

# 2012 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

編號：030030

## 作品名稱

不同氮源的氮氧化鈦可見光光觸媒之製備與性質探討

## 得獎獎項

大會獎：四等獎

作者姓名：楊涵鈺

就讀學校：臺北市立麗山高級中學

指導教師：藍偉瑩、郭俞麟

關鍵字：氮氧化鈦、可見光光觸媒、光降解

## 作者簡介



我是楊涵鈺，目前就讀台北市立麗山高中三年級。

在學校我是「化學專題」的學生。高一下學期，我和同學開始進行「塑膠染敏電池」的實驗並參加臺北市九十九年度中等學校學生科學研究獎助計畫，榮獲佳作。高一下學期，以個人組著手計畫新實驗「不同氮源的氮氧化鈦可見光光觸媒之製備與性質探討」，在臺北市一〇〇年度中等學校科學研究獎助計畫中榮獲三等獎、入選科教館 100 年青少年科學人才培育計畫並通過 2010 台灣國際科展初審。

## 摘要

本研究擬利用液態合成法，以尿素(urea)、硫脲(thiourea)與氮作為摻雜物與市售之  $\text{TiO}_2$  粉末均勻混合，製備高活性於可見光下應答之氮摻雜的二氧化鈦奈米光觸媒( $\text{TiO}_x\text{N}_y$ )。探討氮物質來源與濃度、合成時間與鍛燒程序對於生產之氮氧化鈦的性質影響。合成之氮氧化鈦粉末將利用 X 光繞射儀(XRD)、掃描式電子顯微鏡 (SEM)、紫外光-可見光分析儀(UV-Visible analyzer)進行材料特性分析(如結晶型態、表面型態與能階)。在實際光觸媒分解污染物之應用方面，由於亞甲基藍呈色容易且較易量測，將作為污染物用於做氮氧化鈦之初步效能評估。研究結果發現：摻雜不同氮源之氮氧化鈦光觸媒與純二氧化鈦結晶相似，且並未發現其他雜相形成。透過 EDS N Mapping，可證實氮原子確實分佈在二氧化鈦上。本研究製備之不同氮源的氮氧化鈦可見光光觸媒的吸收範圍確實提升。其中，又以硫脲(Thiourea)為最佳，且其光降解效能最佳。

## Abstract

This study discusses about how the characteristic of nitrogen-modified titanium dioxide are affected by different nitrogen-source, concentration, blending time and calcining process. The research takes liquid- synthesized method as the way to mix titanium dioxide ( $\text{TiO}_2$ ) with urea, thiourea and ammonia separately in order to produce highly-actively nitro-doped titanium dioxide nano-photocatalyst ( $\text{TiO}_x\text{Ny}$ ) which can respond to visible light. The properties of the products, such as crystalline pattern, surface morphology and bandgap (Eg), are analyzed by XRD, SEM and UV-Visible analyzer. The applying aspect of nitro-doped titanium dioxide is analyzed by using the photocatalyst to decompose the pollutions, uses methylene blue (MB) to evaluate the efficiency of the product for its easy coloration and simple measurement. The results showed: the different nitrogen-source of nitro-doped titanium dioxide have similar crystalline with pure titanium dioxide, there are no other impurity phase formation. Through EDS N Mapping, nitrogen atoms indeed distribute in the titanium dioxide. After nitrogen doping, the ranges of visible-light absorption of titanium dioxide are indeed improved and lowered, especially the nitrogen-source of thiourea. Thiourea also has the best performance in photodegradation.

# 壹、研究動機

## 一、動機

光觸媒是一種需要光來產生反應的催化劑(觸媒)。作為光觸媒的材料眾多，以二氧化鈦最為廣泛被利用，主要因為  $\text{TiO}_2$  具有極佳的物理與化學穩定性、氧化還原能力強、價格便宜、容易製備及無毒等優點。但二氧化鈦其光學能階偏高，僅能吸收紫外光範圍之光波波長，若能以改變表面物質的方式摻雜外來原子於二氧化鈦中，有效利用太陽光或可見光即可以進行光催化反應。在製程方面，液態合成法具有低製備成本，技術簡單，容易大量生產等優點。因此本研究期望以表面改質的方式，獲得具有高度可見光活性之光觸媒材料。

## 二、文獻探討

光觸媒之研究最早可追溯至 1972 年 Fujishima 與 Honda 博士等人對放入水中的氧化鈦單結晶進行光照，發現水被分解成氧和氫，從此光觸媒的發展開始受到世人的矚目。可作為光觸媒的材料眾多，包括二氧化鈦( $\text{TiO}_2$ )、氧化鎘( $\text{CdO}$ )、氧化鋅( $\text{ZnO}$ )、二氧化錫( $\text{SnO}_2$ )、二氧化鉻( $\text{ZrO}_2$ )等氧化物及硫化鎘( $\text{CdS}$ )、硫化鋅( $\text{ZnS}$ )等硫化物。其中二氧化鈦(Titanium Dioxide,  $\text{TiO}_2$ )因其氧化能力強、物理與化學性質穩定、耐酸鹼、價格便宜、容易製備及無毒等優點，被廣泛的研究。目前二氧化鈦光觸媒的應用主要包含抗菌除臭、分解污水中有機物、處理金屬離子與空氣清淨等方面，且使用壽命長。

