

中華民國第 52 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

040812

鈦神奇—二氧化鈦光觸媒的製備及應用

學校名稱：國立新竹高級中學

作者： 高二 林浩瑋 高二 劉邦孝 高二 俞彥丞	指導老師： 莊崇仁
-----------------------------------	--------------

關鍵詞：光沉澱、光觸媒、水質淨化

摘要

水污染是大家關心的議題，而光觸媒處理法是可同時處理水中重金屬離子及有機物的可行方法。根據文獻指出，光觸媒二氧化鈦接受紫外光的照射，產生電洞及電子；電洞在水中會產生活性氫氧自由基(OH·)，電子則產生超氧離子(O₂⁻)，便能夠分解有機物。另外，電子也可以還原重金屬離子。可是二氧化鈦會因為密度大於1而沉於水中，無法分解浮於水面的污染物。所以我們找尋適當方法，就是玻璃球與金屬鈦基底，使整體物質密度低於水。玻璃球提供載體可以回收，不沉入水中也不會擋到陽光；而金屬鈦則可讓二氧化鈦奈米管堅固地鍵結於其上，並非只是以塗佈方式沾附在物體上。另外金屬鈦也可保護玻璃球不因運送過程中堆疊、碰撞而破裂。

壹、研究動機

在高二基礎化學教材中提及奈米材料，介紹了奈米光觸媒的特性。因為非常有趣兼具實用性，於是我們就開始研究因為水質污染，導致影響環境品質的解決方案。我們所用載浮載沉的二氧化鈦是一次可以處理多種重金屬離子、可溶於水及浮於水面有機污染物的簡單又可回收裝置。即可同時處理三種不同型式的污染源。

貳、研究目的

- 一、尋找何種形式的二氧化鈦，光分解效果最好
- 二、尋找可使二氧化鈦奈米管穩定附著之金屬及條件
- 三、尋找可使已附著二氧化鈦奈米管的金屬浮起之載體
- 四、檢測所製作出裝置於水污染處理成效

參、研究設備及方法

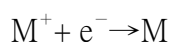
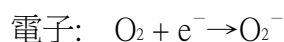
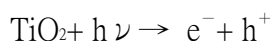
一、理論基礎

(一)、文獻探討：

1、光催化基本原理

光觸媒在經一定能量的光照射下，可以進行氧化還原反應使之分解有機物及光沉澱(photodeposition)重金屬離子；而二氧化鈦即是光觸媒之一。二氧化鈦經波長小於380nm的紫外光照射後(因二氧化鈦的能隙帶為3.2eV)，就會因吸收能量而讓電子從價帶被激發至傳導帶，這樣就會在價帶產生電洞也會在傳導帶產生電子。若此時是在水中，利用電洞及OH⁻產生氫氧自由基(OH·)；電子則與O₂產生超氧離子(O₂⁻)也可以還原銅離子。此時二氧化鈦能夠還原重金屬離子成原子，也能非常輕易的打斷有機物之共價鍵，進而使有機物分解並產生出

無害的二氧化碳和水。因光觸媒需接觸反應物才可進行反應，且表面積越大，反應速率越快，已知銳鈦礦二氧化鈦粉末之體表面積為 $10\text{m}^2/\text{g}$ ，P25 二氧化鈦粉末之體表面積為 $35\sim 45\text{m}^2/\text{g}$ ，我們打算把光觸媒粉末做成奈米管之型式使之增加體表面積進而使反應速率加快。



2、由參考資料得知 TiO_2 作用之條件為:

- (1) 需要有光才能有反應，且照射光為波長小於 380nm 的紫外光。
- (2) 需要有水和氧氣的情況下才會反應。
- (3) 必須要與反應物有接觸。

二、藥品與器材

(一)、藥品

銳鈦礦二氧化鈦粉末 (試藥級)	-----	德國 Aldrich公司
P25二氧化鈦粉末 (試藥級)	-----	德國 Degussa公司
NaOH (試藥級)	-----	日本 島久藥品株式會社
HCl (試藥級)	-----	日本 小島化學藥品株式會社
矽油 (特級)	-----	台灣 景明化工
$\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (試藥級)	-----	日本 小島化學藥品株式會社
環己烷 (試藥級)	-----	日本 小島化學藥品株式會社
甲苯 (試藥級)	-----	日本 島久藥品株式會社
尿素 (試藥級)	-----	日本 島久藥品株式會社
丙酮 (試藥級)	-----	日本 島久藥品株式會社
硫酸銅 ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) (試藥級)	-----	日本 島久藥品株式會社

(二)、器材

電磁攪拌器	-----	1 臺	攪拌器	-----	1 台
溫度計 (100°C)	-----	1 支	溫度計 (200°C)	-----	1 支
鐵架	-----	2 座	攪拌子 (5cm)	-----	2 個
攪拌子 (2.5cm)	-----	2 個	PTFE(polytetrafluoroethene)瓶	-----	1 個
滴管	-----	2 支	5號濾紙 (110mm)	-----	1 盒
純鈦箔 ($7 * 7\text{cm}$)	-----	1 盒	2公升大抽濾瓶	-----	1 個
研鉢	-----	1 個	5公升塑膠燒杯	-----	2 個
紫外燈管 (365nm)	-----	1 組	電子天秤	-----	2 臺
錐形瓶	-----	2 個	大木箱 ($90*90*90\text{cm}$)	-----	1 個
鋁箔紙	-----	1 卷	抽氣馬達	-----	2 個
容量瓶 (100mL)	-----	1 個			
原子吸收光譜儀(AA)	-----	1 台(型號: 日立 Z-5300)			

三、試藥配製

- 1、配製 10M NaOH_(aq) 溶液。
- 2、配製 0.1M 鹽酸水溶液。
- 3、配製 0.1M Ba(OH)₂水溶液。
- 4、配製 10M 尿素溶液。
- 5、配製 50ppm CuSO₄溶液。
- 6、配製 V% 20%丙酮溶液。

肆、實驗過程與方法

實驗一、在鈦基底上製備P25奈米管及P25奈米管粉末

(一)、目的：以P25二氧化鈦粉末在鈦基底上長出P25奈米管

(二)、步驟：

- 1、將 3g P25二氧化鈦粉末 + 60mL H₂O攪拌均勻。
- 2、超音波震盪 5 分鐘；離心 1 分鐘。
- 3、取出離心後上層 P25 溶液到 PTFE 瓶中。
- 4、再加入 10M 30mL NaOH、攪拌子、鈦基底到 PTFE 瓶中。
- 5、鎖緊 PTFE 瓶後放到加熱板上開始油浴加熱。
- 6、維持在 150°C 下加熱約 48 小時或是在 110°C下加熱約 7 天。
- 7取出鈦基底及溶液，加水 600mL 後，用攪拌器均勻攪拌1小時，再用5號濾紙抽氣過濾，重複 3 次。
- 8、加入 0.1M 鹽酸水溶液後，用攪拌器均勻攪拌1小時，再用5號濾紙抽氣過濾，重複 3 次。
- 9、加水 600mL 後，用攪拌器均勻攪拌1小時，再用5號濾紙抽氣過濾，重複 3 次。
- 10、在 120°C 下乾燥 12 小時，即可得到鈦基底上的P25奈米管及P25奈米管粉末樣品。
- 11、將乾燥後的P25奈米管粉末樣品研磨後，和鈦基底一起在 400°C 煅燒 3 小時，即可得到鈦基底上的P25奈米管及P25奈米管粉末。
- 12、將空心玻璃球嵌入已附著有P25奈米管的鈦基底底部凹洞中。



