

臺灣二〇〇七年國際科學展覽會

科 別：化學

作 品 名 稱：光觸媒(TiO₂)對還原重金屬離子之研究

學校 / 作者：國立彰化高級中學
國立彰化高級中學

吳尹傑
林恩楷

作者簡介

➤ 林思楷

目前就讀於國立彰化高中二年級，雖然小時候就對自然科學有著些許的好奇，但真正對自然科學展開的探索則是在進入了彰化高中之後。

在高一下時候，有機會在劉曉倩老師的指導下，參與科展的實驗，在這半年多的歷程中，我不但學習到如何運用團隊的合作去解決問題，也在解決級尋求方法的過程中體會了人與人之間的互助和牽絆。

這次實驗的完成，要特別感謝劉曉倩老師及鄭政峯教授的指導，更要感謝和我一同奮鬥的夥伴。謝謝你們！！



➤ 吳司傑

很高興能有機會能夠參加國際科展的初選。原本我就對物理化學方面的學科有著濃厚的興趣，尤其是對化學實驗情有獨鍾，無奈國中時代的實驗課真是少之又少。在上了彰化高中之後，有幸在劉曉倩老師的指導下，有機會可以參加科展，盡情的享受做實驗的樂趣！但我從這次的科展參與中得到的不只是化學的知識而已，還有體會了人與人之間的互助和牽絆，並學習到如何運用團隊的合作去解決問題，這都是在課本中學不到的！

這個研究要靠我們劉曉倩老師和鄭政峯教授的細心指導和許多人的大力支持才能完成！還有和我一路辛苦過來的夥伴，謝謝你們！



光觸媒 (TiO_2) 對還原重金屬離子之研究

Photo-Catalytic Reduction of (heavy metal ions) by TiO_2

壹、摘要

一、中文摘要

光催化氧化反應以半導體金屬氧化物為催化劑，進行有機性空氣污染物之快速分解反應。其原理係將半導體材質（如：二氧化鈦， TiO_2 ），在適合之光能量照射下，將半導體激發成為具有氧化/還原能力之催化劑，可加速氧化還原反應之進行，迅速分解有機污染物。

研究動機在於利用 TiO_2 在紫外光的照射下，將 H_2O 分解產生自由基，使其和水中的重金屬離子進行氧化還原反應，期待可以還原水中的重金屬藉以降低水中重金屬離子濃度，同時藉由使用界面活性劑對奈米微粒具保護作用，可回收重金屬奈米微粒。

由實驗結果得知在紫外光照射下， TiO_2 使用量 0.5 克， AgNO_3 (aq) 0.01M，照光 24 小時其電導度值上升最多且在溶液表面觀察到銀白色銀金屬薄膜生成而所測得銀金屬析出量明顯增加。探討超音波振盪對 TiO_2 還原力的影響得知，超音波震盪的時間越久，所上升的電導度值愈多。

探討常見的界面活性劑（陽離子型及陰離子型）對 TiO_2 還原力的影響：從數據中可觀察到，加入陰離子界面劑時，電導度值明顯上升；而加入陽離子界面活性劑後，電導度值迅速下降，照光後電導度值也不理想。

探討日光及不同頻率的紫外光照射光源對 TiO_2 還原力的影響：發現紫外光的波長愈短，銀金屬析出的量愈多。

探討除氧處理之溶液對 TiO_2 還原力的影響得知，除氧處理後所配製的 AgNO_3 (aq) 0.01M，經照光 24 小時後電導度值明顯上升，且在溶液表面觀察到大片銀白色銀金屬薄膜生成而所測得銀的析出量也大幅增加。

二、英文摘要

In the experiment, we used the properties of TiO_2 that can catalyzed by UV rays and breaking the molecules of water and produce free radicals, which free radicals can redox metallic oxide as accelerator to analyze organic pollutant briskly. We use different shining time and to find the best effect of the redox reaction.

So we want to use this attribute to begin the redox reaction with the metal ion (for example: Ag^+) in water, expecting to reduce them. And then we can use this method to recycle the metal and to reduce the pollution in rivers.

Throughout shining UV rays in 24 hours, we can find out the best effect of TiO_2 reducing the metal ion solution. We can also find that we use ultrasonic first; the more redox it will have. In this research, we can observed that if we put more anion surface-active agent, the more redox it will have. We find the effect of UV rays is better than visible light. The most important is that we deoxidize the metal ion solution, we can get the best effect of the redox reaction. In our research, we can't get the satisfying result of the copper sulphate (CuSO_4) by TiO_2 accelerating the redox reaction under UV rays.

貳、研究動機

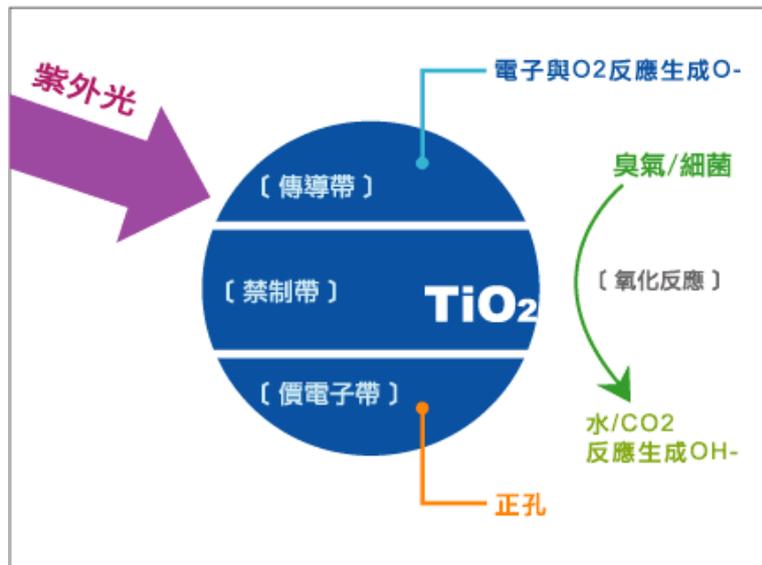
常聽到長輩們訴說他們在河裡抓魚、嬉戲，不禁令我們這些在都市叢林中長大的小孩心生嚮往，但是現在台灣到處工廠林立，所排放的廢水更污染了台灣大大小小的河川，使人不但不想親近，反而避而遠之，工業廢水中所含有的重金屬離子更是環境污染的元兇，例如綠牡蠣事件（銅離子污染）、北大西洋的銀污染所造成海洋生物的傷害，如果能夠將這些廢水中的重金屬離子從廢水中還原，不僅可以降低工業廢水對環境的破壞力，同時也使金屬回收再利用。

而我們在參考文獻中得知 TiO_2 在紫外光的照射下，可將 H_2O 分解產生自由基，於是我們便想利用 TiO_2 的特性，使其和水中的重金屬離子進行氧化還原反應，期待可以還原出水中的重金屬。而 TiO_2 可重複使用的優點，適合在工業上使用，較符合經濟效益，所以讓我們對這種新穎的方法抱持著高度的興趣。

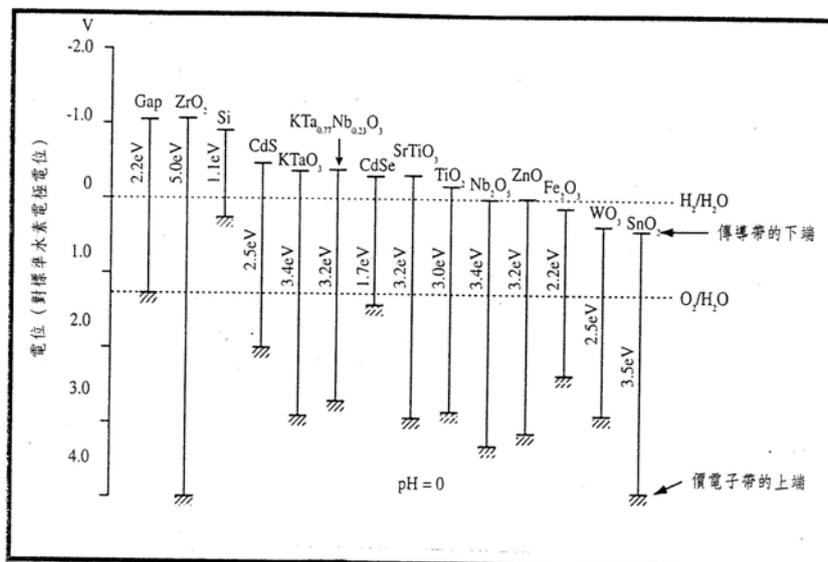
此外，家庭廢水也是環保問題的一大重點，家庭廢水中常含有許多界面活性劑，造成河川優養化，使魚群絕跡，河川一片死氣沉沉有如「寂靜的春天」。我們在參考文獻中得知界面活性劑對奈米微粒具保護作用，在界面活性劑存在下，可使重金屬離子在 TiO_2 作用下還原成奈米金屬。如此不僅可以淨化水質，同時也可使重金屬回收再利用，達到綠色化學、永續經營的遠程目標，這正是科學家所肩負的時代使命！

