

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

子計畫三：可見光光觸媒薄膜製備及其光電化學之研究

(1/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC93-2745-E-168-004-URD

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：崑山科技大學環境工程系

計畫主持人：黃昭銘

共同主持人：陳龍泉

計畫參與人員：曾智偉、陳建志、潘冠廷

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 6 月 23 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

可見光光觸媒薄膜製備及其光電化學之研究(1/3)

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 93 - 2745 - E - 168 - 004 - URD

執行期間：93 年 8 月 1 日至 94 年 7 月 31 日

計畫主持人：黃昭銘

共同主持人：陳龍泉

計畫參與人員：曾智偉、陳建志、潘冠廷

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：崑山科技大學環境工程學系

中 華 民 國 94 年 6 月 23 日

可供推廣之研發成果資料表

可申請專利

可技術移轉

日期：94年6月23日

<p>國科會補助計畫</p>	<p>計畫名稱：可見光光觸媒薄膜製備及其光電化學之研究(1/3) 計畫主持人：黃昭銘 計畫編號：NSC 93 - 2745 - E - 168 - 004 - URD 學門領域：表面技術</p>
<p>技術/創作名稱</p>	<p>可見光光觸媒薄膜製備及其光電化學之研究(1/3)</p>
<p>發明人/創作人</p>	
<p>技術說明</p>	<p>中文： 本研究已成功製備 $Ti_{0.95}In_{0.05}O_2$ 光電極，由 XRD、SEM 及光電流量測結果，發現以 550°C 煅燒 3 小時之製程條件可得到結晶佳、均勻且附著良好有明顯光電流產生之光電極。本計畫為 3 年期計畫，第 1 年研究目的是製備附著與耐用性佳之光觸媒薄膜，探討於紫外光下之光電化學反應性能，實驗結果顯示在紫外光及氙燈照射下，均比原始的 TiO_2 產生更大的光電流，除了完成第 1 年原訂目的外，將來更有信心所開發之光電極於可見光下能發揮作用，應用於未來可見光分解水產氫之最終目標。</p>
	<p>英文： $Ti_{0.95}In_{0.05}O_2$ film photoelectrodes were prepared by spin-coating sol-gel method. The films were deposited onto ITO substrates under sintering temperature at 550°C for 3h, and the most intense (101) peak was found from XRD, meaning the tendency of preferred orientation in (101) direction. Obvious photoresponses were observed in the UV and xenon lamps, moreover, the film photoelectrodes were shown to be photoelectrochemically stable.</p>
<p>可利用之產業及可開發之產品</p>	<p>綠色能源產業、水分解產氫之光反應器</p>
<p>技術特點</p>	<p>溶凝膠法、旋轉塗佈技術</p>
<p>推廣及運用的價值</p>	<p>再生能源運用</p>

※ 1.每項研發成果請填寫一式二份，一份隨成果報告送繳本會，一份送 貴單位研發成果推廣單位（如技術移轉中心）。

※ 2.本項研發成果若尚未申請專利，請勿揭露可申請專利之主要內容。

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

可見光光觸媒薄膜製備及其光電化學之研究(1/3)

Development of vis-light-active TiO_2 thin films on aluminum plate and the exploration of the structure/photoelectrochemical properties relationships

計畫編號：NSC93-274-E-168-004-URD

執行期間：93年8月1日至94年7月31日

計畫主持人：黃昭銘 崑山科技大學環境工程學系

摘要

本研究已成功製備 $\text{Ti}_{0.95}\text{In}_{0.05}\text{O}_2$ 光電極，由XRD、SEM及光電流量測結果，發現以 550°C 煅燒3小時之製程條件可得到結晶佳、均勻且附著良好且有明顯光電流產生之光電極。本計畫為3年期計畫，第1年研究目的是製備附著與耐用性佳之光觸媒薄膜，探討於紫外光下之光電化學反應性能，實驗結果顯示在紫外光及氙燈照射下，均比原始的 TiO_2 產生更大的光電流，除了完成第1年原訂目的外，將來更有信心所開發之光電極於可見光下能發揮作用，應用於未來可見光分解水產氫之最終目標。

