

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高職組 化工、衛工及環工科

最佳團隊合作獎

091105

光敏電池與自製電表

學校名稱：國立臺南高級工業職業學校

作者： 職二 王政鑫 職二 楊博翔 職二 陳泓任	指導老師： 黃文宏 陳村銘
---	-----------------------------

關鍵詞：葉綠素、光敏電池、電壓表

摘要

在現代科技不斷的發展之下，人們無意之間消耗了許多自然資源進而造成地球暖化，而現在各界的環保意識抬頭，都想要找出可以減緩地球暖化的替代能源，藉此有很多新聞都報導出近幾年研究出來的各種運用再生能源的裝置或配備，因此引起我們對於研究能源的興趣。

民國 97 年一位虎尾科大的教授帶領著學生做研究，研究出了一種有機電池，因為這個電池可重複使用的性能再加上低污染而且成本又不高，在台北國際發明展得到了金牌獎的佳績。當我們看到這則報導之後，馬上興起了研究的念頭，想要了解這號稱”無污染有機葉綠素電池”的秘密，藉由研究太陽能葉綠素光敏電池的主題，把最主要的材料——葉綠素進行改造，並且改造出發電效能比較好的電池裝置。

壹、研究動機

在一年級的化學課中有提到，葉綠素是一種以鎂離子(Mg^{++})為中心的大型分子，而且根據資料，葉綠素的性質會因為中心離子的改變而有所差異。而本團隊又從相關文獻中發現，在萃取葉綠素的過程之中，如果是以矽膠層析萃取法(Silica Gel Extration)所萃取之葉綠素的中心鎂離子，因為矽膠會吸附陽離子的特性而被吸走，並且再由兩個氫來和葉綠素分子連結，形成脫鎂葉綠素。藉此可由填充不一樣的二價金屬離子來改造出以不同離子為中心的葉綠素分子，最後再以改造過的葉綠素來製造出光敏電池。

而自製電表的部分，我們採用電子實習課所學的 ADC0804 做資料的類比轉數位，之後將資料丟至單晶片 89C51 做數字轉換。至於電腦程式方面，我們則是採用 KEIL C 來撰寫，配合海神系統的模擬，再由 LCD 模組或七段顯示器作顯示，輸出正確的電壓數值。

本團隊是由化工科和電子科的學生所組成，化工科的組員負責研究葉綠素的改造和發電的原理。而電子科的組員則運用在學校所學到的單晶片與程式來製作出測量電池電壓的電壓表，進而檢測改造之後的電池。

貳、研究項目

- (一)自製電壓表
- (二)改變葉綠素中心的離子並製成電池並比較
- (三)感光層的厚度與電壓大小比較
- (四)移除電池構造之試驗
- (五)改變可見光顏色比較電池之電壓
- (六)電池連續照光之發電持久程度

參、研究設備及器材

一、自製電壓表

1. ADC0804 (含座)
2. 單晶片 89S52 (含座)
3. 電阻(10K Ω)
4. 陶瓷電容(150P、20 μ 、10 μ)
5. 按鈕(重置 reset)
6. 石英晶體(12Hz)
7. 液晶顯示器或七段顯示器
8. 數位電表(對照用)
9. 儲存式示波器

二、葉綠素光敏電池製作

1. 導電玻璃(FTO)
2. 經矽膠萃取之葉綠素
3. 硫酸銅
4. 硫酸鋅
5. 氯化鎂
6. 氯化鈣
7. 丙酮
8. 碘化鉀
9. 碘酒
10. 秤量瓶
11. 250(毫升)燒杯
12. 滴管
13. 長尾夾
14. 烘箱
15. 蠟燭
16. 玻棒
17. 照明燈
18. 玻璃紙

肆、實驗原理

一、自製電壓表

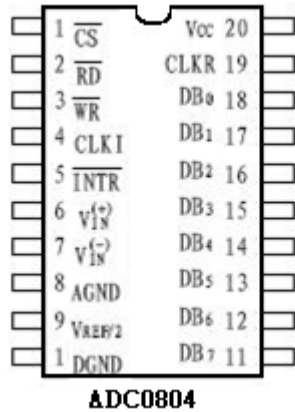
數位 / 類比轉換器一般簡稱 ADC (Analog to Digital Converter)，ADC 主要功能是将自然中的類比訊號，像是：溫度、電壓、重量或亮度，轉換成微電腦可以處理的數位訊號。

這次的實驗中，我們將利用 ADC 把電壓轉成數位訊號，經由 Keil C 的處理後，在由 LCD 或 LED 顯示出來。當電壓有所增減時，LCD 或 LED 的顯示值也會有相對應的改變。

(一)特性

1. 須接 5V 的工作電壓
2. 類比電壓輸入範圍為 0 至 5V
3. 參考電壓 (Vref) 可自行設定，若空接則為 2.5V
4. 轉換時間(穩態時間)為 100 微秒
5. 解析度為 8 位元
6. 誤差為 ± 1 LSB
7. 差動式類比電壓輸入，三態式數位輸出

(二)接腳介紹：



PIN1 (CS)：Chip Select，晶片選擇。

PIN2 (RD)：Read，讀取輸入。當 CS、RD 皆為致能時，ADC0804 會將轉換完的數位訊號經由 DB7 ~ DB0 輸出處理單元。

PIN3 (WR)：將類比轉換成數位信號。當 CS、WR 皆為致能時，系統重置，INTR 設定為 1，當 WR 由 0→1 且 CS = 0 時，ADC0804 將會開始轉換信號。

PIN4、PIN19 (CLK IN、CLKR)：時脈輸入/輸出。時脈輸入可直接處理單元的時脈訊號，而輸入訊號頻率範圍為 100 kHz 至 800 kHz，輸出頻率最大值不可大於 640kHz，一般可選用外部或內部來提供時脈。

PIN5 (INTR)：中斷請求，為低態致能。等到完成一週期時，INTR 將會由 1→0，告知處理單元完成轉換，已可讀取數位資訊。

PIN6、PIN7 (VIN+、VIN-)：類比輸入電壓的差動輸入端，輸入電壓 $V_{in} = V_{in(+)} - V_{in(-)}$ ， $V_{in(-)}$ 通常為接地，而 $V_{in(+)}$ 是輸入轉換之類比電壓訊號，ADC0804 會將 V_{in} 轉換成數位訊號。