參、相關理論

光催化氧化反應以半導體金屬氧化物為催化劑，進行有機性空氣污染物之快速分解反應，國外亦有將此類氧化反應命名為光催化氧化（photocatalytic oxidation, PCO）。其原理係將半導體材質（如：二氧化鈦， TiO_2 ），在適合之光能量照射下，將半導體激發成為具有氧化/還原能力之催化劑，可加速氧化還原反應之進行，迅速分解有機污染物。因為當半導體材質吸收了高於能階距的能量時，半導體表面上價電帶（valence band）上的電子可被提昇至導電帶（conduction band），並分別在價電帶遺留一個電子洞（electron hole），以及在導電帶形成具活性電子的激發態，因此產生所謂之電子-電子洞對（electron-electron hole pairs），並進而產生如氫氧自由基類之高氧化性物質，同時藉以破壞有機污染物。



圖一：二氧化鈦 (TiO₂) 還原機制



圖二：常見半導體之能階間距分布圖

而有關均勻液態介質中若有微粒懸浮，這些微粒都是漫無規律地隨機分布，當光線通過時，可作為次波源。又因為粒子間的時間隔遠大於光波波長，次波之間沒有固定的周相關係，所以不會出現干涉相消的現象，因而出現向各個方向傳播的散射光，稱為廷得耳散射。

光線通過膠體溶液時，因為膠質粒子散射光線的緣故，顯出一條明亮的光束，此現象稱為廷得耳效應，真溶液則沒有這種現象。不同粒徑範圍的膠質粒子所散射的可見光頻率會有所不同，能使可見光發生散射的微粒多屬於奈米微粒。

硫代硫酸鈉在酸性溶液中自身氧化還原反應產生硫的過程中，有一個階段是硫分子堆積成奈米粒子大小的等級。有研究提出界面活性劑對奈米粒子的保護作用，本研究計畫在反應系統內加入不同類型的界面活性劑，觀察它們對粒子堆積過程的影響。又因為膠體溶液有特殊的光學性質廷得耳效應，在硫奈米微粒堆積的過程中，散射的光束會隨粒徑成長而有動態變化，所以觀察散射光束的強弱變化可以間接推得溶液中粒子的堆積狀況。

本研究中界面活性劑也佔了相當重要的地位。界面活性劑的一般性質及分類：

界面活性劑溶於水、油類或其他溶劑後容易吸附於溶液的表面或界面，降低溶液的表面張力或界面張力，而產生活性的表面或界面。

界面活性劑 (surfactants) 是屬於「兩性化合物」，其分子結構大致可區分為「親水性 (hydrophilic) 頭部」和「疏水性 (hydrophobic) 尾鏈」兩部分。親水性頭部通常是一個具有極性或離子性的原子團，疏水性尾鏈通常由一條或數條的碳氫長鏈所構成，可能為直鏈或支鏈。

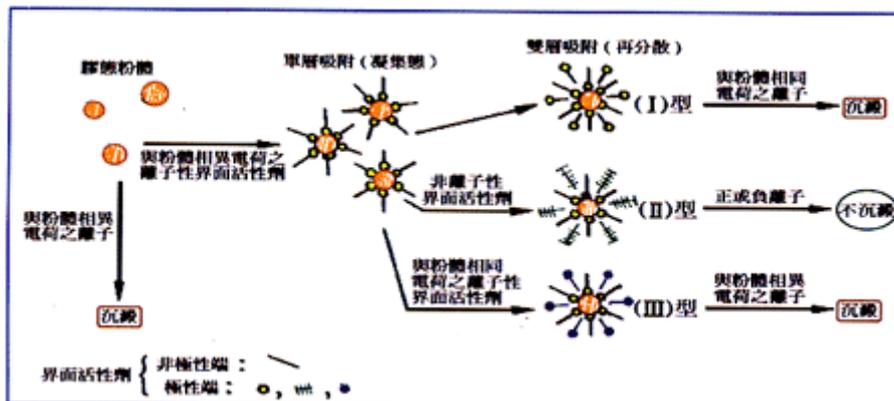
界面活性劑由其親水性頭部所攜帶之電荷，可區分為陰離子性 (anionic)，陽離子性 (cationic) 及非離子性 (non-ionic) 或兩性 (ampholytic) 等之界面活性劑。微胞的形成：

界面活性劑在稀薄溶液中就如同一般溶質，離子性界面活性劑類似一般電解質。界面活性劑濃度達到特定值——臨界微胞濃度 (critical micelle concentration, 簡記為 c.m.c) 時，溶液性質：滲透壓、濁度、導電度、及表面張力等會發生劇烈變化。此乃因溶液形成微胞 (micelles)。微胞是由界面活性劑分子聚排組成。水溶液中的界面活性劑微胞結構中，分子的親油性碳氫鏈朝向微胞內部，分子的親水性基則朝向微胞外部與水接觸。c.m.c 值是界面活性劑之重要特性，其值依碳氫鏈長度、親水基、溶液離子強度、溫度等而改變。常見的微胞結構有球形、層形、圓柱狀等。一般而言，當濃度大於 c.m.c 值時，會有相當寬廣之濃度範圍使微胞大約呈圓球形狀。

界面活性劑之分散力：界面活性劑可以使不溶粉體微粒的分散質均勻分散到分散媒，即溶劑中，而形成膠體溶液。界面活性劑對於粉體微粒之分散與乳化的程序有如下的效應：

- 一、界面活性劑被吸附在粉體與分散媒之界面，降低界面能，穩定分散系。
- 二、在解離性溶液中，界面活性劑可增加界面電動勢，結果可增加粉體間之靜電斥力而分散。
- 三、界面活性劑吸附在粉體表面，形成「溶媒和層」而分散。故界面活性劑可吸附成兩層後再分散。

帶有電荷分布之膠態粉體，加入異電荷離子性界面活性劑，而使其單層吸附於粉體表面，則形成一般沉澱反應。若再吸附一層界面活性劑，即共吸附兩層，則可再分散。依據再吸附之界面活性劑的不同而有三種吸附膠體：第一型為與第一層相同的異電荷離子性界面活性劑，若加入與粉體同電荷離子則容易沉澱。第二型為非離子型界面活性劑，不再受外來離子之影響，不會沉澱。第三型為與粉體同電荷離子性界面活性劑，若加入與粉體異電荷離子則生成沉澱。



肆、研究目的

- 一、探討在特定的紫外光 (UV 燈) 下，不同重量的 TiO_2 對水溶液中重金屬銀離子 (Ag^+) 還原的影響。
- 二、探討 TiO_2 對不同濃度 $\text{AgNO}_3(\text{aq})$ 還原成銀金屬 (Ag) 的影響。
- 三、探討超音波振盪對 TiO_2 還原力的影響。
- 四、探討常見的界面活性劑 (陽離子型、陰離子型) 對 TiO_2 還原力的影響。
- 五、探討不同頻率光源對 TiO_2 還原力的影響。
- 六、探討在紫外光照射下， TiO_2 對水溶液中其他重金屬離子 (銅離子) 還原的影響。

伍、研究問題

- 一、探討 $\text{AgNO}_3(\text{aq})$ 加入 TiO_2 在特定頻率紫外光照射下，電導度值的變化及銀金屬析出量。
- 二、改變紫外光照射時間，探討照射時間對溶液中 Ag^+ 濃度的影響。
- 三、探討藉由超音波震盪對 TiO_2 還原力的影響。
- 四、在 TiO_2 的 $\text{AgNO}_3(\text{aq})$ 溶液中加入各種界面活性劑，探討在紫外光照射下其對溶液中電導度值及銀金屬析出量的影響。
- 五、改變不同照射光源 (例如：各種不同頻率紫外光及可見光)，探討其產生的影響。

陸、研究設備及器材

- 一、燒杯、量筒、滴管、漏斗、電子天平、磁攪拌器、超音波震盪槽、電導度儀、變頻紫外燈及暗箱、酸鹼度儀、離心機。
- 二、二氧化鈦、硝酸銀、硫酸銅、陽離子型界面活性劑、陰離子型界面活性劑。

