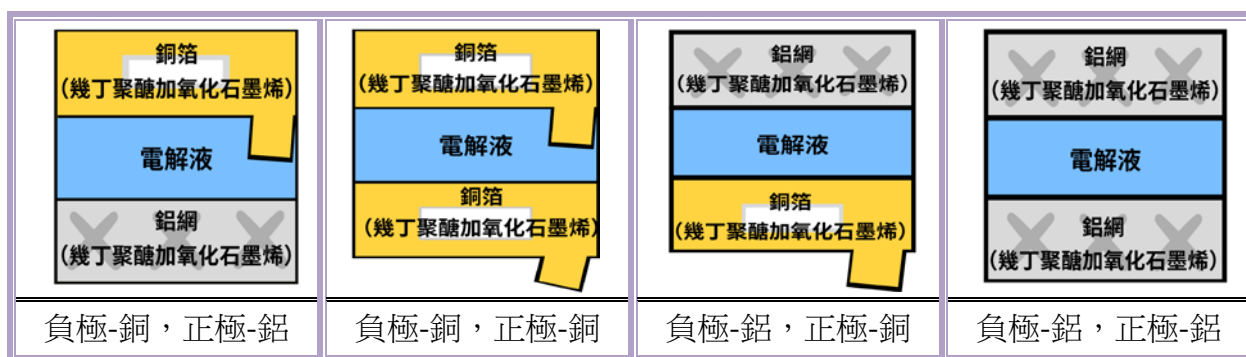
分層順序且研究幾丁聚醣混合膜在兩電極的加入方式，想找出發電量最高的組裝電池方法並與 ITO 導電玻璃製成的電池進行比較。

## (二) 實驗變因：

1. 操縱變因：兩電極金屬置換、電池不同的分層順序、ITO 導電玻璃電池
2. 控制變因：正負極大小、天然染料體積、電解液濃度及體積、氙燈照度

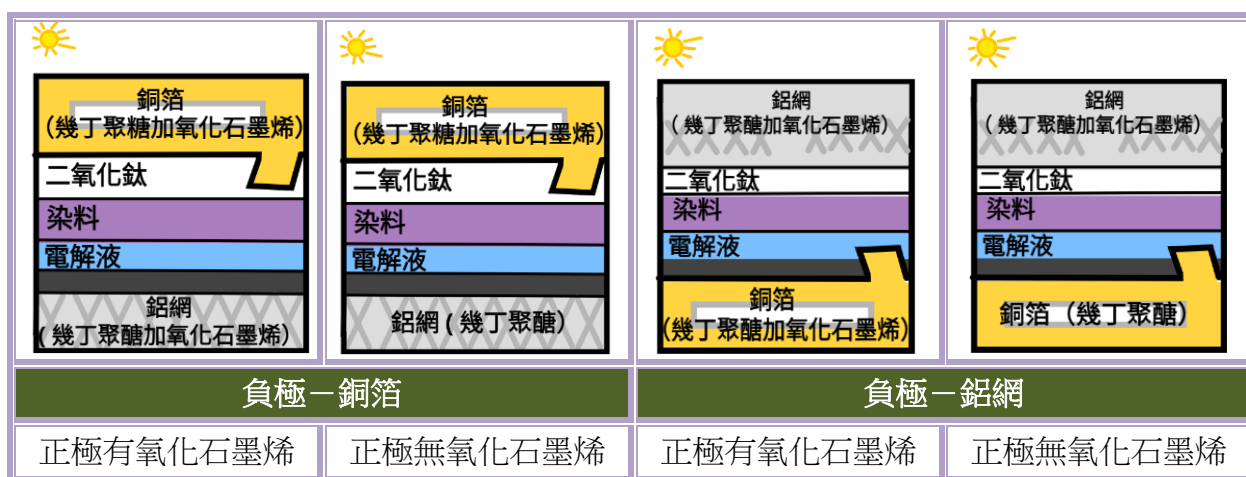
## (三) 實驗步驟：

1. 方法 1 組成電池方法同實驗五步驟 4-6，但改成負極金屬也加入幾丁聚醣混合膜如【圖 19】。



【圖 19】自製伏打電池電極示意圖

2. 方法 2 組成電池方法同實驗七，但改成單顆電池且分層順序如【圖 20】。



【圖 20】自製太陽能電池分層順序示意圖

3. ITO 導電玻璃電池實驗步驟同自製太陽能電池，但兩電極改為 ITO 導電玻璃。
4. 測量電池的電流、電壓並計算發電功率。

## 九、實驗九 探討封裝後電池的抗衰減能力

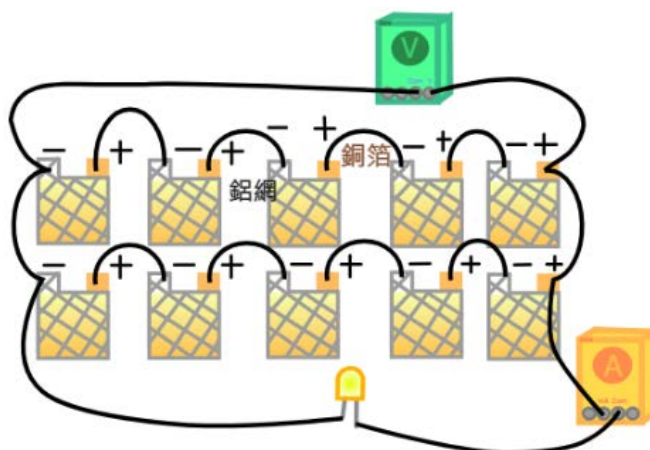
(一) 實驗目的：文獻中提到封裝後可以減少電位差造成的漏電流，於是我們將自製太陽能電池進行封裝並將電池串、並聯連接組成電池組如【圖 21】，且為了解決電解液乾燥的問題，我們另外做一組外層覆蓋膠膜的電池組做比較，再模擬目前太陽光電系統模組的接法，觀察自製太陽能電池組的功率衰退情形。

(二) 實驗變因：

1. 操縱變因：照光天數 (1~7 天)
2. 控制變因：自製太陽能電池大小及製作方法、電池串並聯接法、氙燈照度

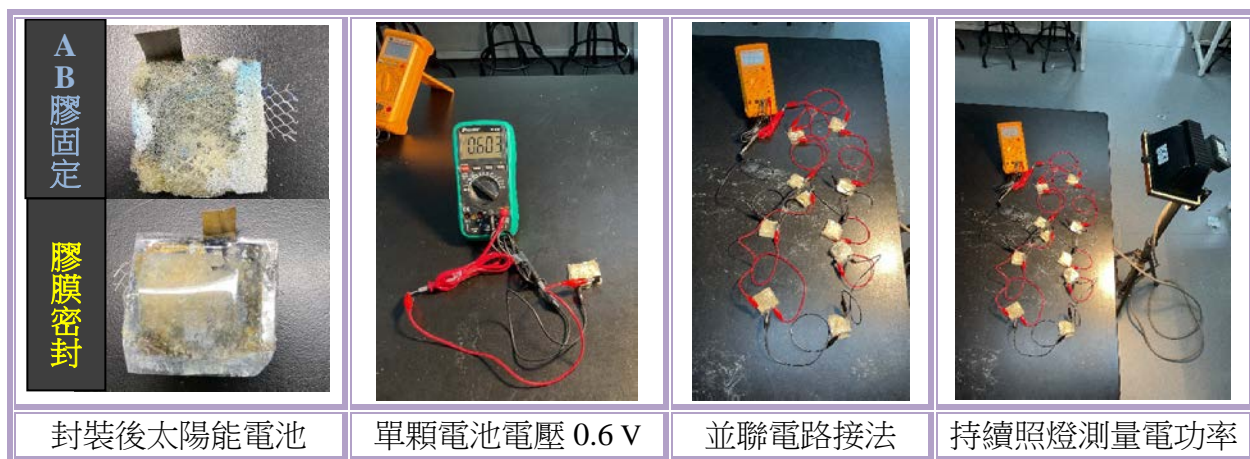
(三) 實驗步驟：

1. 電池封裝：將  $\text{TiO}_2$  塗佈在鋁網、幾丁聚醣氧化石墨烯混合膜上，銅箔、幾丁聚醣氧化石墨烯混合膜加入 0.1 g 碳黑，實際封裝時發現需降低染料及電解液的體積才能防止液體外漏，於是依序加入 0.2 mL 碘酸鉀/碘化鉀電解液及 0.8 mL 花青素/葉綠素天然染料，再以 AB 膠塗抹於  $\text{TiO}_2$  面四側，將負極倒置與正極接合。
2. 膠膜密封電池封裝：封裝方法同步驟 1，但外層再以護貝膠膜覆蓋，以打火機加熱鐵尺進行封口。
3. 自製太陽能電池組 10 顆電池串並聯，如【圖 21】。



【圖 21】自製太陽能電池組接法示意圖

4. 自製太陽能電池組以  $500 \text{ W/cm}^2$  氙燈持續照光，每日測量電流、電壓 3 次並計算發電功率，比較 AB 膠固定 (步驟 1)、膠膜密封二種電池的電功率。