二氧化鈦有三種主要的晶體結構：銳鈦礦(Anatase)、金紅石(Rutile)及板鈦礦(Brookite)。一般在進行光催化反應時以使用銳鈦礦(Anatase)的結晶相居多或是一定比例混合的銳鈦礦和金紅石(如圖 1)。欲使二氧化鈦光觸媒產生反應的光子大約需要 3.2 eV，相當於波長 380 奈米(nm)以下的紫外光。然而在太陽光中紫外光的波段僅有不到 5%，因此如何擴大光源利用太陽光或可見光進行光催化反應是現今的學者欲急突破的關卡，因而在二氧化鈦中嘗試摻入金屬或非金屬等添加物。

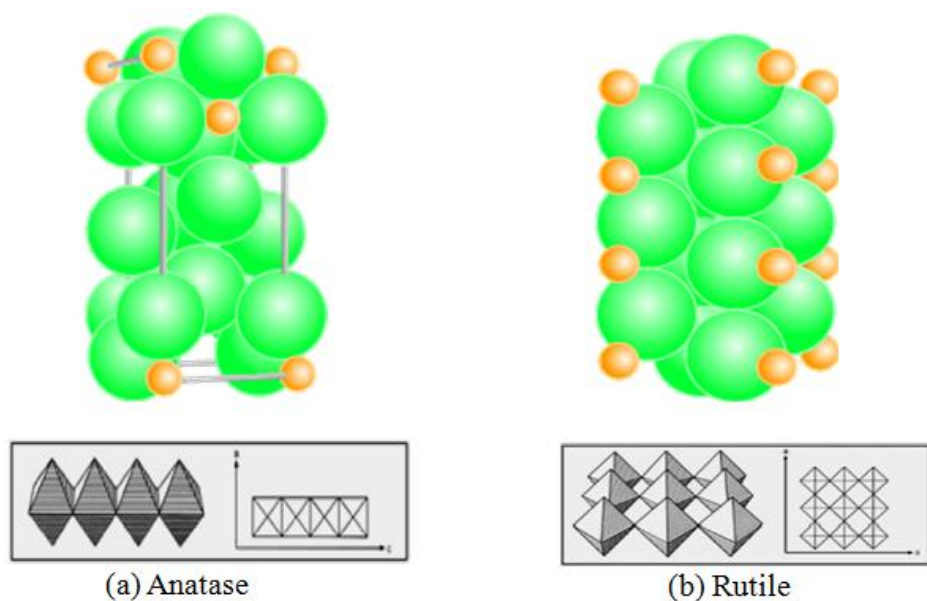


圖 1 銳鈦礦(Anatase)及金紅石(Rutile)立體結構圖

在加入金屬原子的部分已有許多學者提出相關研究，他們加入的金屬原子分別有銀(Ag)、鉑(Pt)、銅(Cu)，皆能有效改善二氧化鈦之反應效率。但是添加金屬元素的利用性仍被限制在紫外光範圍，無法在日常生活中普遍使用。因此，便開始有學者進行可見光型光觸媒之開發，其中有很大部分的研究指出非金屬元素之添加如硫(S)、氮原子(N)或碳原子(C)等，可將二氧化鈦中之氧原子置換為添加之原子，並進行氧化還原之光催化效應。其中氮為日常環境中含量最豐富之元素之一，且容易取得又無其他不良作用，文獻中氮摻入二氧化鈦光觸媒之討論最為普遍，且成效最顯著，如圖 2 與圖 3。圖 2 為純  $\text{TiO}_2$  與  $\text{TiO}_{2-x}\text{N}_x$  之反射率分析，圖 3 為純  $\text{TiO}_2$  與  $\text{TiO}_{2-x}\text{N}_x$  之表面光電流和擴散反射光譜分析。可發現，在可見光環境下，氮氧化鈦相較於二氧化鈦有較佳的吸收度與較良好的光電特性。本研究將利用液態合成法摻雜氮元素於二氧化鈦以製備氮氧化鈦粉末，做為可應用於可見光之光觸媒材料，以提昇光觸媒與可見光下的使用效益。

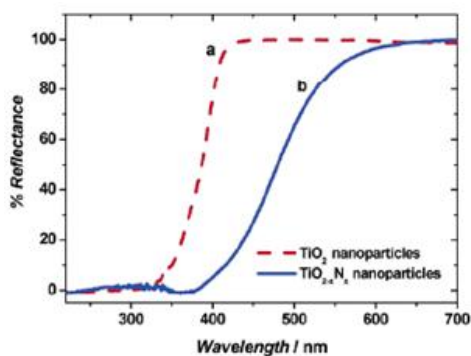


圖 2  $\text{TiO}_2$  摻氮後朝可見光偏移

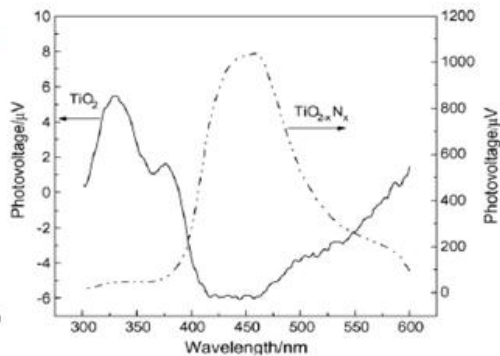


圖 3 表面光電壓和擴散反射光譜分析

## 貳、 研究目的及研究問題

### 一、 研究目的：

- (一) 比較利用不同氮源製備之氮氧化鈦光觸媒的性質與光催化活性
- (二) 比較利用不同合成條件下製備之氮氧化鈦光觸媒的性質與光催化活性
- (三) 找出光催化活性最佳之氮氧化鈦光觸媒製備方法

