

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 生活與應用科學科

佳作

040806

新式 TiO₂ 太陽電池研製—兼論利用熱處理方式
改良電池品質

學校名稱： 臺北市立大直高級中學

作者： 高二 鄭妤潔 高二 鄭伊婷 高二 林勁甫 高二 李尚澤	指導老師： 陳秉貴
---	--------------

關鍵詞：TiO₂、奈米太陽電池、高溫退火

壹、摘要

傳統的太陽電池大都是由矽、及 I-VI 族的砷化鎵製成。除了製作程序步驟繁複外，亦需極昂貴的儀器設備，對高中生研究環境來說算是很難達到的。所以本實驗採用較簡單的凝膠方式製作太陽電池薄膜，而且採用現在最熱門的 TiO_2 奈米材料製作太陽電池。本實驗之太陽電池曾在早期將 TiO_2 粉末製作成凝膠太陽電池薄膜，除了在數種不同光敏物質添加研究外，而這次本研究採用較新式的 TiO_2 酸性溶液為電池製作的主要材料，其間的差距在於實驗過程中添加了噴塗酸性溶液的濾網，使產生光電子的容納空間增加許多，產生光電流效率因而提升甚多。

另外本研究一種較創新的設計是將 TiO_2 凝膠薄膜(thin film)長時間退火所產生的缺陷(孔洞, void)變化。由退火時間加長及退火溫度提高可知 TiO_2 凝膠的空洞皆變大且減少甚多。如此本實驗太陽電池的照光電流亦提升甚多。退火後凝膠型太陽電池最大光電流可達 $80 \mu\text{A}$ ，酸性溶液太陽電池最大光電流可達 $90 \mu\text{A}$ 。退火前後的孔洞變化可經由光學(OM)、電子(SEM)顯微鏡加以觀察 TiO_2 凝膠薄膜表面的孔洞變化，另再配合孔洞密度計算測試(void density estimate, V.D.E.)去定量記錄退火前後的孔洞改變。本實驗 TiO_2 凝膠薄膜孔洞密度約為 $7\sim 9 \times 10^{12} /\text{m}^2$ ，最適當的退火(含退火時間、溫度適當控制下)下，孔洞密度可降至 $6 \times 10^{11} /\text{m}^2$ 以下，如此使奈米 TiO_2 太陽品質提升不少。

貳、研究動機

常在很多大學理工科系網站上看到他們有關奈米太陽電池研製的研究報告，而且絕大多數都以 TiO_2 為主要材料，另外這些報告也探討了很多研究方法。所以經由同學們與老師的討論我們就找了較易於高中實驗室現有設備可以製作的奈米氧化鈦(TiO_2)太陽電池，由於太陽電池原理基本是一種牽涉到電子施與受的氧化還原理論，所以決定從事此實驗研究主要仍是一種氧化還原定律的實踐(高一基礎物理第七章之各種能源介紹及能量守恆、基礎化學氧化還原、高二物質科學第七章之物理能量守恆定律、高三選修物理電子學之二極體理論)。由於我們已有初步製作奈米 TiO_2 太陽電池板的經驗，所以這次的實驗除了太陽電池板及 TiO_2 凝膠薄膜的製作外，我們還計畫要做一些電池的改良並探討幾個實驗變因對太陽電池品質的影響；包括不同光敏物質的添加、退火溫度及退火時間的控制，其中在電池製作改良部份--我們將 TiO_2 酸性溶液噴塗在薄層的濾網上使與原有的 TiO_2 凝膠薄膜形成導電層，期使電池照光導電空間更加寬廣，這亦是本太陽電池研究主題。

早期我們利用溶膠-凝膠法在導電玻璃基板上生長 TiO_2 極微粒多晶體膜 (nanosubgrain crystal, 即 TiO_2 凝膠薄膜)並製作成太陽電池膜(solar cell film)。在這一套自行設計的二極體薄膜結構中，我們須配合取自天然界的染色子(dye)的加入，染色子扮演著中介的角色，為一種光敏物質，當照光時染色子會促使 TiO_2 膜所產生電子—電洞對(electron-hole pair)，經由光敏物質所提供較小能隙(band gap)之躍遷路徑，它因此建立自己的一套導電理論機制。

這次本研究做了一個大方向的改良，一種新方法中的 TiO_2 酸性溶液噴塗浸泡法它可以一改溶膠-凝膠法所使用粉體式 TiO_2 材料的缺點---較不易凝膠在基板上及無法獲得較純淨的粉體，是一種極新的研究方法，主要是將 TiO_2 溶液噴塗在薄層的濾網，並將它覆蓋在 TiO_2 凝膠上，這種製作方式將能提供一個更易導電的電解液層。

在改良電池品質方面我們採用了一種高溫退火的實驗步驟，經由長時間的凝膠薄膜退火監測表面的空洞缺陷(void)變化，並利用空洞密度計算測試(V.D.E, 附錄一)來監測退火前後的 TiO_2 凝膠薄膜的品質變化。

在這裡我們強調 TiO_2 酸性溶液噴塗濾網法製作半導體薄膜是目前成本最低且所需設備最少的一種半導體製作的一種製程，尤其在高中生部份完全是可行的。

希望本實驗藉由上述新式的太陽電池製作法能夠使本研究更上一層樓，且使太陽電池之製作更臻完美之境界。

參、研究目的

- 一、研製在 TiO_2 凝膠薄膜層中間加入噴塗 TiO_2 酸性溶液的薄濾網，使形成三明治結構之太陽電池。並測試照光電流之變化及探討衰退(decay)現象。
- 二、比較傳統 TiO_2 凝膠薄膜太陽電池(N 型或 P-N 型)與本實驗的噴塗 TiO_2 酸性溶液濾網太陽電池做比較；比較項目包括照光電流變化、衰退曲線變化及因結構不同的導電理論。
- 三、探討第一、二項奈米 TiO_2 太陽電池製作時的光敏物質添加對照光電流及衰退曲線變化現象之影響。
- 四、從事第一、二奈米 TiO_2 太陽電池製作過程中之凝膠薄膜退火實驗。探討退火時間、溫度對電池特性之影響。
- 五、從事第一、二項奈米 TiO_2 太陽電池製作過程中之 TiO_2 凝膠薄膜退火實驗。並利用顯微觀測技術探討 TiO_2 凝膠內部之缺陷(空洞, void)變化(數目變化及大小變化)。
- 六、利用 V.D.E.(空洞密度計算)測試建立凝膠薄膜品質(照光電流大小、衰退時間長短)與退火溫度高低、退火時間長短之關係，並加以歸納及圖形數據化。
- 七、利用 TiO_2 凝膠薄膜高溫長時間退火及 V.D.E.測試，建立 奈米 TiO_2 太陽電池品質改進的主要管道及理論機制。

肆、研究設備及器材

一、研究設備

數位相機、顯微鏡、相機顯微鏡轉接頭、退火高溫爐、化學通風櫃、真空儲存箱、抽氣馬達、三用電錶、照度計、電源供應器、噴瓶、計時器、超音波震盪器、電子天平、微刻度尺平台、熱電偶、溫度控制器、溫度計錄器、變壓器、掃描式電子顯微鏡(SEM、借用)

二、研究材料

TiO₂粉體、TiO₂酸性溶液、導電玻璃、光敏物質(葉綠素-a、亞甲藍、甲基藍)、丙酮、甲醇、蒸餾水、石英片、無棉絮紙、無棉絮拭鏡紙、極細微濾網膜

伍、研究過程或方法

一、原理概述

(一)無論凝膠型或酸性 TiO₂ 太陽電池其主要都是利用照光時產生的電子獲得能量由共價帶躍遷(transition)至導電帶導電而產生電能(圖一)。基本上這是化學氧化還原及物理能量守恆(太陽能轉成電能)的觀念，但由於的能隙(Bandgap，式一)太大，所以往往外加對光敏感的物質以在能隙內提供一個較低能量的能階(圖二)，使電子躍遷更易於進行。

$$E = \frac{hc}{\lambda} \geq E_g$$

(上式 E 為日光能量， λ 為波長， E_g 為 TiO₂ 能隙)