PIN8 (A GND):類比電壓的接地端。

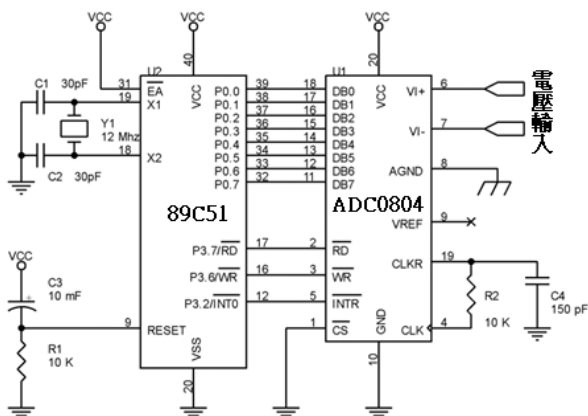
PIN9 (VREF / 2)：類比參考電壓輸入端。Vref 為類比電壓 V_{in} 的上限值。若 PIN9 空接，則 V_{in} 的上限值即為 V_{cc} 。

PIN10 (D GND)：數位電壓的接地端。

PIN11 ~ PIN18 (DB7 ~ DB0)：轉換後之數字數據輸出端。

PIN20 (Vcc)：電壓輸出端。

(2) 電路圖:

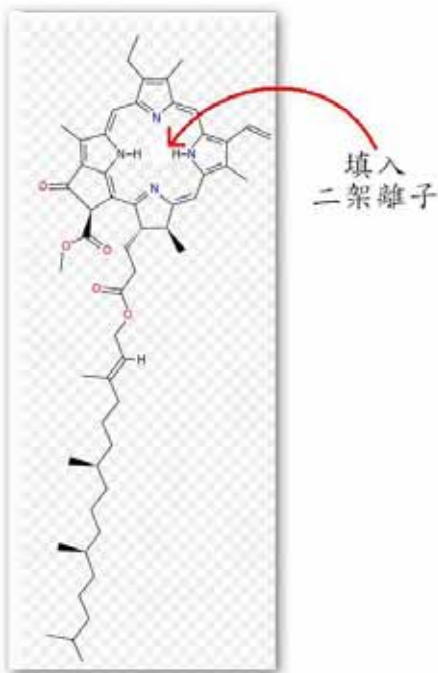


二、改變葉綠素中心的離子並製成電池並比較

(一)葉綠素和其中中心離子之取代

葉綠素(chlorophyll)是參與光合作用的主要色素，它存在植物細胞內的葉綠體中。葉綠素反射綠光並吸收紅光和藍光，使植物呈現綠色。葉綠素有若干形式，其中最重要的一種是葉綠素 a。它普遍存在於陸生植物、綠藻和藍綠菌中。葉綠素是所有生物最終依賴一種能特殊接受光激作用的化學物質。

根據資料，葉綠素 a 如果是由矽膠(silica gel)萃取而出，葉綠素分子中心的鎂離子會因為被矽膠吸附而離開葉綠素本體，造成葉綠素分子有“中空”的現象發生(其原本配位鍵的彼端由氫取代之)，並且可藉由浸泡在不同之二價陽離子溶液中而讓該陽離子進入葉綠素分子中，進而讓葉綠素進行改造，且葉綠素的性質(光譜、電化學性、光電性和反應能力)會因為分子內部的離子改變而有所差異。



如圖，葉綠素中心的兩個氮原子為配位原子(Coordination Atom)，在金屬鎂離子被萃取抽離 後轉而由兩個氫所取代。所以若要將其他二價離子使之進去葉綠素配體中，讓其離子將兩個氫去除，因而對兩旁的氮形成配位鍵而再次穩定下來。這種“離子交換”的反應沒有牽涉到鍵節的破壞所以該配合物的反應在分子和離子接觸的瞬間就會取代，所以葉綠素浸泡於離子水溶液的時間並沒有多加以討論。

↑葉綠素 a 改造圖

(二)葉綠素光敏電池之發電原理

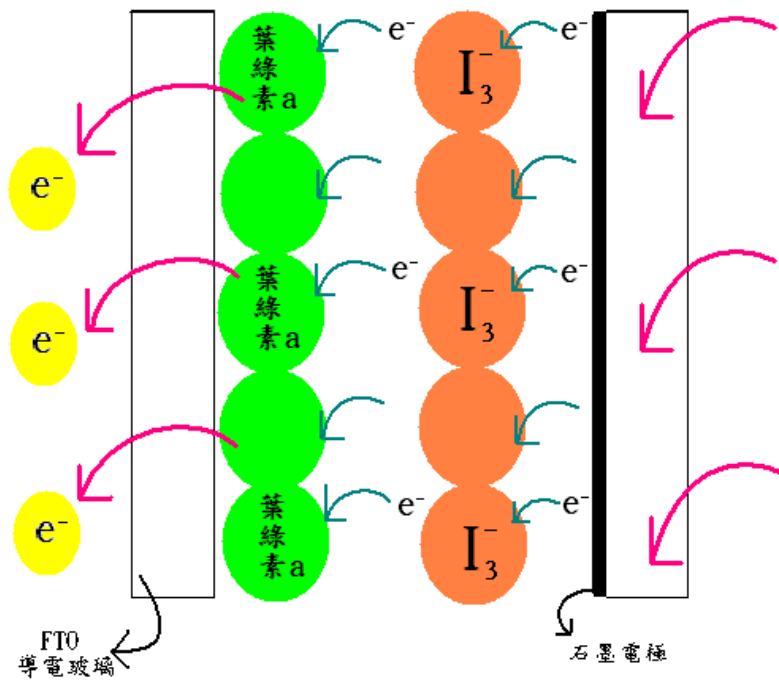
此發電裝置(第一代)之設計理念是希望將葉綠素激發電子的機制應用在太陽能發電上，其反應之原理由光照葉綠素使能量聚集於葉綠素a分子並激發出電子，傳至FTO導電玻璃再傳到外部負載，再藉由電解液協助失去電子的激發態葉綠素還原成穩定的基態。最後電子從另一片塗之碳之FTO電極回到電池中，並使電解液產生還原反應，使反應重複進行。

而在這之前有許多關於光敏電池的實驗研究，比如傳統式的染料光敏電池，有別於本團隊研究是傳統光敏電池以染料塗在二氧化鈦層上，再藉由染料照光給予能量至二氧化鈦，電子再藉由二氧化鈦傳出到外部負載，最後再經由電解液重複此發電反應。本團隊的研究於是乎就是以葉綠素層代替傳統光敏電池的感光劑(染料+二氧化鈦)，並且以環保、低耗能為原則改良出來的太陽能電池。

繼第一代之後有學者研發出第二代的葉綠素光敏電池，其發電原理與第一帶大同小異，唯有不同之處是第二代電池中多添加了奈米金(Nano Au)，奈米金可以有效的吸附葉綠素分子，藉此可增加葉綠素分子之吸光表面積，並且提升其激發電子的效率。