### 二、 研究問題

根據上述研究目的，本研究欲探討問題為如下

- (一) 比較利用不同氮源製備之氮氧化鈦光觸媒的性質與光催化活性
    - 1. 不同氮源所製備之氮氧化鈦，其含氮量與鍵結方式是否有差異？此差異對光催化活性是否有影響？
    - 2. 不同氮源所製備之氮氧化鈦，其表面性質與光學能階是否有差異？此差異對光催化活性是否有影響？
    - 3. 不同濃度的氮源所製備之氮氧化鈦，其含氮量、鍵結方式、表面性質與光學能階是否有差異？此差異對光催化活性是否有影響？
  - (二) 比較利用不同合成條件下製備之氮氧化鈦光觸媒的性質與光催化活性
    - 1. 不同合成時間對於製備之氮氧化鈦，其含氮量與鍵結方式是否有差異？此差異對光催化活性是否有影響？
    - 2. 不同鍛燒溫度對於製備之氮氧化鈦，其含氮量與鍵結方式是否有差異？此差異對光催化活性是否有影響？
- (一) 光催化活性最佳之氮氧化鈦光觸媒製備方法為何？

## 參、 研究設計

### 一、 研究流程

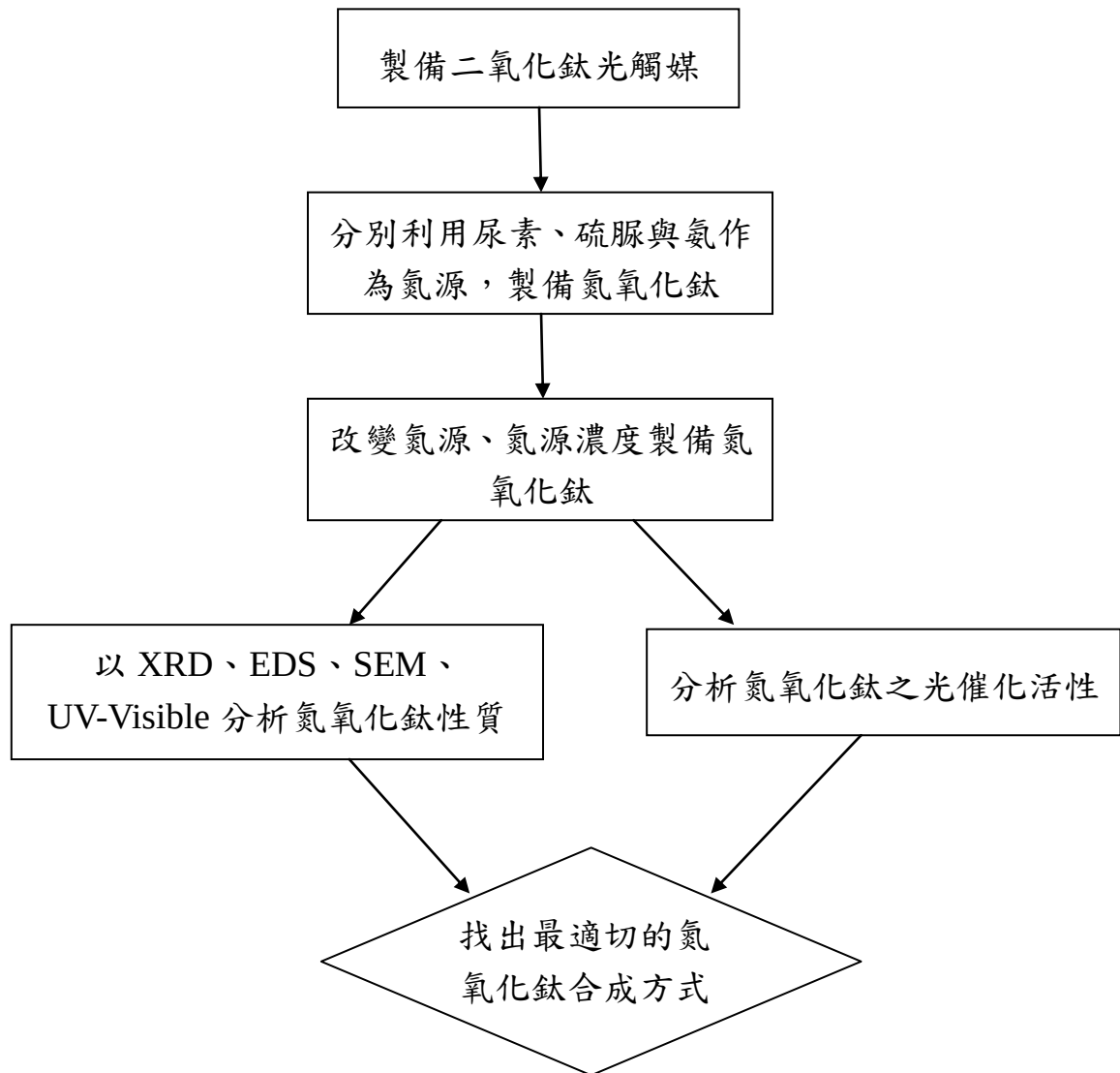


圖 4 研究流程圖

## 二、 研究藥品與設備

### (一) 藥品

二氧化鈦( $\text{TiO}_2$ )                      尿素( $\text{CN}_2\text{H}_4\text{O}$ )                      硫脲(Thiourea)  
氨水( $\text{NH}_4\text{OH}$ )                      亞甲藍(Methylene Blue)  
二丁二酸酯磺酸鈉鹽  $\text{C}_{20}\text{H}_{37}\text{OSNa}$