【圖 22】研究自製太陽能電池抗衰減能力

## 肆、研究結果

### 一、實驗一 探討不同生物材料製成的電極

#### (一) 實驗結果：

【表 2】不同生物材料製成幾丁聚醣膜的性質測量

種類	三點蟹殼		胭脂蝦殼		大白蝦殼		透抽軟骨		草蝦殼		市售幾丁聚醣	
幾丁聚醣膜照片												
膜厚度(mm)	0.13		0.18		0.14		0.11		0.16		0.09	
電阻測量	電流 ( $\mu$ A)	電壓 (V)	電流 ( $\mu$ A)	電壓 (V)	電流 ( $\mu$ A)	電壓 (V)	電流 ( $\mu$ A)	電壓 (V)	電流 ( $\mu$ A)	電壓 (V)	電流 ( $\mu$ A)	電壓 (V)
第 1 次	1.2	2.3	1.1	1.2	2	1.4	1.2	1.59	1.3	1.8	2.3	0.8
第 2 次	1.4	3.4	1	1.15	2.1	2.4	1.1	1.71	1.3	1.25	2.5	0.94
第 3 次	1.3	2.3	1.3	0.93	2.1	2	1	1.26	1.3	1.31	2.4	0.93
平均電阻率 ( $\Omega \cdot m$ )	$1.28 \times 10^4$		$6.19 \times 10^3$		$5.85 \times 10^3$		$8.67 \times 10^3$		$7.02 \times 10^3$		$2.33 \times 10^3$	
平均透光率 (%)	79.04		43.64		61.48		68.7		53.48		71.78	
平均機械強度 (g)	887.92		1309.31		1376.02		946.311		1608.22		1386.26	
平均抗熱能力 (g)	835.61		1005.43		1007.78		747.16		1014.96		1086.26	





## (二) 結果分析：

1. 從平均電阻率顯示，不同生物材料的平均電阻率：**市售幾丁聚醣**<**大白蝦殼**<**胭脂蝦殼**<**草蝦殼**<**透抽軟骨**<**三點蟹殼**，我們取大白蝦殼進行後續實驗。
2. 由幾丁聚醣膜的照片發現：與市售幾丁聚醣膜相比，我們自製的幾丁聚醣膜都含有部分的細小固體，這可能會提高電阻率及降低透光率，在機械強度測量時發現雜質處也容易產生斷裂口，為了增加自製幾丁聚醣成為電極的可能性，後續實驗我們決定在製膜前加入離心步驟。

## 二、實驗二 探討不同添加物製成混合膜的電極

### (一) 實驗結果：

【表 3】加入不同添加物後的幾丁聚醣混合膜性質測量

種類	海藻酸鈉		氧化石墨烯		地瓜粉		小麥粉		樹薯粉		對照組	
混合膜照片												
膜厚度(mm)	0.09		0.09		0.10		0.09		0.10		0.10	
電阻測量	電流 ( $\mu\text{A}$ )	電壓 (V)	電流 ( $\mu\text{A}$ )	電壓 (V)	電流 ( $\mu\text{A}$ )	電壓 (V)	電流 ( $\mu\text{A}$ )	電壓 (V)	電流 ( $\mu\text{A}$ )	電壓 (V)	電流 ( $\mu\text{A}$ )	電壓 (V)
第 1 次	2.7	0.89	3.2	0.53	0.7	1.6	1.2	2.1	0.5	1.9	2.5	0.95
第 2 次	2.7	0.77	2.9	0.46	0.9	1.8	1.3	2.4	0.2	2	2.5	0.94
第 3 次	2.5	0.63	3.1	0.42	0.8	1.9	1.2	2.3	0.3	1.7	2.4	0.91
平均電阻率( $\Omega\cdot\text{m}$ )	$1.81\times 10^3$		$9.62\times 10^2$		$1.39\times 10^4$		$1.15\times 10^4$		$4.08\times 10^4$		$2.38\times 10^3$	
平均透光率(%)	80.56		83.70		52.85		55.49		43.81		75.28	
平均機械強度(g)	1378.07		506.41		2351.03		2132.40		2398.70		1408.23	
平均抗熱能力(g)	1256.36		206.80		2295.07		2098.70		2385.88		1097.13	

## (二) 結果分析：

1. 從平均電阻率顯示，**氧化石墨烯混合膜最低  $9.62\times 10^2 \Omega\cdot\text{m}$** ，對照組 ( $2.38\times 10^3 \Omega\cdot\text{m}$ ) 添加 GO 後能讓幾丁聚醣膜平均電阻率減為 40%，添加 GO 再經離心步驟能讓大白蝦殼 ( $5.85\times 10^3 \Omega\cdot\text{m}$ ) 平均電阻率減為 16%。
2. 從膜厚度顯示，經離心後的各種混合膜厚度較一致  $\approx 0.1 \text{ mm}$ ，經離心後可以






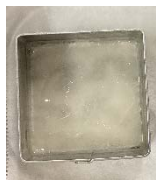
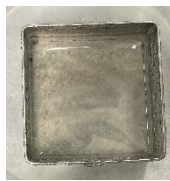
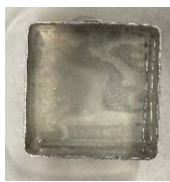
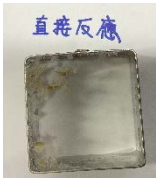
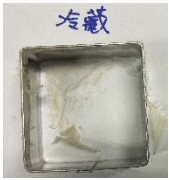



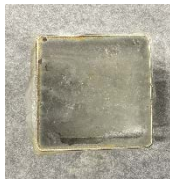
有效的去除自製幾丁聚醣中細小固體，從平均透光率也發現，大白蝦殼 (61.48 %) 經離心後的對照組 (75.28 %) 透光率提高 13.80 %，氧化石墨烯的透光率最高 83.70 %，膜外觀透明無色。

3. 從平均機械強度顯示，雖然添加澱粉類的混合膜是對照組的 1.5- 1.7 倍，推測幾丁聚醣中的醯胺和羥基會和澱粉的氫氧基產生反應，兩種聚合物之間透過氫鍵結合導致高平均機械強度，但添加澱粉類的混合膜平均電阻率都太高。
4. 從平均抗熱能力顯示，加天然高分子聚合物的混合膜抗熱能力是氧化石墨烯的 6.1-11.5 倍，我們選擇電阻率最低的膜進行後續實驗且提高平均機械強度。

### 三、實驗三 探討三聚磷酸鈉對混合膜電極的影響

#### (一) 實驗結果：

【表 4】三聚磷酸鈉溶液對氧化石墨烯混合膜溶液進行不同前處理方法及加入方式的結果


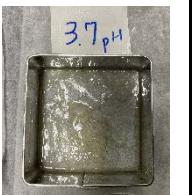



交聯方法	交聯前處理			交聯方法		
	室溫	冷藏	冷凍	倒入	噴入	滴入
反應結果						
	產生凝固	產生薄膜	無生成物	無生成物	無生成物	無生成物
烘乾結果						
	無法成膜	膜易破裂	可以成膜	片狀凹凸	膜平整	點狀凹凸

#### (二) 結果分析：

1. 一開始我們在室溫中倒入三聚磷酸鈉溶液，發現氧化石墨烯混合膜溶液立刻產生凝固，推想反應速率可能會影響反應結果，於是試著先降低反應前的溫度，發現交聯前處理冷凍 24 小時的方法，可以得到平整的膜，推論經冷凍後膜的孔隙會增加再倒入 TPP，可以較平均分散的產生交聯反應，不會一下子就凝固，烘乾後也較能成膜。

- 後續再加入 TPP 的交聯方法，我們發現以噴入方式能抑制混合速率，烘乾後得到完整無凝固狀的膜。

【表 5】比較不同 pH 氧化石墨烯混合膜溶液經交聯反應後混合膜的性質

混合膜 溶液 pH	2.7		3.7		4.7		5.7		6.7	
混合膜 照片										
膜厚度(mm)	0.10		0.09		0.09		0.09		0.11	
電阻測量	電流 ( $\mu$ A)	電壓 (mV)	電流 ( $\mu$ A)	電壓 (mV)	電流 ( $\mu$ A)	電壓 (mV)	電流 ( $\mu$ A)	電壓 (mV)	電流 ( $\mu$ A)	電壓 (mV)
第 1 次	2.9	25	2.7	30	2.4	35	3.3	139	3.1	788
第 2 次	1.5	5	3.4	32	2.3	34	2.3	140	1.9	637
第 3 次	2.7	20	2.6	28	3.4	42	2.5	152	3	755
平均電阻率( $\Omega \cdot m$ )	$4.05 \times 10^1$		$6.55 \times 10^1$		$8.73 \times 10^1$		$3.43 \times 10^2$		$1.76 \times 10^3$	
平均透光率(%)	83.20		84.55		80.22		78.92		77.84	
平均機械強度(g)	510.72		544.33		768.43		914.32		982.37	
平均抗熱能力(g)	500.29		533.17		766.13		904.33		942.10	





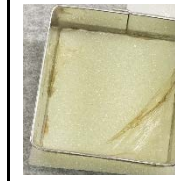
## (二) 結果分析：

- 從平均電阻率顯示，氧化石墨烯混合膜溶液在 pH 2.7 時最低  $4.05 \times 10^1 \Omega \cdot m$ ，但平均機械強度測量後只有 510.72 g，自製氧化石墨烯混合膜溶液配製完 pH 為 4.47，為了實驗方便不用調 pH 及機械強度考量，我們選擇氧化石墨烯混合膜溶液 pH 4.7 進行後續實驗，後續實驗都不需再調整 pH 即進行交聯前處理。
- 從平均機械強度發現，自製幾丁聚醣溶液在 pH 6.7 時最高 982.37 g，推測幾丁聚醣溶液在近中性時與 TPP 反應能達到最佳的離子交聯，形成緊密結構。
- 在進行平均電阻率測量時發現不同點的電流變化大，顯示膜可能不均質。