上圖為實驗一水熱法裝置圖

實驗二、三種光觸媒光催化效果（使用環己烷、甲苯作為模擬分解浮於水面的有機物）

（一）、目的：比較銳鈦礦二氧化鈦粉末、P25二氧化鈦粉末、P25奈米管粉末的光催化效果（使用環己烷、甲苯作為分解浮於水面的有機物）。

（二）、方法：供給充足的空氣和紫外光，可使二氧化鈦光觸媒將有機物分解成二氧化碳和水；將二氧化碳通往氫氧化鋇水溶液，可得碳酸鋇沉澱，稱量碳酸鋇之重量，可知各型式二氧化鈦光觸媒光催化之效率快慢。

（三）、步驟：

- 1、0.2克的銳鈦礦二氧化鈦粉末加1mL水及30mL環己烷置於圓底燒瓶中，並放入2.5公分攪拌子。
- 2、配0.1M的氫氧化鋇水溶液，取75mL置於錐形瓶中。
- 3、將圓底燒瓶放在電磁攪拌器上並和錐形瓶以橡皮管連接。
- 4、將圓底燒瓶瓶口接空氣瓶，並持續通入少量氣體。
- 5、開電磁攪拌器使攪拌子能在圓底燒瓶底部順利旋轉。
- 6、開紫外光燈照射，使光觸媒可以作用，定時觀察氫氧化鋇溶液是否有沉澱。
- 7、取0.2克P25二氧化鈦粉末重複上述步驟1~6。
- 8、取0.2克P25奈米管粉末重複上述步驟1~6。
- 9、將有機物改為甲苯，重複上述步驟1~8。

實驗三、P25奈米管光沉澱(photodeposition)重金屬離子效果（使用銅離子作為模擬光沉澱重金屬）

（一）、目的：利用實驗一製作出的P25奈米管粉末照射紫外線時可使銅離子還原成銅原子之特性，清除水中重金屬離子。

（二）、方法：

供給充足空氣及紫外線可使P25奈米管粉末將銅離子光沉澱，再利用原子吸收

光譜（AA）來檢測銅離子的濃度變化。

（三）、步驟：

- 1、將0.2克P25奈米管粉末加入50ppm硫酸銅溶液50ml置於圓底燒瓶中並放入2.5公分攪拌子。
- 2、將圓底燒瓶放在電磁攪拌器上並以橡皮管和錐形瓶連接。
- 3、將圓底燒瓶口接空氣瓶並持續通入少量氣體。
- 4、開電磁攪拌器使攪拌子能在圓底燒瓶底部順利旋轉。
- 5、開紫外燈使P25奈米管粉末可以作用；定時收集溶液，並利用原子吸收光譜儀（AA）檢測溶液中剩餘銅離子濃度。

實驗四、鈦基底上的P25奈米管光催化效果（使用環己烷、甲苯作為模擬分解浮於水面的有機物）

（一）、目的：TiO₂粉末分離困難，利用鈦基底上的P25奈米管易於分離及光分解特性來清除油污。

（二）、方法：供給充足的空氣和紫外光，可使鈦基底上的P25奈米管將有機物分解成二氧化碳和水。將二氧化碳通往氫氧化鋇水溶液，可得碳酸鋇沉澱，稱量碳酸鋇之重量，可得鈦基底上的P25奈米管分解有機物成效。

（三）、步驟：

- 1、將三個經過實驗二150度下維持48小時，長有P25奈米管的鈦基底清洗、烘乾、稱重，記錄初始鈦基底重量。
- 2、把步驟1之鈦基底、適量水及250mL環己烷置於圓底燒瓶中，並放入2.5公分攪拌子。
- 3、配0.1M的氫氧化鋇水溶液，取75mL置於錐形瓶中。
- 4、將圓底燒瓶放在電磁攪拌器上並和錐形瓶以橡皮管連接。
- 5、將圓底燒瓶瓶口接空氣瓶，並持續通入少量氣體。
- 6、開電磁攪拌器使攪拌子能在圓底燒瓶底部順利旋轉。
- 7、開紫外光燈照射，使鈦基底上的P25奈米管可以作用，定時觀察氫氧化鋇溶液是否有沉澱。
- 8、將鈦基底清洗、烘乾、稱重，記錄光催化分解後的重量。
- 9、將有機物改為甲苯，重複上述步驟1~8。

實驗五、鈦基底上的P25奈米管分解水中有機物（使用尿素及丙酮溶液作為模擬分解溶於水中有機物）

（一）、目的：利用鈦基底上的P25奈米管易於分離且照射紫外線時可分解水中有機物之特性，清除水中有機物。

（二）、方法：

供給充足的空氣和紫外光，可使鈦基底上的P25奈米管將有機物分解成二氧化碳和水。將二氧化碳通往氫氧化鋇水溶液，可得碳酸鋇沉澱，稱量碳酸鋇之重量，

可得鈦基底上的P25奈米管分解有機物成效。

(三)、步驟：

- 1、將三個經過實驗二150度下維持48小時，長有P25奈米管的鈦基底清洗、烘乾、稱重，記錄初始鈦基底重量。
- 2、把步驟 1 之鈦基底及250mL尿素水溶液置於圓底燒瓶中，並放入2.5公分攪拌子。
- 3、配0.1M的氫氧化鋇水溶液，取75mL置於錐形瓶中。
- 4、將圓底燒瓶放在電磁攪拌器上並和錐形瓶以橡皮管連接。
- 5、將圓底燒瓶瓶口接空氣瓶，並持續通入少量氣體。
- 6、開電磁攪拌器使攪拌子能在圓底燒瓶底部順利旋轉。
- 7、開紫外光燈照射，使光觸媒可以作用，定時觀察氫氧化鋇溶液是否有沉澱。
- 8、將鈦基底清洗、烘乾、稱重，記錄光催化分解後的重量。
- 9、將有機物改為20%丙酮溶液，重複上述步驟1~8。

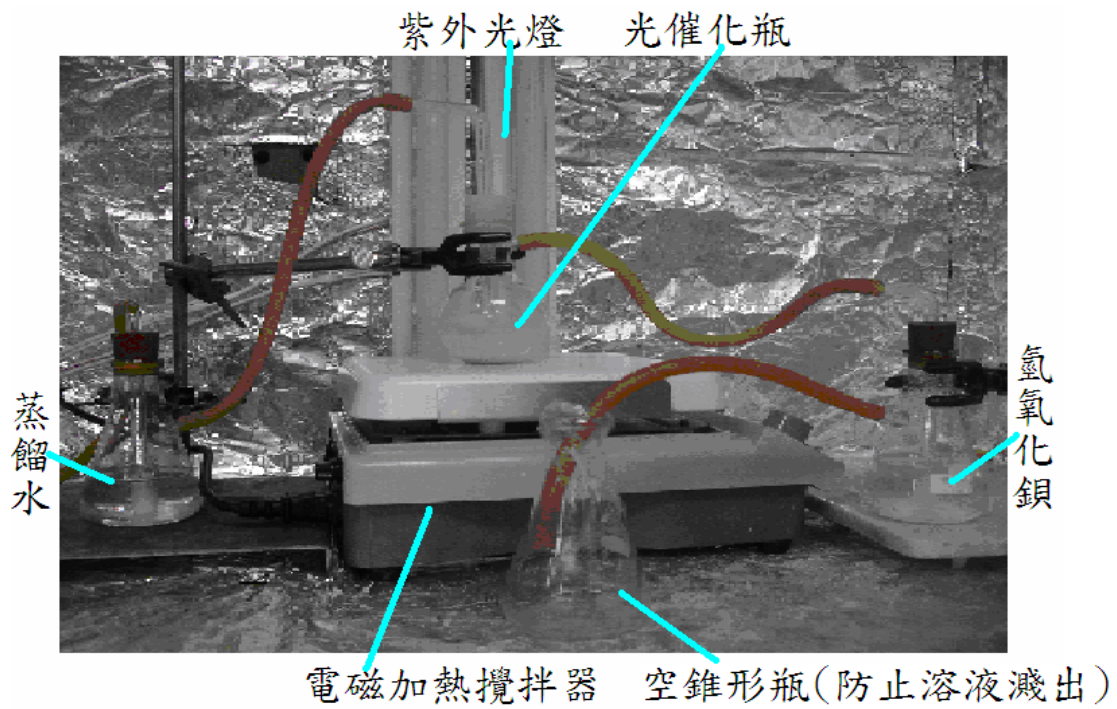
實驗六、鈦基底上的P25奈米管水質淨化處理效果（使用環己烷、甲苯、尿素、丙酮及硫酸銅作為模擬淨化水質污染物）