此外第一代葉綠素電池因為葉綠素激發電子後，電子並無法迅速傳至導電玻璃，而導致發電效果頗為不佳，所以設計添加奈米金，亦可使激發的電子快速傳至導電玻璃，改進第一代之缺點。

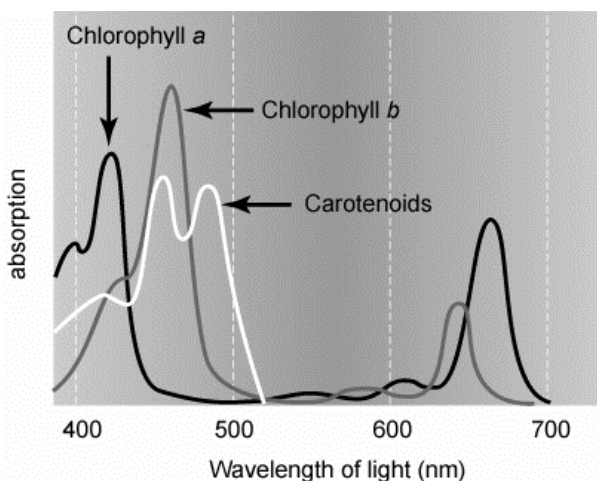
雖然第二代葉綠素電池雖然可以藉由奈米金快速將電子傳導至外部負載，但葉綠素激發的電子仍不易朝同一方向行進，有可能因為電子朝反方向前進而導致發電效果不佳，使能量耗損，因此研發出了第三代葉綠素電池，第三代電池將設計加入導電層(electric conduction layer)使電子可乖乖的朝同一方向移動，改進電子因沒有固定方向而亂跑造成電池能量耗損的缺點。



↑ 葉綠素電池發電原理圖

(三)可影響葉綠素反應之可見光源

葉綠素之所以為綠色是因為其分子會反射綠光而吸收其他的可見光譜，其中吸收紅色和藍色居多。但是由上述可知，若我們以綠光照射葉綠素，則大部分光線都會被反射回去，進而造成光和反應的效率大幅減少；反之如果只用波常大約為 680~700nm 且比較容易被吸收的紅光去照射，則光和反應效率會大幅提升。(如下圖)



← 葉綠素 a、b 的吸收光譜圖

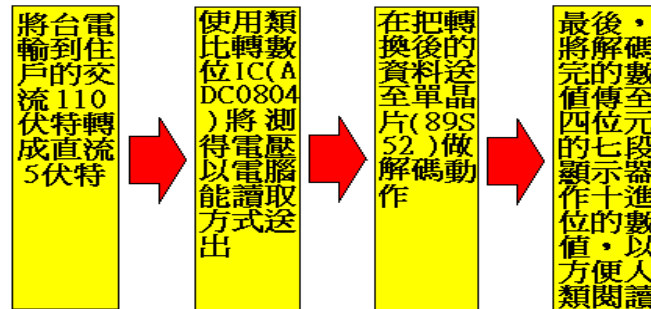
伍、研究過程

一、電壓表製作

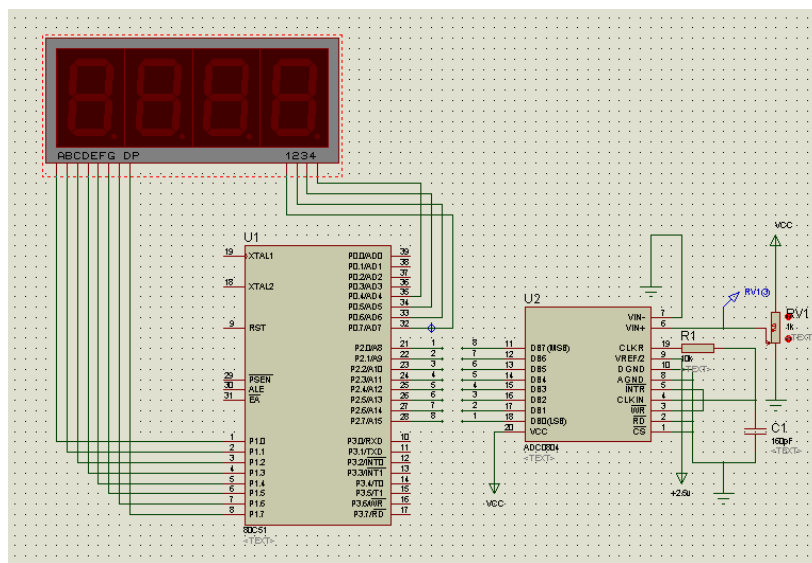
CS(PIN1)與RD(PIN2)連接到接地端，再將 INTR (PIN5) 接到 WD (PIN3)

在接到單晶片的 P3_2，當程式一開始時輸出一脈波，ADC 即可隨時讀取第六隻腳輸入的信號，再將 ADC 轉換出的數位資料(由第 11 到第 18 腳輸出)接至單晶片 89S52 的 P2(21 到 28 隻腳)，由程式控制輸入信號，做數字的轉換，再將轉換後的數值丟到七字節 (7-SEG)，最後七字節做數值輸出。

流程圖：



模擬圖：



二、改變葉綠素中心離子並製成電池比較

(一)設計實驗：

依照原理中提到葉綠素可以被改造之後，在此研究項目中一一將各種已經被改造過的葉綠素做成電池並且比較其中發電的電壓差別。本組除了運用已改造過的葉綠素之外，還做了一組以”空心”的葉綠素製成的電池做為空白試驗，另外也是為了探討葉綠素 a 在中心無離子的狀態之下是否有光和反應的能力。本組嘗試鈣(Ca)鎂(Mg)鋅(Zn)銅(Cu)等四種金屬的二價離子來做比對，其中會取金屬鎂的原因是想把葉綠素變成原本大自然中以鎂為中心的狀態，相較其他三種的電壓比較有參考。

(二)實驗步驟:

*Step1:*以乾淨的細鐵絲取出經由矽膠所萃取出之葉綠素 a 約 0.01~0.02 克並取 5 次分別放入秤量瓶中蓋上蓋子瓶備用。

*Step2:*取一罐以經秤好之葉綠素 a 逐滴加入 2 毫升丙酮，在以細玻璃棒輕輕攪拌至膠狀葉綠素 a 均勻分散在丙酮溶液中。

*Step3:*取一片 FTO 導電玻璃，將 Step2 調配出來之溶液滴在 FTO 表面上，重複以攝氏 70 度烘箱溫度烘乾至整面 FTO 都覆蓋上一層葉綠素為止。註 1