柒、研究方法

- 一、探討在紫外光下， TiO_2 對重金屬離子 Ag^+ 的還原力：
 1. 取出 5 個 100ml 的燒杯，加入相同濃度 0.01M 的 $\text{AgNO}_3(\text{aq})$ 50ml，並在每個燒杯內分別加入 0.125 克、0.5 克、0.75 克、0.1 克的 TiO_2 在 UV 燈照射下，反應 3 小時、6 小時、12 小時、18 小時、24 小時相較，找出 TiO_2 最適量。
 2. 取 3 組 (6 個燒杯)，將每一個燒杯加入 0.01M、50ml 的 $\text{AgNO}_3(\text{aq})$ ，並將每一組中的一個燒杯分別加入適量的 TiO_2 ，使其照射 UV 燈 24 小時。
 3. 將溶液取出離心，吸取上層澄清溶液測電導度。
 4. 改變照射時間 (3 小時、6 小時、12 小時、18 小時、24 小時) 同上測電導度。
 5. 改變 $\text{AgNO}_3(\text{aq})$ 濃度 (0.005M、0.0025M、0.00125M) 重覆步驟 2. 3. 4。
 6. 由電導度值可得知溶液中離子濃度的改變量。

7.將溶液過濾，濾紙上所收集的沉澱物，以氨水加以洗滌去除雜質，烘乾秤得所析出銀金屬量。

二、探討超音波振盪對 TiO_2 還原力的影響：

- 1.取 3 組（12 個燒杯），將每一個燒杯加入適量的 $\text{AgNO}_3(\text{aq})$ ，並將每一個燒杯分別加入適量的 TiO_2 ，並將溶液放置於超音波振盪機中振盪 5~60 分鐘後，照射 UV 燈 24 時後，將電導度值及銀析出量相比較。
- 2.將溶液取出離心，吸取上層澄清溶液，待其冷卻至室溫測電導度，將溶液過濾，濾紙上所收集的沉澱物，以氨水加以洗滌去除雜質，烘乾秤得所析出銀金屬量。

三、探討常見的界面活性劑（陽離子型、陰離子型）對 TiO_2 還原力的影響：

- 1.取燒杯，將每一個燒杯加入適量的 $\text{AgNO}_3(\text{aq})$ ，並將每一組中的一個燒杯分別加入適量的 TiO_2 、不同濃度的陽離子界面活性劑，使其照射 UV 光，各 24 小時相比較。
- 2.將溶液取出離心，吸取上層澄清溶液，待其冷卻至室溫測電導度。將溶液過濾，濾紙上所收集的沉澱物，以氨水加以洗滌去除雜質，烘乾秤得所析出銀金屬量。
- 3.改換其它型界面活性劑（陰離子型）重覆步驟

四、探討日光和紫外光對 TiO_2 還原力的影響：

- 1.取燒杯，將每一個燒杯加入適量的 $\text{AgNO}_3(\text{aq})$ ，並將每一組中的一個燒杯分別加入適量的 TiO_2 ，使其照射 UV 光和日光，各 24 小時相比較。
- 2.將溶液取出離心，吸取上層澄清溶液，待其冷卻至室溫測電導度。將溶液過濾，濾紙上所收集的沉澱物，以氨水加以洗滌去除雜質，烘乾秤得所析出銀金屬量。

五、探討除氧之溶液對 TiO_2 還原力的影響：

- 1.取燒杯，將水煮沸除氧後加入適量的 AgNO_3 並將每一組中的一個燒杯分別加入適量的 TiO_2 ，使其照射 UV 光和日光，各 24 小時相比較。
- 2.將溶液取出離心，吸取上層澄清溶液，待其冷卻至室溫測電導度。將溶液過濾，濾紙上所收集的沉澱物，以氨水加以洗滌去除雜質，烘乾秤得所析出銀金屬量。

六、探討硫酸銅溶液對 TiO_2 還原力的影響：

- 1.取燒杯，將水煮沸除氧後加入適量的硫酸銅（ CuSO_4 ）並將每一組中的一個燒杯分別加入適量的 TiO_2 ，使其照射 UV 燈和日光，各 24 小時相比較。
- 2.將溶液取出離心，吸取上層澄清溶液，待其冷卻至室溫測電導度。將溶液過濾，濾紙上所收集的沉澱物，以氨水加以洗滌去除雜質，烘乾秤得所析出銀金屬量。

捌、預期成果

一、利用測溶液中電導度的變化，證實 TiO_2 在 UV 燈照射下，確實可使溶液中的重金屬離子還原成金屬回收再利用，同時溶液中重金屬離子含量下降，達到淨化水質、綠色化學的目標。

二、希望能藉由超音波振盪克服 TiO_2 僅能在表面上反應的缺點，增加反應接觸面積，縮短反應時間。

三、探討界面活性劑對 TiO₂ 還原力的影響。

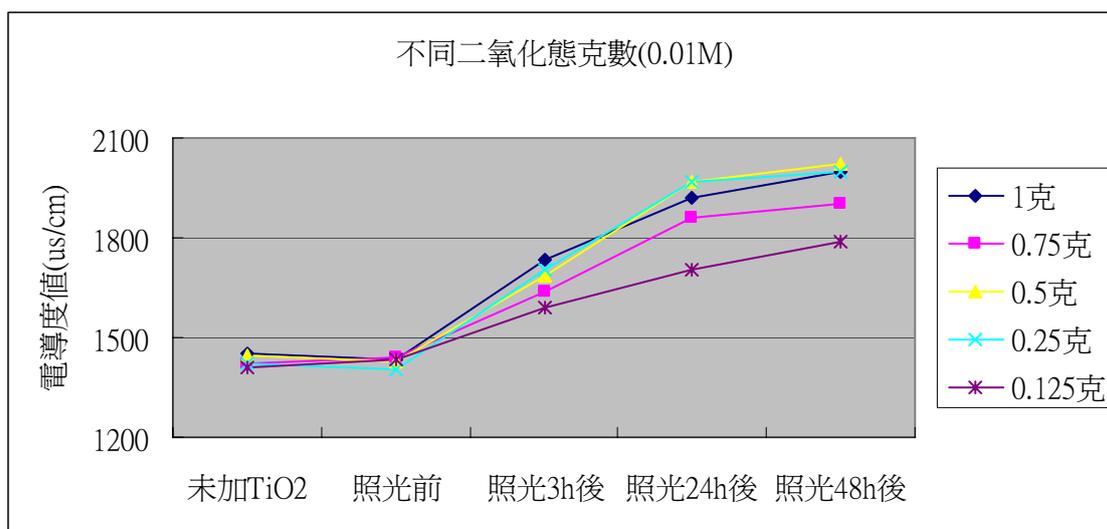
四、希望在可見光源照射下，找出適當的光觸媒即可使重金屬離子還原，降低成本，同時也可減少紫外線照射對人體可能的危害。

玖、研究結果

一、探討在紫外光照射下，TiO₂ 使用量對 AgNO₃ (aq) 電導度值的變化及銀金屬析出量的影響

1. AgNO₃ (aq) 0.01M

TiO ₂ 克數	未加 TiO ₂ 電導度值	照光前 電導度值	照光 3h 後 電導度值	照光 24h 後 電導度值	照光 48h 後電導度值	照光 24h 後銀析出量 (克)
1.0	1450	1436	1733	1920	2000	0.005
0.75	1422	1442	1638	1859	1900	0.004
0.5	1447	1428	1684	1970	2020	0.007
0.25	1423	1406	1702	1970	2000	0.005
0.125	1409	1437	1589	1702	1787	0.003