## 四、實驗四 探討氯化鈉溶液對混合膜電極的影響

### (一) 實驗結果：

【表 6】氧化石墨烯混合膜溶液在不同濃度氯化鈉溶液中進行交聯反應

氯化鈉濃度	0.05 M		0.1 M		0.2 M		1 M		2 M	
混合膜照片										
膜厚度(mm)	0.10		0.09		無法成膜		無法成膜		無法成膜	
電阻測量	電流 ( $\mu$ A)	電壓 (mV)	電流 ( $\mu$ A)	電壓 (mV)	電流 ( $\mu$ A)	電壓 (mV)	電流 ( $\mu$ A)	電壓 (mV)	電流 ( $\mu$ A)	電壓 (mV)
第 1 次	3.7	18	3.7	4	3.7	38	2.8	139	3.1	788
第 2 次	3.6	14	3.8	5	3.6	34	2.6	140	1.9	637
第 3 次	3.8	20	3.6	3	3.8	41	2.5	122	3	755
平均電阻率 ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	$2.93\times 10^1$		6.76		$6.39\times 10^1$		$3.19\times 10^2$		$1.76\times 10^3$	
平均透光率 (%)	80.94		82.38		79.63		77.42		76.58	
平均機械強度 (g)	1306.25		1244.19		無法成膜		無法成膜		無法成膜	
平均抗熱能力 (g)	1242.76		1024.33		無法成膜		無法成膜		無法成膜	

## (二) 結果分析：

1. 從平均電阻率顯示，在氯化鈉溶液濃度 0.1 M 時進行交聯反應，電阻率最低  **$6.76\ \Omega\cdot\text{m}$** ，導電性高屬於半導體的類別，推論在此條件下進行交聯反應，氧化石墨烯混合膜有較佳的離子導電性，因此電阻率最低。
2. 我們也發現在氯化鈉溶液濃度 0.1 M 以下進行交聯反應，混合膜不同點的電流變化小，推論在氯化鈉溶液濃度 **0.1 M** 時，三聚磷酸鈉與幾丁聚醣的交聯性最佳，若氯化鈉溶液濃度太高過多的  $\text{Na}^+$  會影響幾丁聚醣與 TPP 之間的交聯，降低交聯效果而無法得到均質的混合膜。
3. 從平均機械強度發現，氯化鈉溶液濃度 **0.05 M** 時最高 **1306.25 g**，推論在低濃度的氯化鈉溶液中進行交聯反應，能使溶於水中的 TPP 陰離子基團與幾丁聚醣陽離子基團產生離子交聯，且可抑制粒子之間的再聚集，形成更穩定結構。
4. 我們選擇電阻率最低的 0.1 M 氯化鈉溶液條件，進行後續實驗。

## 五、實驗五 探討電解液及 $\text{TiO}_2$ 層對電池發電量的影響

### (一) 實驗結果：

【表 7】不同電解液組成的太陽能電池平均電功率

不同電解液	氯化鈉	碘酸鉀	碘化鉀	碘酸鉀/碘化鉀	無染料	碘酸鉀/碘化鉀/TiO <sub>2</sub>
電壓 1 (V)	0.21	0.23	0.48	0.58	0.04	0.71
電壓 2 (V)	0.18	0.12	0.41	0.54	0.03	0.66
電壓 3 (V)	0.20	0.18	0.40	0.55	0.02	0.69
電流 1 (mA)	0.40	0.95	0.41	0.69	0.01	0.98
電流 2 (mA)	0.36	0.81	0.38	0.70	0.01	0.97
電流 3 (mA)	0.37	0.82	0.42	0.77	0.00	0.95
平均電功率(mW)	0.07	0.15	0.17	0.40	0.00	0.66

(二) 結果分析：

$$\text{平均電功率 (mW)} = \text{電壓} \times \text{電流}$$

- 發現含有 I<sup>-</sup> 電解液的電池平均電功率都比較高，搜尋文獻後得知電子在電解液中還原的途徑為  $\text{I}_3^- + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 3\text{I}^-$ ，推測相同濃度的碘化鉀、碘酸鉀溶於水後，碘化鉀能產生較多的 I<sup>-</sup>，使整個電池的通路變得更快速，但碘酸鉀 I<sub>3</sub><sup>-</sup> 也是電子傳遞過程的關鍵成分，於是我們又配製了碘酸鉀/碘化鉀比為 1/10 的電解液，發現平均電功率 0.40 mW，是碘化鉀電解液 (0.17 mW) 的 2.35 倍。
- 原本推測文獻中以銅、鋁兩種不同金屬作為電極，應該可以透過氧化還原反應產生電流，結果無染料電池幾乎測不到電流，在無法簡化電池的情況下，我們依照原先的電池裝置示意圖【圖 16】，增加在鋁網上塗佈一層 TiO<sub>2</sub> 為碘酸鉀/碘化鉀/TiO<sub>2</sub> 電池平均電功率 0.66 mW，是碘化鉀 (0.17 mW) 的 3.88 倍。

## 六、實驗六 探討天然染料對電池發電量的影響

(一) 實驗結果：

【表 8】不同天然染料組成的太陽能電池的平均電功率

天然染料	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C
電壓 1 (V)	0.71	0.61	0.58	0.71	0.63	0.55	0.71
電壓 2 (V)	0.66	0.63	0.53	0.63	0.66	0.53	0.69
電壓 3 (V)	0.69	0.65	0.55	0.70	0.62	0.52	0.68
電流 1 (mA)	0.98	0.84	0.67	1.89	0.48	0.37	0.68
電流 2 (mA)	0.97	0.87	0.63	1.75	0.50	0.33	0.66
電流 3 (mA)	0.95	0.76	0.62	1.66	0.44	0.32	0.61
平均電功率(mW)	0.66	0.52	0.35	1.20	0.30	0.18	0.45








## (二) 結果分析：

1. 從平均電功率可以發現，花青素/葉綠素天然染料的電功率最高 **1.2 mW**，推測與花青素可見光區藍綠光吸收強有關，且**花青素/葉綠素天然染料的電功率是花青素天然染料的 1.82 倍**，顯示添加葉綠素有助於擴充吸收太陽光波長範圍、打出更多的電子，在萃取時葉綠素是以丙酮為溶劑，由於所使用的  $\text{TiO}_2$  是油溶性，丙酮可分散油溶性材料，也能使  $\text{TiO}_2$  間不易聚集。
2. 從平均電功率可以發現，花青素是 3 種天然染料中電功率最高的，推測花青素激發態電子能階位置高於  $\text{TiO}_2$  塗層的底部，使得激發後的電子可以順利注入  $\text{TiO}_2$ ，產生電子流動。
3. 類胡蘿蔔素天然染料電功率最低，推測類胡蘿蔔素為脂溶性物質，溶液黏度高且有小顆粒，可能難以吸附於  $\text{TiO}_2$  上，也會導致電池內電阻提高。

## 七、實驗七 探討電池實際串聯的發電量

### (一) 實驗結果：

【表 9】串聯 1-5 顆自製太陽能電池的平均電功率

串聯電池數量	1	2	3	4	5
量測照片					
電壓 1 (V)	0.63	0.70	0.82	1.60	1.90
電壓 2 (V)	0.60	0.72	0.83	1.52	1.87
電壓 3 (V)	0.59	0.73	0.80	1.40	1.58
電流 1 (mA)	1.89	1.89	2.34	2.30	2.34
電流 2 (mA)	2.13	2.13	2.30	2.29	2.28
電流 3 (mA)	2.41	2.41	2.28	2.30	2.30
平均電功率(mW)	1.30	1.65	1.88	3.48	4.11





### (二) 結果分析：

從上表發現：電池串聯數量越多電壓越大、平均電功率也越大，串聯五顆電池可以達到平均電功率 4.11 mW。


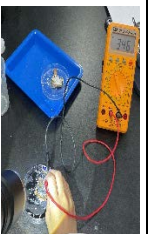
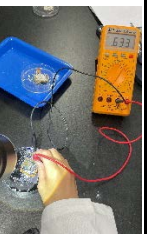



## 八、實驗八 探討電池分層順序的發電量

(一) 實驗結果：

【表 10】自製伏打電池的平均電功率

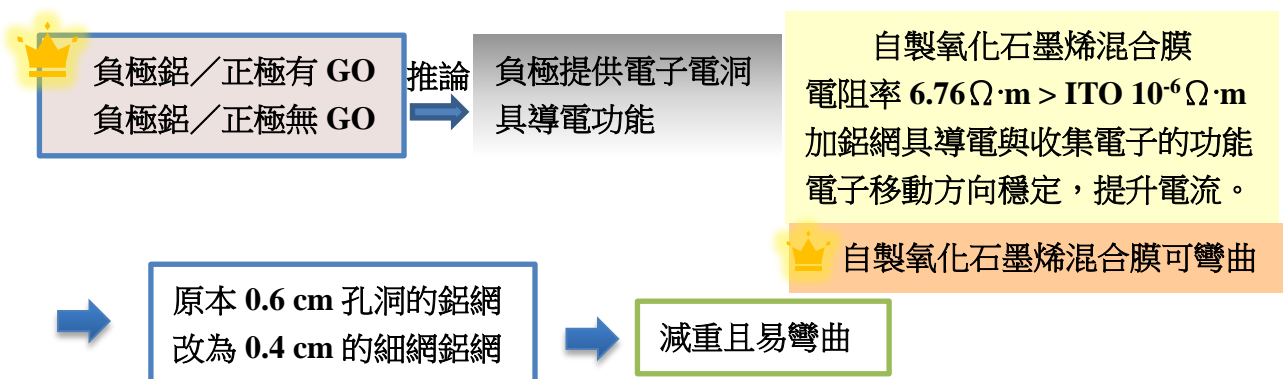
電極金屬	負極-銅，正極-鋁	負極-銅，正極-銅	負極-鋁，正極-銅	負極-鋁，正極-鋁
量測照片				
電壓 1 (V)	0.20	0.07	0.18	0.07
電壓 2 (V)	0.17	0.06	0.19	0.06
電壓 3 (V)	0.14	0.04	0.21	0.07
電流 1 (mA)	0.10	0.04	0.50	0.00
電流 2 (mA)	0.09	0.03	0.40	0.00
電流 3 (mA)	0.11	0.04	0.50	0.01
平均電功率(mW)	0.02	0.00	0.09	0.00