(一)、目的：TiO₂粉末分離困難且密度大於水，利用鈦基底上的P25奈米管將可溶及不可溶的汙染物淨化。

(二)、方法：供給充足的空氣和紫外光，鈦基底上的P25奈米管將銅離子還原成銅原子，亦可將有機物分解成二氧化碳和水，再將二氧化碳通往氫氧化鋇水溶液可得碳酸鋇沉澱，稱量碳酸鋇之重量可得鈦基底上的P25奈米管分解有機物之成效。另外，P25奈米管光沉澱銅離子的效果可取反應後溶液由原子吸收光譜(AA)檢測。

(三)、步驟：

- 1、將三個經過實驗二110度下維持7天，已生成P25奈米管的鈦基底清洗、烘乾、稱重，記錄初始鈦基底重量。
- 2、把步驟1之鈦基底及250mL混合液（含有50ppm銅離子70mL、甲苯20mL、環己烷20mL、尿素溶液70mL、丙酮溶液70mL）置於圓底燒瓶中，並放入2.5公分攪拌子。
- 3、配0.1M的氫氧化鋇水溶液，取75mL置於錐形瓶中。
- 4、將圓底燒瓶放在電磁攪拌器上並和錐形瓶以橡皮管連接。
- 5、將圓底燒瓶瓶口接空氣瓶，並持續通入少量氣體。
- 6、開電磁攪拌器使攪拌子能在圓底燒瓶底部順利旋轉。
- 7、開紫外光燈照射，使P25奈米管可以作用，定時觀察氫氧化鋇溶液是否有沉澱，並抽取混合液檢測銅離子之剩餘濃度。