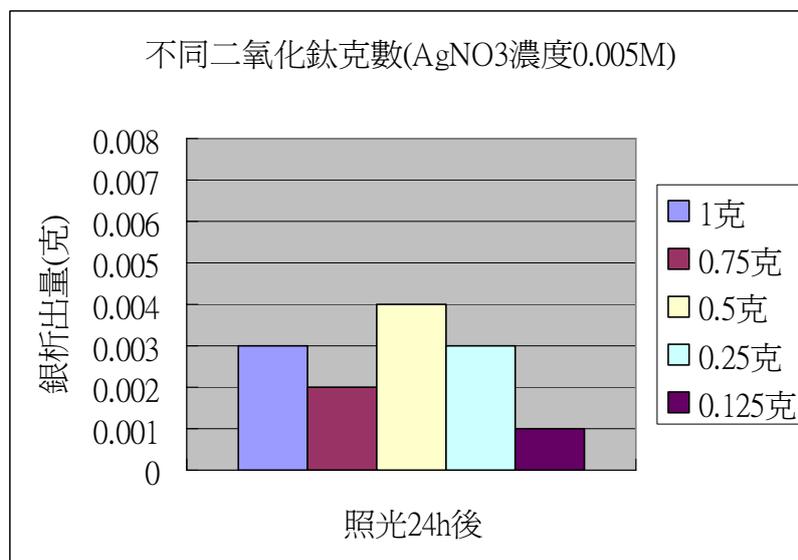
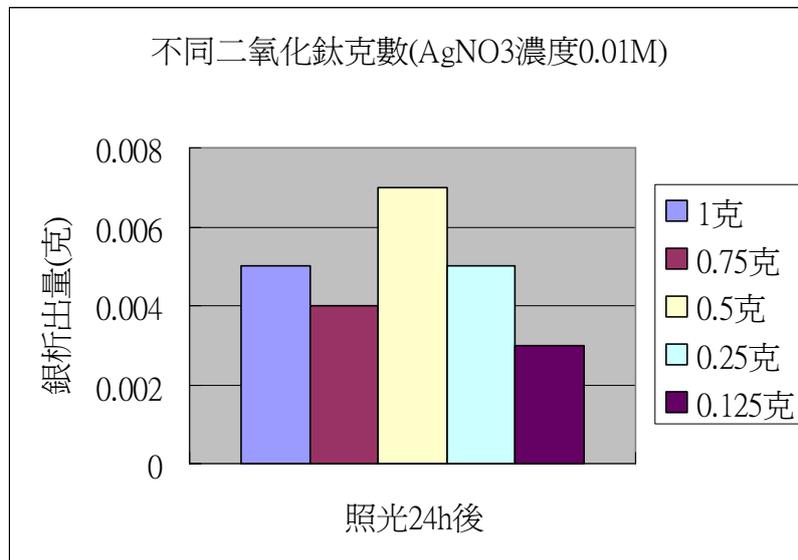
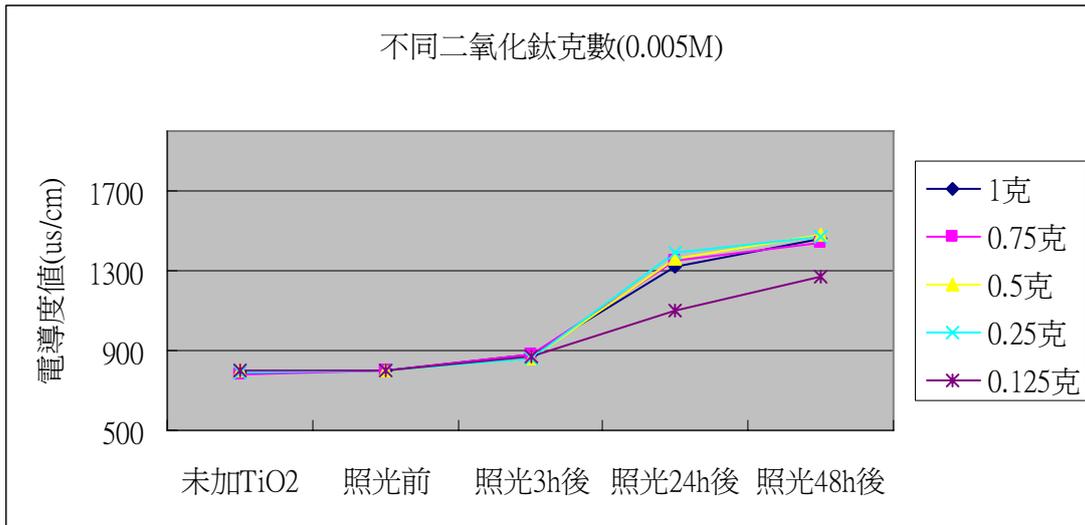


2. AgNO₃ (aq) 0.005M

TiO ₂ 克數	未加 TiO ₂ 電導度值	照光前 電導度值	照光 3h 後 電導度值	照光 24h 後 電導度值	照光 48h 後電導度值	照光 24h 後銀析出量(克)
1.0	795	800	879	1318	1462	0.003
0.75	782	803	878	1350	1440	0.002
0.5	804	801	865	1362	1480	0.004
0.25	791	799	865	1386	1467	0.003
0.125	804	802	874	1105	1275	0.001

電導度值單位：us/cm 紫外光波長 254nm

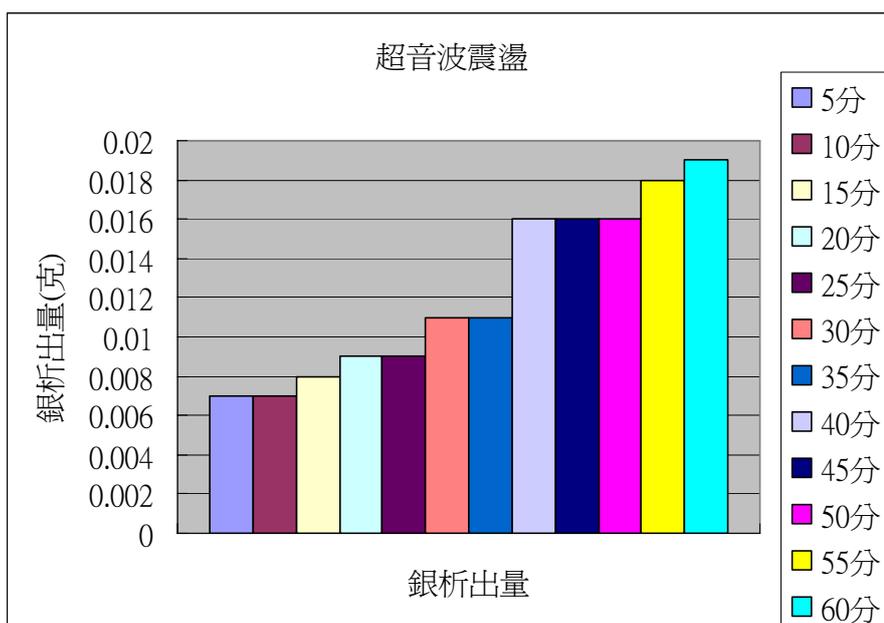
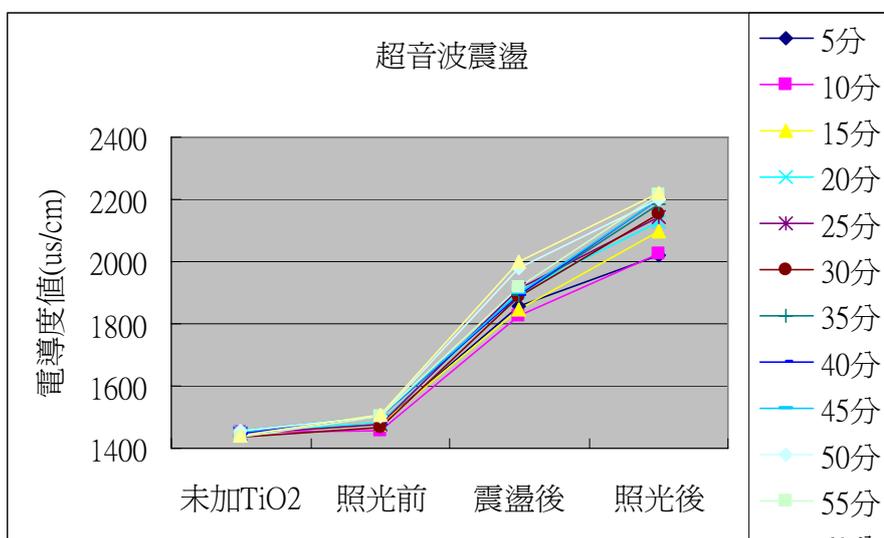
3. TiO₂ 還原銀金屬的量



二、探討超音波震盪對 TiO₂ 還原力的影響

反應條件：AgNO₃ (aq) 0.01M，TiO₂ 0.5 克，照射紫外光 24 小時

震盪時間(分)	未加 TiO ₂ 電導度值	照光前 電導度值	震盪後 電導度值	照光後 電導度值	銀析出量(克)
5	1445	1477	1856	2020	0.007
10	1453	1458	1825	2027	0.007
15	1446	1478	1844	2100	0.008
20	1450	1480	1902	2130	0.009
25	1446	1477	1911	2142	0.009
30	1435	1466	1887	2156	0.011
35	1454	1505	1890	2183	0.011
40	1448	1502	1894	2199	0.016
45	1455	1503	1900	2201	0.016
50	1455	1501	1980	2202	0.016
55	1438	1505	1920	2213	0.018
60	1439	1506	2000	2219	0.019