關鍵字：光電極薄膜、光電流、紫外光、氙燈

一、前言

2004年5月後石油價格不斷上漲，新能源之開發又重新受到重視[1]，美國能源部(DOE)之技術藍圖預計自2005年起發展光催化分解水反應器，預計於2030年前使氫能源之研究發展到達商業化之程度，擁有替代性能源相關技術之國家將為未來之經濟強國。台灣地區由於能源、資源有限，如何提供符合環保與經濟需求之新能源已成為迫切的問題，基於能源自給及無限循環之考量下，以光電化學反應產氫之方式應為可行之途徑。光觸媒照光分解水近年來備受學術界及產業界之重視，目前之研究光催化劑多利用屬於半導體的過度金屬氧化物或硫化物，包含了 TiO_2 、 SnO_2 、 CdS 、 ZnO 、 WO_3 、 ZnS 、 PbS 等，其中以 TiO_2 研究最為廣泛。本實驗將使用溶凝膠法合成Ti摻雜In

與V之 $\text{Ti}_{(1-x)}\text{M}_x\text{O}_2$ 之光觸媒溶膠，運用旋轉塗佈機將光觸媒固定於ITO導電載體上，製成光觸媒薄膜電極，再以薄膜電極為陽極與Pt相對電極(陰極)組合而成的光電流反應裝置，在外加電壓情況下看光電流反應，藉由光電流量測，探討光觸媒溶膠配方、製程條件、光源對光電流的影響。本計畫為3年期計畫，此報告為第1年期中報告，研究目的是製備附著與耐用性佳之光觸媒薄膜，探討於紫外光下之光電化學反應性能，以應用於未來可見光分解水產氫之最終目的。

二、研究方法

2.1. $\text{Ti}_{(1-x)}\text{M}_x\text{O}_2$ sol合成

以異丙醇氧化鈦(TTIP)為起始物，乙醇($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)為溶劑，加入不同比例的M，乙醯戊二銅(acac，限制粒子生長)，及硝酸(水解時所用觸媒)。實

驗使用的配方成分比例為 TTIP : M : C₂H₅OH : H₂O : acac : HNO₃ = 0.95 : 0.05 : 25 : 1 : 0.05 : 0.2 (molar ratio) ; M=(In(NO₃)₃)、VO(C₅H₇O₂)₂。

步驟如下：

將二段水、硝酸、M 及 1/2 量的乙醇加入反應器中並攪拌均勻，再慢慢將 TTIP、acac 及另外 1/2 量的乙醇滴入反應器中，升溫到 70°C 攪拌 12-15 小時，直到變為透明溶膠，即為電極塗佈所需的覆膜液，如圖 1 所示。

2.2. 光電極製備

本實驗是使用旋轉塗佈的方式製作，將清潔過之 ITO 玻璃基材(2×2cm²) 放置在旋轉塗佈機上，再將合成的 Ti_(1-x)M_xO₂ 覆膜液滴在基材上。旋轉分 2 個不同的轉數與時間，第一段為 400rpm、10 秒，第二段轉數增至 800rpm、10 秒。完成覆膜之後，放入烘箱中 180°C 乾燥 30 分鐘，再以高溫爐煅燒不同的溫度做比較，如圖 2 所示。

2.3. 光電流設備系統簡介

本系統架構由光源供應器、光反應器及恆電流/電位儀等裝置所組成。分述於下：

2.3.1. 光源供應器

A. 氙燈光源供應器

可見光光源為 1000W 氙燈，燈源置於一燈屋中，燈置於燈屋中的位置可由調整鈕調整上下及左右，且燈屋內部有反射鏡，可調整光源之聚焦程度，並使光線準確地由固定出口射出。出口處有一液體冷卻器及一可調式聚集鏡，作

用分別為吸收光源所釋放出的熱量和使出口光線聚集在特別範圍內。整個燈屋連接到一個電源供應器。電源供應器可調整輸出功率的大小並加以控制，可由儀器面板中得知輸出電壓、電流及功率。