### (二) 器材

試管              燒杯              吸量管              容量瓶              安全吸球  
玻棒              量筒              滴管              攪拌磁石              陶瓷器皿

### (三) 儀器設備

1. 超音波震盪器
2. 磁石攪拌器
3. 高溫爐
4. 烘箱
5. 恆溫水槽
6. 減壓濃縮機
7. 電子天平
8. X-ray 繞射分析儀
9. 掃描式電子顯微鏡(SEM)
10. 紫外光-可見光分析儀(UV-Visible analyzer)
11. 傅立葉紅外線光譜儀(FT-IR)
12. 紫外光可見光光譜儀

### 13. 能量散射光譜儀(EDS)

## 三、 研究方法

### (一) 前製實驗

#### 1. $\text{TiO}_2$ 漿料製備

量秤適量的  $\text{TiO}_2$  並加入去離子水，接以加入些許分散劑，再加入純水至總溶液重為 800 g 為止，並持續攪拌均勻，最後以超音波震盪 24 小時，可得分散均勻之  $\text{TiO}_2$  漿料。

### (二) $\text{TiON}$ 製備

#### 1. 實驗設計

利用不同氮來源液態合成氮元素於二氧化鈦製備氮氧化鈦粉末。其來源分別為尿素( $\text{CN}_2\text{H}_4\text{O}$ )、硫脲( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{S}$ , Thiourea)與氨水( $\text{NH}_4\text{OH}$ )。

#### 2. 實驗步驟

- (1) 量秤適量的尿素( $\text{CN}_2\text{H}_4\text{O}$ )、硫脲(Thiourea)與氨水( $\text{NH}_4\text{OH}$ )分別配置成濃度 2M 的水溶液
- (2) 分別取尿素( $\text{CN}_2\text{H}_4\text{O}$ )、硫脲(Thiourea)與氨水( $\text{NH}_4\text{OH}$ )和二氧化鈦漿料體積比 1：1，以磁石攪拌器攪拌 24 小時。
- (3) 置於減壓濃縮機中進行濃縮。
- (4) 至於高溫爐中  $350^\circ\text{C}$  鍛燒 2 小時。
- (5) 改變氮源、氮源濃度，重複上述(1)~(4)實驗，製備氮氧化鈦。



圖 5 磁石攪拌器



圖 6 減壓濃縮機



圖 7 TiON 之粉末



圖 8 高溫爐

### (三) 分析儀器之使用

1. X 光繞射儀 (X-ray Diffractometer, XRD)：利用 X 光在晶體中繞射是一種光經晶面折射所造成之波幅加成及干涉作用，由繞射強度可做晶體微結構分析和非晶材料之結晶度分析；由繞射峰形可做晶粒大小之量測。
2. 掃描式電子顯微鏡 (Scanning Electron Microscopy, SEM)：用以觀察材料的表面型態並量測出樣品粒徑大小、表面粗糙度及粒徑密度。
3. 紫外光-可見光分析儀(UV-Visible analyzer)：分別對摻氮  $\text{TiO}_2$  與純  $\text{TiO}_2$  進行紫外光-可見光分析，以比較兩者之間的吸收光譜，並量測其光學能階。
4. 傅立葉紅外線光譜儀(Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR)：針對合成之氮氧化鈦光觸媒，進行紅外線光譜分析。藉由

分析結果之 FT-IR 曲線圖來了解觸媒之鍵結型態。分析之範圍在波長為  $400\sim 4000\text{ cm}^{-1}$  之間。

#### (四) 光催化活性試驗

1. 進行降解實驗之前，先以不同濃度之亞甲基藍溶液量測其吸收波長範圍光譜圖，並製作亞甲基藍檢量線，做為亞甲基藍溶液濃度之理論標準。
2. 氮氧化鈦光觸媒降解亞甲基藍實驗，光源之選擇為日光燈，因本研究希望在可見光下即能使合成之光觸媒具有量好之光催化效果。
3. 秤取 0.2 g 氮氧化鈦光觸媒粉末與 200 ml 之 10 ppm 亞甲基藍溶液置入不透光之玻璃試管中，利用磁石攪拌器預攪 30 min，使氮氧化鈦光觸媒與亞甲基藍溶液混和均勻並取樣，做為光催化效率評估之起始濃度點。
4. 接著照射日光燈光源進行光催化反應，分別於固定時間取樣，再以紫外光可見光光譜儀分析溶液濃度的吸收效率，以瞭解光催化活性。

## 肆、研究結果與討論

### 一、不同濃度之氮源對氮氧化鈦光觸媒分析

為初步探討摻雜不同濃度氮源對氮氧化鈦光觸媒的影響，本研究以日常生活中常見的尿素( $\text{CN}_2\text{H}_4\text{O}$ )作為氮氧化鈦的氮源。分別以尿素濃度 0.5M、2.0M、4.0M、5.0M 作為不同濃度的氮源。在可見光光催化活性分析上，經過 4 小時的光催化活性試驗結果如圖 9 所示，可發現經過尿素摻雜後之二氧化鈦確實可以提升可見光的催化活性。其中，又以尿素 2.0M 的氮源濃度效能最佳。