紫外光波長 254nm 電導度值單位：us/cm

三、探討界面活性劑對 TiO₂ 還原力的影響

控制變因：AgNO₃ (aq) 0.01M，照射紫外光 24 小時

1. 陽離子型界面活性劑 (濃度 0.001M)

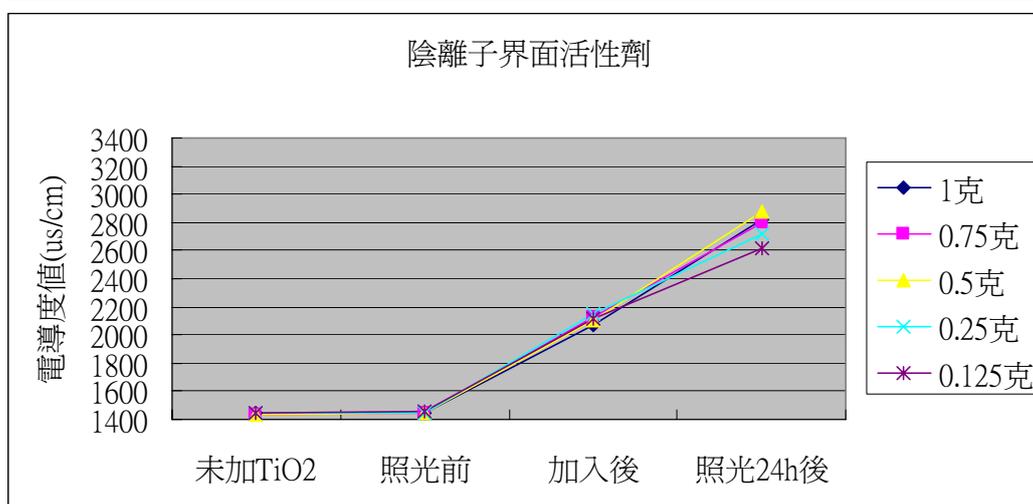
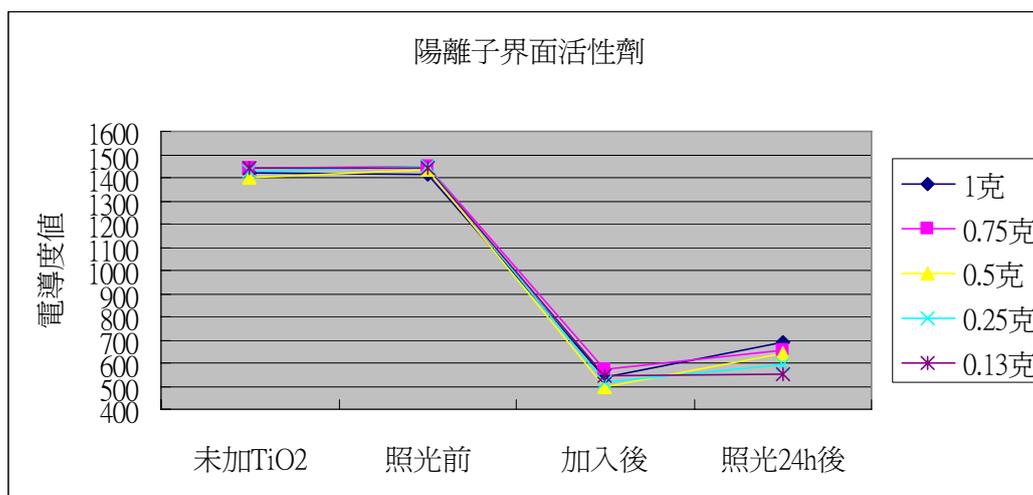
TiO ₂ 克數	未加 TiO ₂ 電導度值	照光前 電導度值	加入界面活 性劑後	照光 24h 後 電導度值	照光 24h 後 銀析出量(克)
1	1423	1413	536	693	0
0.75	1439	1449	569	653	0
0.5	1402	1436	500	640	0
0.25	1428	1450	518	591	0
0.125	1438	1438	548	553	0

電導度值單位：us/cm，紫外光波長 254nm

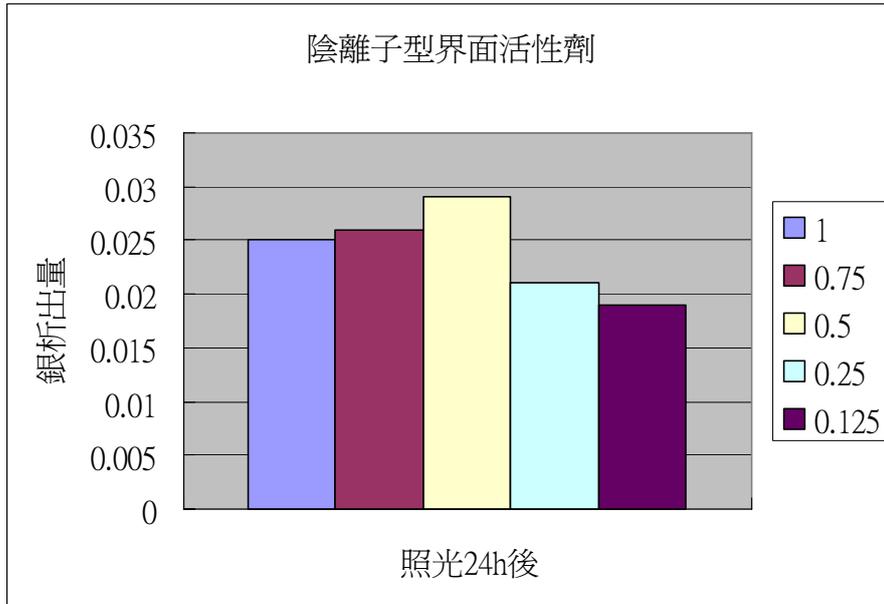
2. 陰離子型界面活性劑 (濃度 0.001M)

TiO ₂ 克數	未加 TiO ₂ 電導度值	照光前 電導度值	加入界面活 性劑後	照光 24h 後 電導度值	照光 24h 後 銀析出量(克)
1	1442	1440	2070	2820	0.025
0.75	1435	1444	2130	2800	0.024
0.5	1439	1449	2110	2880	0.029
0.25	1444	1450	2150	2720	0.021
0.125	1442	1452	2120	2620	0.019