(二)在傳統的 TiO₂ 凝膠薄膜之間加入噴塗有酸性 TiO₂ 溶液之薄濾網，形成 TiO₂ 濾網型太陽電池薄膜，這種結構將提高產生電子的容量(圖三)，提高電子躍遷至導電帶的強度(intensity)，所以比傳統的 TiO₂ 凝膠薄膜轉換效率提高甚多(圖四)。

(三)由於利用 TiO₂ 粉體凝膠法所製成的凝膠薄膜在其表面及內部易生成缺陷(主要是空洞，void)，這些缺陷都極易捕捉住電子，這樣將造成太陽電池的導電效果及電能轉換效率降低甚多。所以利用高溫爐將 TiO₂ 凝膠薄膜退火將有助於使 TiO₂ 薄膜的小空洞凝聚成大空洞，如此空洞數將減少，將有助於提高光能、電能轉換效率。固體物質在高溫退火過程中，原有的缺陷(defects，對 TiO₂ 而言大都為空洞，void)，由有的孔洞(void)缺陷由於物質高低溫差所造成的熱驅動力(drive force)會使孔洞移動形成相聚合的效應。所以 TiO₂ 凝膠薄膜經高溫長時間退火後因聚合作用其孔洞有變大、變少的趨勢(圖五)。

$$F_d = \Delta T$$

F_d ：高低溫區的熱驅動力

ΔT ：高低溫區間的溫度差

(四)由材料冶金及晶體堆積活化能(activate energe，式二)的觀點來討論，當粒子堆積在孔洞最適當的位置，其活化能亦達於最低，這是一種最穩定的狀態。但是當粒子欲填補於孔洞時其必經過較高活化能的狀態。由式二 我們得知當晶體周遭溫度越高時，其產生孔洞的數目越多，形成較大孔洞濃度。由於擴散現象(diffusion)，高濃度處孔洞必移往低濃度孔洞處，如此在孔洞移動的同時就極有可能孔洞相遇相結合，如此孔洞將變大、變少，這亦符合本研究所預測的結果。

$$N = e^{-\frac{E_b}{kT}} \text{-----(式二)}$$

N：孔洞數目

T：周遭溫度

E_b：活化能

二、研究方法

1. 利用熔膠-凝膠法製作 TiO₂ 太陽電池(凝膠 TiO₂ 太陽電池)。

2. 利用酸性 TiO₂ 溶液噴塗法製作 TiO₂ 濾網型太陽電池(酸性溶液 TiO₂ 太陽電池)。
3. 反覆 1、2 實驗並配合不同光敏物質(亞甲藍、葉綠素 a 及甲基藍)之使用，探討照光電流及 TiO₂ 太陽電池衰退現象之變化。
4. 利用高溫退火爐從事 TiO₂ 凝膠薄膜退火，利用顯微鏡觀察其表面之缺陷(空洞，void) 數目及大小變化。
 - (1) 探討 TiO₂ 凝膠薄膜因退火時間長短、退火溫度高低對凝膠表面孔洞數目變化。
 - (2) 探討 TiO₂ 凝膠薄膜因退火時間長短、退火溫度高低對凝膠表面孔洞大小變化。
5. 利用顯微鏡系統(OM 及 SEM)孔洞密度計算測試(V.D.E.)驗證退火時間長短、溫度高低與孔洞擴大、孔洞減少之關係。

$$D = \frac{N}{A} \quad [\text{個數/平方公尺}]$$

D：單位面積孔洞密度

N：顯微鏡頭內孔洞數目

A：顯微鏡頭內之 TiO₂ 表面面積

6. 從事兩種太陽電池照光電流實驗，並加以比較電性。
7. 從事兩種太陽電池照光電流衰退實驗，並加以比較。
8. 分析 4、5、6 之數據，加以歸納分析，建立其間之相關係並做出結論。

三、研就過程

1. 奈米 TiO₂ 太陽電池凝膠薄膜的製作：
 - (1) 粉體溶膠配製
 - (2) 凝膠薄膜滾製
 - (3) 凝膠薄膜高溫長時間退火
 - (4) 光敏物質溶液添加
 - (5) 凝膠薄膜與導電玻璃偶合完成奈米 TiO₂ 凝膠太陽電池製作。
2. 酸性溶液 TiO₂ 太陽電池製作：
 - (1) 凝膠薄膜滾製
 - (2) 凝膠薄膜高溫長時間退火
 - (3) 光敏物質溶液添加
 - (4) 噴塗酸性 TiO₂ 溶液薄濾網添加
 - (5) 凝膠薄膜與導電玻璃偶合完成奈米 TiO₂ 凝膠太陽電池製作。
3. 利用照光產生光電流實驗(圖六)探討凝膠 TiO₂ 太陽電池及酸性溶液 TiO₂ 太陽電池之特性差別。
4. 利用照光電流之衰退實驗探討實際凝膠 TiO₂ 太陽電池及酸性溶液 TiO₂ 太陽電池之特性差別。
5. 利用高溫退火爐從事凝膠薄膜高溫長時間退火(圖七)，並長時間詳細記錄退火溫度、時間。
6. 利用顯微觀測及顯微照相技術觀察 TiO₂ 太陽電池薄膜不同退火時間 不同退火溫度缺

陷大小及數目變化，並利用微刻度平台計算缺陷數目。

- (1) 第一階段：利用低倍光學顯微鏡觀察 TiO_2 凝膠薄膜表面，觀察表面空洞(void)的位置及數目、大小並註記。
 - (2) 第二階段：將註記下位置之 TiO_2 凝膠薄膜以電子掃描式顯微鏡拍照，顯像後以 V.D.E. 測量表面孔洞數目。
 - (3) 第三階段：將退火前、後之不同 TiO_2 凝膠薄膜以上述兩階段(第一、二階段)方法比較品質之差別，並有規律地將退火溫度高低、退火時間長短因素加入，加以分析規納與孔洞變化之關係。
7. 將 4. 5. 及 6. 之實驗加以統合，分析規納 TiO_2 凝膠薄膜在退火前後溫度高低、時間長短對孔洞變化、照光電流大小及衰退效應之影響。
 8. 建立一套 TiO_2 太陽電池標準退火製程(含退火時間及退火溫度)以供後續實驗參考。

陸、實驗結果

- 一、TiO₂酸性溶液太陽電池薄膜比凝膠型 TiO₂太陽電池具有較大的照光電流。
- 二、由 TiO₂酸性溶液太陽電池薄膜及凝膠型 TiO₂太陽電池照光電流衰退實驗得知，TiO₂酸性溶液太陽電池薄膜具有較長的壽命。
- 三、在添加光敏物質實驗部份；以添加亞甲藍效果最佳，其照光電流亦最大(60~70 μ A，即時)。另外添加葉綠素 a 亦可使太陽電池產生光電流(20~50 μ A)，而若以甲基藍為添加之光敏物質，則不易產生照光電流(7~10 μ A，據推測此電流值僅為背景光電流)。
- 四、由於本校實驗室無真空包裝的設備，所以製成的太陽電池(無論酸性或凝膠型電池)由於氣密效果不好，易產生氧化效應，所以有照光電流衰退的現象。
- 五、在 TiO₂凝膠薄膜高溫退火相關實驗中得知；隨著退火時間的加長及退火溫度的提高，都有助於 TiO₂凝膠薄膜的缺陷(空洞，void)面積變大，並因而缺陷數目明顯減少，如此照光產生光電流的效率提高及光電流衰退現象和緩甚多。
- 六、TiO₂凝膠薄膜退火前後的孔洞變化可由孔洞密度計算法(void density estimate，簡稱 V.D.E.)加以驗證。
- 七、由 V.D.E.計算出本實驗的 TiO₂凝膠薄膜孔洞密度；退火前為 $7-9 \times 10^{12} /m^2$ ，退火後為 $6-8 \times 10^{11} /m^2$