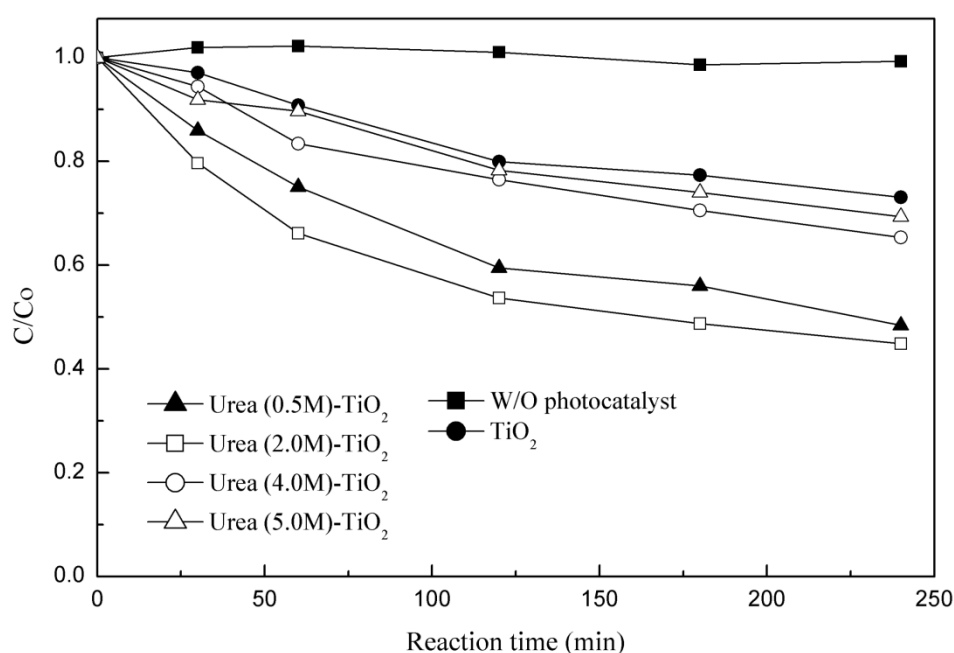


圖 9 Photocatalytic degradation curves of MB under fluorescent lamp with different concentrations of source

### 二、不同氮源之氮氧化鈦光觸媒分析

根據第一部分不同濃度之氮源對氮氧化鈦光觸媒分析結果，本研究以濃度 2.0M 作為摻雜不同氮源之基準，並以 XRD、EDS、SEM、UV-Visible 做氮氧化鈦之材料分析。在實際光觸媒分解污染物之應用方面，由亞甲基藍進行光催化活性分析，作為氮氧化鈦用於污染物之初步效能評估。

#### (一) XRD 結晶結構分析

圖 10、11 為二氧化鈦和不同氮源氮氧化鈦光觸媒之 XRD 圖譜。利用 XRD 討論不同氮源摻雜的添加對  $\text{TiO}_2$  結晶結構的影響發現：經過  $350\text{ }^\circ\text{C}$  鍛燒 2 小時後，尿素( $\text{CN}_2\text{H}_4\text{O}$ )、硫脲( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{S}$ , Thiourea)與氨水( $\text{NH}_4\text{OH}$ )摻雜之氮氧化鈦光觸媒與純二氧化鈦之結晶性相似，並未發現其他雜相生成。