*Step4:*再取一片 FTO 將其放置蠟燭(或本生燈)之還原焰上，還原焰中有原子化的碳粒，一旦缺氧將造成燃燒不完全的碳均勻附著在 FTO 上，進而形成電池所要之石墨電極。註 2

*Step5:*將由 1.25g 碘化鉀和 10ml 碘酒配好之點錯離子水溶液平均滴在 Step3 所完成之 FTO 上，再將 Step4 之塗炭 FTO 電極小心的疊上有葉綠素和電解液的 FTO，切記要左右留約 0.3~0.4 公分露出至外面以外部負載之用，最後再以小長尾夾固定電池裝置，葉綠素光敏電池即成。

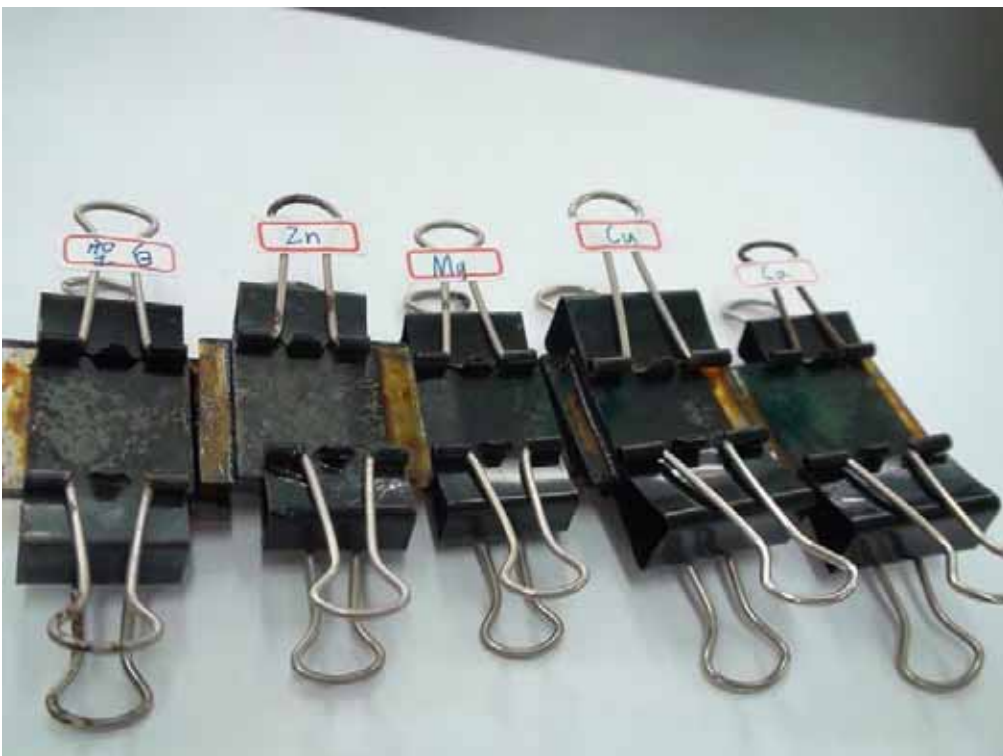
*Step6:*在普通日光照射下用自製之電壓表測量各試驗電池所產生的電壓數值並做比較。

*Step7:*在做鎂、鈣、鋅、銅離子之試驗時，必須將原秤好之葉綠素分別浸泡在飽和之氯化鎂、氯化鈣、硫酸鋅、硫酸銅水溶液約 5~10 毫升，以玻璃棒攪拌均勻之後靜置約 15~20 分鐘，以確保金屬離子可以順利進入空心的葉綠素分子內部註 3，隨後將溶液移除，再重複 Step2~Step5 即可製成 4 種改造後葉綠素之光敏電池，最後分別以標籤指標示試驗的離子種類即可。

註 1:在烘乾丙酮時烘箱溫度不可調太高，大約在攝氏 40~50 度，葉綠素屬於熱敏感物質，若烘乾時溫度太高則會導致葉綠素被分解。

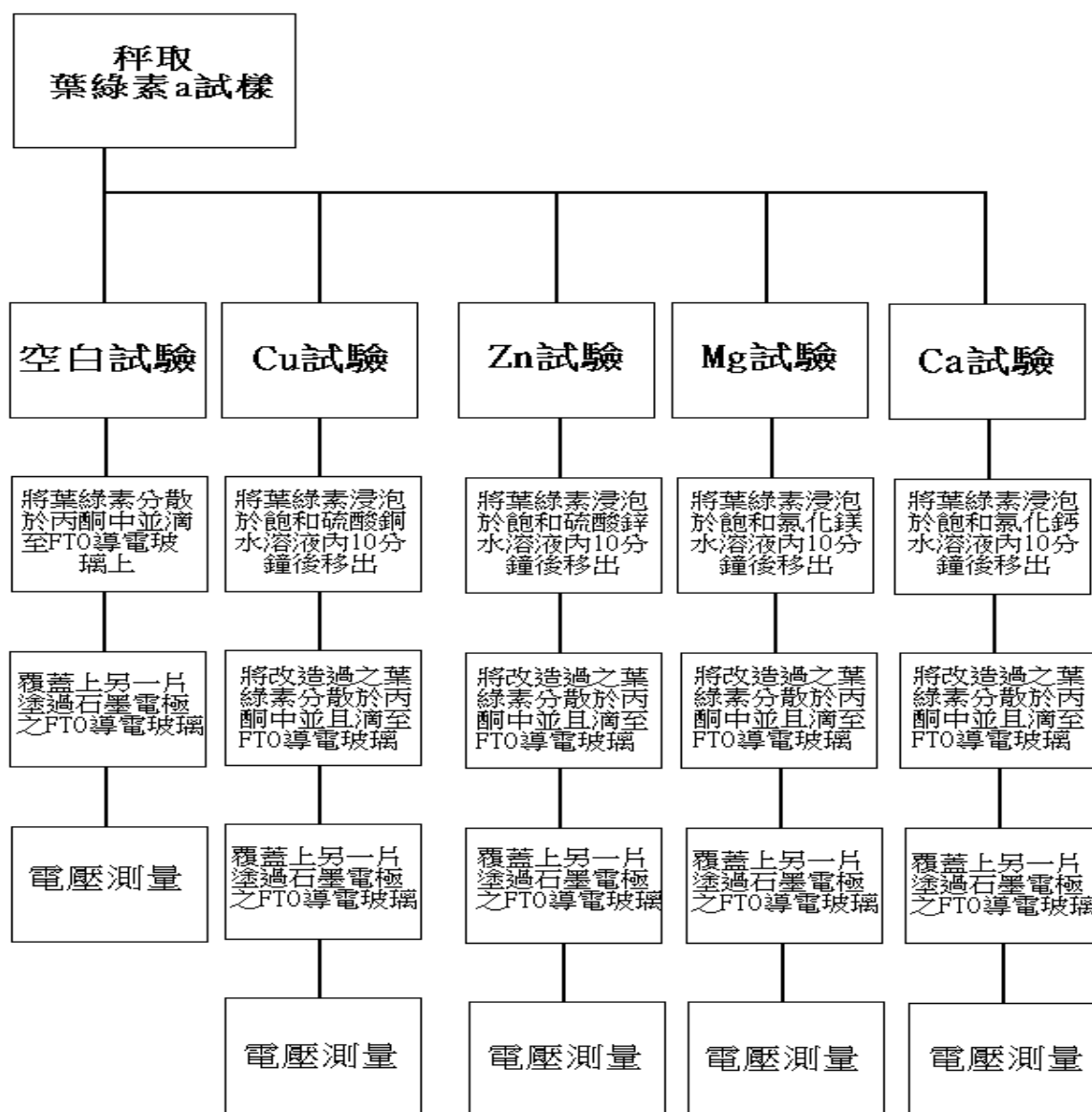
註 2:要塗炭電極必須把玻璃放置於蠟燭火焰之還原焰上，但要注意不可太靠近焰心，以避免被焰心四周未燃燒之蠟蒸氣附著，影響導電品質。