柒、討論

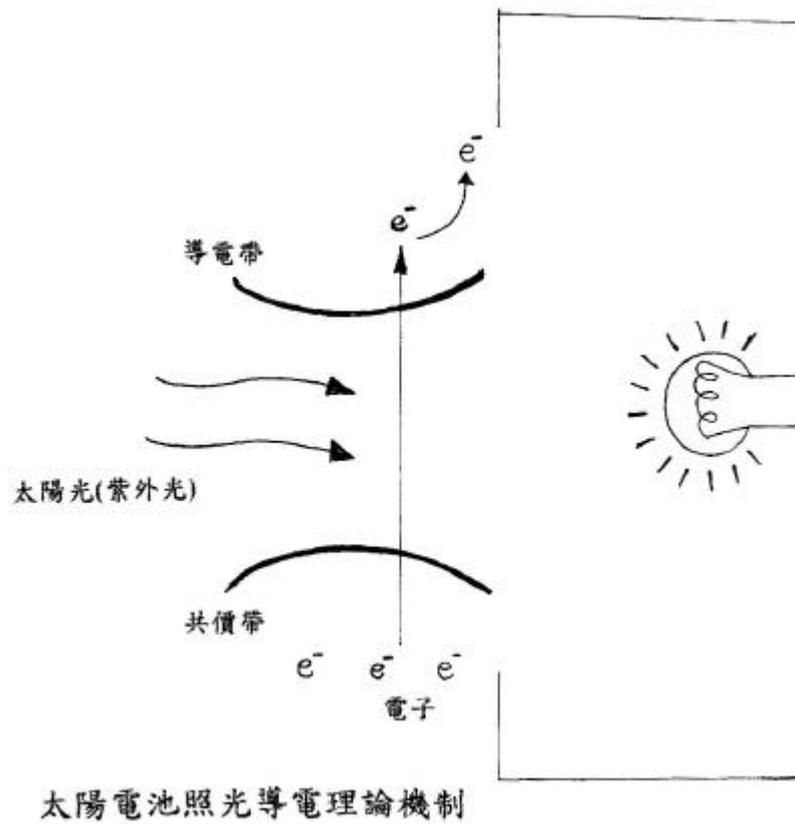
- 一、由於 TiO_2 酸性太陽電池在結構上多加了一層噴塗過 TiO_2 酸性溶液的薄濾網(圖八 A、B、C, 圖九), 如此提供了較為寬廣的照光產生的光電子的容納空間, 相對的也提高了產生較大光電流的機會。而傳統的凝膠型 TiO_2 太陽電池因結構少了薄濾網層, 所產生光電子的容納空間較小, 所以產生的照光電流較小。
- 二、在添加光敏物質的實驗上, 無論是凝膠型或是酸性太陽電池, 發覺以添加亞甲藍效果最好, 葉綠素 a 次之, 而以甲基藍效果最差, 幾乎無照光電流可言(圖十 A、B)。
- 三、相關退火實驗的問題經觀察發覺; 隨著退火步驟的進行, 會使 TiO_2 凝膠內部及表面的缺陷(大部份是空洞, void)經由高低溫差的作用產生一個互相結合並往 TiO_2 酸性凝膠表面移動的驅動力。經由此驅動力作用之下, 相靠近的空洞將會因靠近結合而變大(圖十一 A、B)、變少(圖十二 A、B、C)。
- 四、由於高溫爐溫越高, 會產生較大的溫度梯度。在 TiO_2 凝膠退火實驗中, 較大的溫度梯度會對凝膠中的光電子產生較大的驅動力(drive force), 這會使小空洞(void)的結合, 使空洞變大、變少。
- 五、 TiO_2 凝膠薄膜退火溫度約為 $390^\circ\text{C} \sim 420^\circ\text{C}$, 太高的退火溫度將會使凝膠下部的導電玻璃破裂。
- 六、另 TiO_2 凝膠的退火除了改變凝膠內部的空洞(void)大小、數目及位置外, 它亦有烘乾、清潔 TiO_2 凝膠的作用; 這主要是凝膠內部的水份或雜質會隨退火時的高低溫度差使水份、雜質運動至較低溫處的凝膠表面, 這樣會使 TiO_2 凝膠薄膜更易於附著在導電玻璃上。
- 七、在兩層凝膠薄膜間添加一噴塗有 TiO_2 酸性溶液(圖九)濾網, 由於濾網有極細小之孔洞, 這樣便可提供較易流通的管道供光電子流通導電用。又因為多添加了濾網層使照光產生的光電子容納量增多, 間接的也提高了光電流效益。
- 八、有關 TiO_2 凝膠薄膜退火前後的孔洞變化除了由光學顯微鏡作定性觀察其變化外, 我亦用 V.D.E.法加以計測。經由電子掃描式顯微鏡觀察可加以計算(圖十三), 經由孔洞計算(圖十四), 我們得到無論傳統的 TiO_2 凝膠薄膜或 TiO_2 酸性溶液薄膜其在高溫長時間退火後的孔洞密度比退火前的孔洞密度減少約 1%。
- 九、有關 八 的現象可由退火時孔洞會受到一個由高溫趨向低溫的驅動力(drive force), 也因此力使孔洞由低溫處向高溫處移動, 使孔洞互相聚集, 由小孔洞趨向於大孔洞, 由多孔洞趨向於少孔洞。
- 十、奈米 TiO_2 太陽電池無論是傳統凝膠型或是酸性溶液電池其凝膠薄膜經過長時間高溫退火後出現衰退減慢且照光電流變大(圖十五), 雖變化不是很明顯, 但這證明了長時間退火有助於奈米 TiO_2 太陽電池品質的提昇。

捌、結論

- 一、利用 TiO_2 凝膠薄膜固定在導電玻璃上形成奈米 TiO_2 太陽電池是可行的，它具有最大的照光電流約為 $20 \sim 71 \mu\text{A}$ 。
- 二、兩種本實驗中的太陽電池，配合最佳的光敏物質後以酸性濾網型太陽電池(圖十六)產生光電子效率高過凝膠型太陽電池。所以加入 TiO_2 酸性濾網的確達到提高照光電子容量及產生光電流效率，其最大照光電流約為 $40 \sim 85 \mu\text{A}$ 。
- 三、使用 TiO_2 酸性濾網太陽電池再配合適當光敏物質的使用，將有助於電池壽命的延伸，這可由衰退實驗完全看出。
- 四、光敏物質加入 TiO_2 凝膠中可使太陽電池產生較大的光電流，而不同的每一種光敏物質對太陽電池照光電流的增加並不是線性的。在本實驗所使用的幾種光敏物質中以甲基藍未表現出光敏物質的特性，這將是可再加以探討的。
- 五、將 TiO_2 凝膠高溫退火有助於減少內部的缺陷(void)，這會使照光電子被捕捉的機會大大減小，而產生較大光電流的機會便大大增加(照光電流約 $50 \sim 90 \mu\text{A}$)。
- 六、利用光學低倍率顯微鏡(OM)照相可觀察高溫退火前後的 TiO_2 凝膠薄膜並作比較。
- 七、利用電子式掃描顯微鏡(SEM)除了比較退火前後的孔洞變化外，亦可搭配 V.D.E.法計算出退火前後的孔洞變化，間接驗證了長時間退火對奈米 TiO_2 太陽電池品質改良的重要性。