B. UV 光源供應器

紫外光部份為 100W 的高壓汞燈及電源供應器，輸出光源強度由光強度偵測器量測。

2.3.2. 光反應器

A. 氙燈反應系統

由 300ml 反應容器、石英視窗及上蓋組成(如圖 3)，反應容器距離光源出口處 2.5 cm，為一雙套夾層結構，水於夾層中循環流動，將溫度控制為 15°C。工作電極為光觸媒電極(圖中 H)，參考電極為甘汞電極(圖 3 中 G)，輔助電極為 3×5cm² 的 Pt 板(圖 3 中 F)，三極外接到恆電流/電位儀形成迴路，再經由電腦設定恆電流電位儀測量電極產生的電流。

B. UV 光反應系統

由 600ml 反應容器、四個開口與中央夾套組成(如圖 4)，反應容器的中央有一夾套結構，水於夾套中的夾層循環流動，將溫度控制為 15°C。工作電極為光觸媒電極(如圖 4 中 B)，參考電極為甘汞電極(如圖 4 中 A)，輔助電極為 3×5cm² 的 Pt 板(如圖 4 中 C)。三極外接到恆電流/電位儀形成迴路，再經由電腦控設定恆電流電位儀來測量電極產生的電流。

2.2.3. 恆電流/電位儀

本實驗使用恆電流/電位儀(CHI 611B)，規格如表 1；實驗中 IV 操作掃描電壓為 -0.1V~2V，觀察隨掃描電壓對電流的變化。

2.4. 實驗步驟

A. UV 系統

配置 1M KOH 500ml 電解溶液倒入 800ml 的光反應容器中，再分別把參考電極、輔助電極、氮氣導管和製備完成的工作電極放入光反應容器再將電極接到恆電流/電位儀形成迴路，操作條件採用循環伏特安培法(CV)來偵測，工作電極電位由恆電流/電位儀控制，操作電壓範圍介於 -1.0~ 2.0 V 之間。

開啟恆溫水槽循環，把中央夾套放入光反應器中，開啟氮氣曝氣 30min 後測量未開燈的電流；開啟 100W 的高壓汞燈後 10min 測量照光電流，每 10min 測一次，取第 4 次電流作圖。

B. 氬燈系統

配置 300ml 含有 0.3M $\text{Na}_2\text{S} \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 與 0.25M K_2SO_3 的犧牲試劑溶液倒入光反應容器中 250ml，再將裝置有參考電極、輔助電極及工作電極的五口蓋子蓋上光反應容器再將電極接到恆電流/電位儀形成迴路，操作條件採用循環伏特安培法(CV)來偵測，工作電極電位由恆電流/電位儀控制，操作電壓範圍介於 -1.0~ 2.0 V 之間。

首先將氬燈光出口處使用鋁箔紙蓋上，再開啟 800W 氬燈 30min 使光穩定，開啟恆溫水槽循環，開啟氮氣曝氣 30min 測量未開燈的電流後，移除 800W 氬燈光出口的鋁箔紙後 10min 測量照光電流，每 10min 測一次，取第 4

次電流作圖。

2.5. 光電極物性分析

2.5.1. 透光性測量

透光性量測使用 Hitachi U-3010 可見光光譜儀，其入射光波長範圍為 200~800 nm，在此波長範圍內量測 UV 光與可見光穿透率，其工作原理為將一光源分光為兩能量相同之光束，其一通過空白試片，另一通過已鍍膜之試片，經接收器接受後比較其能量變化，即可得透光率。

2.5.2. 吸收光譜測量

取粉末壓成錠片，將錠片放入 UV-Visible 光譜測量儀 (Hitachi U-3010)，進行吸收光譜分析。

2.5.3. X-ray 繞射分析

將燒結過後之薄膜與粉末放入 X-ray 繞射分析 (Rigaku DIMAX-2500V/PC, Cu $\text{K}\alpha$ radiation)，以瞭解不同比例所得粉末之初始結構，以及經熱處理對其結構之影響。此分析所使用之操作條件為電壓 30KV、電流 20mA、掃瞄角度 $2\theta=10^\circ\sim 60^\circ$ 、掃瞄速度為 $3^\circ/\text{min}$ 。