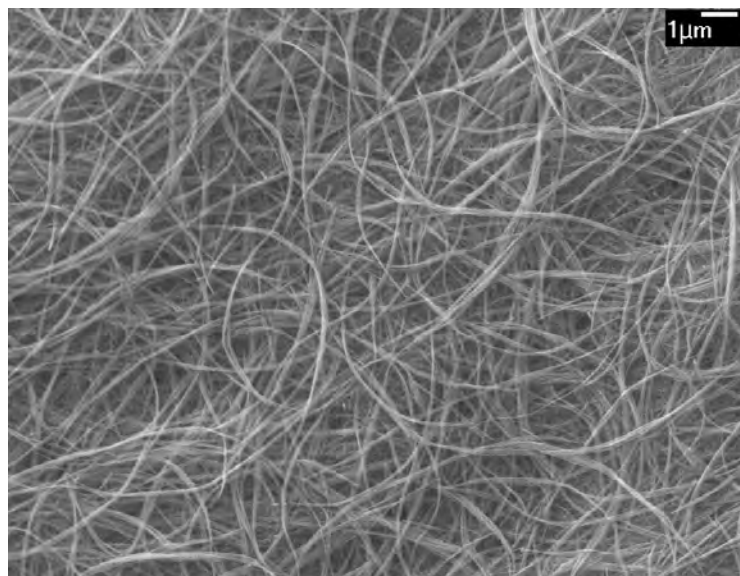


TiO₂模擬分解污染物實驗裝置圖

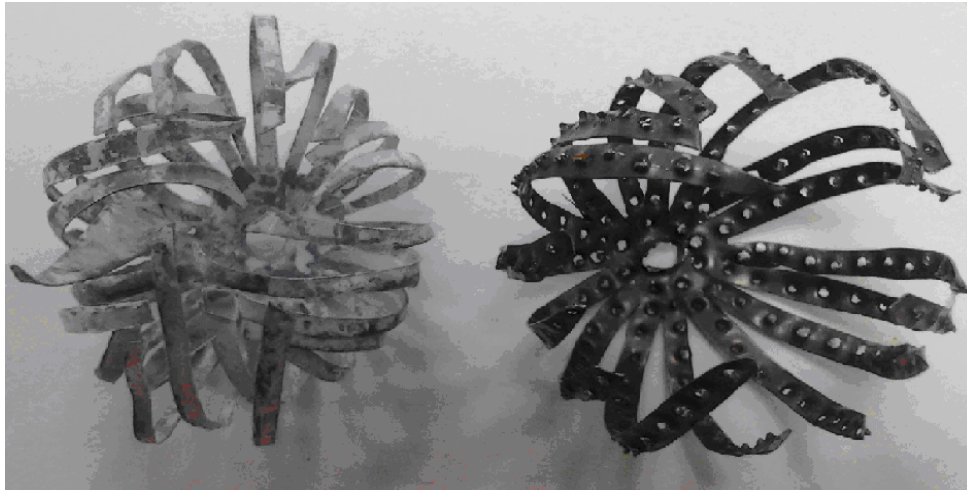
伍、研究結果與討論

實驗一、在鈦基底上長P25奈米管

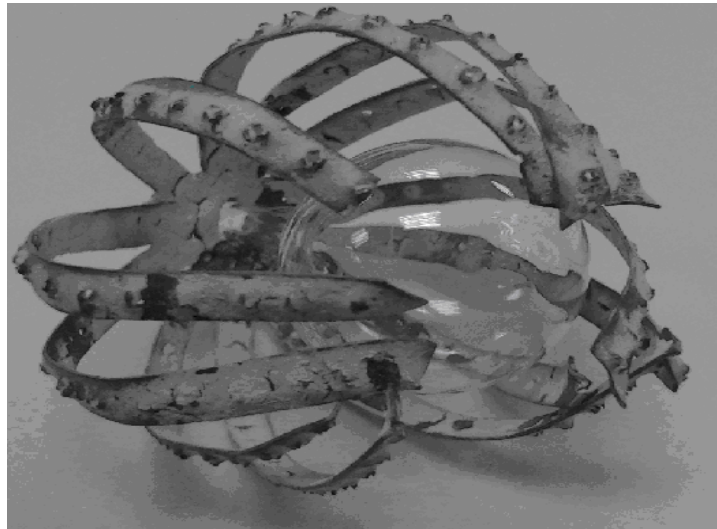
(一)、結果：



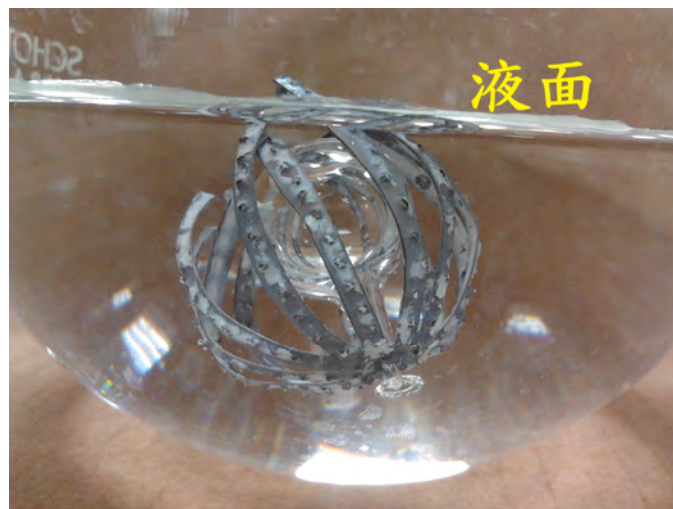
PTFE瓶內P25粉末本身轉換成之P25奈米管粉末：上圖5千倍



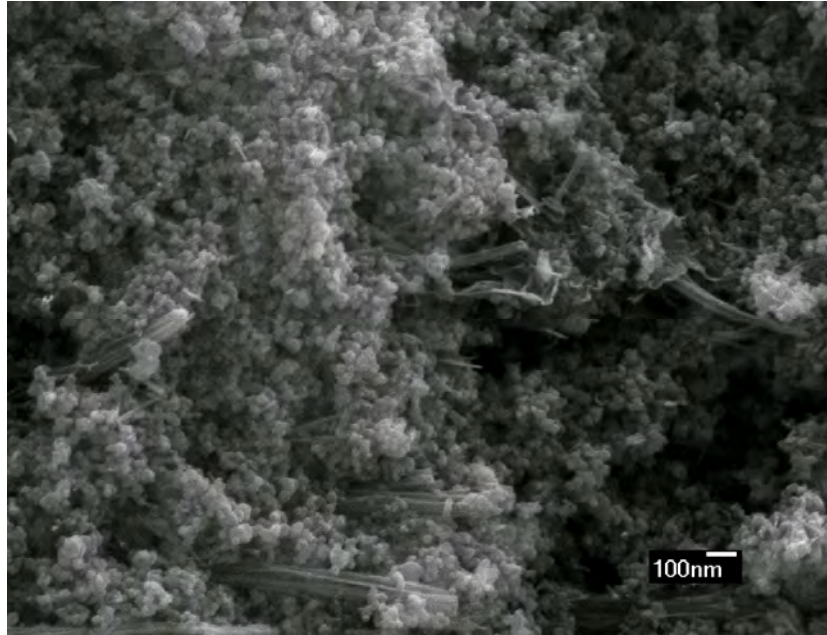
右方為無經過實驗二之鈦基底，左方鈦基底上之白色物質即為P25奈米管



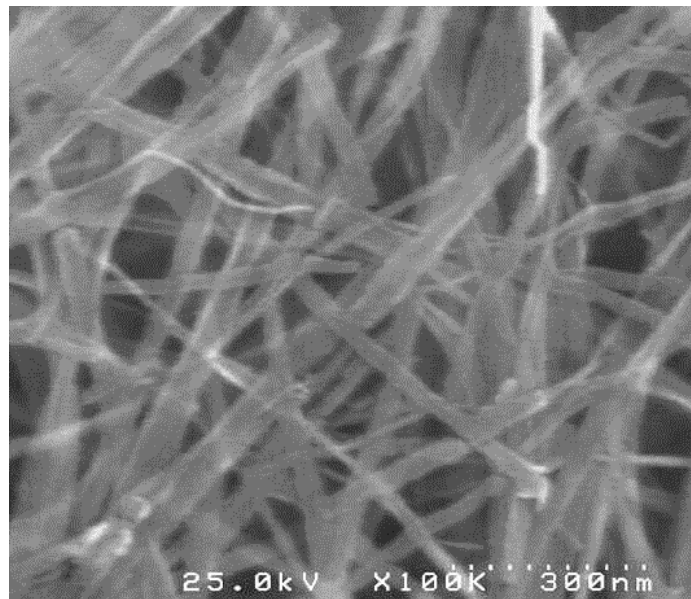
鈦基底上嵌入一個空心玻璃球，使其緊扣住玻璃球



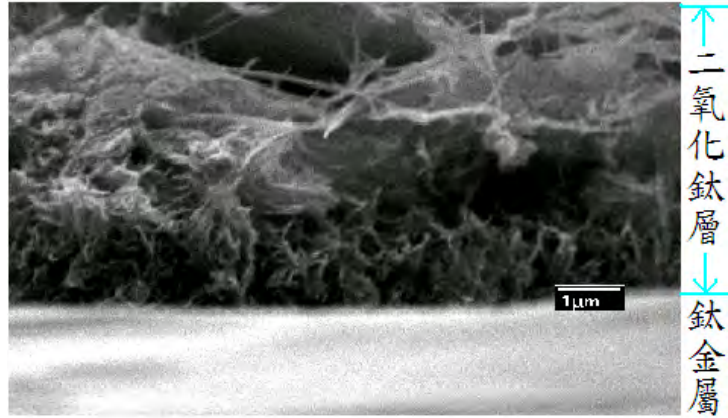
由上圖可知此結構能夠浮於液面上



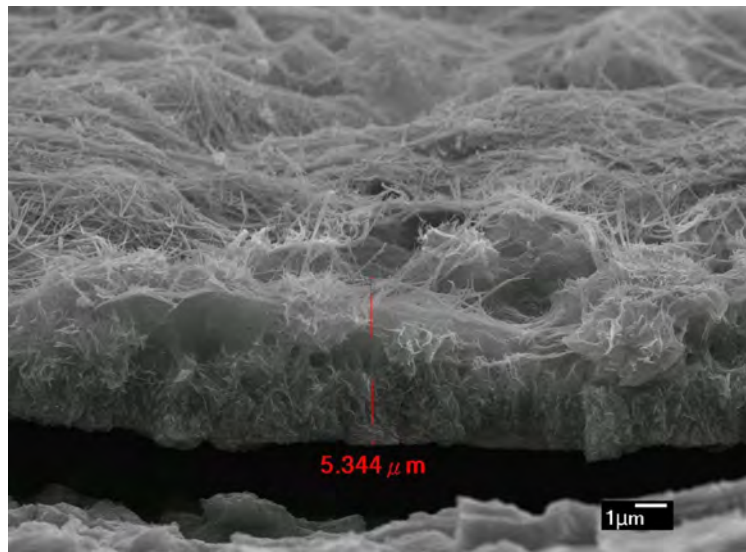
附著於鈦基底上的P25奈米管，150°C、24小時。因為反應時間過短，則P25奈米管尚未完全形成，
上圖4萬倍