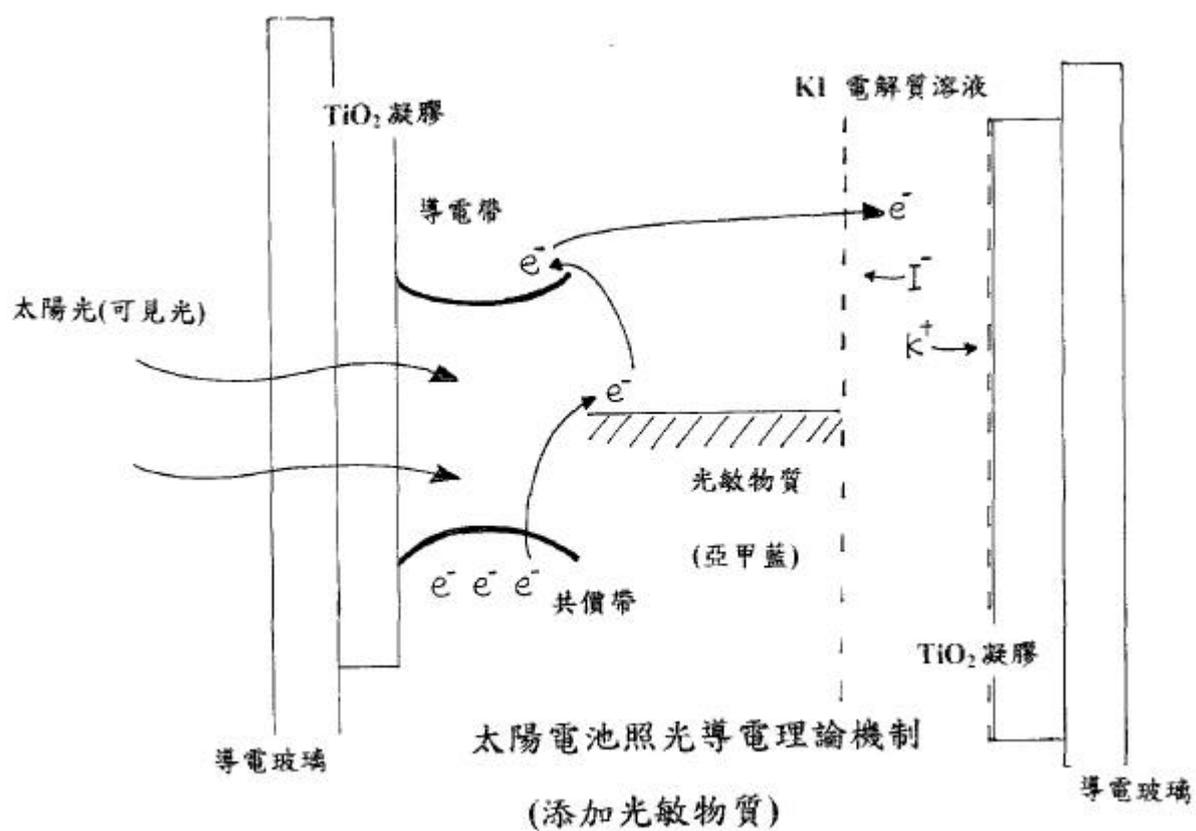
玖、參考資料及其他

莊嘉琛	太陽能工程-太陽電池篇	1	臺北市	全華	2-9-2-21 頁	(92)
呂宗昕	圖解奈米科技與光觸媒	1	臺北市	商周	88-90 , 178-208 頁	(94)
卡田博史	光觸媒圖解	1	臺北市	商周	24-28 , 40-41 , 52-53 頁	(91)
賴耿陽	燃料電池與電力貯存系統	2	臺南市	復漢	65-78	(87)
室井宗一	紙塗佈技術	1	臺北縣	高立	233-263 頁	(90)
Duncan J. Shaw	膠體及界面化學入門	2	臺北縣	高立	191-219 頁	(90)
許溢适	新電池技術介紹	2	臺北市	文笙	211-219 頁	(89)
陸棟	固態物理學(上)	1	臺北市	凡異	176-184 頁	(89)
吳永和	高中物理(下)	4	臺南市	翰林	46-53 頁	(93)
吳永和(93)	高中基礎物理	4	臺南市	翰林	180-187 頁	(93)

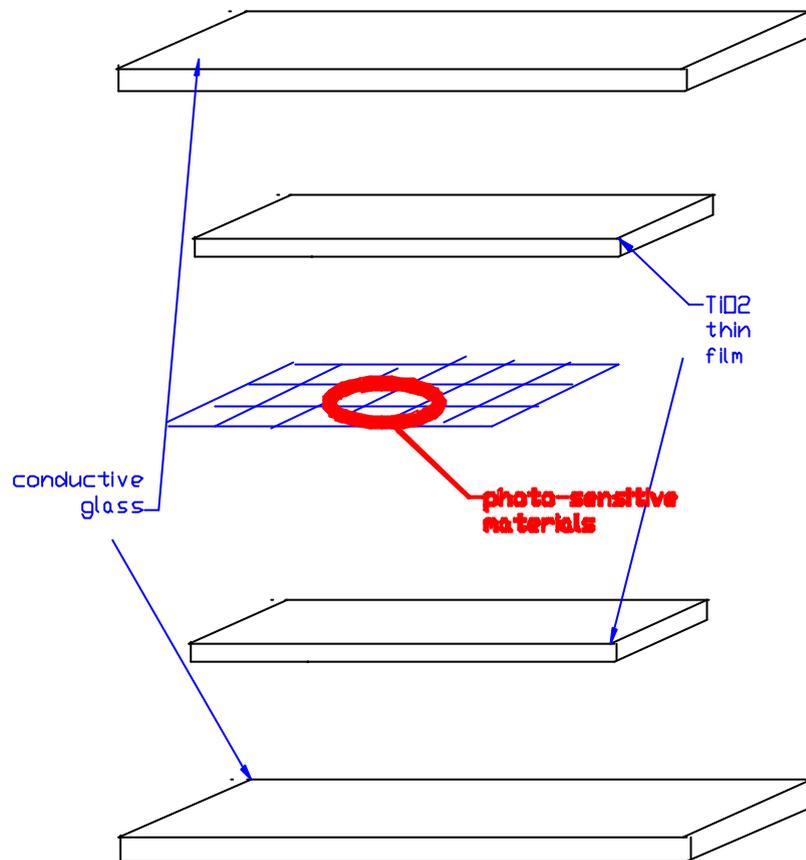


圖一 太陽電池照光產生電流之能隙理論

[日光照射太陽電池產生光電子並由共價帶躍遷(transition)至導電帶並產生光訊號]

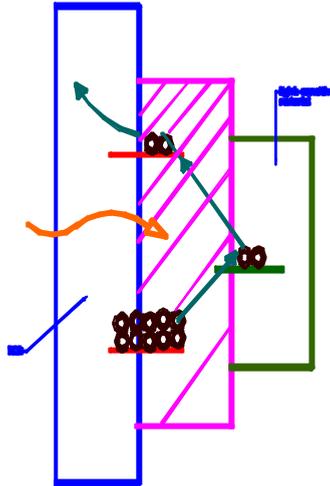


圖二 添加光敏物質後之 TiO₂ 太陽電池能隙結構
 TiO₂ 太陽電池添加光敏物質主要在提供一個光電子
 較易躍遷(能隙較小)的途徑 使光能-電能轉換效率提高



圖三 A TiO₂ 酸性濾網太陽電池結構

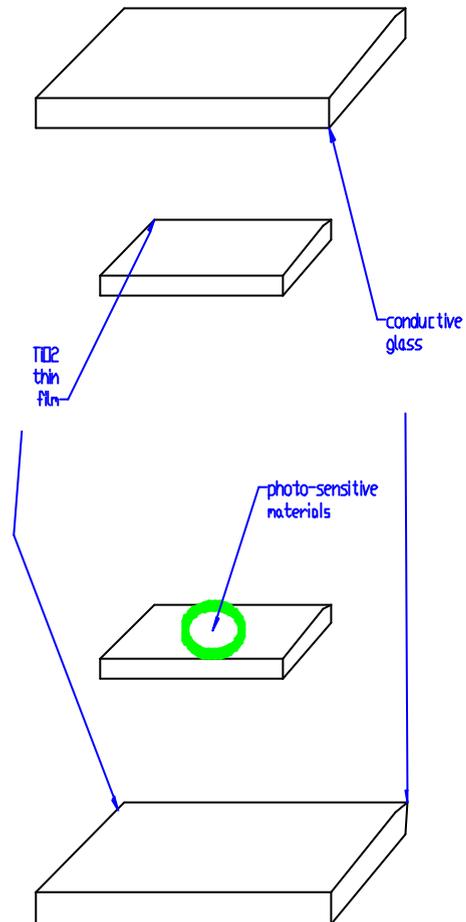
[導電玻璃 TiO₂凝膠薄膜 噴塗酸性 TiO₂濾網(由上往下)]
 (濾網上紅色物質為噴塗之光敏物質)