【表 11】自製太陽能電池改變分層順序後的平均電功率

分層順序	對照組	負極銅／ 正極有 GO	負極銅／ 正極無 GO	負極鋁／ 正極有 GO	負極鋁／ 正極無 GO	ITO 玻璃
量測照片						
電壓 1 (V)	0.63	0.62	0.54	0.67	0.65	0.65
電壓 2 (V)	0.60	0.61	0.56	0.71	0.65	0.71
電壓 3 (V)	0.59	0.59	0.62	0.62	0.66	0.68
電流 1 (mA)	1.89	23.9	21.3	30.3	23.0	25.3
電流 2 (mA)	2.13	26.3	19.8	29.8	26.5	26.4
電流 3 (mA)	2.41	24.7	18.4	28.0	25.2	27.8
平均電功率(mW)	1.30	15.15	11.37	19.58	16.27	18.02

## (二) 結果分析：

1. 從【表 10】顯示，正負極為不同金屬會產生明顯的電位差，也會提高電流，構成簡單的伏打電池系統，且與【表 7】無染料電池相比，在負極銅箔加幾丁聚醣混合膜後平均電功率 ( $0.02 \text{ mW}$ ) 是無染料電池 ( $2.00 \times 10^{-4} \text{ mW}$ ) 的 100 倍，推測我們自製的幾丁聚醣氧化石墨烯混合膜可能會提升  $\text{I}^-$  的氧化還原對轉換效率，間接提升電流的輸出。
2. 從【表 11】平均電功率可以發現，負極鋁／正極有 GO 電池的電功率最高  $19.58 \text{ mW}$ ，且與【表 10】相比，加入  $\text{TiO}_2$  層、天然染料及碳黑後，電流量提升大，負極銅／正極有 GO ( $15.15 \text{ mW}$ )、負極鋁／正極有 GO ( $19.58 \text{ mW}$ ) 平均電功率分別是負極-銅，正極-鋁 ( $0.02 \text{ mW}$ )、負極-鋁，正極-銅 ( $0.09 \text{ mW}$ ) 的 758、218 倍，顯示自製太陽能電池以伏打電池的系統再添加 DSSC 塗層能有效增加太陽能電池的電功率。
3. 我們也發現：以鋁網作為負極的電池，平均電功率最佳。

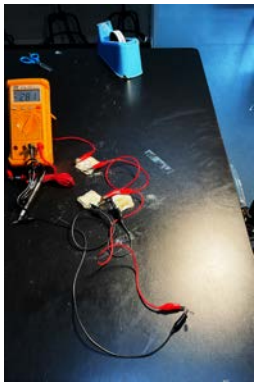

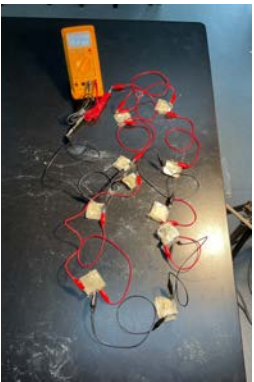


4. 另外本來我們想節省成本，正極填入無 GO 的幾丁聚醣膜，但發現正極有 GO 的電池平均電功率還是比較高，顯示 GO 與幾丁聚醣混合膜具有高導電特性。
5. 負極鋁／正極有 GO 電池平均電功率高於 ITO 玻璃，由於花青素/葉綠素只能吸收可見光， $\text{TiO}_2$  吸收紫外線，幾丁聚醣氧化石墨烯混合膜能吸收 1000 nm 以上紅外線，有助於擴充吸收太陽光波長範圍，達到全光譜太陽能電池的目標。

## 九、實驗九 探討封裝後電池的抗衰減能力

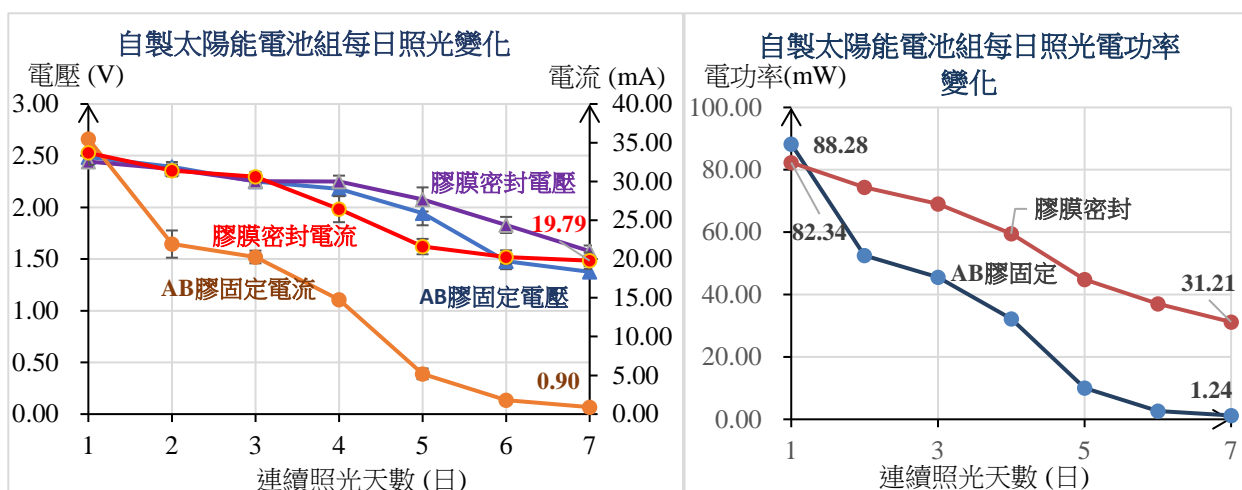
### (一) 實驗結果：

【表 12】自製太陽能電池組實際測量結果

封裝後電池	3 顆電池串聯	5 顆電池串聯	10 顆電池串並聯組
照片			
電壓 (V)	2.29	2.49	2.48
電流 (mA)	28.0	28.2	35.8
平均電功率 (mW)	64.12	70.22	88.78

【表 13】自製太陽能電池組每天輸出平均電功率比較

天數 (天)		1	2	3	4	5	6	7
AB 膠 固 定	平均電壓 (V)	2.49	2.39	2.25	2.18	1.94	1.48	1.38
	平均電流 (mA)	35.50	21.93	20.27	14.77	5.19	1.80	0.90
	平均電功率 (mW)	88.28	52.49	45.60	32.19	10.09	2.66	1.24
膠 膜 密 封	平均電壓 (V)	2.44	2.37	2.25	2.25	2.08	1.83	1.58
	平均電流 (mA)	33.70	31.40	30.63	26.43	21.61	20.27	19.79
	平均電功率 (mW)	82.34	74.42	69.03	59.48	44.88	37.09	31.21



【圖 22、23】自製太陽能電池組持續照光發電量比較

## (二) 結果分析：

1. 從【表 12】封裝後電池照片可以發現，3 顆電池串聯可以開始讓 Led 燈發亮，



平均電功率達 64.12 mW。

2. 從開始至第 2 天，AB 膠固定電池的電流呈現快速的下降，推論我們以 500 W/cm<sup>2</sup> 的強光照射，會使電解液快速乾燥，而不利於離子流動所以電流下降，因此我們試著以膠膜密封，發現能有效減少電解液水分散失維持住電解液的濃度，到了第七天膠膜密封平均電流是 AB 膠固定電池的 22 倍。
3. 從開始至第 7 天，電壓呈穩定趨勢下降，推論銅鋁電池的兩極會隨著時間逐漸鈍化，到第 5 天 AB 膠固定電池電功率快速下降且發現電池內部產生銅綠，顯示銅箔做為正極易受到電解液腐蝕而大幅降低發電量，膠膜密封後能有效隔絕空氣，減緩電池內部銅箔氧化情形。
4. 自製太陽能電池組照射至第 7 天，平均電功率仍有 31.21 mW，膠膜密封後能提升抗衰減能力 36.50 %，顯示自製太陽能電池組的高抗衰減能力。

## 伍、討 論

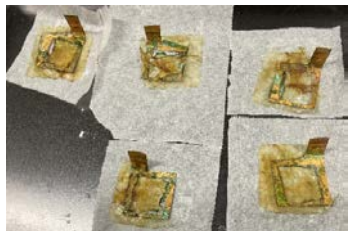

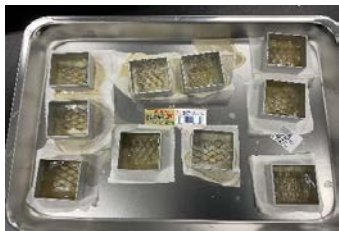
一、比較兩點測量法和四點探針法測量幾丁聚醣膜的電阻結果。我們參考前人研究，一開始在幾丁聚醣膜表面滴 0.4 mL 純水及 0.4 mL 醋酸再用三用電表測量膜兩面的電阻，卻發現幾丁聚醣易產生澎潤、接觸面不平整，且接觸點的表面有醋酸，推測測得的電阻大多為接觸電阻，於是我們參考「四點探針法」來降低接觸電阻，能增加實驗準確性。

兩點測量法	四點探針法
	
電阻率約 10 <sup>5</sup> Ω·m	電阻率約 10 <sup>3</sup> Ω·m
<ul style="list-style-type: none"><li>✓ 去除探針和幾丁聚醣膜的接觸電阻</li><li>✓ 測出電阻率的絕對值最小</li><li>✓ 同一種生物材料製成的膜 → 測出電阻率相近</li><li>✓ 以電蚊拍做為電源供應器 → 方便、簡易操作</li></ul>	