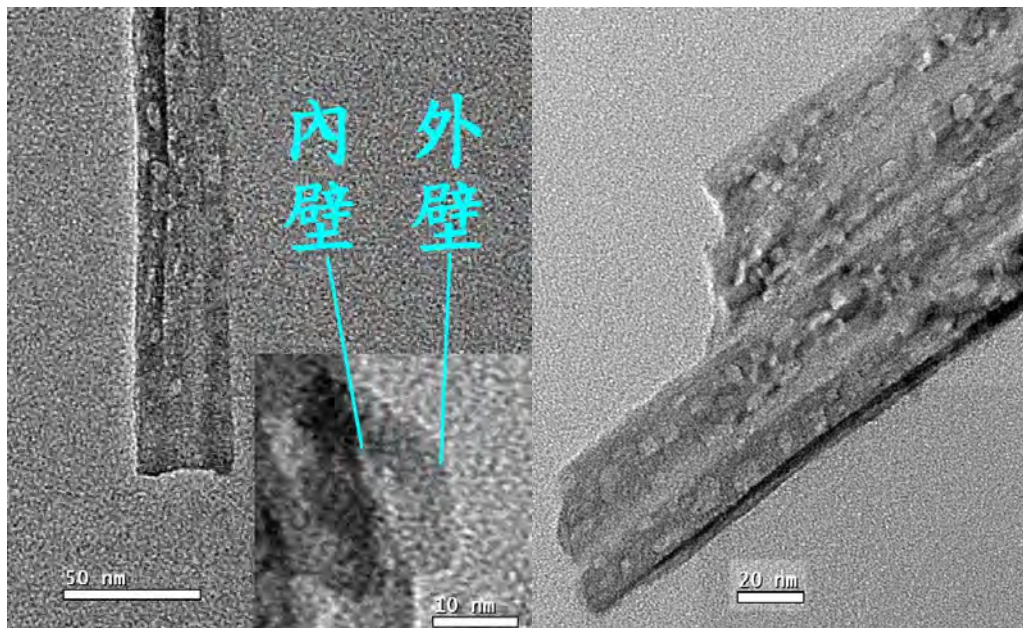
附著於鈦基底上的P25奈米管，150°C，41.5小時：上圖10萬倍



鈦基底上長P25奈米管的橫截面SEM， 150°C， 40小時：上圖5千倍



鈦基底上長P25奈米管， 150°C， 60小時， 反應時間過久則二氧化鈦層和鈦金屬分開：上圖5千倍



鈦基底上所長出的P25奈米管在穿透式電子顯微鏡(TEM)圖，可看出其管徑為開口中空，外管徑

約為36nm，管壁約14nm，內管徑為9.1nm；左圖右下角為其縱截面圖，其餘為橫截面圖。

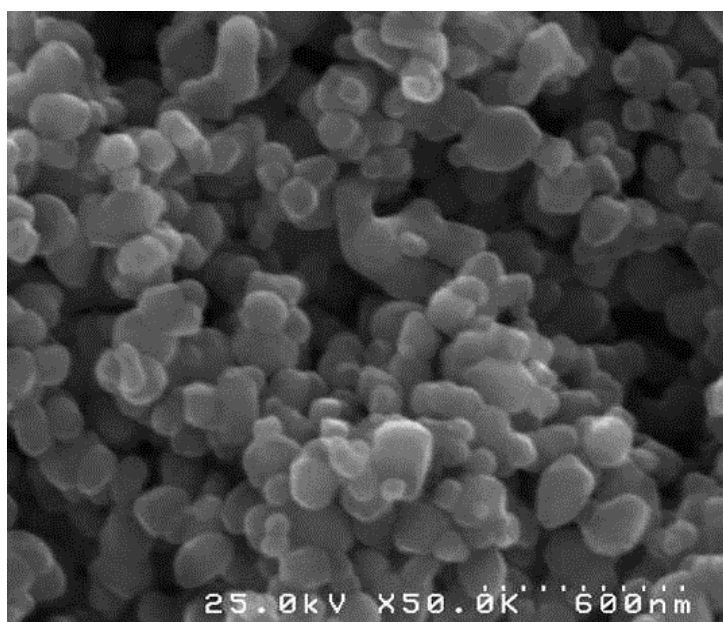
(二)、討論：

在本實驗中我們嘗試了許多不同的實驗時間，而從SEM照片中，我們發現若加熱時間低於30小時，則P25奈米管附著在鈦片上的量會過少。若加熱時數超過57小時，原先附著在鈦片上的P25奈米管會和鈦金屬分開而減少許多。在各張SEM照片中，加熱時間41.5小時是管狀二氧化鈦最密集且牢固的。

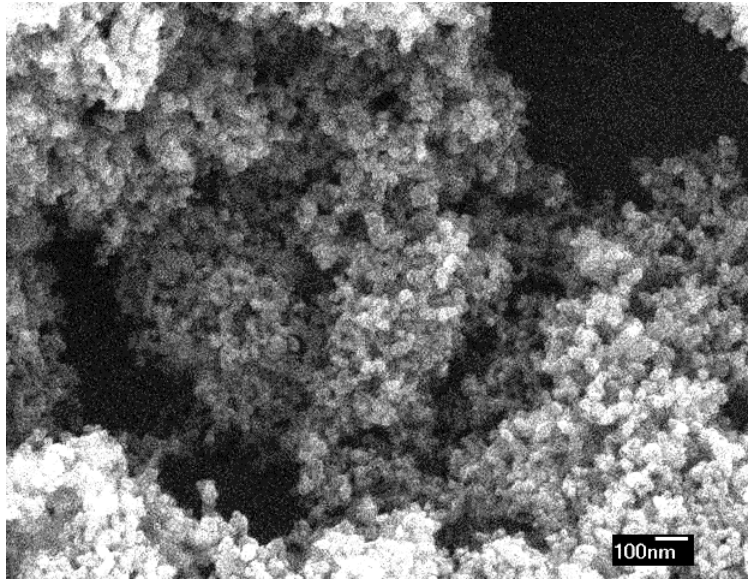
經過此實驗，我們在鈦基底上成功地製造出了P25奈米管。將鈦基底上的P25奈米管刮下，由穿透式電子顯微鏡(TEM)所照出的照片知其結構為開口、中空外管徑約為36nm，管壁約14nm，內管徑為9.1nm。為了使其能夠浮在水面上，我們將一顆玻璃球嵌入鈦基底中，由照片可看出這個成品確實有達到這個效果，符合我們最初的實驗目的。

實驗二、三種光觸媒的光催化效果

(一)、結果：



銳鈦礦二氧化鈦粉末掃描式電子顯微鏡圖（5萬倍放大）



P25二氧化鈦粉末掃描式電子顯微鏡圖（5萬倍放大）

由銳鈦礦二氧化鈦粉末及P25二氧化鈦粉末同倍率SEM圖(皆為5萬倍)可知，P25粉末顆粒較小，擁有較大的體表面積

銳鈦礦二氧化鈦粉末（環己烷）

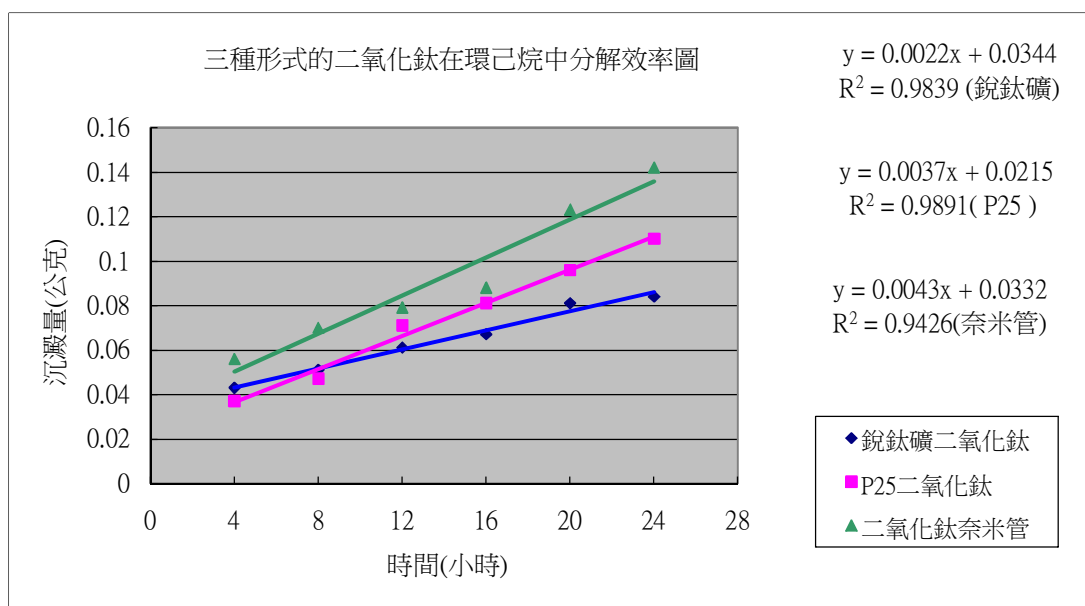
反應時間 _(hr)	4	8	12	16	20	24
BaCO ₃ 質量 _(g)	0.043	0.051	0.061	0.067	0.081	0.084