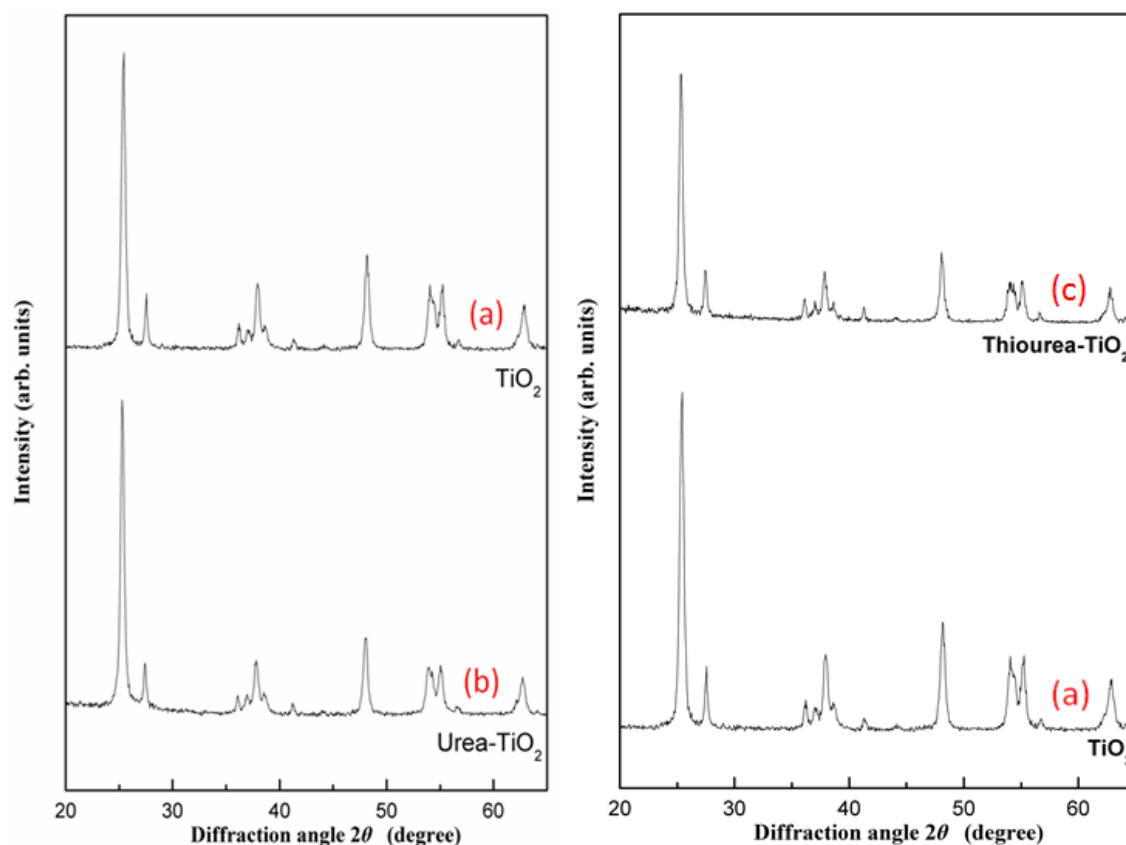


圖 10 XRD spectra of the photocatalysts : (a)  $\text{TiO}_2$ , (b) Urea- $\text{TiO}_2$ , (c) Thiourea- $\text{TiO}_2$