2.5.4. 薄膜厚度之量測

量測薄膜厚度，本實驗的薄膜厚度，是用 FE-SEM 場發射電子顯微鏡 (JEOL JSM6700F) 觀察薄膜的厚度。

三、結果與討論

3.1. 光電極

由圖 5 可知單純添加 $(\text{In}(\text{NO}_3)_3)$ 或 $\text{VO}(\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2)_2$ 的光電極有較高之透光率。

與圖 5 比較，發現光電極經過較高溫煅燒後，膜層較為緻密且薄，導致 550°C 煅燒 3h 光電極的透光率比 400°C 煅燒 3h 來得高。

由圖 7~9 可明顯看出煅燒溫度的提升對光電極薄膜之(101)晶型有優選取向之趨勢。

因 ITO 電極薄膜於之剖切面無法於 SEM 觀察其薄膜厚度，改將覆膜液塗佈於清潔過之 wafer 上。由表 2 可看出當配方為 $Ti_{0.95}V_{0.025}In_{0.025}O_2$ 時，光電極的厚度明顯增加很多，且於 $Ti_{0.95}In_{0.05}O_2$ 亦比純 TiO_2 來得大。

3.2. 光電流結果

3.2.1. UV 系統

由表 3 至 7 可看出，除 TiO_2 光電極外，其餘光電極在 550°C 煅燒 3h 的製程皆有較大之光電流，在全部之光電極又以 $Ti_{0.95}In_{0.05}O_2$ 於照光後有最大的光電流。

由圖 10 可看出 $Ti_{0.95}In_{0.05}O_2$ 光電極之(IV curve)於光照前後(B-b)比 TiO_2 (A-a)有較大差距。

3.2.2. 氙燈系統

因 $Ti_{0.95}In_{0.05}O_2$ 在 UV 系統時有最大之光電流，因此與 TiO_2 光電極進一步在氙燈下探討可見光下之光效率，由表 8 可發現 $Ti_{0.95}In_{0.05}O_2$ 於照光後亦比 TiO_2 來得大，證明本研究所製備 $Ti_{0.95}In_{0.05}O_2$ 於可見光下產生光電流之可行性。

四、結論

本研究運用溶凝膠法合成 $Ti_{(1-x)}M_xO_2$ 之光觸媒溶膠，探討光觸媒溶膠配

方、製成條件、光源對光電流的影響。由 XRD、SEM 分析及光電流量測結果，發現以 550°C 煅燒 3 小時可得到結晶佳、均勻且附著良好且有明顯光電流產生之光電極。

所製備之 $Ti_{0.975}In_{0.025}O_2$ 電極於 100W 紫外光照射下比 TiO_2 所產生之光電流來得高，於氙燈系統中亦有相同現象，證實本研究所製備之薄膜能於可見光下可有效作用。

參考文獻

- [1] 黃正忠，淺談產業因應溫室氣體減量的能力，環境工程會刊，26，2004.
- [2] A. Kudo, K. Ueda, H. Kato, and I. Mikami, Catal. Lett., 53, 229, 1998.
- [3] A. Kudo, K. Omori, and H. Kato, J. Am. Chem. Soc., 121, 11459, 1999.
- [4] S. Tokunaga, H. Kato, and A. Kudo, Chem. Mater., 13, 4624, 2001.
- [5] A. Kudo and S. Hijii, Chem. Lett., 1103, 1999.
- [6] A. Kudo and M. Sekizawa, Catal. Lett., 58, 241, 1999.
- [7] A. Kudo and M. Sekizawa, Chem. Commun., 1371, 2000.
- [8] I. Tsuji, H. Kato, H. Kobayashi, and A. Kudo, J. Am. Chem. Soc., 126, 13406, 2004.
- [9] Akihiko Kudo, Hideki Kato, and Seira Nakagawa, J. Phys. Chem. B, 104, 571, 2000.
- [10] A. Kudo and H. Kato, Chem. Lett., 867, 1997.

[11] a) H. Kato and A. Kudo, Chem. Phys. Lett., 295, 487 (1998). b) H. Kato and A. Kudo, Catal. Lett., 58, 153 (1999). c) H. Kato and A. Kudo, J. Phys. Chem. B, 105, 4285 (2001).