二、在實驗五探討電解液及 TiO<sub>2</sub> 層對電池發電量的影響時，我們原本只比較不同電解液的電功率，希望找出最佳電解液或混合電解液，實驗結果平均電功率只有 0.40 mW，經由資料搜尋了解電子傳導路徑，TiO<sub>2</sub> 的電子受到激發，因而產生電子-電洞對，電子因為在水中較在金屬中移動困難，所以電子利用外電路到正電極，傳給氧化態的 I<sub>3</sub><sup>-</sup>，I<sub>3</sub><sup>-</sup> 因為得到電子，而還原成 I<sup>-</sup>，較二氧化鈦不安定的 I<sup>-</sup> 又將電子傳給了二氧化鈦

的電洞，推論自製氧化石墨烯混合膜沒有奈米級的電洞，染料吸附量不夠，因此電子傳遞量不足，需要再借助  $\text{TiO}_2$  的電洞，再加入  $\text{TiO}_2$  層後平均電功率增加了 65 %。

三、在實驗八探討電池分層順序時，我們在冷凍前就先將銅箔放入模具再倒入混合膜溶液，烘乾後發現銅箔氧化情況嚴重，因此我們改採氧化石墨烯混合膜溶液烘乾 20 小時後再將銅箔或鋁網放置在膜上，再續烘 4 小時，烘乾後發現銅箔不會產生氧化銅。

		
銅箔與醋酸反應生成氧化銅	√溶液烘定型後再放置銅箔接續烘製→防止生成銅綠、銅鏽	鋁網生成氧化鋁會降低導電性，防止氧化可延長電池壽命

四、在實驗八研究電池分層時，我們原本採正極塗佈  $\text{TiO}_2$ 、碳黑在負極的方式組裝電池，後來發現碳黑會遮光導致發電功率不佳，因此重新進行分層研究，在正負極方面，利用鋁、銅兩種不同活性的金屬來增加電壓，兩種金屬活性有差，因此不論是鋁網在上層或銅箔在上層，皆能產生電流，實驗結果發現鋁網在負極電功率最佳，推論因鋁活性大於銅，有利於電子移動，使電子在移動的過程有較為固定的方向，集中電子而使電流提升。後來採碳黑在正極，經由資料搜尋得知，碳黑有高催化活性能催化  $\text{I}_3^-$  還原成  $\text{I}^-$ ，提高了電子傳遞的順暢性。我們重新改變分層的順序後，成功的提高了自製太陽能電池的平均電功率。

五、我們自製太陽能電池與 ITO 染料敏化太陽能電池相比：

ITO 染料敏化太陽能電池	自製太陽能電池
玻璃基板鍍氧化銦錫膜 正負極無法彎曲、易碎 玻璃材質反光率大 正負極不易回收	廢棄蝦殼萃取的幾丁聚醣加氧化石墨烯√具導電特性、製程簡易 正負極可以彎曲、安全不易破√增加應用性 幾丁聚醣 GO 混合膜及鋁網√反射率低、 $\text{TiO}_2$ 與負極附著力佳 幾丁聚醣氧化石墨烯混合膜可分解，鋁網、銅箔可重複利用
電解液： $\text{KI}$ 、碘液溶於乙腈	電解液：碘酸鉀/碘化鉀溶於水√操作方便、安全
染料：三苯胺化合物、鈦金屬染料	染料：花青素/葉綠素√便宜、安全 √可吸收波長在 400~700 nm 之間可見光
催化劑：鉑塗佈在導電玻璃上	催化劑：碳黑燒製在銅箔上√成本低
吸收光譜範圍：可見光及紫外光，含鈦染料可至 1000 nm	吸收光譜範圍：可見光及紫外光，氧化石墨烯可至 1300 nm √太陽輻射總量中 50 % 為紅外光→有效利用

## 陸、結 論

一、探討生物材料製成電極的方法，經實驗一～四的最佳化條件，可以得到平均電阻率  $6.76 \Omega \cdot \text{m}$ 、平均透光率 82.38 %、平均機械度 1244.19 g、平均抗熱能力 1024.33 g 的混合膜電極。

生物材料	製程	特色
大白蝦殼	自製大白蝦幾丁聚醣 + 氧化石墨烯溶液 → 離心 → $-18^{\circ}\text{C}$ , 24 hr 冷凍 → 噴入 3 % TPP → 0.1M 氯化鈉溶液中超音波震盪 → 烘箱 $55^{\circ}\text{C}$	導電性屬於半導體、可提升 I 的氧化還原轉換效率 結構穩定、可彎曲不碎裂能替代 ITO

二、探討以自製電極製成太陽能電池的方法，經實驗五～九的最佳化條件，得到單顆太陽能電池電壓 0.6 V、電流 29 mA、平均電功率 19.58 mW，以  $500 \text{ W}/\text{cm}^2$  強光照至第 7 天，太陽能電池組平均電功率仍有 31.21 mW。

自製太陽能電池	製程	特色
	自製電極 → 放銅箔（鋁網） → 烘箱 $55^{\circ}\text{C}$ , 4 hr → 銅箔加碳黑 → 鋁網上塗 $\text{TiO}_2$ → 加 $\text{KIO}_3/\text{KI}$ 、花青素/葉綠素天然染料 → 封裝	串聯 3 顆太陽能電池 Led 開始亮。 單顆電池電功率是參考文獻的 2 倍 具高抗衰減能力。 安全、可推廣至生活及教具使用。

三、期望未來能對幾丁聚醣氧化石墨烯混合膜進行表面性質改質，希望能研發出奈米級電洞，增加染料的吸附量，有效的利用綠能生產出發電久、低成本的綠色太陽能電池。

## 柒、參考文獻資料

- 許睿恩等 (2024)。自製幾丁聚醣化身紋身貼紙。中華民國第 64 屆中小學科學展覽會
- 蔡佳霖等 (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。
- 林邑柔等 (2023)。蟹葉「銅」「鋁」來電-環境友善光電強化銅鋁電池的探討。中華民國第 63 屆中小學科學展覽會。
- 李清華 (2017)。綠色環保質子交換膜合成製造方法。  
<https://patents.google.com/patent/TWI632178B/zh>
- 實驗十八 簡易染料敏化太陽能電池製作 (2025)。Pressbooks。  
<https://pressbooks.pub/gchemlab1/chapter/chemlab2-18/>

本作品說明書內所含圖片、照片，除了【圖 1】引自參考文獻 5，其餘皆由作者親自製作及拍攝。

## 【評語】 080209

1. 實驗設計包含材料（複合膜）、電阻量測方法、交聯條件與封裝等。針對導電膜本身的「導電性、透光性、機械強度」都進行測試，比起過去科展類似題目在呈現效果上比較完整。
2.  $\text{CaCO}_3$ 在蝦殼中的含量分別用鍛燒法和 $\text{CO}_2$ 產生量反推計算相比較非常具有實證精神。



作品海報

# 自製高效能蝦殼電池

## - 新型太陽能電池的探究



## 摘要

研究以大白蝦殼製成電極和太陽能電池的製作方法。以自製四點探針器測自製幾丁聚醣氧化石墨烯 (GO) 混合膜的電阻，得最佳電極條件：溶液 pH 4.7，-18° C、24 hr 前處理後噴三聚磷酸鈉 (TPP)，在氯化鈉 0.1 M 下反應，得低電阻率 6.76  $\Omega \cdot m$ ，高機械強度 1244.19 g，結構穩定且可提升  $I^-$  的轉換效率。以鋁網-幾丁聚醣氧化石墨烯膜為負極、銅箔-幾丁聚醣氧化石墨烯膜為正極，能使電子移動方向穩定，提升電流，且可彎曲增加應用性；使用花青素/葉綠素天然染料及 0.5 M 碘酸鉀/碘化鉀電解液，最後製成的電池電功率最高 19.58 mW，可取代 ITO 玻璃且串聯 3 顆可讓 Led 亮，以 500 W/cm<sup>2</sup> 強光照射電池組 7 天，電功率仍有 31.21 mW，具高抗衰減能力，可推廣至生活及教具使用。

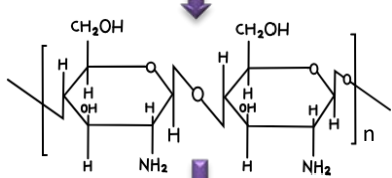
## 研究設備及器材

### 生物材料

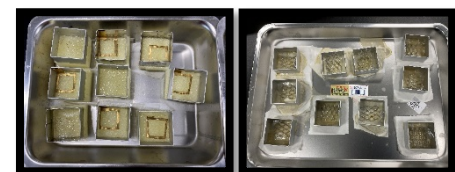


透抽軟骨 三點蟹殼 胭脂蝦殼 草蝦殼 大白蝦殼

### 幾丁聚醣

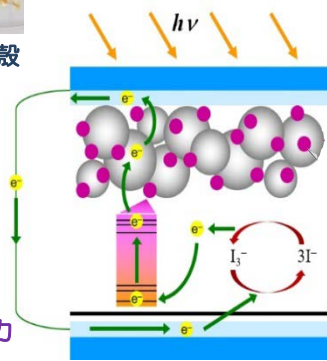


低電阻、高透明度、高機械強度、高抗熱能力

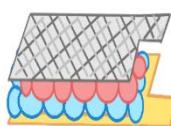


### 染料敏化太陽能電池 (DSSC)

原理：染料分子吸收光能產生  $e^-$ ， $e^-$  傳遞到  $TiO_2$ ，使染料分子氧化且將  $e^-$  傳輸到導電玻璃流向外部電路產生電子流，電解質將氧化後染料還原。電池內對電極使內部電荷保持平衡。