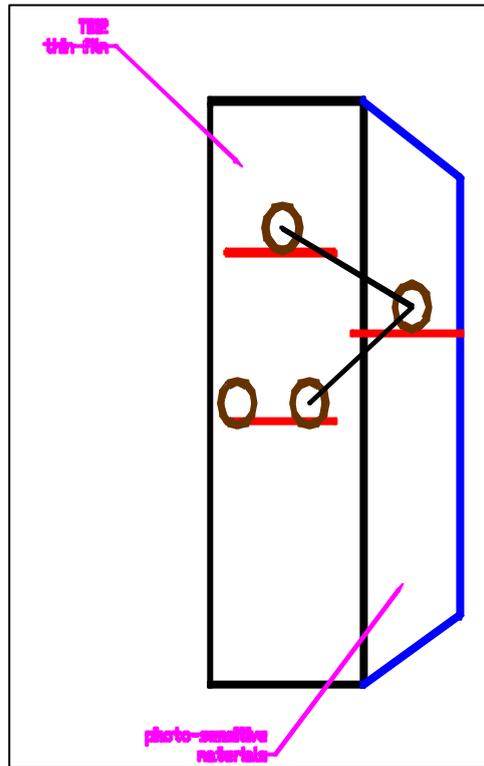
圖三 B TiO_2 酸性濾網太陽電池能帶結構圖

[TiO 凝膠(藍色) 噴塗 TiO_2 酸性溶液濾網(pink) 光敏物質(green), 由左而右]

1. 添加光敏物質則在能帶圖中產生一個暫時能帶(綠色), 提供一個較小能隙的途徑, 供電子較易躍遷(transition)。
2. 在 TiO 凝膠上加上一薄片噴塗有 TiO_2 酸性溶液的濾網會提供能容納較多光電子的能帶(導電帶), 則照光電流的產生效率會大大提升。

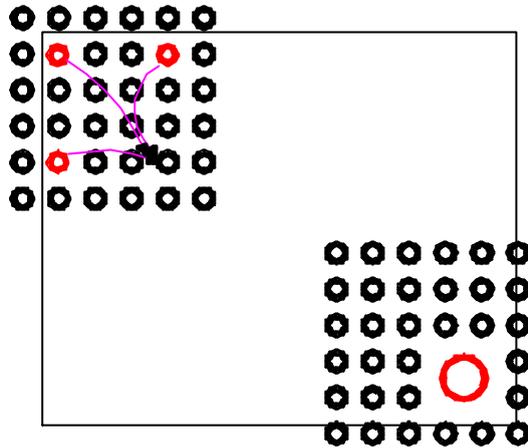


圖四 A TiO₂凝膠型太陽電池結構圖
[導電玻璃 TiO 凝膠(由下而上), 綠色物質為添加之光敏物質]

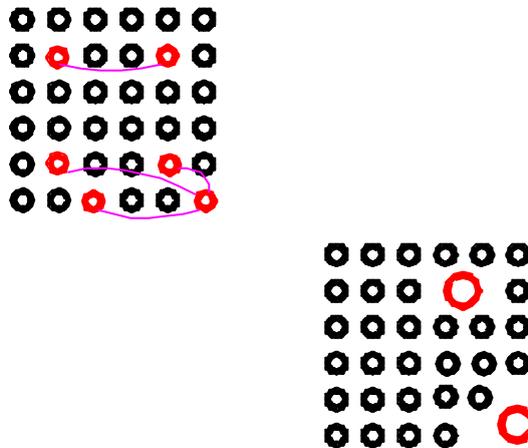


圖四 B 圖三 B TiO_2 凝膠型太陽電池能帶結構圖
 [TiO凝膠 光敏物質(blue)，由左而右]
 能帶(red)

1. 添加光敏物質則在能帶圖中產生一個暫時能帶(綠色)，提供一個較小能隙的途徑，供電子較易躍遷(transition)。
2. 在TiO凝膠沒有一薄片噴塗有 TiO_2 酸性溶液的濾網來提供能容納較多光電子的能帶(導電帶)，則照光電流的產生效率會比酸性溶液太陽電池照光電流為高。

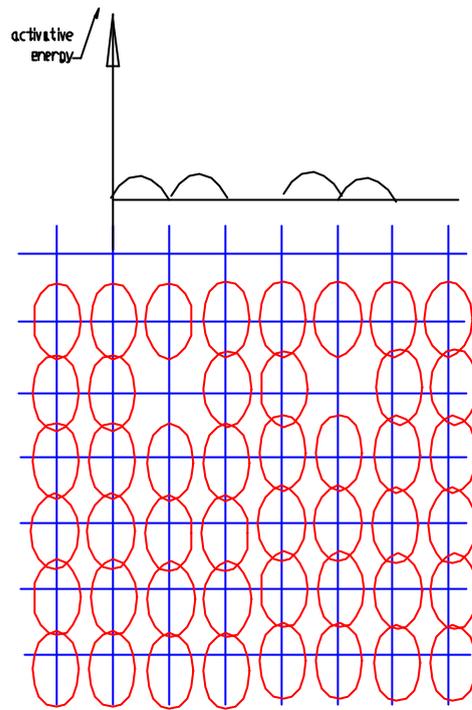


退火後凝膠表面孔洞尺寸變大



退火後凝膠表面孔洞數目變多

圖五 A TiO_2 凝膠高溫長時間退火使表面孔洞變化
 孔洞在高低溫區的狀況下會產合作用會 TiO_2 凝膠表面的
 (1)孔洞尺寸變大(2)孔洞數目變多



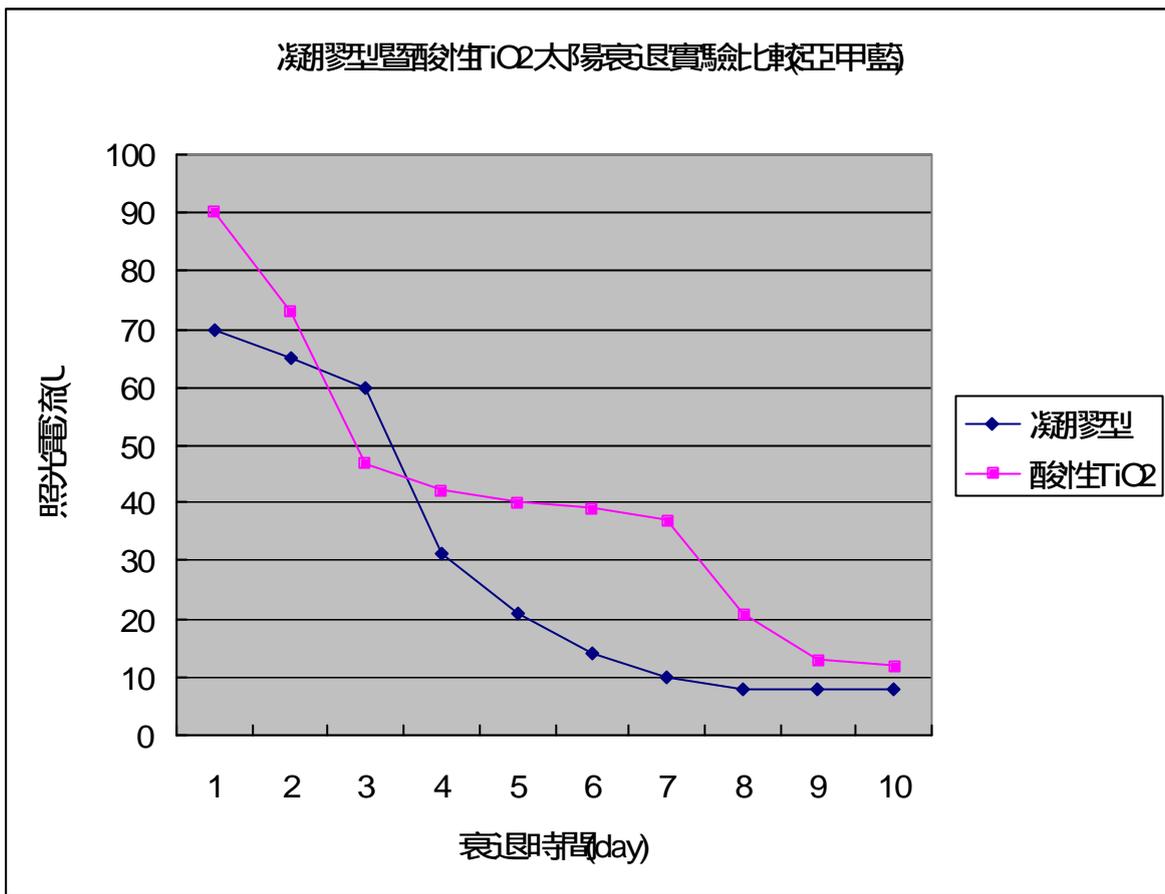
圖五 B(上圖為活化能與位置關係圖)