電導度值單位：us/cm，紫外光波長 254nm



3.陰離子型界面活性劑作用下所析出銀金屬的量

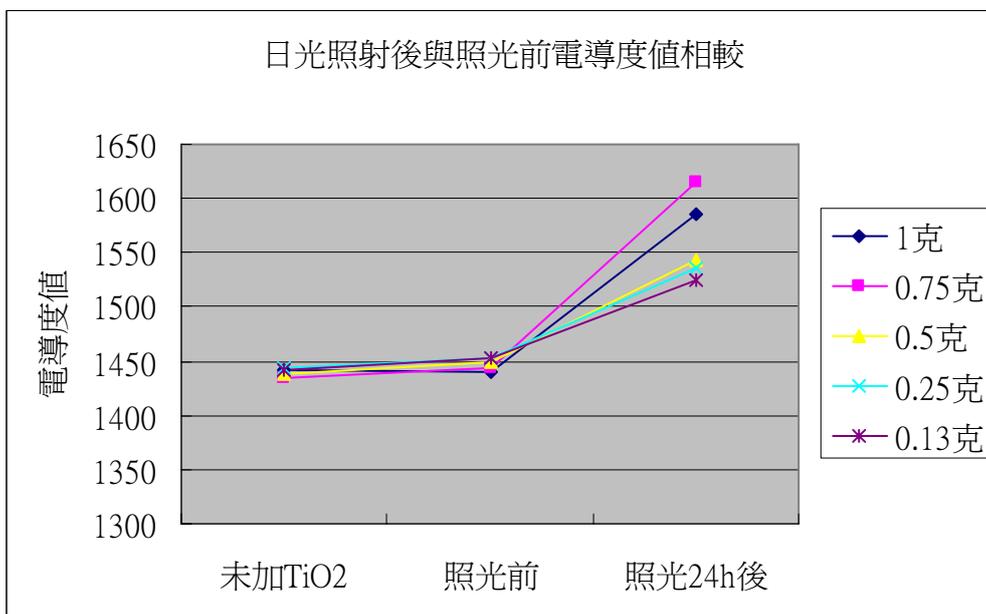


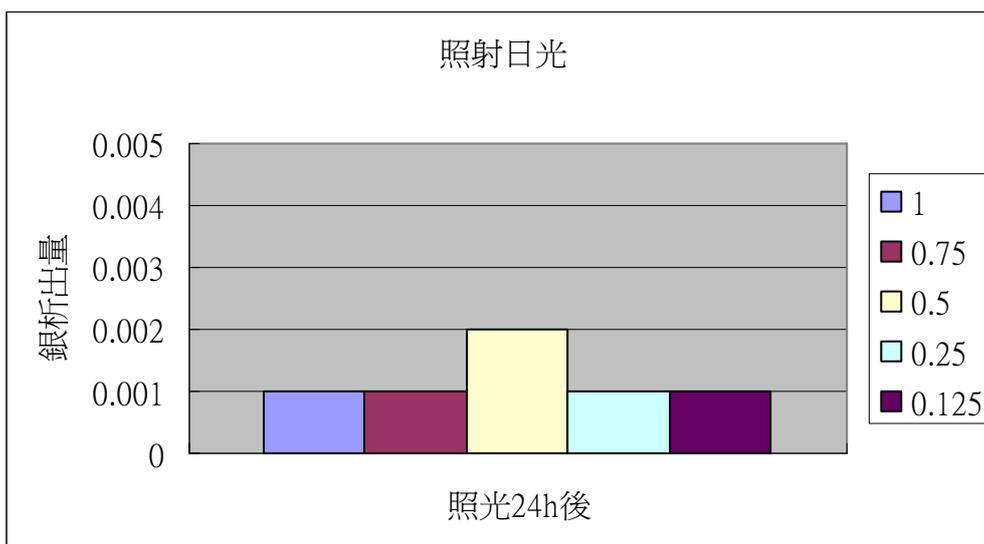
四、探討日光對 TiO₂ 還原力的影響

反應條件：AgNO₃ (aq) 0.01M，照射日光 24 小時

TiO ₂ 克數	未加 TiO ₂ 電導度值 us/cm	照光前 電導度值 us/cm	照光 24h 後 電導度值 us/cm	照光 24h 後 銀析出量(克)
1	1442	1440	1585	0.002
0.75	1435	1444	1515	0.001
0.5	1439	1449	1584	0.002
0.25	1444	1452	1536	0.001
0.125	1442	1452	1525	0.001

電導度值單位：us/cm



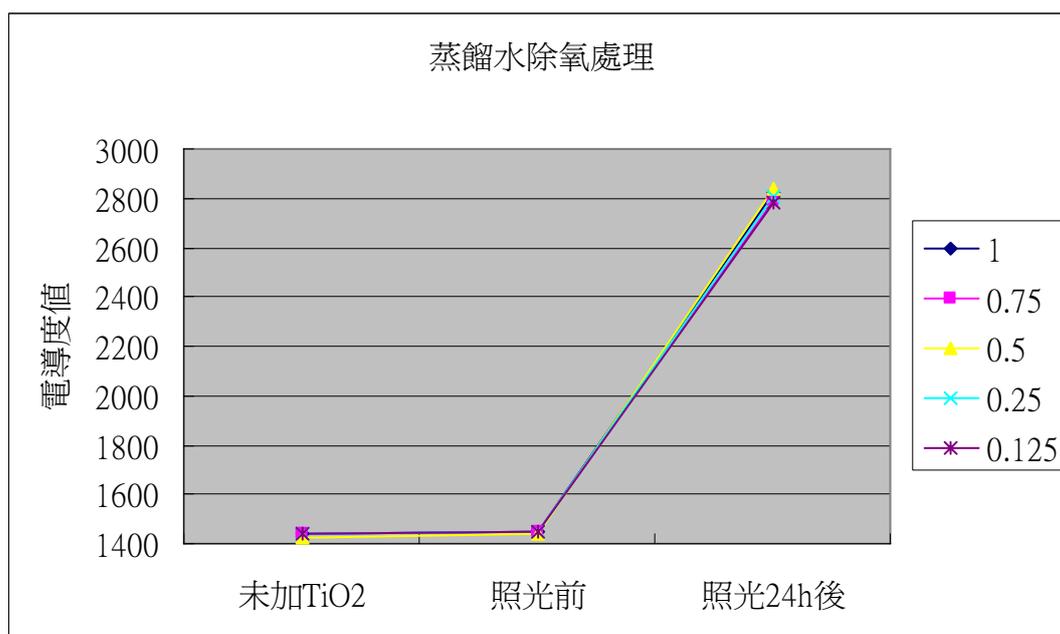


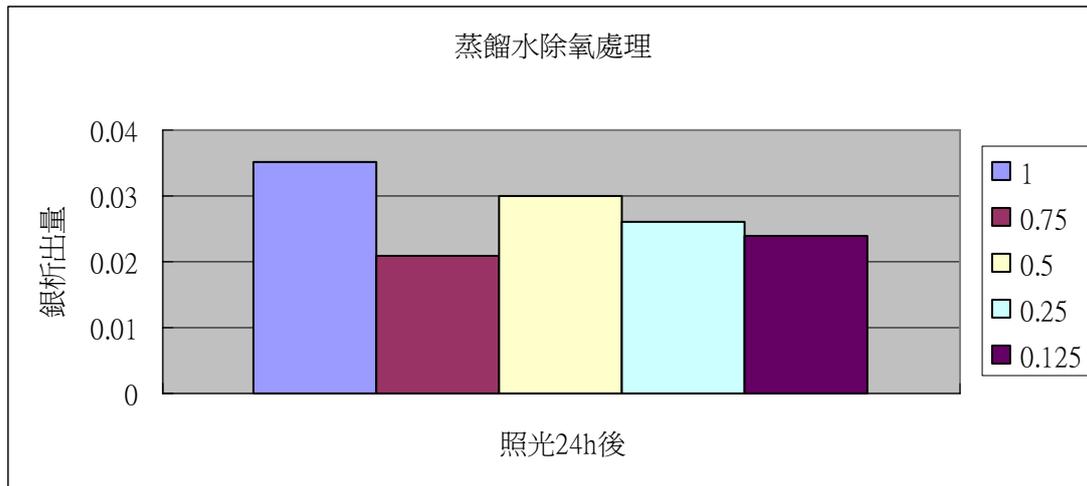
五、蒸餾水經除氧處理後，配製成 AgNO_3 (aq) 0.01M

反應條件：紫外光照射 24 小時

TiO ₂ 克數	未加 TiO ₂ 電導度值	照光前 電導度值	照光 24h 後 電導度值	照光 24h 後 銀析出量(克)
1	1439	1447	2820	0.032
0.75	1437	1446	2790	0.026
0.5	1421	1439	2840	0.033
0.25	1444	1450	2810	0.029
0.125	1442	1452	2780	0.026

紫外光波長 254nm 電導度值單位：us/cm





圖三：蒸餾水除氧處理後配製成 AgNO_3 (aq) 0.01M, 紫外光照射 24 小時, TiO_2 還原銀金屬示意圖 (溶液表面生成大片銀金屬奈米微粒薄膜)