註 3:因為此時葉綠素為膠狀在水中不易攪拌，故將其薄薄的塗在壁面浸泡極可。



←各試驗之成品

研究項目(二)流程圖



三、感光層的厚度與電壓大小比較

(一)設計實驗:

太陽能光敏電時的結構有分為感光層、導電層、電子傳輸層，感光層指的就是感受光產生反應且放出電子的葉綠素 a 薄膜，導電層主要為電池內部用以幫助電子移動的電解液(碘錯離子)，電子傳輸則由塗炭的 FTO 導電波離和外部連接的裝置負責(如:電線)，而此研究項目就是為了要探討導電層中葉綠素 a 薄膜的厚度是否會對此電池產生的電壓有所影響。

(二)實驗步驟:

Step1:經由實驗項目(二)得知，以銅離子下去改造之葉綠素之電池有效強之發電效果，所以就以銅試驗的電池來做此項試驗。

Step2:首先精確秤取 0.0006、0.0023、0.0051、0.0078、0.0102、0.0458、0.0627 克之 7 組原葉綠素式樣，再將其個別均勻塗抹在秤量瓶內使其在內壁形成一層薄膜，再以大約飽和之硫酸銅水溶液 5~10 毫升浸泡 15~20 分鐘過後將水溶液移除，加入丙酮使浸泡過銅離子的葉綠素分散在丙酮溶劑之中，並貼上標籤儲存備用。

Step3:分別將 Step2 及 Step3 之銅葉綠素樣本以滴管分別滴在兩片 FTO 導電玻璃上並且以烘箱同時烘乾，烘乾後重複動作，使剛剛調配之銅葉綠素式樣均勻分布在兩片 FTO 導電玻璃上，分別貼上標間以防混淆。

Step4:另取導電玻璃，將兩片的導電面以蠟燭燒上碳電極，最後在將兩片塗上銅葉綠素式樣的導電玻璃小心蓋上，並且將電解質由夾縫中滲透進入電池內部再固定整顆電池結構。

Step5:分別照射普通日光約 10 分鐘，以自製電表測量其中產生之電壓。

四、移除電池構造之試驗

(一)設計實驗:

本團隊在研究電池的過程之中發現到，既然這種光敏電池內部結構只要完整就可以正常運作，如果移除掉所有構造條件中的其中一個，最後製成之電池是否還可以正常運作發電？藉此以討論電池在改變其內部結構的情形下的反應情況並且加以討論。

依據以上的實驗方向，本團隊將變因做了以下改變，除去葉綠素、除去電解質、除去塗碳電極等，做出試驗成品之後再測量其發電的程度。

(二)實驗步驟:

Step1:(移除電解液)秤取 0.01~0.02 克原葉綠素，再以同樣浸泡方將其變成以銅為中心之葉綠素，浸泡後將溶液移除並淋洗，再以丙酮分散後備用。

Step2:將 FTO 導電玻璃以 Step1 製備之葉綠素用烘乾溶劑的方法均勻塗在 FTO 表面上。

Step3:另取 FTO 導電玻璃，利用蠟燭火焰將一層碳均勻燻上 FTO，將 Step2 與碳電極合在一起，兩邊保留 0.3~0.4 公分，最後再以長尾夾固定即成。

Step4:(去除碳電極)秤取 0.01~0.02 克原葉綠素，再以同樣浸泡方將其變成以銅為中心之葉綠素，浸泡後將溶液移除並淋洗，再以丙酮分散後備用。

Step5:將 FTO 導電玻璃以 Step4 製備之葉綠素用烘乾溶劑的方法均勻塗在 FTO 表面上。

Step6:另取 FTO 導電玻璃，將事先配好之碘電解液滴在玻璃表面，將 Step5 與只滴上電解液之 FTO 合在一起，兩邊保留 0.3~0.4 公分，最後再以長尾夾固定即成。

Step7:(移除葉綠素) 取一片 FTO 導電玻璃，利用蠟燭火焰將一層碳均勻燻上 FTO，等待冷卻配用。

Step8:另取 FTO 導電玻璃，將事先配好之碘電解液滴在玻璃表面，將 Step7 與只滴上電解液之 FTO 合在一起，兩邊保留 0.3~0.4 公分，最後再以長尾夾固定即成。

Step9:將以上製成之 3 組電池在相同燈光下照射 10 分鐘，再個別以電表測量是否具有發電能力。

五、改變可見光顏色比較電池之電壓

(一)設計實驗:

根據葉綠素光合作用激發電子的反應中由，葉綠素a反應的中心是對可見光波長約 680nm~700nm的光較敏感的的分子，而其他葉綠素僅僅作為幫助吸光的色素，其吸光後會將能量傳遞給葉綠素a。因此本研究內容以白光、紅光、藍光、綠光照射葉綠素電池，比較其對電池發電影響，其中又以不照光的方式進行發電觀察電池在沒有光線下是否可進行發電進而產生電壓。