P25二氧化鈦粉末（環己烷）

反應時間 _(hr)	4	8	12	16	20	24
BaCO ₃ 質量 _(g)	0.037	0.047	0.071	0.081	0.096	0.110

P25奈米管粉末（環己烷）

反應時間 _(hr)	4	8	12	16	20	24
BaCO ₃ 質量 _(g)	0.056	0.07	0.079	0.088	0.123	0.142



銳鈦礦二氧化鈦粉末 (甲苯)

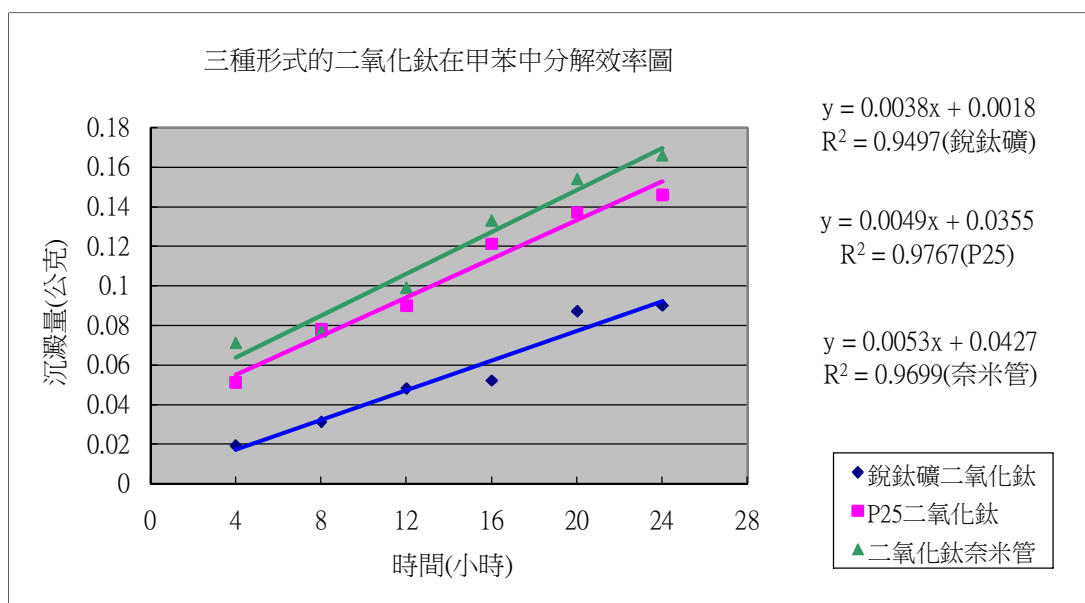
反應時間 _(hr)	4	8	12	16	20	24
BaCO ₃ 質量 _(g)	0.019	0.031	0.048	0.052	0.087	0.090

P25二氧化鈦粉末 (甲苯)

反應時間 _(hr)	4	8	12	16	20	24
BaCO ₃ 質量 _(g)	0.051	0.078	0.090	0.121	0.137	0.146

P25二氧化鈦奈米管 (甲苯)

反應時間 _(hr)	4	8	12	16	20	24
BaCO ₃ 質量 _(g)	0.071	0.077	0.099	0.133	0.154	0.166



(二)、討論：

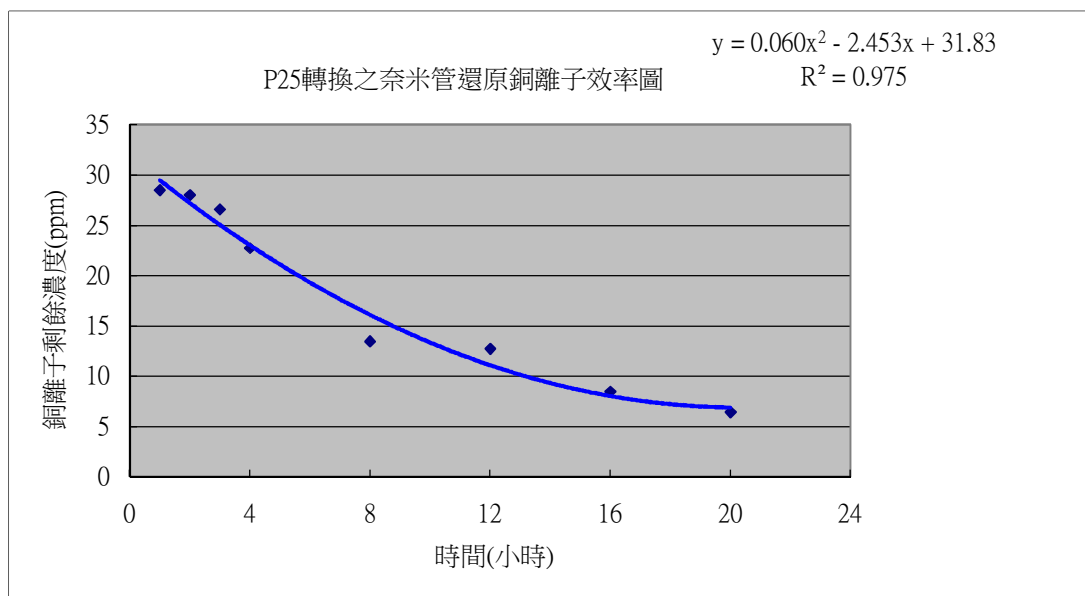
1、在這個實驗中，我們發現隨著反應時間的增加，不論是銳鈦礦二氧化鈦粉末、P25二氧化鈦粉末還是P25奈米管粉末實驗所得的BaCO₃量皆會持續增加，也就是說光催化反應所產生的二氧化碳量會隨著時間增加，且呈現線性關係。其中P25奈米管粉末在每一個反應時間中所得的碳酸鈣沉澱量皆高於P25二氧化鈦粉末，而P25二氧化鈦粉末在大多數反應時間所得的碳酸鈣沉澱量高於銳鈦礦二氧化鈦粉末，少部分有不同的結果，推測是因為圓底燒瓶內的攪拌子無法將全部的二氧化鈦粉末揚起，造成些微的誤差。

2、由實驗數據及圖形知光催化效果以P25奈米管粉末產生出BaCO₃最多，所以催化效果最好，P25二氧化鈦粉末其次而銳鈦礦二氧化鈦粉末較差。

實驗三、P25奈米管粉末光沉澱重金屬離子效果（使用銅離子做為模擬光沉澱重金屬）

(一)、結果：

反應時間 _(hr)	1	2	3	4	8	12	16	20
剩餘Cu ²⁺ 濃度 (ppm)	28.45	27.93	26.55	22.63	13.43	7.33	8.44	6.40



(二)、討論：

在這個實驗中，我們發現 Cu^{2+} 濃度隨反應時間增加而減少，但非呈現線性關係。開始時 Cu^{2+} 的還原效果很好，可是隨時間增加，溶液中銅離子濃度並沒有線性遞減；推測應該是 Cu^{2+} 濃度降低，使光沉澱速率趨緩或是銅原子附著於P25奈米管上，使其無法接受到紫外光而鈍化。