[12] H. Kato and A. Kudo, Chem. Lett., 1207, 1999.

[13] A. Kudo, H. Kato, and S. Nakagawa, J. Phys. Chem. B, 104, 571, 2000.

[14] A. Kudo, H. Okutomi, and H. Kato, Chem. Lett., 1212, 2000.

[15] A. Kudo, Catalysis Surveys from Asia, Vol. 7, No. 1, 31, 2003.

16. T. Takata, Y. Furumi, K. Shinohara, A. Tanaka, M. Hara, J. N. Kondo, and K. Domen, Chem. Mater. 9, p.1063, 1997.

19. T. Takata, K. Shinohara, A. Tanaka, M. Hara, J. N. Kondo, and K. Domen, J. Photochem. Photobiol. A: Chem. 106 P. 45, 1997.

20. S. Ikeda, M. Hara, J. Kondo, K. Domen, H. Takahashi, T. Okubo, and M. Kakihana, Chem. Mater. 10 p.45, 1998.

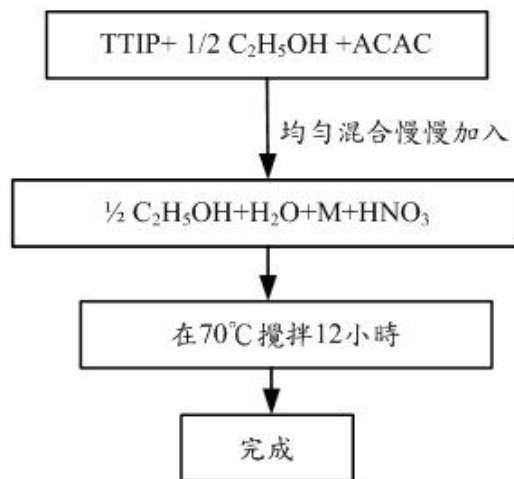


圖 1. $Ti_{(1-x)}M_xO_2$ sol 合成步驟.

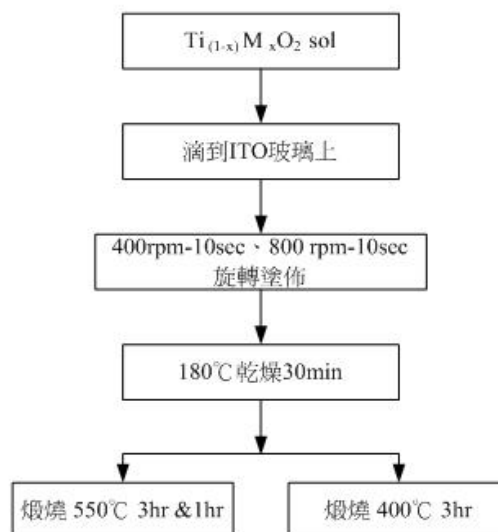
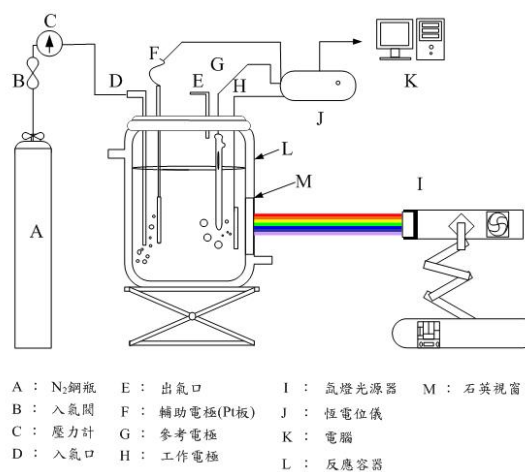


圖 2. $Ti_{(1-x)}M_xO_2$ 電極製備步驟.



A : N_2 鋼瓶 E : 出氣口 I : 氙燈光源器 M : 石英視窗
 B : 入氣閥 F : 輔助電極(Pt板) J : 恆電位儀
 C : 壓力計 G : 參考電極 K : 電腦
 D : 入氣口 H : 工作電極 L : 反應容器

圖 3. 氙燈反應系統.