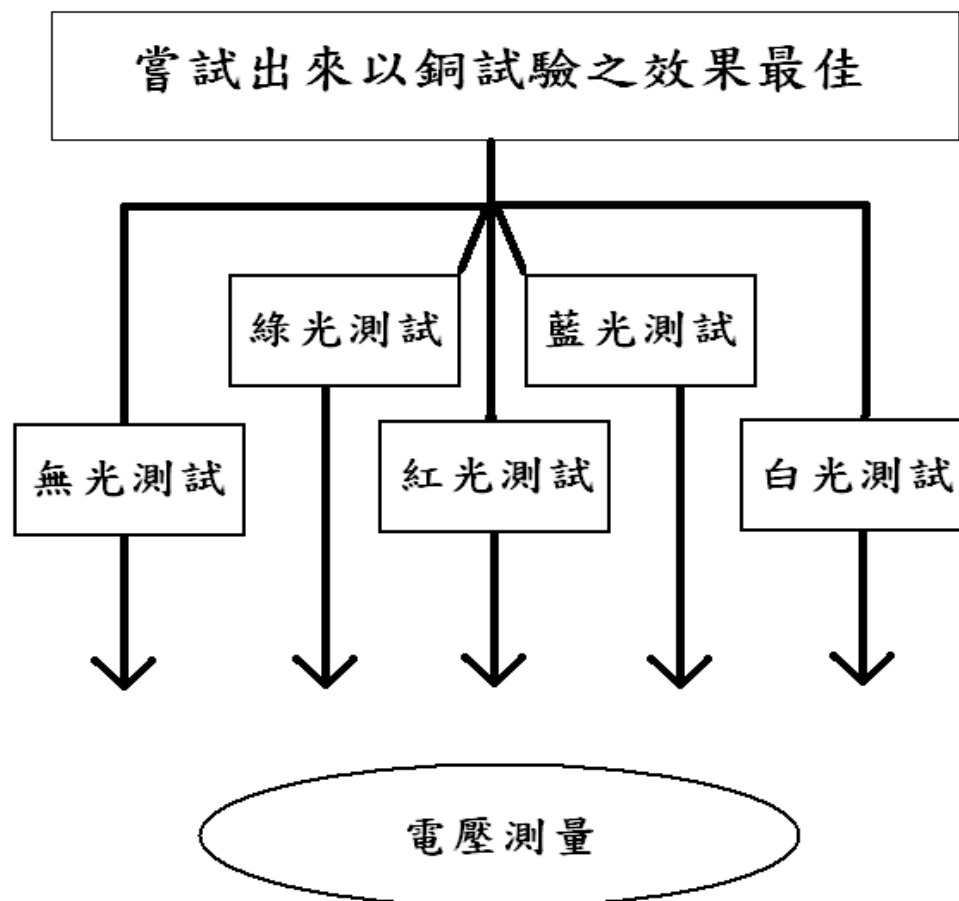
(二)實驗步驟:

Step1:經由實驗項目(二)和(三)得知，以銅離子下去改造之葉綠素且擁厚度適當之感光層之電池有較強之發電效果，所以就以銅試驗的電池來做此項試驗。

Step2:使用照明燈，並在旁邊準備紅色、藍色、綠色之玻璃紙，目的是將玻璃紙覆蓋在燈上產生各種顏色的光來刺激葉綠素電池。

Step3:葉綠素電池在被各種色光照射約20分鐘後用自製電壓表測量電池產生之電壓並做比較。

研究項目(三)流程圖



六、電池連續感光之發電持久程度

(一)設計實驗:本團隊在此實驗項目之下目的就是要探討如果以結合前面幾項實驗結果比較後製成之較優良光敏電池在持續照光的環境之下，是否可以一直反應出電壓，也進一步尋找此電池裝置的壽命，以便討論其實用性。

(二)實驗步驟:

Step1:將研究項目(三)所得發電較之電池連續照光 12 小時。

Step2:利用示波器等電子設配連接此電池，並連續觀察其發電的情形，直到該電池再也無法因照光而產生電壓為止。

Step3:重複製作電池進行多次試驗並記錄平均結果。

陸、研究結果

一、電壓表製作結果

自製電壓表經過海神的模擬後可以成功的測得待測物所產生的電壓，但是比起一般市面上的電表還是有大約 2~4%的標準偏差。

拿空白試驗之電池電壓作比較，兩次測試分別照光 20 分鐘後再拿到暗室進行測量，作第二次試驗之前必須等到第一次試驗產生之電壓完全消失方可進行，經過本組自製電表實際測得之平均電壓大約為 0.3731 伏特，同樣條件下用市面上的電壓表測得知數據為 0.3850，計算過後之平均偏差範圍大約在 3% 左右。

二、改變葉綠素中心離子並製成電池比較結果

試驗過程本組統一將此 5 種試驗樣品製成的電射日光 20 分鐘，並起在日照後馬上放入昏暗的室內進行以自製的電表行電壓檢測。

最後測得知數據為空白試驗可產生 0.3872 伏特的平均電壓，同時電壓數值開始下降，再經過 4 分鐘此試驗電池大部分電量消失。

鈣試驗可產生 0.0879 伏特的平均電壓，同時電壓數值開始下降，再經過 3 分鐘此試驗電池大部分電量消失。

鋅試驗可產生 0.2728 伏特的平均電壓，同時電壓數值開始下降，再經過 4 分鐘此試驗電池大部分電量消失。

銅試驗可產生 0.4938 伏特的平均電壓，同時電壓數值開始下降，再經過 6 分鐘此試驗電池大部分電量消失。

鎂試驗可產生 0.1924 伏特的平均電壓，同時電壓數值開始下降，再經過 4 分鐘此試驗電池大部分電量消失。

試驗項目與電壓之關係，如下表：

試驗項目	銅試驗	鎂試驗	鋅試驗	鈣試驗	空白試驗
結果					
最大電壓(v)	0.4938	0.1924	0.2728	0.0879	0.3872
總電量維持時間(min)	6.1	4.3	4.4	3.0	4.4