實驗四、鈦基底上的P25奈米管光催化效果（使用環己烷、甲苯做為模擬分解浮於水面的有機物）

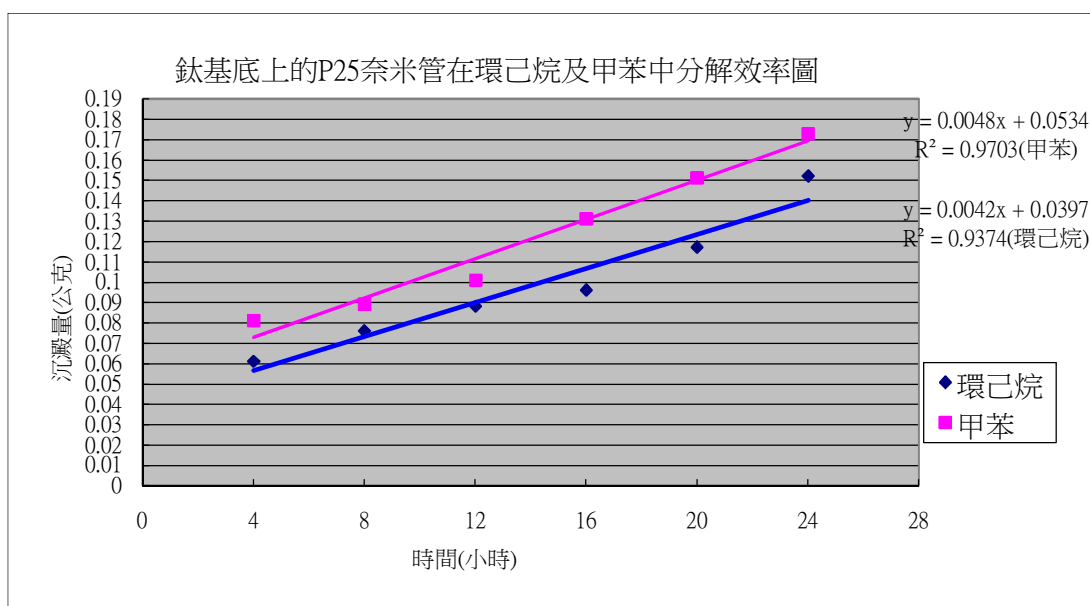
(一)、結果：

鈦基底上的P25奈米管（環己烷）

反應時間 _(hr)	4	8	12	16	20	24
BaCO_3 質量 _(g)	0.061	0.076	0.088	0.096	0.117	0.152

鈦基底上的P25奈米管（甲苯）

反應時間 _(hr)	4	8	12	16	20	24
BaCO_3 質量 _(g)	0.081	0.089	0.101	0.131	0.151	0.173



(二)、討論：

1、在這個實驗中，我們發現隨著反應時間的增加，鈦基底上的P25奈米管實驗所得的BaCO₃量會持續增加，也就是說光催化反應所產生的二氧化碳量會隨著時間增加，且呈現線性關係。而前後測量三個鈦基底的重量差異分別只有0.007、0.002、0.002克，其微小的差異可能是因為電子天平測量時所產生的誤差，由此可知鈦基底上的P25奈米管在經過光催化實驗後，其量是幾乎不會損耗的。

2、此實驗所使用的三個鈦基底上P25奈米管重量分別是0.038、0.034、0.024克重，三者重量和為0.096克重，相較於實驗三中銳鈦礦二氧化鈦粉末、P25二氧化鈦粉末與P25二氧化鈦奈米管粉末所取的0.2克少了許多，但在實驗結果方面碳酸鈣沉澱量明顯高於P25二氧化鈦奈米管粉末，可能是做空白實驗時附著於鈦基底上的氫氧化鈦無法完全除去，以致測得鈦基底上的P25奈米管重量較小之故。

實驗五、鈦基底上的P25奈米管分解水中有機物效果（使用尿素溶液及丙酮溶液作為模擬分解溶於水中有機物）

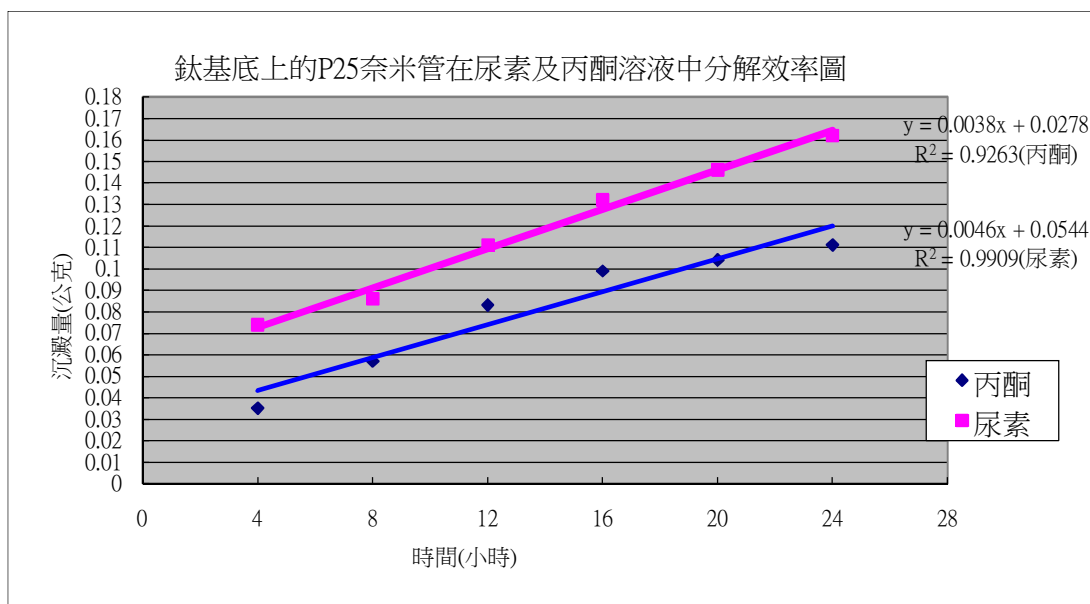
(一)、結果：

鈦基底上的P25奈米管（尿素溶液）

反應時間 _(hr)	4	8	12	16	20	24
BaCO ₃ 質量 _(g)	0.074	0.086	0.111	0.132	0.146	0.162

鈦基底上的P25奈米管（丙酮溶液）

反應時間 _(hr)	4	8	12	16	20	24
BaCO ₃ 質量 _(g)	0.035	0.057	0.083	0.099	0.104	0.111



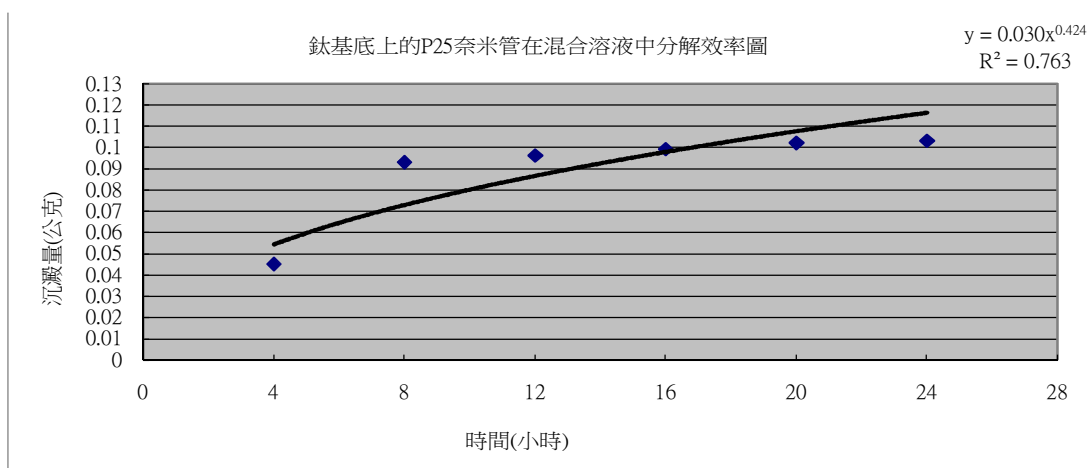
(二)、討論：

在這個實驗中，我們發現尿素溶液及丙酮溶液隨著反應時間的增加，鈦基底上的P25奈米管實驗所得的BaCO₃量會持續增加，也就是說光催化反應所產生的二氧化碳量會隨著時間增加，且呈現線性關係。丙酮溶液則因濃度較稀，反應產生出BaCO₃量在相同時間內較尿素溶液少。