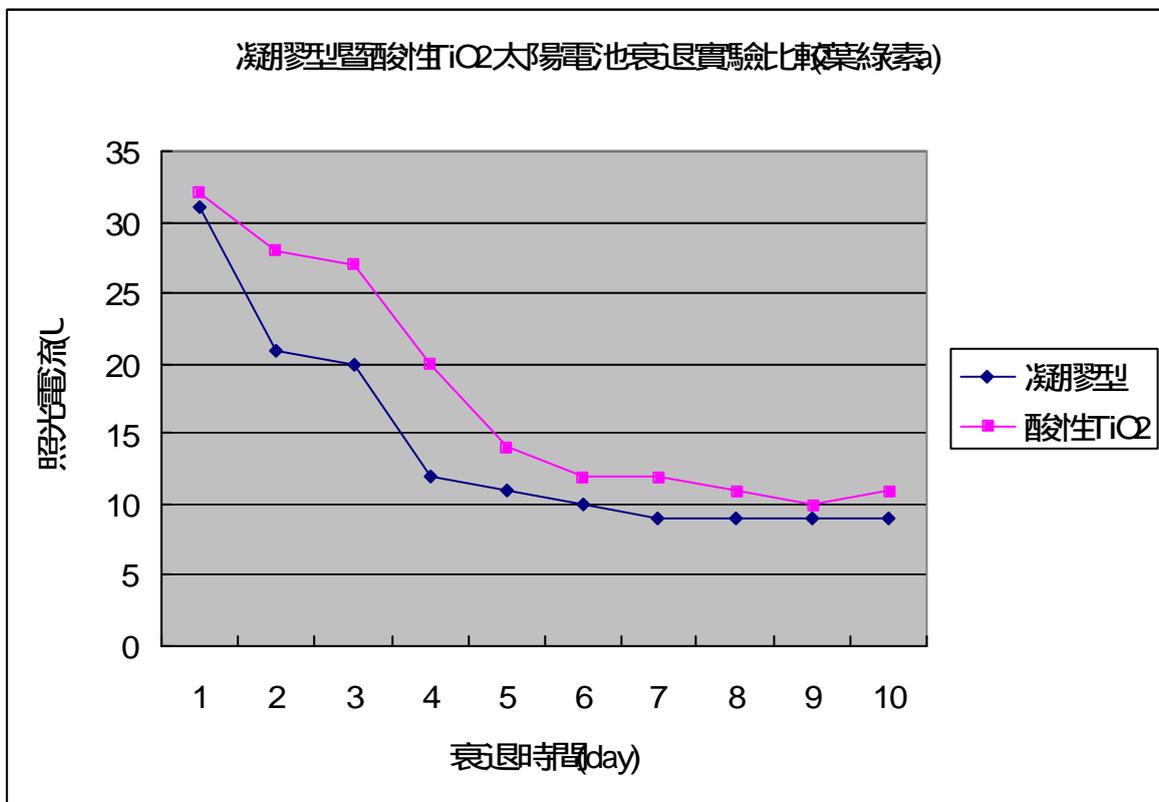
圖六 TiO 酸性溶液太陽電池照光電流測試
太陽電池製作團隊測試情形



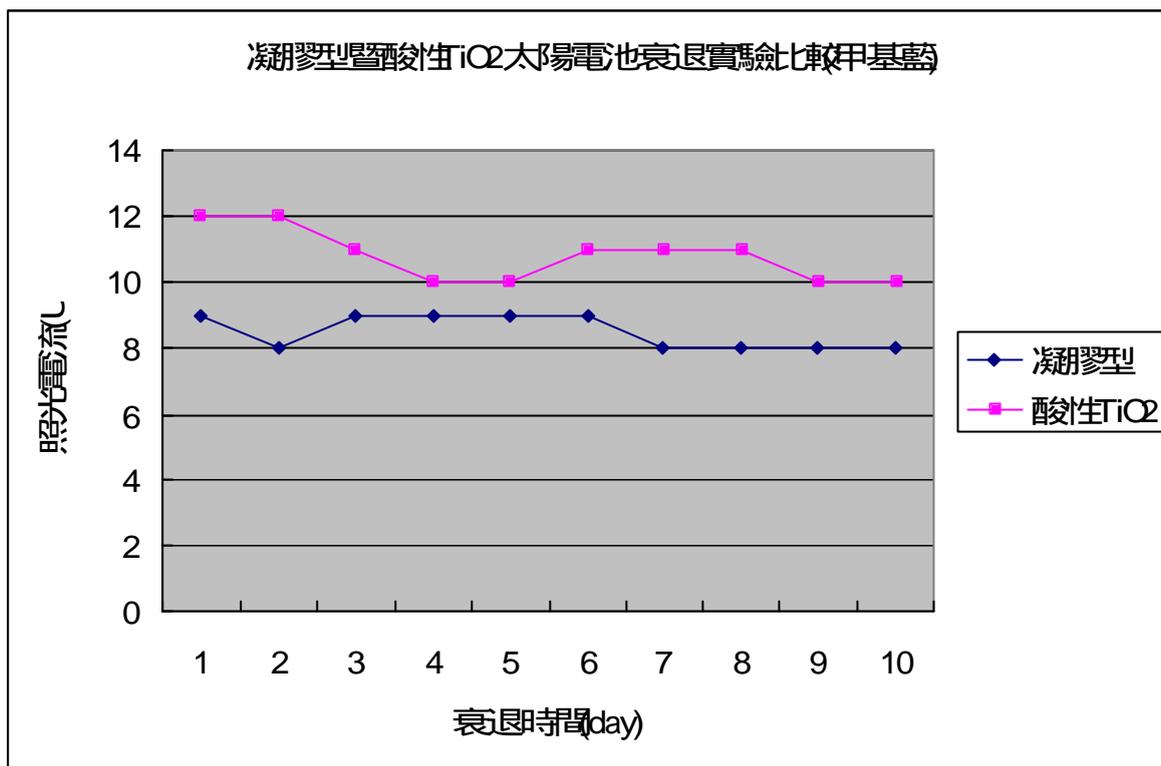
圖七 TiO₂凝膠薄膜高溫退火爐
[溫度：390-420 ℃，退火時間：24 - 240 hrs]



圖八 A (光敏物質：亞甲藍)



圖八 B (光敏物質：葉綠素 a)



圖八 C (光敏物質：甲基紫)

[A、B：由光電流衰退實驗得知 TiO₂ 酸性太陽電池比凝膠型太陽電池具有較大的光電流]