三、感光層的厚度與電壓大小比較結果

依據七組都以銅為式樣的電池做比較，一樣統一照射普通日光 20 分鐘後立即拿到昏暗室內進行電壓測量。

感光層厚度 0.0006 克之電池可產生 0.2581 伏特的平均電壓，同時電壓數值開始下降，再經過 3 分鐘此試驗電池大部分電量消失。

感光層厚度 0.0023 克之電池可產生 0.2790 伏特的平均電壓，同時電壓數值開始下降，再經過 3 分鐘此試驗電池大部分電量消失。

感光層厚度 0.0051 克之電池可產生 0.3108 伏特的平均電壓，同時電壓數值開始下降，再經過 4 分鐘此試驗電池大部分電量消失。

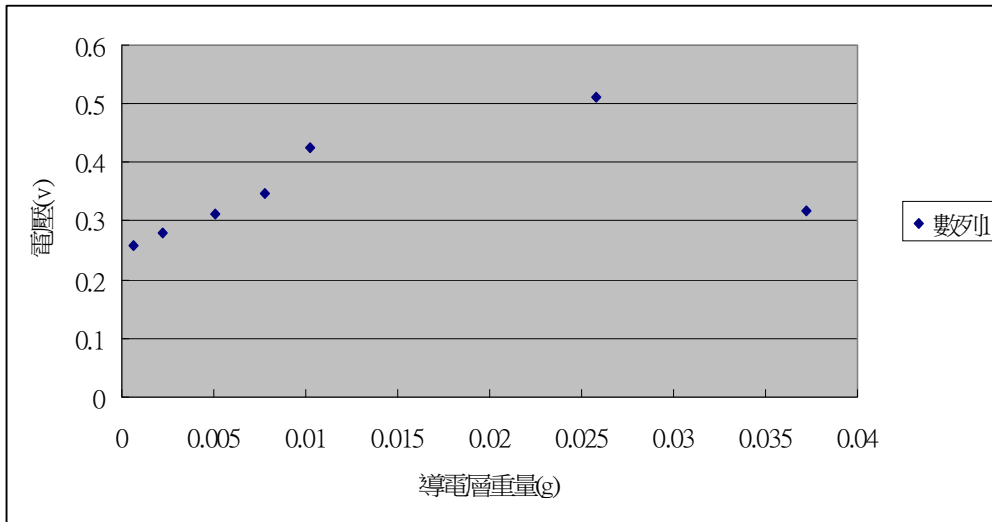
感光層厚度 0.0078 克之電池可產生 0.3458 伏特的平均電壓，同時電壓數值開始下降，再經過 4 分鐘此試驗電池大部分電量消失。

感光層厚度 0.0102 克之電池可產生 0.4261 伏特的平均電壓，同時電壓數值開始下降，再經過 4 分鐘此試驗電池大部分電量消失。

感光層厚度 0.0258 克之電池可產生 0.5120 伏特的平均電壓，同時電壓數值開始下降，再經過 5 分鐘此試驗電池大部分電量消失。

感光層厚度 0.0372 克之電池可產生 0.3166 伏特的平均電壓，同時電壓數值開始下降，再經過 3 分鐘此試驗電池大部分電量消失。

試驗項目與電壓之關係，如下表:



四、移除電池構造之試驗的結果

本試驗將 3 組改變構造之電池在普通日光下照射約 20 分鐘，最後將其拿至暗室測量各組試驗產生之電壓。

移除電解液之電池可產生 0.0002 伏特的平均電壓，電壓數值馬上消失。

移除碳電極之電池可產生 0.2103 伏特的平均電壓，同時電壓數值開始下降，再經過 3 分鐘此試驗電池大部分電量消失。

移除葉綠素之電池可產生 0.0001 伏特的平均電壓，電量數值馬上消失。

試驗項目與電壓之關係，如下表:

試驗項目	移除電解液	移除碳電極	移除葉綠素
結果			
最大電壓(v)	0.0002	0.2103	0.0001
總電量維持時間 (min)	0	3.4	0

五、改變可見光顏色比較電池之電壓的結果

本試驗將研究項目(二)和(三)得到之最高發電力電池進強測試，分別以無光、紅光、綠光、藍光、白光的環境下照射 20 分鐘，完成後立即送到暗室內進行電壓的測量。

實驗過後在無光試驗中，電池最後測得的平均電壓為 0.0001 伏特，電壓立即消失。

在紅光試驗中，電池最後測得的平均電壓為 0.5027 伏特，並維持 3 分鐘後電壓開始下降且速度緩慢，再過 5 分鐘之後此電池產生之大部份的電壓消失。

在綠光試驗中，電池最後測得的平均電壓為 0.0273 伏特，並維持 1 分鐘後電壓開始下降且速度緩慢，再過 1 分鐘之後此電池產生之大部份的電壓消失。

在藍光試驗中，電池最後測得的平均電壓為 0.4852 伏特，並維持 3 分鐘後電壓開始下降且速度緩慢，再過 5 分鐘之後此電池產生之大部份的電壓消失。

在白光試驗中，電池最後測得的平均電壓為 0.4452 伏特，並維持 3 分鐘後電壓開始下降且速度緩慢，再過 6 分鐘之後此電池產生之大部份的電壓消失。

試驗項目與電壓之關係，如下表:

試驗項目 \ 結果	白光	藍光	綠光	紅光	無光
最大電壓(v)	0.4452	0.4852	0.0273	0.5027	0.0001
總電量維持時間(min)	5.8	4.9	0.8	5.5	0

六、電池連續感光之發電持久程度的結果

本項實驗用以檢測電池在同時受光同時放電的情況下受命長短和其電壓之穩定性。經由 12 小時的紀錄可得，電壓最高可至 0.5127，但並不穩定。在接近結束時間時，電壓值大小的起伏的情形增加。

雖說電壓不穩，但在檢測全程都有電壓產生，將來可望延長其檢測時間找出該電池真正可使用的時間範圍。

柒、討論

一、電壓表製作

Q:為何會有此種偏差產生?

Ans:再海神模擬器中電壓表可以測得電池產生電壓的正常理論值，但由於真實作出來之電壓表內部產生的負載效應(Load Effect)，電表測量之數據無法猶如市面上電壓表那般精準而產生偏差值。未來可以藉由善其電路連接方式來減緩裝置內部的負載效應。

二、改變葉綠素中心離子並製成電池比較

Q:為何會產生如此的強度排序?

Ans:此電池主要產生之電壓原因為葉綠素受到光刺激而排出電子，有可能電子是由葉綠素中心的離子放出。元素放出電子視為一種氧化反應，在討論其氧化電位的大小下發現大小依序為鈣>鎂>鋅>氫>銅，又因為氧化電位越小之元素越容易放出電子，所以此項實驗極有可能是由中心離子氧化之電位大小而決定的。

Q:為何在日照過後需要放置暗室中測量?

Ans:因為避免在日照過後回到室內測量時，電池會因為室內的光線而繼續發電影響數據因而產生誤差。

Q:為何這幾種電池都有電量低且維持不久之狀況?

Ans:因為本組實驗的成品為第一代葉綠素薄膜電池，所以葉綠素並不是可以完全的反應而將電子移出至 FTO，再加上此結構並無可引導電子移動方向的電場，所以有可能會因為電子無方向性的亂跑而抵消電壓數值。

三、感光層的厚度與電壓大小比較

Q:為何並不是感光層最厚的電池產生的電壓最大?