七、探討 TiO_2 還原其他金屬離子的能力

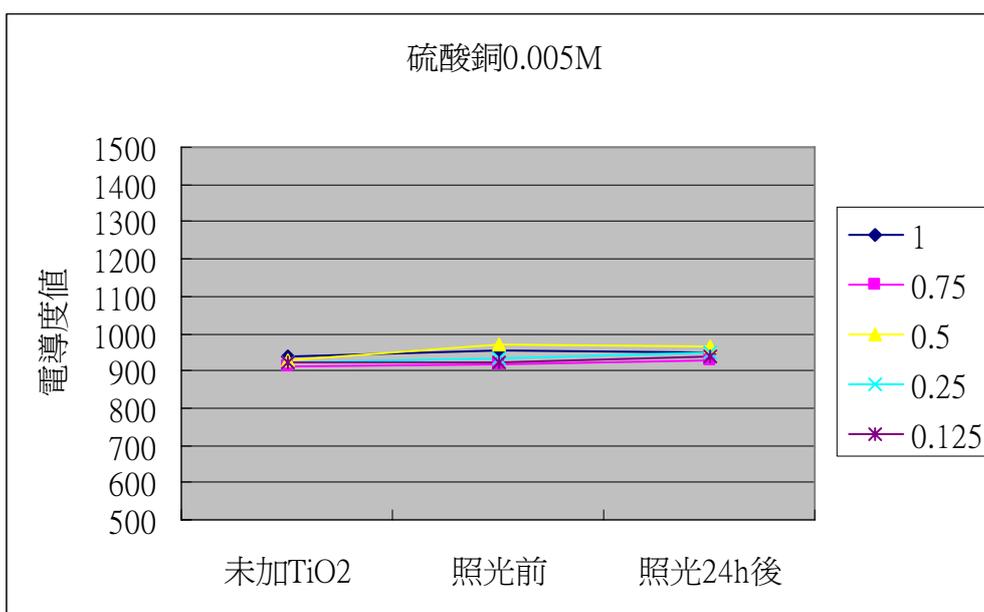
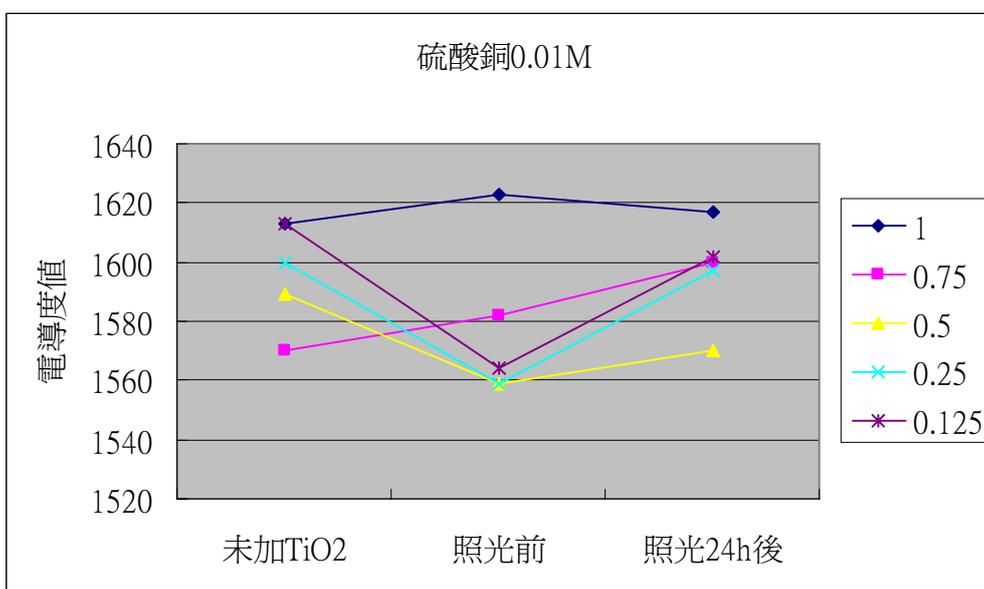
1.反應條件：硫酸銅 (CuSO_4) 0.01M, 照射紫外光 24 小時

TiO ₂ 克數	未加 TiO ₂ 電導度值	照光前 電導度值	照光 24h 後 電導度值	照光 24h 後 銅析出量(克)
1	1613	1623	1617	0
0.75	1570	1582	1600	0
0.5	1589	1559	1570	0
0.25	1600	1559	1597	0
0.125	1613	1564	1602	0

2.反應條件：硫酸銅 (CuSO₄) 0.005M，照射紫外光 24 小時

TiO ₂ 克數	未加 TiO ₂ 電導度值	照光前 電導度值	照光 24h 後 電導度值	照光 24h 後 銅析出量(克)
1	938	953	948	0
0.75	910	918	930	0
0.5	929	970	964	0
0.25	922	933	950	0
0.125	923	923	936	0

紫外光波長 254nm 電導度值單位：us/cm





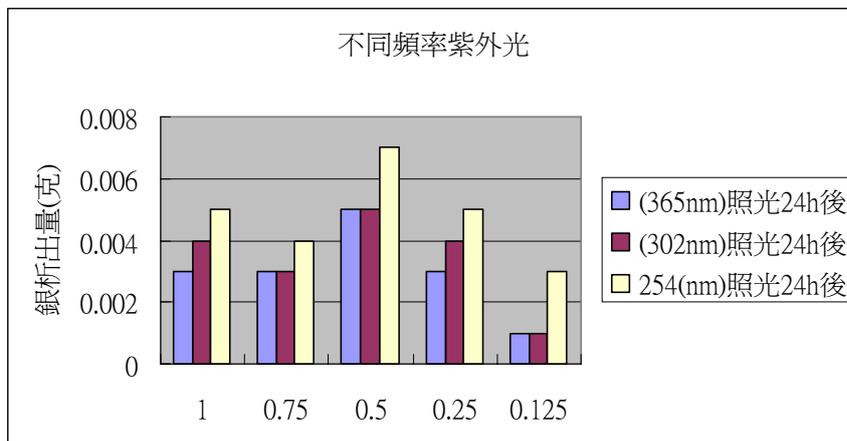
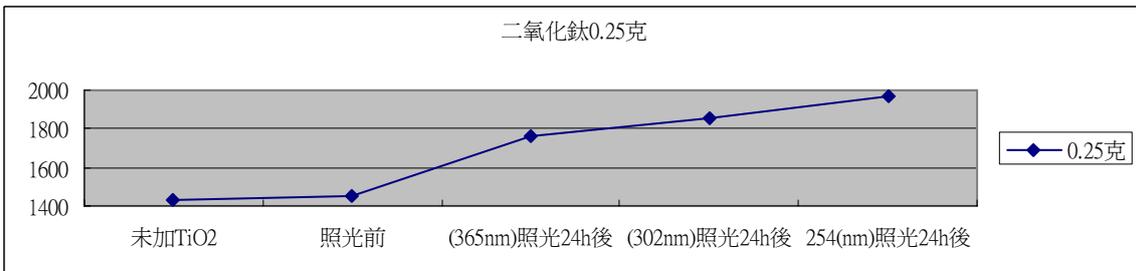
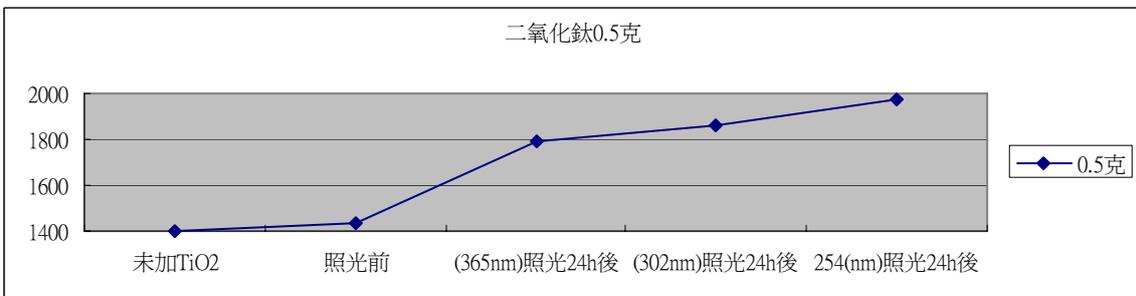
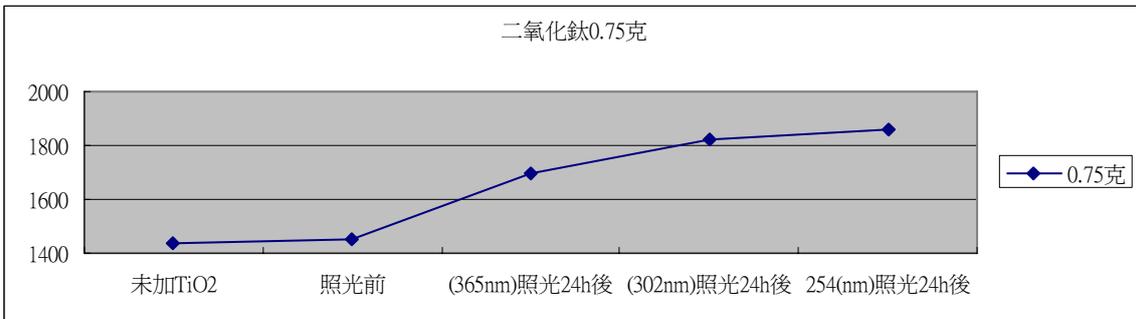
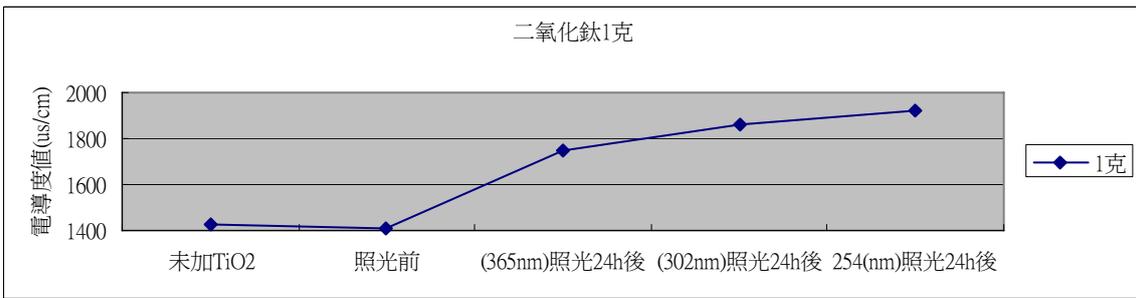
圖四：TiO₂ 還原硫酸銅 0.01M，照射紫外光 24 小時後之變化，由照片可觀察到溶液表面並無紅色的銅金屬析出