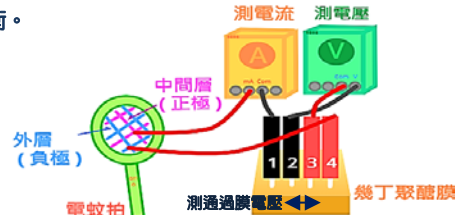


### 自製太陽能電池

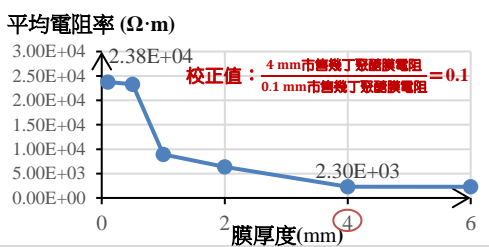


### 電阻測量

目的：兩根探針提供電流通路，另兩根探針量電壓，使用具高電壓的電蚊拍作為電源供應器即可計算幾丁聚醣膜的電阻率。



不同厚度的市售幾丁聚醣膜測量電阻比較



$$\text{電阻率} (\Omega \cdot m) = 2 \times 3.14 \times 0.01 \times \frac{\text{電壓}}{\text{電流}} \times 0.1$$

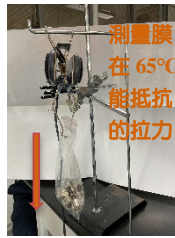
### 透光率測量



### 機械強度測量



### 抗熱能力測量

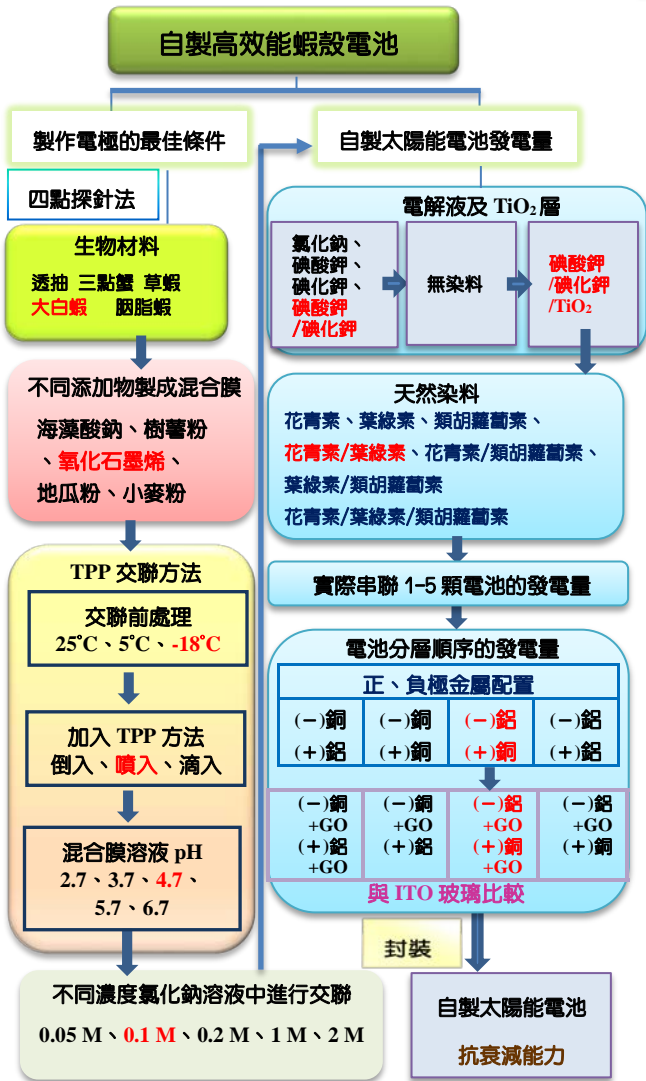


### 自製太陽能電池製作方法



## 研究方法及結果

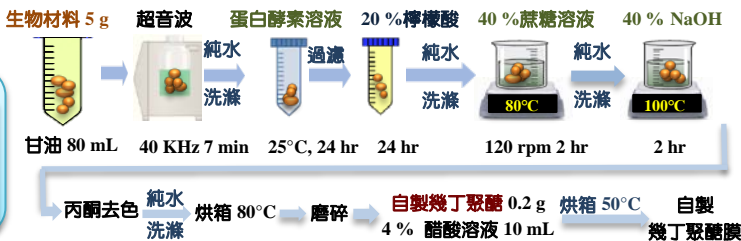
### 研究架構



### 實驗一：探討不同生物材料製成的電極

1. 實驗目的：我們參考中華民國第 64 屆科展「自製幾丁聚醣化身紋身貼紙」幾丁聚醣的萃取方法，增加以丙酮去除蝦、蟹殼中的色素，想利用以生物材料製成的幾丁聚醣膜應用於電極，增加電極的柔軟性。

2. 實驗方法：



3. 實驗結果：

種類	三點蟹	胭脂蝦	大白蝦	透抽	草蝦	市售幾丁聚醣
幾丁聚醣膜照片						
膜厚度(mm)	0.13	0.18	0.14	0.11	0.16	0.09
電阻測量	電流 (μA) 1.30 電壓 (V) 2.67	電流 (μA) 1.13 電壓 (V) 1.09	電流 (μA) 2.07 電壓 (V) 1.93	電流 (μA) 1.10 電壓 (V) 1.52	電流 (μA) 1.30 電壓 (V) 1.45	電流 (μA) 2.40 電壓 (V) 0.89
平均值	1.30	1.13	2.07	1.10	1.30	2.40
平均電阻率(Ω·m)	1.28 x 10 <sup>4</sup>	6.19 x 10 <sup>3</sup>	5.85 x 10 <sup>3</sup>	8.67 x 10 <sup>3</sup>	7.02 x 10 <sup>3</sup>	2.33 x 10 <sup>3</sup>
平均透光率(%)	79.04	43.64	61.48	68.7	53.48	71.78
平均機械強度(g)	887.92	1309.31	1376.02	946.311	1608.22	1386.26
平均抗熱能力(g)	835.61	1005.43	1007.78	747.16	1014.96	1086.26

4. 結果分析：

- 不同生物材料的平均電阻率：市售幾丁聚醣 < 大白蝦殼 < 胭脂蝦殼 < 草蝦殼 < 透抽軟骨 < 三點蟹殼，我們取大白蝦殼進行後續實驗。
- 我們自製的幾丁聚醣膜含部分細小固體，可能會提高電阻率及降低透光率及機械強度，為了增加自製幾丁聚醣成為電極的穩定性，因此後續實驗我們在製膜前加入離心步驟。



實驗二：探討不同添加物製成混合膜的電極

1. 實驗目的：我們想降低自製幾丁聚醣膜的電阻，於是添加海藻酸鈉、氧化石墨烯製成混合膜，且與可生物降解的澱粉進行比較，希望能得到低電阻率且高機械強度的混合膜。
2. 實驗方法：
- 自製大白蝦幾丁聚醣 1 g 加入 海藻酸鈉溶液 氧化石墨烯溶液 小麥粉溶液 地瓜粉溶液 樹薯粉溶液 對照組
- 4 % 醋酸溶液 50 mL
3. 實驗結果：
- 取上清液 15 mL 烘箱 幾丁聚醣混合膜

種類	海藻酸鈉		氧化石墨烯		地瓜粉		小麥粉		樹薯粉		對照組	
混合膜照片												
膜厚度(mm)	0.09		0.09		0.1		0.09		0.1		0.1	
電阻測量	電流 (μA)	電壓 (V)	電流 (μA)	電壓 (V)	電流 (μA)	電壓 (V)	電流 (μA)	電壓 (V)	電流 (μA)	電壓 (V)	電流 (μA)	電壓 (V)
平均值	2.63	0.76	3.07	0.47	0.80	1.77	1.23	2.27	0.33	1.87	2.47	0.93
平均電阻率 (Ω·m)	1.81 × 10 <sup>3</sup>		9.62 × 10 <sup>2</sup>		1.39 × 10 <sup>4</sup>		1.15 × 10 <sup>4</sup>		4.08 × 10 <sup>4</sup>		2.38 × 10 <sup>3</sup>	
平均透光率 (%)	80.56		83.70		52.85		55.49		43.81		75.28	
平均機械強度 (g)	1378.07		506.41		2351.03		2132.40		2398.70		1408.23	
平均抗熱能力 (g)	1256.36		206.80		2295.07		2098.70		2385.88		1097.13	

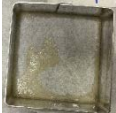



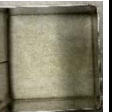
4. 結果分析：
- (1) 平均電阻率：大白蝦殼 離心 對照組 加 GO
- 5.85x10<sup>3</sup> Ω·m 降為 16 % 2.38x10<sup>3</sup> Ω·m 降為 41 % 9.62x10<sup>2</sup> Ω·m
- (2) 平均透光率：大白蝦殼 離心 對照組 加 GO
- 61.48 % 提高 14 % 75.28 % 提高 8 % 83.70 %

實驗三：探討三聚磷酸鈉對混合膜電極的影響

1. 實驗目的：我們選擇電阻率最低的氧化石墨烯製成的混合膜進行後續實驗，想要提高混合膜的機械強度，於是設計三種方法，以三聚磷酸鈉對混合膜進行交聯反應，並且找出混合膜溶液最適合反應的 pH 條件。
2. 實驗方法：
- 交聯前處理 24 hr 室溫 25℃ 冷藏 5℃ 冷凍 -18℃ 倒入 3 mL 三聚磷酸鈉
- 交聯方法 3 mL 三聚磷酸鈉溶液 倒入 噴入 滴入 混合膜溶液 pH 氧化石墨烯混合膜溶液調 pH pH 2.7、3.7、4.7、5.7、6.7 離心 冷凍 24 hr 噴入 3 mL 三聚磷酸鈉溶液