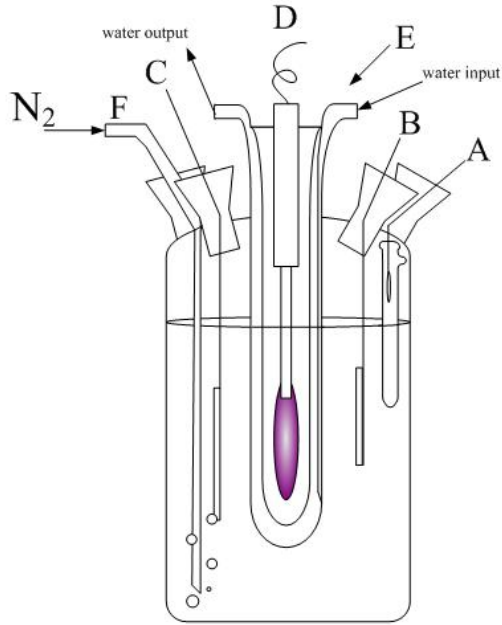


圖 4. UV 光反應系統，A. 參考電極、
B. 工作電極、C. 輔助電極
D. 100W 高壓汞燈、E. 中央夾
套、F. 氮氣通入管。

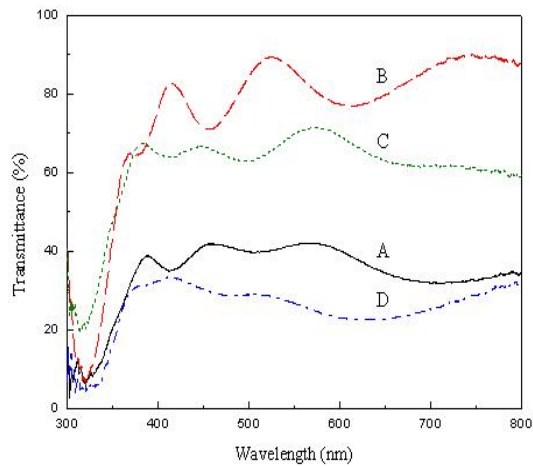


圖 5. 400°C 煅燒 3h 的透光率，A. TiO_2 、
B. $\text{Ti}_{0.95}\text{V}_{0.05}\text{O}_2$ 、C. $\text{Ti}_{0.95}\text{In}_{0.05}\text{O}_2$ 、
D. $\text{Ti}_{0.95}\text{V}_{0.025}\text{In}_{0.025}\text{O}_2$ 。

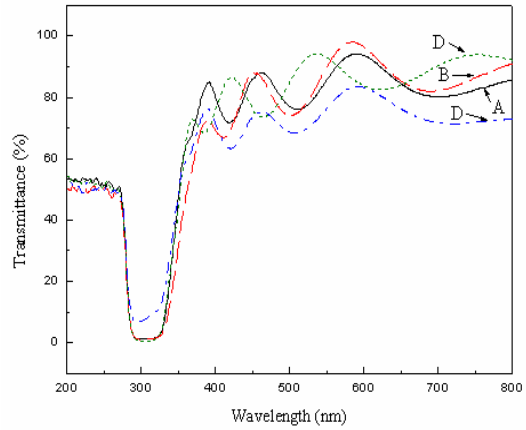


圖 6. 550°C 煅燒 3h 的透光率，A. TiO_2 、
B. $\text{Ti}_{0.95}\text{V}_{0.05}\text{O}_2$ 、C. $\text{Ti}_{0.95}\text{V}_{0.025}\text{In}_{0.025}\text{O}_2$ 、
D. $\text{Ti}_{0.95}\text{In}_{0.05}\text{O}_2$ 。