七、探討不同的照射光源對 TiO₂ 還原力的影響

反應條件：AgNO₃ (aq) 0.01M，照光 24 小時

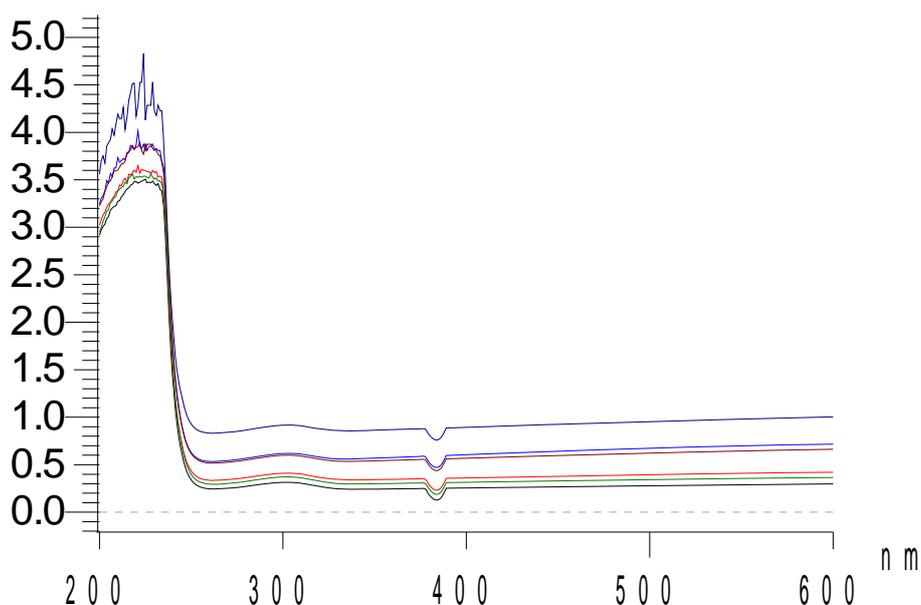
TiO ₂ 克數	未加 TiO ₂ 電導度值	照光前 電導度值	照光 24h 後 (365mm) 電導度值	照光 24h 後 (302mm) 電導度值	照光 24h 後 (254mm) 電導度值
1	1423	1413	1748	1858	1920
0.75	1439	1449	1693	1822	1859
0.5	1402	1436	1793	1860	1970
0.25	1428	1450	1760	1856	1970
0.125	1438	1438	1538	1650	1702

TiO ₂ 克數	照光 24h 後(365mm) 銀析出量	照光 24h 後(302mm) 銀析出量	照光 24h 後(254mm) 銀析出量
0.125	0.001	0.001	0.003
1	0.003	0.004	0.005
0.75	0.003	0.003	0.004
0.25	0.003	0.004	0.005
0.5	0.005	0.005	0.007



拾、討論

- 一、探討在紫外光照射下，TiO₂使用量對 AgNO_{3(aq)} 電導度值的變化及銀金屬析出量的影響中得知：照光 3 小時後電導度值略顯上升，照光 24 小時後觀察發現 AgNO_{3(aq)} 0.01M 及 0.005M 之電導度值均提升約 300~500 us/cm，且溶液表面生成銀金屬奈米微粒薄膜，而所測得的銀金屬析出量明顯增加，其中以 AgNO_{3(aq)} 0.01M，TiO₂ 0.5 克，照光 24 小時效果最為理想（銀金屬析出量 0.007 克），而照光 48 小時後電導度值雖略有上升，但與 24 小時相較，變化並不明顯。
- 二、探討超音波振盪對 TiO₂ 還原力的影響得知：超音波震盪的時間越久，所上升的電導度值愈多。推測應該是震盪的時間愈久，溶液中的 TiO₂ 與 AgNO_{3(aq)} 混合均勻，達到增加反應面積的目的，因此反應的效果也就愈好。
- 三、探討常見的界面活性劑（陽離子型、陰離子型）對 TiO₂ 還原力的影響：從數據中可觀察到，加入陰離子界面劑時電導度值馬上上升，且經 24 小時後電導度值上升 500~800us/cm。其中以 AgNO_{3(aq)} 0.01M，TiO₂ 0.5 克，照光 24 小時效果最為理想（銀金屬析出量 0.029 克），為相同條件下未加入陰離子界面活性劑銀析出量的 4 倍。而加入陽離子界面活性劑後，電導度值迅速下降，照光後電導度值雖略有上升，但因銀析出量太少甚至無法觀察得到，推測可能是陽離子將水中帶負電的氧自由基（·O²⁻）中和，使其無法進行還原反應。
- 四、探討日光和紫外光對 TiO₂ 還原力的影響相較：照射日光 24 小時後電導度雖略有上升但上升量與照射紫外光相較，效果差很多，且銀析出量也不明顯。以 AgNO_{3(aq)} 0.01M，TiO₂ 0.5 克，紫外光下照射 24 小時作比較，其銀金屬析出量為日光下銀金屬析出量的 3.5 倍，可見紫外光對光觸媒（TiO₂）還原力的影響遠大於日光。
- 五、探討除氧處理之溶液對 TiO₂ 還原力的影響：除氧後所配製的 AgNO_{3(aq)} 0.01M，經照光 24 小時後電導度值明顯上升，銀的析出量也大幅增加，以 AgNO_{3(aq)} 0.01M，TiO₂ 0.5 克，照光 24 小時後為例，電導度值明顯上升 1401 us/cm，且溶液表面生成大片銀金屬奈米微粒薄膜且銀金屬析出量高達 0.033 克，為相同條件下未經除氧處理銀金屬析出量的 4.7 倍。原因可能是除氧後二氧化鈦（TiO₂）大都進行還原反應，使溶液中生成氧化銀的雜質量減少，銀金屬還原的量增加。
- 六、探討不同頻率的紫外光照射光源對 TiO₂ 還原力的影響：發現紫外光的波長愈短，銀金屬析出的量愈多。其中以波長 254nm 紫外燈作用下其電導度值及銀析出量最多。在紫外光—可見光光譜儀中可明顯看出，在 365nm 的波長下 Abs 值最小，而在 254nm 的波長下 Abs 值最大。



圖五：紫外光—可見光光譜儀

七、TiO₂ 還原硫酸銅 (CuSO₄) 0.01M，照射紫外光 24 小時後之變化得知：電導度值雖略有上升，但溶液上方並無明顯的紅色銅金屬形成，此可是因為硫酸銅 (CuSO₄) 中銅離子的還原電位不如銀離子高，故需更換其他不同的光觸媒（如 CuO、ZnO、及 ZnS 等）及其他重金屬離子再做測試，期許得到更令人滿意的結果。

拾壹、參考文獻

張阜權、唐偉國、孫榮山 (1998)。光學。p.307-321。

黃俊傑。金奈米顆粒的合成與形狀控制。台大化學研究所碩士論文。

趙承深 (1988)。界面科學基礎。復文。

B.E.Douglas 等著，張天授等譯。無機化學-觀念與模型。六合出版社，第三版。

D.A.Skoog 等著，方嘉德等譯 (1996)。基礎分析化學。美亞圖書股份有限公司。

Duncan J. Shaw 原著，張有義、郭蘭生編譯 (2001)。膠體及界面化學入門。高立圖書有限公司。

評語

本研究是以光觸媒(TiO_2)對還原重金屬離子之研究探討 TiO_2 的使用量，紫外光光長和介面活性劑的影響雖然得到不少數據，但可惜較少有創新之處。