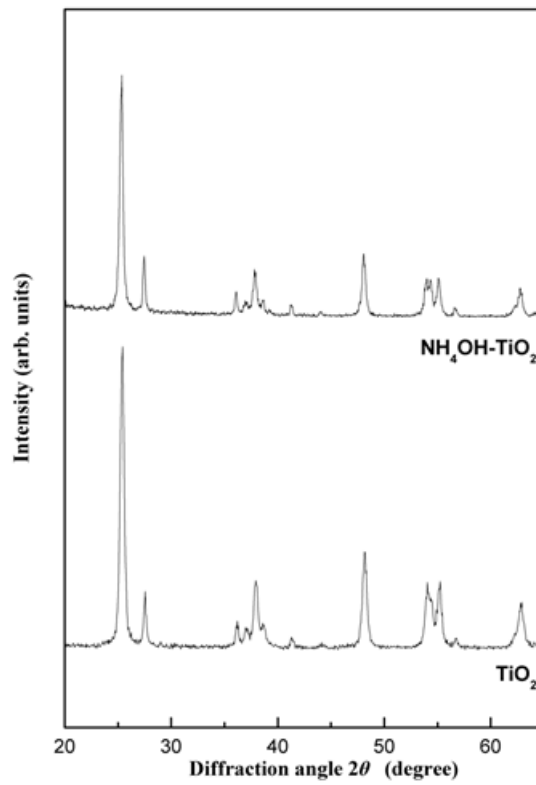


圖 11 XRD spectra of the photocatalysts : NH<sub>4</sub>OH-TiO<sub>2</sub>

## (二) SEM 表面型態分析

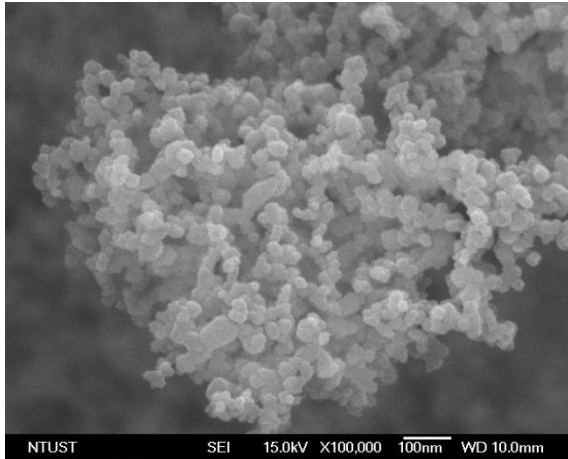


圖 12 SEM image of  $\text{TiO}_2$

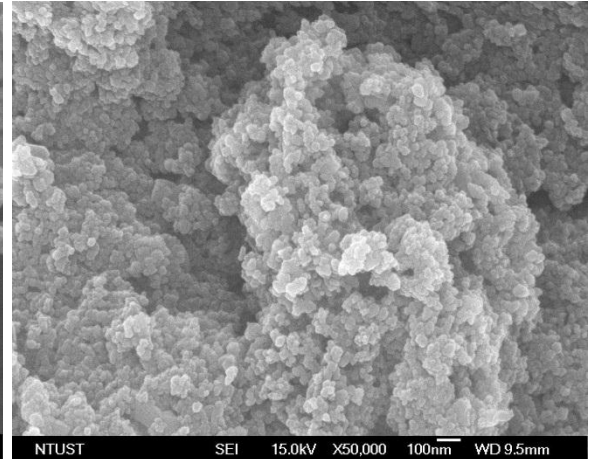


圖 13 SEM image of Urea- $\text{TiO}_2$

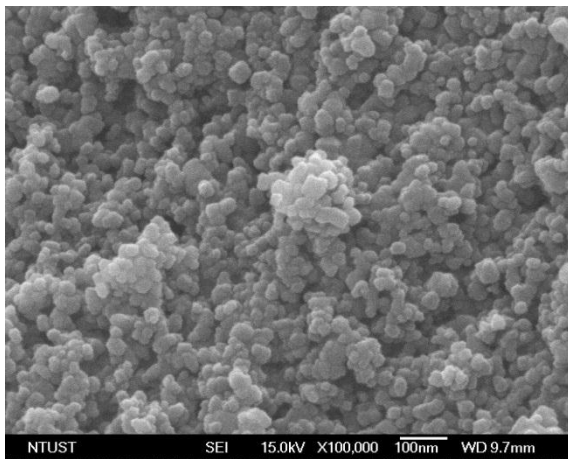


圖 14 SEM image of Thiourea- $\text{TiO}_2$

圖 12、13、14 分為二氧化鈦光觸媒、氮源尿素氮氧化鈦光觸媒和氮源硫脲氮氧化鈦光觸媒之 SEM 圖。藉由 SEM 觀察 Thiourea- $\text{TiO}_2$  和 Urea- $\text{TiO}_2$  氮氧化鈦光觸媒之表面型態顯示：經過  $350^\circ\text{C}$  鍛燒後之氮氧化鈦光觸媒，其表面呈現緻密狀，顆粒分佈不平整，且粒子之間有團聚現象。

## (三) EDS 元素分佈分析

根據 Urea- $\text{TiO}_2$  和 Thiourea- $\text{TiO}_2$  氮氧化鈦光觸媒之 SEM 圖譜，本研究另做 EDS 元素分佈，進一步探討氮元素的分佈情形。

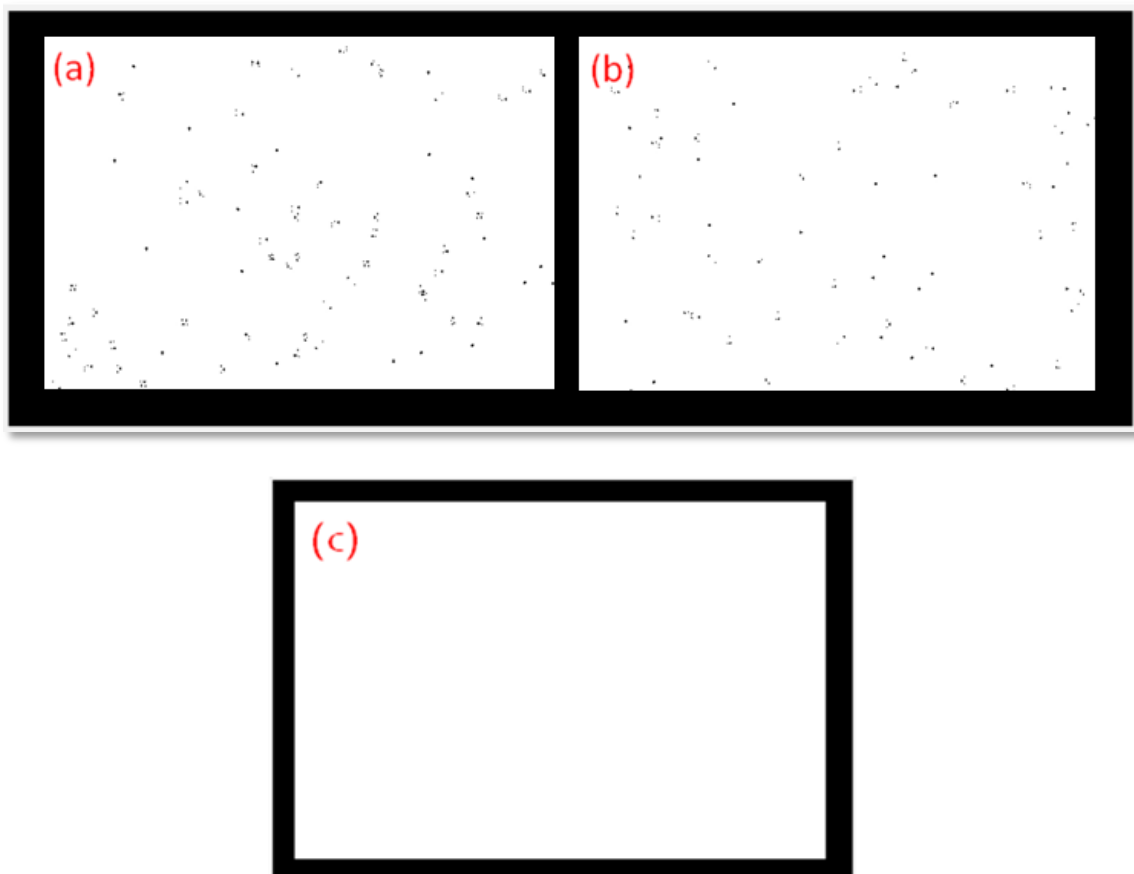


圖 15 N Mapping of (a) Urea-TiO<sub>2</sub>, (b) Thiourea-TiO<sub>2</sub>, (c)NH<sub>4</sub>OH-TiO<sub>2</sub>

圖 15 為 Urea-TiO<sub>2</sub> 和 Thiourea-TiO<sub>2</sub> 與 NH<sub>4</sub>OH-TiO<sub>2</sub> 氮氧化鈦光觸媒。透過 N Mapping，證明本研究製備之尿素和硫脲摻雜氮氧化鈦光觸媒之氮原子，確實分佈於二氧化鈦光觸媒表面，而氨水摻雜之氮氧化鈦光觸媒並沒有氮原子分不在二氧化鈦上。