交聯方法	交聯前處理			交聯方法		
	室溫	冷藏	冷凍	倒入	噴入	滴入
反應結果						
	產生凝固	產生薄膜	無生成物	無生成物	無生成物	無生成物
烘乾結果						
	無法成膜	膜易破裂	可以成膜	片狀凹凸	膜平整	點狀凹凸






在室溫中倒入 TPP，發現氧化石墨烯混合膜溶液立刻產生凝固，推想反應速率可能會影響反應結果，試著先降低反應前溫度後，發現交聯前冷凍 24 小時再以噴入方式加 TPP 的方法，烘乾後可以得到平整的膜。

混合膜溶液 pH	2.7		3.7		4.7		5.7		6.7	
混合膜照片										
膜厚度(mm)	0.10		0.09		0.09		0.09		0.11	
電阻測量	電流 (μ A)	電壓 (mV)	電流 (μ A)	電壓 (mV)	電流 (μ A)	電壓 (mV)	電流 (μ A)	電壓 (mV)	電流 (μ A)	電壓 (mV)
平均值	2.37	16.67	2.90	30.00	2.70	37.00	2.37	368.33	2.67	726.67
平均電阻率 (Ω·m)	4.05 x 10 <sup>1</sup>		6.55 x 10 <sup>1</sup>		8.73 x 10 <sup>1</sup>		3.43 x 10 <sup>2</sup>		1.76 x 10 <sup>3</sup>	
平均透光率 (%)	83.20		84.55		80.22		78.92		77.84	
平均機械強度 (g)	510.72		544.33		768.43		914.32		982.37	
平均抗熱能力 (g)	500.29		533.17		766.13		904.33		942.10	

4. 結果分析：
- (1) 自製幾丁聚醣溶液在 pH 2.7 時最低 4.05x10<sup>1</sup>，綜合考慮平均電阻率、平均機械強度、平均抗熱能力及實驗操作方便不用調 pH，我們選擇氧化石墨烯混合膜溶液 pH 4.7 進行後續實驗，之後都以混合膜溶液配製完 pH 4.47 進行實驗。
- (2) 從平均機械強度發現，自製幾丁聚醣溶液在 pH 6.7 時最高 982.37 g，推測幾丁聚醣溶液在近中性時與 TPP 反應能達到最佳的離子交聯，形成緊密結構。

實驗四：探討氯化鈉溶液對混合膜電極的影響

1. 實驗目的：為了提高三聚磷酸鈉與混合膜交聯的均質性，我們嘗試利用氯化鈉溶液，讓 TPP 能充分擴散到幾丁聚醣中以增加平均機械強度及成膜性。
2. 實驗方法：
- 氯化鈉溶液 0.05 M ~2 M 經冷凍 24 hr 噴入三聚磷酸鈉溶液 氧化石墨烯混合膜 烘箱 幾丁聚醣混合膜
3. 實驗結果：

氯化鈉濃度	0.05 M		0.1 M		0.2 M		1 M		2 M	
混合膜照片										
膜厚度(mm)	0.10		0.09		無法成膜		無法成膜		無法成膜	
電阻測量	電流 ( $\mu$ A)	電壓 (mV)	電流 ( $\mu$ A)	電壓 (mV)	電流 ( $\mu$ A)	電壓 (mV)	電流 ( $\mu$ A)	電壓 (mV)	電流 ( $\mu$ A)	電壓 (mV)
平均值	3.70	17.33	3.70	4.00	3.70	37.67	2.63	133.67	2.67	726.67
平均電阻率 ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	$2.93 \times 10^1$		6.76		$6.39 \times 10^1$		$3.19 \times 10^2$		$1.76 \times 10^3$	
平均透光率 (%)	80.94		82.38		79.63		77.42		76.58	
平均機械強度 (g)	1306.25		1244.19		無法成膜		無法成膜		無法成膜	
平均抗熱能力 (g)	1242.76		1024.33		無法成膜		無法成膜		無法成膜	

4. 結果分析：
- (1) 氯化鈉溶液濃度 0.1 M 時進行交聯反應，電阻率最低 6.76 Ω·m，導電性高屬於半導體的類別，推論在此條件下進行交聯反應，膜有較佳的離子導電性。
- (2) 在氯化鈉溶液濃度 0.1 M 以下進行反應，混合膜不同點的電流變化小，推論氯化鈉溶液濃度 0.1 M 時，三聚磷酸鈉與幾丁聚醣的交聯性最佳。
- (3) 綜合考慮平均電阻率、平均機械強度及平均抗熱能力，我們選擇氯化鈉溶液濃度 0.1 M 進行後續實驗，

實驗五：探討電解液及 TiO<sub>2</sub> 層對電池發電量的影響

1. 實驗目的：我們參考「以廢棄蝦殼製作染料敏化太陽能電池之研究」將實驗一～四我們得到的混合膜溶液倒入鋁網作為電極，進行不同電解液比較，希望能得到發電量最高的電池。
2. 實驗方法：
- 氧化石墨烯混合膜 烘箱 幾丁聚醣混合膜 氯化鈉溶液 0.1 M 震盪 加入 氯化鈉 碘酸鉀 碘化鉀 碘酸鉀/碘化鉀 8 mL 花青素 天然染料 染料 電解液 二氧化鈦 鋁網 幾丁聚醣加氧化石墨烯 無染料電池 銅箔 電解液
3. 實驗結果：

【測量 3 次計算平均值】						
不同電解液	氯化鈉	碘酸鉀	碘化鉀	碘酸鉀/碘化鉀	無染料	碘酸鉀/碘化鉀 /TiO <sub>2</sub>
平均電壓 (V)	0.20	0.18	0.43	0.56	0.03	0.69
平均電流 (mA)	0.38	0.86	0.40	0.72	0.01	0.97
平均電功率 (mW)	0.07	0.15	0.17	0.40	0.00	0.66

4. 結果分析：
- (1) 發現含有 I<sup>-</sup> 的電解液電功率都比較高，推測相同濃度的碘化鉀、碘酸鉀溶於水後碘化鉀能產生較多的 I<sup>-</sup>，使整個電池的通路變得更快速，但碘酸鉀 I<sup>-</sup> 也是電子傳遞的關鍵成分，於是我們又配製了碘酸鉀/碘化鉀比為 1/10 的電解液，發現平均電功率 0.40 mW，是碘化鉀電液 (0.17 mW) 的 2.35 倍。
- (2) 無染料電池幾乎測不到電流，於是照原先電池組裝方式且在鋁網上增加 TiO<sub>2</sub>，碘酸鉀/碘化鉀/TiO<sub>2</sub> 平均電功率 0.66 mW 是碘化鉀 (0.17 mW) 的 3.88 倍。

實驗六：探討天然染料對電池發電量的影響

1. 實驗目的：我們自製葉綠素、花青素、類胡蘿蔔素且將三種天然色素混合在一起，研究能否增加電池吸收太陽光的光譜範圍，提高自製電池的電功率。
2. 實驗方法：
- 氧化石墨烯混合膜 花青素 葉綠素 類胡蘿蔔素 兩色素混合 三色素混合 碘酸鉀/碘化鉀 /TiO<sub>2</sub> 染料 電解液 二氧化鈦 鋁網 幾丁聚醣加氧化石墨烯
3. 實驗結果：

不同天然染料	花青素	葉綠素	類胡蘿蔔素	花青素/葉綠素	花青素/類胡蘿蔔素	葉綠素/類胡蘿蔔素	花青素/葉綠素/類胡蘿蔔素
平均電壓 (V)	0.69	0.63	0.55	0.68	0.64	0.53	0.69
平均電流 (mA)	0.97	0.82	0.64	1.77	0.47	0.34	0.65
平均電功率 (mW)	0.66	0.52	0.35	1.20	0.30	0.18	0.45

4. 結果分析：
- (1) 花青素/葉綠素天然染料的電功率最高 1.2 mW 是花青素天然染料的 1.82 倍，顯示添加葉綠素有助於擴充吸收太陽光波長範圍、打出更多的電子，萃取葉綠素以丙酮為溶劑，能使油性 TiO<sub>2</sub> 間不易聚集。
- (2) 花青素是 3 種天然染料中電功率最高的，推測花青素激發態電子能階位置高於 TiO<sub>2</sub> 塗層的底部，使得激發後的電子可以順利注入 TiO<sub>2</sub>，產生電子流動。



實驗七：探討電池實際串聯的發電量




1. 實驗目的：我們想知道自製太陽能電池經串聯後能達到多少發電量？
2. 實驗方法：**串聯自製太陽能電池數 1-5 顆**
3. 實驗結果：【測量 3 次計算平均值】
- | 串聯電池數量     | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    |
|------------|------|------|------|------|------|
| 平均電壓 (V)   | 0.61 | 0.72 | 0.82 | 1.51 | 1.78 |
| 平均電流 (mA)  | 2.14 | 2.31 | 2.30 | 2.31 | 2.30 |
| 平均電功率 (mW) | 1.30 | 1.65 | 1.88 | 3.48 | 4.11 |
4. 結果分析：
- 電池串聯數量越多電壓越大、平均電功率也越大，串聯五顆電池可以達到平均電功率 4.11 mW。