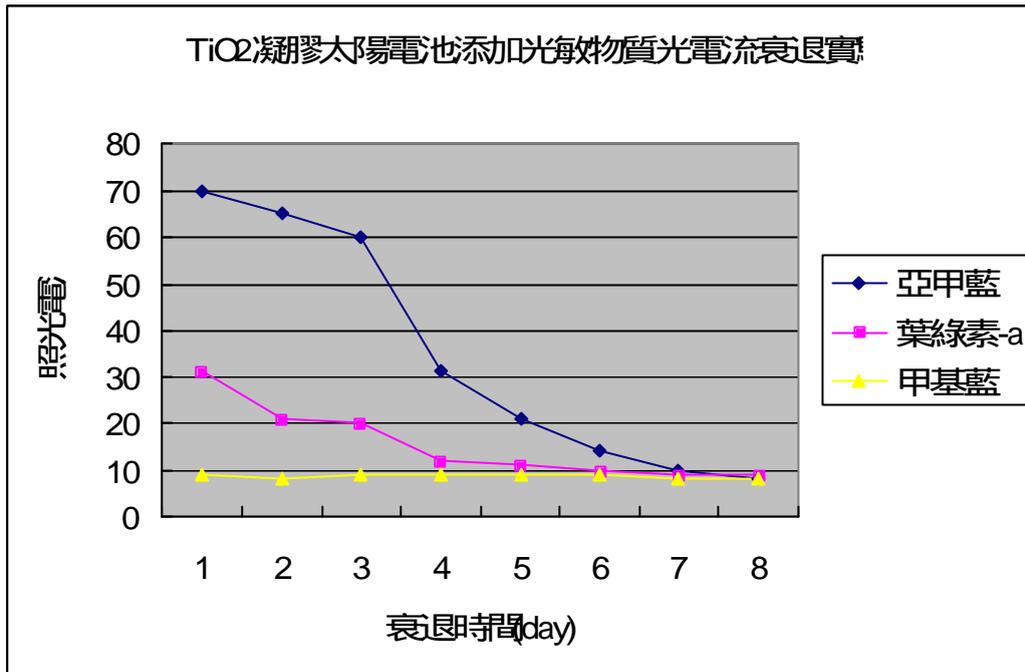
[由於無真空包裝技術造成氧化現象，所以光電流隨時間減少]

[由 C 圖得知；甲基藍幾乎無光敏物質效果，所得之光電流只為背景電流]

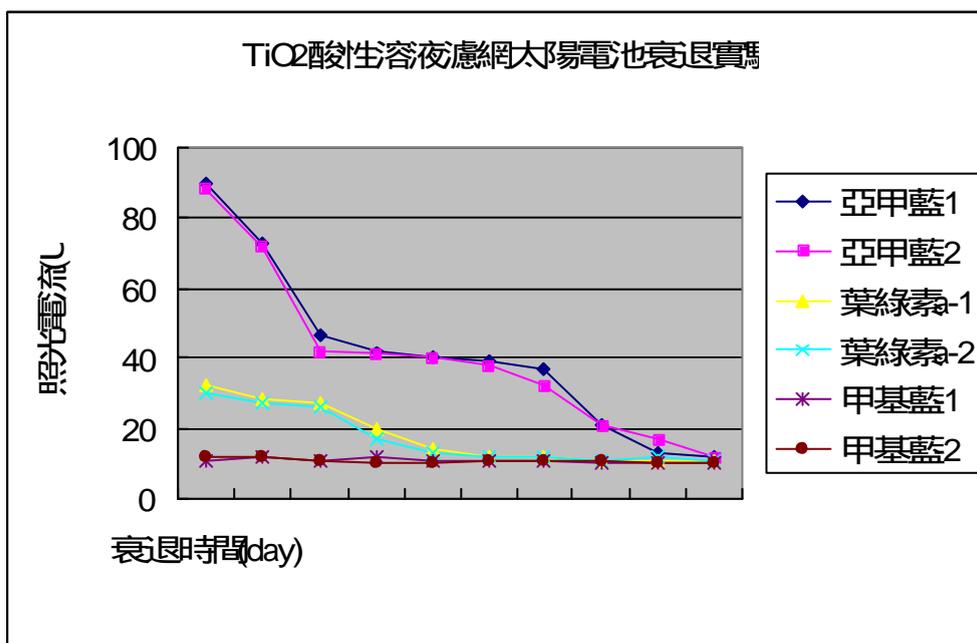


圖九 [TiO₂ 酸性溶液薄膜上添加一層噴塗有 TiO₂ 酸性溶液之薄濾網]

[濾網位於上圖右下薄膜(有界線可尋)]

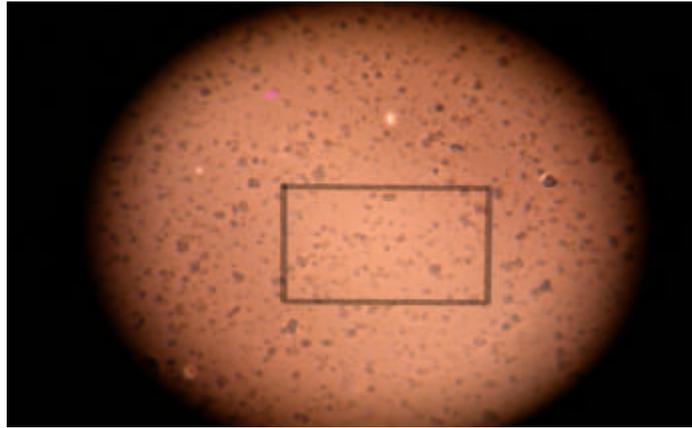


圖十 A

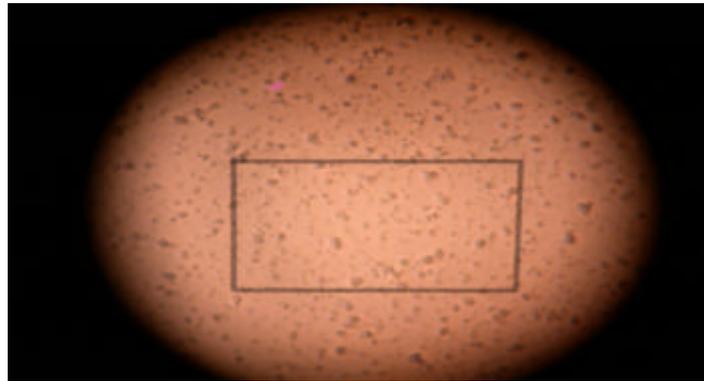


圖十 B 在光敏物質的比較實驗

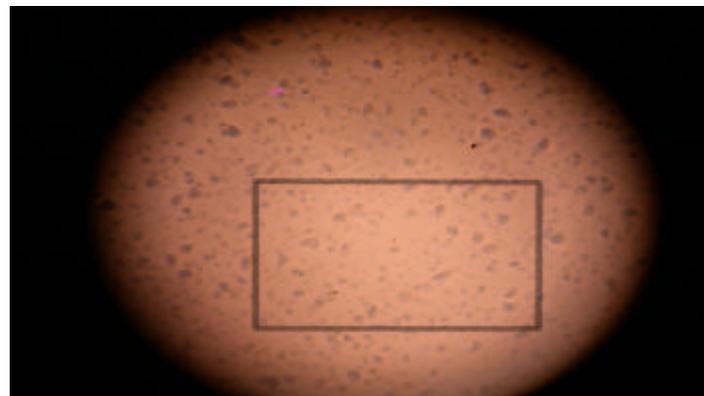
添加光敏物質產生光電流效果如下(無論 TiO₂凝膠或酸性太陽電池)：
亞甲藍 > 葉綠素-a > 甲基藍



圖十一 A [退火時間：24 hr]



圖十一 B [退火時間：60 hrs]



圖十一 C [退火時間：144 hrs]

1. TiO_2 凝膠內部的空洞(void 為一種缺陷)會隨著退火時間的增加而減少,使產生光電流效率提升。
2. TiO_2 凝膠內部的空洞會隨著退火溫度的提高而減少,但最高溫度應小於導電玻璃熔點(退火溫度 $380 \sim 420^\circ\text{C}$)
3. 以光學顯微鏡(OM)觀察。