實驗六、鈦基底上的P25奈米管水質淨化處理效果（使用環己烷、甲苯、尿素、丙酮及硫酸銅作為模擬淨化水質污染物）

(一)、結果：

反應時間 _(hr)	4	8	12	16	20	24
BaCO ₃ 質量 _(g)	0.045	0.093	0.096	0.099	0.102	0.103



(二)、討論：

1、在這個實驗中，我們發現隨著反應時間的增加，鈦基底上的二氧化鈦奈米管實驗所得的BaCO₃量會持續增加，但是不像前面分解有機物的實驗是呈線性關係，而是剛開始分解效率較好。推測應該是銅離子還原成銅原子時有助於二氧化鈦奈米管吸收UV後產生電子與電洞，加速光催化效果。

2、混合溶液剛開始的銅離子濃度為 14.02 ppm，經過 4 小時以後的時間再檢測Cu²⁺濃度均低於儀器的檢測極限。推測可能是Cu²⁺與尿素上的氮原子形配位鍵結形成，影響Cu²⁺的吸光度。另外Cu²⁺也有行光沉澱反應使得 4 小時後的濃度極低。

陸、結論

一、將 P25 二氧化鈦粉末和鈦基底浸泡在10M氫氧化鈉水溶液中，維持在 150⁰C下加熱約 48 小時或是在 110⁰C下加熱約 7 天，再經過水洗、酸洗、攪拌、烘乾，即可在鈦基底或是鈦片上得到P25奈米管。

二、在實驗二中，銳鈦礦二氧化鈦粉末效率最差，而P25奈米管粉末反應速率皆最佳，由此可知所製作出的P25奈米管粉末表面積遠大於銳鈦礦二氧化鈦粉末、P25二氧化鈦粉末。

三、經過實驗一所得之P25奈米管確實附著在鈦基底上。將空心玻璃球嵌入鈦基底底部凹洞中，可使其浮於有機物上。

四、在實驗四中，光催化分解反應前後鈦基底上的P25奈米管重量幾乎沒有減少，可見P25奈米管以化學鍵結附著於金屬表面。

五、經由實驗一，我們發現用來使奈米管附著於鈦基底的P25溶液，本身亦可以轉換成P25奈米管粉末，而且其在SEM照片下，顯示管密度很高。所以此實驗方法只需要約 48 小時，就可以製備P25奈米管粉末，大大縮短了水熱法（另一製備二氧化鈦奈米管粉末之方法）所需的時間（168小時）。另外，同樣由SEM照片知鈦基底上的P25奈米管在150⁰C，41.5小時所生成之密度最高且堅固。於其上刮下的二氧化鈦奈米管於穿透式電子顯微鏡(TEM)下觀察其結構確實為開口、中空；外管徑約為36nm，管壁約14nm，內管徑為9.1nm。

六、在實驗四中，我們所製作出的鈦基底確實具有非常好的光催化效率。上方製作出之P25奈米管重量雖不及0.2克的一半，但分解有機物的效率仍高於銳鈦礦二氧化鈦粉末、P25二氧化鈦粉末及P25奈米管粉末，推測是因為空白校正不能求出形成於鈦基底上的P25奈米管真正重量，且P25奈米管皆附著於表面，因此均能接受到紫外光的照射，進行光催化反應。而實驗前後鈦基底上的P25奈米管重量幾乎不減，具有重複使用性。由上述幾點可知，此結構具有良好的應用價值。

七、經由實驗三，我們發現Cu²⁺確實可經由P25奈米管粉末的光沉澱效應，來清除水中的重金屬離子。若將所通入氣體改成Ar氣，形成無氧環境，無法產生

(O_2^-) 則電子還原 Cu^{2+} 效果應會更好。

八、經由實驗四、五、六的結果可知，透過這個簡單的裝置，不論是浮於水面、可溶於水的污染有機物或者是重金屬離子，都能很容易地在UV的催化下被清除。也可以利用魚網或捕蟲網將這個裝置輕易回收。

柒、未來展望

- 一、本實驗以玻璃球作為鈦基底的載體，採用蜘蛛狀的模式固定於空心玻璃球上，來使整體密度低於有機物密度，讓其能夠浮於有機物上。若考慮以別種模式的鈦基底，例如在鈦基底上做化學蝕刻等，嘗試能否增加其附著P25奈米管重量。
- 二、在實驗二中，我們已嘗試過3g、4g、5g、6g的P25二氧化鈦粉末用量，來製備P25奈米管。但能否可找出最佳P25用量，使附著於鈦基底上的P25奈米管量達到最佳。
- 三、此實驗原先是以銀鏡反應，讓一層銀薄膜附著在不導電的玻璃空心球上，之後以熔融狀態電鍍鈦法，來將鈦金屬電鍍在因表層銀膜而具導電性的空心玻璃球上，最後再以實驗二的方法，讓P25奈米管以化學鍵結產生在已附著在鈦金屬的玻璃球表面上。但因為電鍍的方法需要專業技術，所以目前所電鍍出的鈦膜量無法使用。
- 四、若能將自然界中常見的矽藻表面嵌入二氧化鈦或以鈦取代其含有的矽；即為含有二氧化鈦的矽藻，除了可以分解過濾水中有機物，也可還原重金屬離子，本實驗裝置的成本會大幅下降，實用性會大大提昇。

捌、誌謝

感謝國立清華大學奈微與材料科技中心在掃描式電子顯微鏡及國立中央大學工學院精密（貴重）儀器中心在穿透式電子顯微鏡拍攝上面予以協助。還有台豐玻璃儀器公司何老闆在玻璃儀器方面特別幫忙。

玖、參考文獻

- 一、卡田博史（2003）。光觸媒圖解。臺北市：商周
- 二、凌永健等（2010）。基礎化學（二）。臺北市：三民
- 三、M. E. Sibert and M. A. Steinberg (1956). Electrodeposition of Titanium on Base Metals. Journal of The Electrochemical Society, Vol.102, No.11, 641-647
- 四、A. W. SCHLECHTEN, M. E. STRAUMANIS, AND C. B. GILL (1955). Deposition of Titanium Coatings from Pyrosols. Journal of The Electrochemical Society, Vol.102, No.2, 81-85
- 五、M. E. Sibert and M. A. Steinberg (1956). The Current Status of Research and

Development on Electrolytic Titanium. Journal of Metals. 1162-1168

六、Zhengrong R. Tian, James A. Voigt, Jun Liu, Bonnie Mckenzie and Huifang Xu (2003)

Large Oriented Arrays and Continuous Films of TiO₂-Based Nanotubes. Journal of American Chemical Society, 125, 12384-12385

【評語】 040812

1. 二氧化鈦光觸媒之製備應詳細說明。
2. 光觸媒之鑑定很重要，最好能從不同實驗證明。
3. 大氣中 CO_2 之溶解度必須考慮，會影響碳酸鋇沉澱量。