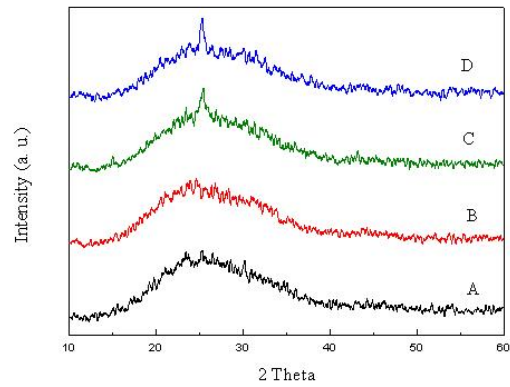


圖 7. 400°C 煅燒 3h 的薄膜 XRD，A.
 TiO_2 、B. $\text{Ti}_{0.95}\text{In}_{0.05}\text{O}_2$ 、C.
 $\text{Ti}_{0.95}\text{V}_{0.05}\text{O}_2$ 、D. $\text{Ti}_{0.95}\text{V}_{0.025}\text{In}_{0.025}\text{O}_2$ 。

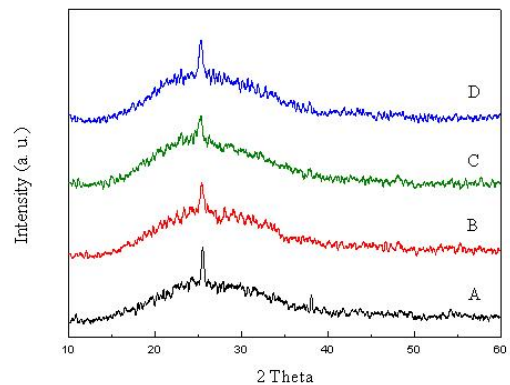


圖 8. 550°C 煅燒 3h 的薄膜 XRD，A.
 TiO_2 、B. $\text{Ti}_{0.95}\text{In}_{0.05}\text{O}_2$ 、C. $\text{Ti}_{0.95}\text{V}_{0.05}\text{O}_2$ 、
D. $\text{Ti}_{0.95}\text{V}_{0.025}\text{In}_{0.025}\text{O}_2$ 。

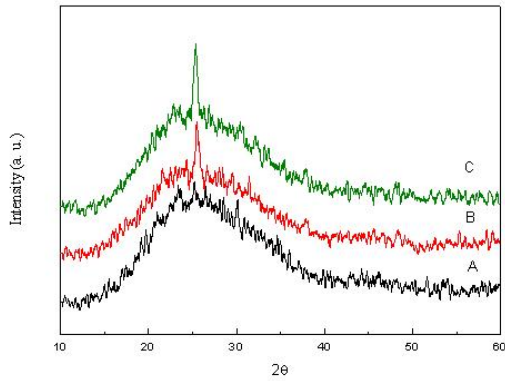
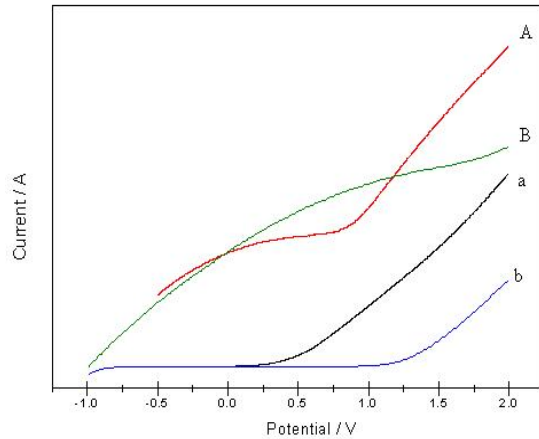


圖 9. 薄膜煅燒溫度及時間影響的 XRD、A. TiO₂-400-3h、B. TiO₂-550-1h、C. TiO₂-550-3h.



圖十. TiO₂ 與 Ti_{0.95}In_{0.05}O₂ 光電極於 100W UV 燈光照前後之 IV Curve.

表 1. 恆電流/電位儀規格表.

規格	CH 611B
電位恆定器	
輸出允許電壓	±12V
應用電位範圍	±10.000V
電位解析度	100μV
電流電壓轉換器	
最大電流	0.25A
範圍	每 1V 由 1pA 到 0.1A
輸出電壓範圍	±10V
電流解析度	小於 1pA
電位及頻譜規格	
掃描速率	每秒 0.1μV~20000V
資料蒐集速率	12bit@500KHZ, 20bit@1KHZ
	24bit@10KHZ

表 2. 薄膜厚度.