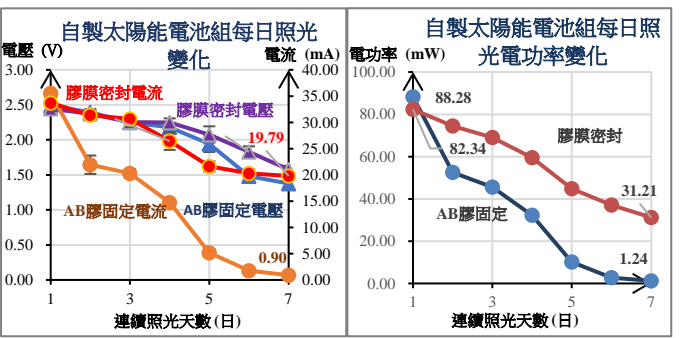
實驗八：探討電池分層順序的發電量

1. 實驗目的：我們想提升電功率，設計以下二種方法。
2. 實驗方法：
- 方法一：以伏打電池的原理，將幾丁聚醣混合膜加在銅、鋁金屬上。**
- 方法二：改變分層順序且研究混合膜在兩電極的加入方式，並與 ITO 導電玻璃電池進行發電量比較。**
3. 實驗結果：【測量 3 次計算平均值】
- | 電極金屬      | (-)銅(+)鋁 | (-)銅(+)銅 | (-)鋁(+)銅 | (-)鋁(+)鋁 |
|-----------|----------|----------|----------|----------|
| 平均電壓 (V)  | 0.17     | 0.06     | 0.19     | 0.07     |
| 平均電流 (mA) | 0.10     | 0.04     | 0.47     | 0.00     |
| 平均電功率(mW) | 0.02     | 0.00     | 0.09     | 0.00     |
4. 結果分析：
- 正負極為不同金屬會產生明顯的電位差，也會提高電流，構成簡單的伏打電池系統，在負極銅加混合膜後平均電功率(0.02 mW)是無染料電池(2.00x10<sup>-4</sup> mW)的 100 倍，推測自製幾丁聚醣氧化石墨烯混合膜可能會提升 I<sup>-</sup> 的氧化還原對轉換效率，間接提升電流的輸出。
5. 實驗方法：
- 正極有、無氧化石墨烯**

6. 實驗結果：【測量 3 次計算平均值】
- | 分層順序      | 對照組   | (-)銅+GO<br>(+)鋁+GO  | (-)銅+GO<br>(+)鋁   | (-)鋁+GO<br>(+)銅+GO  | (-)鋁+GO<br>(+)銅   | ITO 玻璃  |
|-----------|---|---|---|---|---|---|
| 量測照片      |  |  |  |  |  |  |
| 平均電壓 (V)  | 0.61  | 0.61  | 0.57  | 0.67  | 0.65  | 0.68  |
| 平均電流 (mA) | 2.14  | 24.97   | 19.83   | 29.37   | 24.90   | 26.50   |
| 平均電功率(mW) | 1.30  | 15.15   | 11.37   | 19.58   | 16.27   | 18.02   |
7. 結果分析：
- | 伏打電池系統             | DSSC                             | 特色  |
|--------------------|----------------------------------|---|
| (-)鋁+GO<br>(+)銅+GO | 加 TiO <sub>2</sub><br>天然染料<br>碳黑 | 1.DSSC 功能 > 伏打電池系統<br>2.自製太陽能電池平均電功率>ITO<br>TiO <sub>2</sub> 吸收紫外線，GO 能吸收 1000 nm 以上紅外線，有助於擴充吸收太陽光波長範圍。 |
| 電功率 0.09 mW        | 218 倍                            | 19.58 mW  |

實驗九：探討封裝後電池的抗衰減能力

1. 實驗目的：為了延長電池使用時間，我們模擬目前太陽光系統模組的接法，將自製太陽能電池進行封裝並採 5 顆電池串、並聯連接，觀察功率衰退情形。
2. 實驗方法：
- 500 W/cm<sup>2</sup> 光照 1-7 天**
- 測量電功率**
- AB 膠固定電池組**
- 膠膜密封電池組**
3. 實驗結果：【測量 3 次計算平均值】
- | 封裝後電池     | 3 顆電池串聯   | 5 顆電池串聯   | 10 顆電池串並聯組  |
|-----------|---|---|---|
| 照片        |  |  |  |
| 平均電壓 (V)  | 2.29  | 2.49  | 2.48  |
| 平均電流 (mA) | 28.0  | 28.2  | 35.8  |
| 平均電功率(mW) | 64.12   | 70.22   | 88.78   |



4. 結果分析：
- (1) 3 顆電池串聯可以開始讓 Led 燈發亮，平均電功率達 64.12 mW。
- (2) 以膠膜密封後，發現能有效減少電解液水分散失維持住電解液的濃度，到了第七天膠膜密封平均電流是 AB 膠固定電池的 22 倍。
- (3) 銅箔做為正極易受到電解液腐蝕而大幅降低發電量，膠膜密封後能有效隔絕空氣，減緩電池內部銅箔氧化情形。
- (4) 膠膜密封後能提升抗衰減能力 36.50 %，第 7 天平均電功率仍有 31.21 mW，顯示自製太陽能電池組的高抗衰減能力。

討論

- 一、 比較兩點測量法和四點探針法測量幾丁聚醣膜的電阻結果。
- | 兩點測量法   | 四點探針法  |
|---|--|
|  |    |
| 電阻率約 10 <sup>5</sup> Ω·m  | 電阻率約 10 <sup>3</sup> Ω·m   |
|   | ✓ 去除探針和幾丁聚醣膜接觸電阻<br>✓ 測出電阻率的絕對值最小<br>✓ 同一種生物材料製成的膜<br>→ 測出電阻率具再現性<br>✓ 電蚊拍做為電源供應器易操作 |
- 二、 改採氧化石墨烯混合膜溶液烘乾 20 小時後再將金屬放置在膜上，能避免產生氧化銅，可以延長電極的壽命，使電池不易劣化。
- 三、 原本採正極塗 TiO<sub>2</sub>、碳黑在負極的方式組裝電池，後來發現碳黑會遮光導致發電功率不佳，後來採碳黑在正極，經由資料搜尋得知，碳黑有高催化活性能催化 I<sub>3</sub><sup>-</sup> 還原成 I<sup>-</sup>，提高電子傳遞順暢性。
- 四、 比較 AB 膠固定電池組和膠膜密封電池組的平均電功率。
- | AB 膠固定電池組                            | 膠膜密封電池組                                   |
|--------------------------------------|---|
| 0-2 天電流快速下降，電解液快速乾燥<br>第 5 天電池內部產生銅綠 | 有效減少水分散失維持電解液的濃度<br>無銅綠，能隔絕空氣，減緩電池內銅箔氧化情形 |

- 五、 我們自製太陽能電池與 ITO 染料敏化太陽能電池相比：


ITO DSSC	自製太陽能電池
玻璃基板鍍氧化錫薄膜 正負極無法彎曲、易碎 玻璃材質反光率大 正負極不易回收 電解液：KI 溶於乙腈 染料：三苯胺化合物鈦金 屬染料 催化劑：鈦塗佈在 ITO 吸收光譜：可見光及紫外光、鈦染料可至 1000 nm	廢棄蝦殼萃取物加氧化石墨烯✓具導電特性、製程易 正負極可以彎曲、安全不易破 ✓增加應用性 幾丁聚醣 GO 混合膜及鋁網✓反射率低、TiO <sub>2</sub> 附著佳 幾丁聚醣 GO 混合膜可分解，鋁網、銅箔可重複利用 電解液：碘酸鉀/碘化鉀溶於水 ✓操作方便、安全 染料：花青素/葉綠素 ✓便宜、安全 ✓可吸收波長在 400~700 nm 之間可見光 催化劑：碳黑燒製在銅箔上 ✓成本低 吸收光譜：可見光及紫外光，氧化石墨烯可至 1300 nm ✓太陽輻射總量中 50% 為紅外光→有效利用

結論

- 一、 探討生物材料製成電極的方法，經實驗一～四的最佳化條件，可以得到平均電阻率 6.76 Ω·m、平均透光率 82.38%、平均機械強度 1244.19 g、平均抗熱能力 1024.33 g 的混合膜電極。
- | 製程   | 特色  |
|--|---|
| 自製大白蝦幾丁聚醣十氧化石墨烯溶液→離心→-18°C, 24 hr 冷凍→噴入 1% TPP→0.1M 氯化鈉溶液中超音波震盪→烘箱 | 導電性屬半導體、可提升 I <sup>-</sup> 的氧化還原轉換效率<br>可彎曲、不碎裂能替代 ITO 玻璃 |
- 二、 探討以自製電極製成太陽能電池的方法，經實驗五～九的最佳化條件，得到**單顆電池電壓 0.6 V、電流 29 mA、平均電功率 19.58 mW**，以 500 W/cm<sup>2</sup> 光照 7 天，電池組平均電功率仍有 31.21 mW。

自製太陽能電池	製程	特色
	自製電極→放銅箔（鋁網）→烘箱 55°C, 4 hr→銅箔加碳黑→鋁網上塗 TiO <sub>2</sub> →加 KIO <sub>3</sub> /KI、花青素/葉綠素天然染料→封裝	串聯 3 顆太陽能電池 Led 開始亮 單顆電池電功率是參考文獻 2 倍 具高抗衰減能力。 安全、可推廣至生活及教具使用

- 三、 自製太陽能電池經實驗一～九的最佳化條件，得結構示意圖

自製太陽能電池結構示意圖	展望
	期望未來能對幾丁聚醣氧化石墨烯混合膜進行表面性質改質，希望能研發出奈米級電洞，增加染料的吸附量，有效的利用綠能生產出發電久、低成本的綠色太陽能電池。

參考文獻資料

- 許睿恩等 (2024)。自製幾丁聚醣化身紋身貼紙。中華民國第 64 屆中小學科學展覽會。
- 蔡佳霖等 (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。
- 林邑柔等 (2023)。蟹殼「銅」「鋁」來電-環境友善光電強化銅鋁電池的探討。中華民國第 63 屆中小學科學展覽會。
- 李清華 (2017)。綠色環保質子交換膜合成製造方法。  
<https://patents.google.com/patent/TW1632178B/zh>
- 實驗十八 簡易染料敏化太陽能電池製作 (2025)。Pressbooks。  
<https://pressbooks.pub/gchemlab1/chapter/chemlab2-18/>