Ans:在感光層之葉綠素都有塗抹均勻之條件下，雖然較厚的感光層可以讓多一點的葉綠素分子受光而放出電子，但是如果數量太多又沒有適當的導流情況下反而會造成電子移動方向不

一定而抵消電壓。而且厚度不宜太厚的原因是此電池必須有效感光為原則，若厚度太大會造成內部的葉綠素無法受到刺激而產生電子。

四、移除電池構造之試驗

Q:為何移除電解液則無法產生電壓?

Ans:電解液本身做為內部循環反應之媒介，若去除此媒介則無法達成電子循環反應之目的。

Q:為何移除碳電極仍有電壓產生?

Ans:作為正極之塗碳 FTO 本身就是輔助電子的傳送，雖 FTO 沒有塗上碳作為電極，但 FTO 本身就可以導電，所以只是導電能力減少，並無影響電池內部反應。

五、改變可見光顏色比較電池之電壓

Q:為何以綠光照射電壓會很低

Ans:葉綠素本身為二氫卟吩的綠色色素組成，之所以是綠色是因為反射率素的可見光，所以當我們以綠光去照射電池時因為光線大部分都被反射回來而使本身反右放出的電子數量降低。

Q:為何在無光環境下會測量到極低但是存在的電壓?

Ans:因為本組實驗為光敏電池，所以理論上在無光環境下是不會產生任何電壓的，有可能是電池內部的物質自行反應而產生的電位差導致電壓產生，也有可能是在暗室中測量過程有感受到些許的光線而生成電壓造成的誤差。

六、電池連續感光之發電持久程度

Q:電壓起初明明穩定，為何過了一段時間後產生的電壓趨於不穩的狀態?

Ans:最後電壓會不穩定可能因為有些葉綠素失去效用所以造成電壓比起先前有些不穩定。因為葉綠素被萃取出來之後並不是很容易保存，極易因為環境因素而分解，固然造成電池發電效果之影響。

捌、結論

一、電壓表製作

可藉由改變電路板之線路來改善內部結構之負載效應，使其更適合且能夠準確測量電壓的數值。

二、改變葉綠素中心離子並製成電池比較

嘗試出來以銅試驗之 0.4938 伏特為最佳，鈣試驗之 0.0879 伏特最差。

三、感光層的厚度與電壓大小比較

實驗結果發現感光層厚度大約在 0.01~0.02 之間製成之電池發電較穩定，產生之電壓也較高。

四、移除電池構造之試驗

若只是移除碳電極上的碳層，電池仍可以運作，只是效果並不佳。其餘如果移除掉任何一項條件則此電池將無法進行反應。

五、改變可見光顏色比較電池之電壓

實驗結果若討論照射可見光之效果以紅光產生之電壓為最大，綠光產生之電壓最小，另外無光環境下無法產生任何之電壓。

六、電池連續感光之發電持久程度

電池在連續照光下可以不斷放出電壓，只是最後幾些時間電壓會趨向不穩定，可望在未來改造之後延長使用壽命及實用性。

玖、未來應用

太陽能是新能源開發利用最活躍的領域。目前市場上的太陽能電池主要是單晶矽和多晶矽兩種。但這兩種太陽能電池最大的問題在於工藝條件苛刻，製造成本過高，不利於廣泛應用。而上世紀 90 年代出現的葉綠素太陽能電池工藝條件簡單，成本較低，有可能成為 21 世紀太陽能電池的新貴。

葉綠素太陽能電池極有可能取代傳統矽系太陽能電池，成為未來太陽能電池的主導。

能源是世界經濟發展的首要問題，當前，許多國家都把發展新能源作為應對經濟復蘇的重要舉措。我國改善能源結構也必須積極發展可再生能源和新能源，不斷提高清潔能源在能源結構中的比重。

作為一種“取之不盡、用之不竭”的潔淨的天然能源，太陽能成為最有希望的能源之一。目前研究和應用最廣泛的太陽能電池主要是矽系太陽能電池，但矽系電池原料成本高、生產工藝複雜、效率提高潛力有限，其光電轉換效率的理論極限值為 30%，因此其民用化受到技術性限制，急需開發低成本的太陽能電池。

葉綠素電池的低耗能低成本和高回收率將會是未來能源的主要來源，若將最新一代的葉綠素電池進行改良後的電壓、持久性增加，也可在這個領域有極大的突破，同時也增進該光電池的實用性。

壹拾、參考資料

一、維基百科，關鍵字:葉綠素

取自 <http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%8F%B6%E7%BB%BF%E7%B4%A0>

二、維基百科，關鍵字:紫質

取自 <http://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%B4%AB%E8%B3%AA>

三、Hans Fischer(西元 1930)。諾貝爾生理醫學獎

取自 <http://www.bio.fju.edu.tw/excel/content06/detail/193x/1930.htm>

四、王淨樺、林芳而、陳柔伊(民 94)。「金」枝玉「葉」--奈米金與葉綠素的交互作用，第四十四屆中小學科展化學科

五、林鵬、黎上瑋、吳郁萱(民 98)。新型葉綠素電池的研究與開發，第四十九屆中小學科展化學科

六、謝疇榕(97)。應用在染料敏化太陽能電池之具推電子基紫質合成，中興大學化學系所論文，未出版。

七、染料敏化太陽能電池(DSSCs)未來應用前景廣闊，Yahoo 奇摩部落格。

取自 http://tw.myblog.yahoo.com/jw!33ywHnGTEQfNYp55CA_X8A--/article?mid=1323

八、GOOGLE 圖片搜尋:89S52、ADC0804

九、GOOGLE 搜尋:ADC0804 接腳介紹

一十、台科大圖書股份有限公司(民 99)。普通化學 II，第四章 p16-21。電化電池

一十一、台科大圖書股份有限公司(民 99)。普通化學 II，附錄 p16-17。標準還原電位表

【評語】 091105

1. 本作品以不同二價金屬離子取代葉綠素的鎂離子，進而探討取代後的葉綠素所製得光敏電池效能差異，並以自製電表量測產生的電壓。
2. 本團隊學生充分發揮團隊合作精神，對於研究分工良好，獲致本研究成果。
3. 本作品內容雖具前瞻，惟製作過程對於重要假設未能確認求證，致使實驗結果難以判斷，甚為可惜。
4. 建議宜先確認葉綠素中心離子確實已經被各種二價金屬離子取代，再進一步探討取代前後的差異；且宜同時量測電流，並計算轉換率，以具體評估效能。