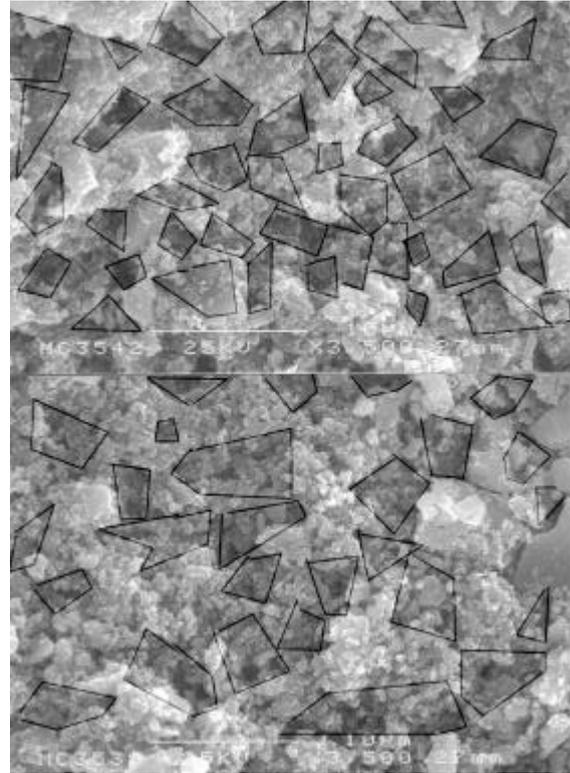
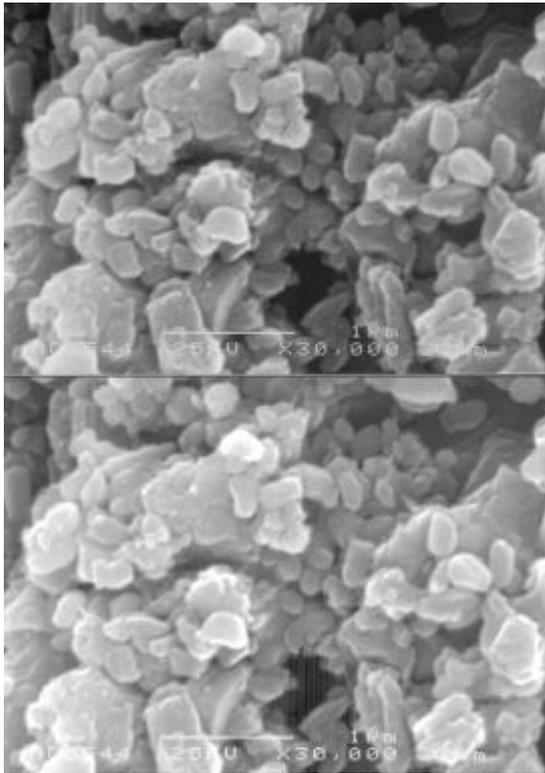


圖十二 A [退火溫度：400°C 退火時間：60 hrs]



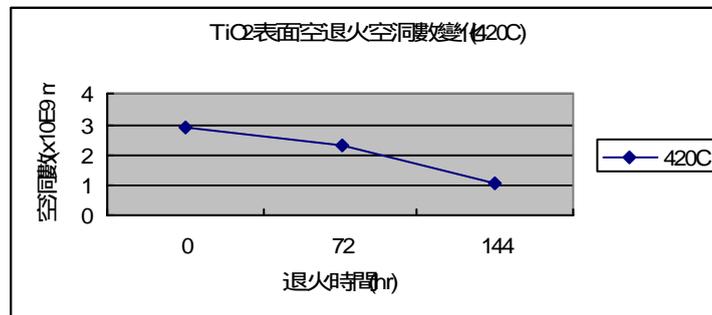
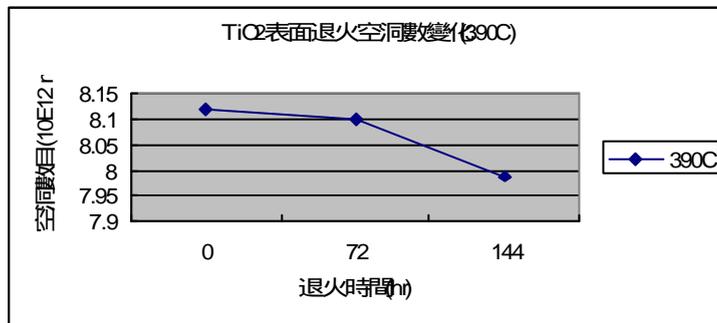
圖十二 B [退火溫度：420°C 退火時間：60 hrs]

1. 退火除了可減少空洞數目外，亦可凝聚多數小空洞而變成大空洞，也因此空洞也變少了。(圖九 B 空洞大小 > 圖九 A 空洞大小)。
2. 退火溫度越高，空洞凝聚效果越好空洞大小越大。
3. 以光學顯微鏡(OM)觀察。



圖十三 TiO₂凝膠退火後孔洞(void)變少 圖十四 TiO₂凝膠孔洞 V.D.E 計測

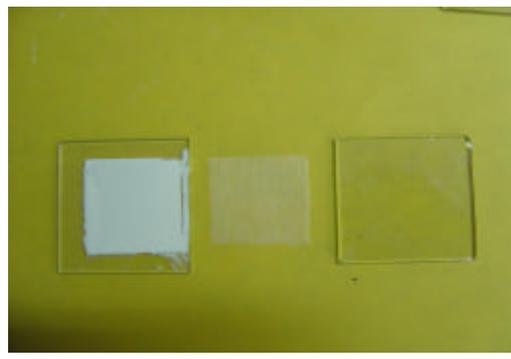
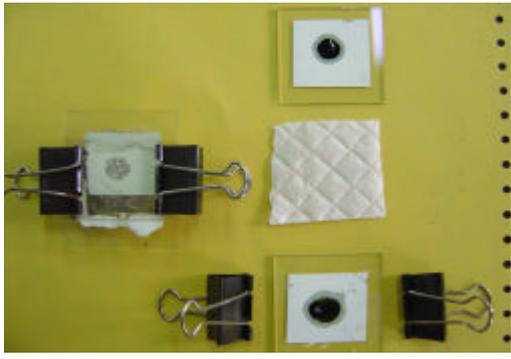
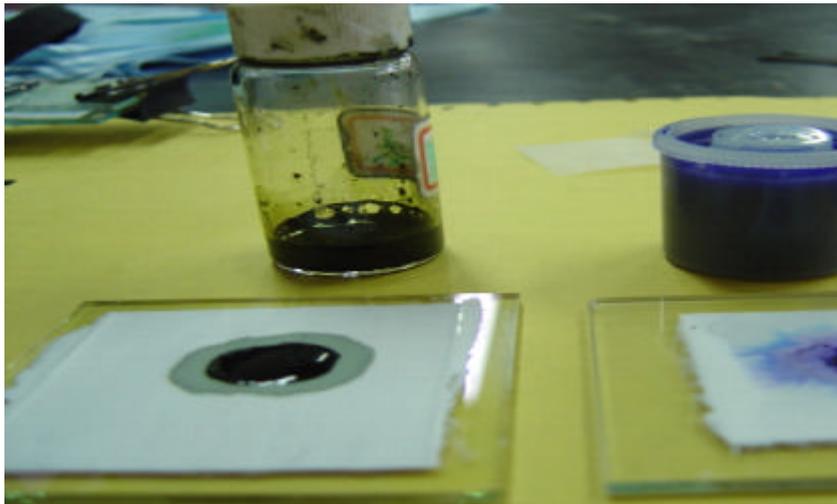
[上：退火前孔洞較小、較多]
[下：退火後孔洞較大、較多]



圖十五 退火前後(含不同退火時間)孔洞密度變化

[上：390°C 退火溫度，下：420°C 退火溫度]

[由實驗圖形可知退火時間越長，孔洞密度可低於 $1 \times 10^{10} \text{ mE}^{-2}$]



圖十六 奈米 TiO_2 酸性溶液太陽電池組

評 語

040806 新式 TiO₂ 太陽電池研製-兼論利用熱處理方式改良電池品質

本作品利用凝膠方式製作太陽電池薄膜，添加噴塗酸性溶液的濾網，以提高其效率。而 TiO₂ 凝膠薄膜經高溫退火處理。可以增加照光電流。研究過程中對於光敏物質、退火溫度及照光電流等，作各項實驗，是完整的作品。