樣品	TiO ₂	Ti _{0.95} In _{0.05} O ₂	Ti _{0.95} V _{0.025} In _{0.025} O ₂
厚度	0.45 μm	8.16 μm	12.42 μm

表 3. TiO₂ (2×2 cm²) 不同溫度及時間的電流.

①	TiO ₂	400°C-3h	550°C-1h	550°C-3h
CV (mA)	照光電流	29.9	29	19.4
	未照光電流	19	22.5	21.5
	相差電流	10.9	6.5	7.9
IV	照光電流	28.8	29	28

(mA)	未照光電流	19.2	21	20
	相差電流	9.6	8	8
550°C-3h CV 相差電流為 1.98 (mA/cm ²)				
IV 相差電流為 2 (mA/cm ²)				

表 4. Ti_{0.95}In_{0.05}O₂ (2×2 cm²)
不同溫度及時間的電流.

ⓑ	Ti _{0.95} In _{0.05} O ₂	400°C- 3h	550°C- 1h	550°C- 3h	
	CV	照光電流	27.8	25.9	32
(mA)	CV	未照光電流	23	14.9	21
		相差電流	4.8	11	11
IV	IV	照光電流	17.9	26	32
		未照光電流	23	15	21
(mA)	IV	相差電流	4.9	11	11
550°C-3h CV 相差電流為 2.75 (mA/cm ²)					
IV 相差電流為 2.75 (mA/cm ²)					

表 5. Ti_{0.95}V_{0.05}O₂ 不同溫度及時間的電流.

ⓒ	Ti _{0.95} V _{0.05} O ₂	400°C- 3h	550°C- 1h	550°C- 3h	
	CV	照光電流	13.9	25.4	20.8
(mA)	CV	未照光電流	11	19.9	13.3
		相差電流	2.9	5.5	7.5
IV	IV	照光電流	13	25	20
		未照光電流	10	19	12.8

	相差電流	3	6	7.2
550°C-3h CV 相差電流為 1.875 (mA/cm ²)				
IV 相差電流為 1.80 (mA/cm ²)				

表 6. Ti_{0.95}V_{0.025}In_{0.025}O₂
不同溫度及時間的電流.

ⓓ	Ti _{0.95} V _{0.025} In _{0.025} O ₂	400°C- 3h	550°C- 1h	550°C- 3h	
	CV	照光電流	17.5	18.3	29.7
	CV	未照光電流	15	14	22.9
		相差電流	2.5	4.3	6.8
IV	IV	照光電流	18	19	29
		未照光電流	14.5	14.2	22.3
	IV	相差電流	3.5	4.8	6.7
550°C-3h CV 相差電流為 1.70 (mA/cm ²)					
IV 相差電流為 1.68 (mA/cm ²)					

表 7. UV系統樣品電流比較.

400°C-3hr	CV 比較	Ⓐ > Ⓑ > Ⓒ > Ⓓ
	IV 比較	Ⓐ > Ⓑ > Ⓓ > Ⓒ
550°C-1hr	CV 比較	Ⓑ > Ⓐ > Ⓒ > Ⓓ
	IV 比較	Ⓑ > Ⓐ > Ⓒ > Ⓓ
550°C-3hr	CV 比較	Ⓑ > Ⓐ > Ⓒ > Ⓓ
	IV 比較	Ⓑ > Ⓐ > Ⓒ > Ⓓ

表 8. 氙燈系統樣品電流比較.

	TiO ₂	550°C-3h	Ti _{0.95} In _{0.05} O ₂	550°C-3h
CV	照光電流	29.6	照光電流	29.5
(mA)	未照光電流	20.5	未照光電流	18
	相差電流	9.1	相差電流	11.5
IV	照光電流	29	照光電流	29
(mA)	未照光電流	21.5	未照光電流	18
	相差電流	7.5	相差電流	11
CV 相差電流		CV 相差電流		
2.28 (mA/cm ²)		2.88 (mA/cm ²)		
IV 相差電流		IV 相差電流		
1.88(mA/cm ²)		2.75 (mA/cm ²)		