#### (四) UV-vis DRS 光學特性分析

研究指出氮的摻雜有助於提升氮氧化鈦光觸媒之價帶位置，使得光觸媒在可見光的吸收範圍朝長波長方向偏移。

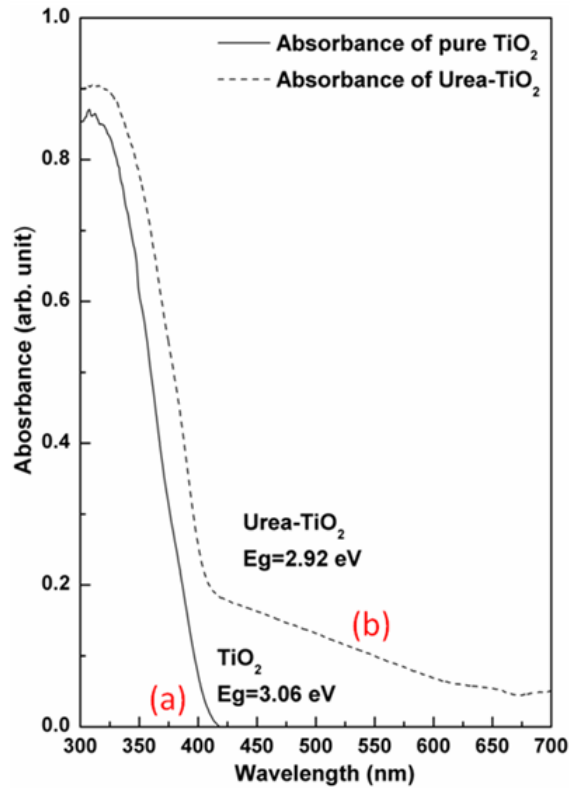


圖 16 UV-vis DRS absorbance of  
(a)  $\text{TiO}_2$ , (b) Urea- $\text{TiO}_2$

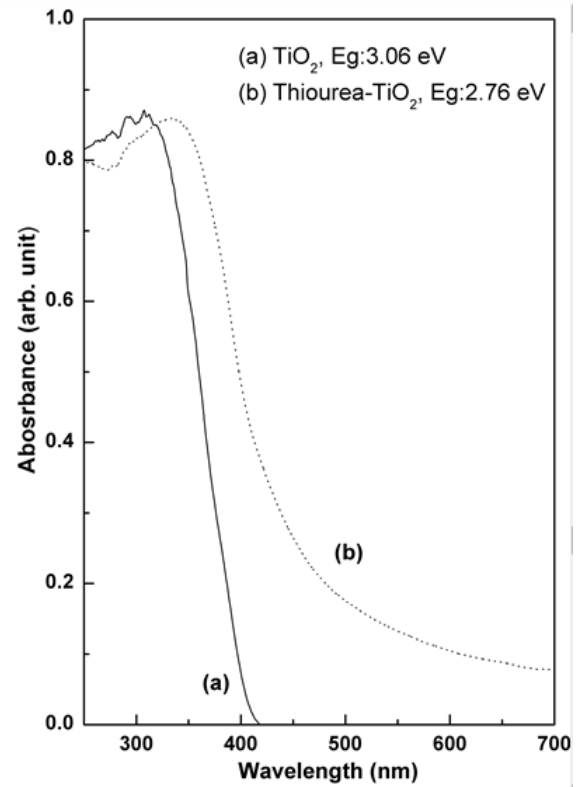


圖 17 UV-vis DRS absorbance of  
(a)  $\text{TiO}_2$ , (b) Thiourea- $\text{TiO}_2$

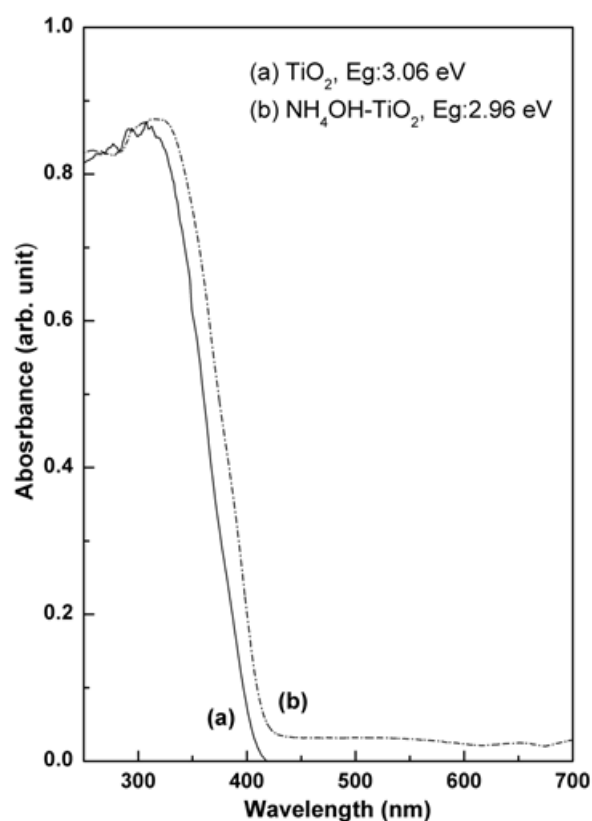


圖 18 UV-vis DRS absorbance of (a)  $\text{TiO}_2$ , (b)  $\text{NH}_4\text{OH-TiO}_2$

圖 16、17、18 分別為二氧化鈦光觸媒和摻雜尿素和硫脲之氮氧化鈦與  $\text{NH}_4\text{OH-TiO}_2$  氮氧化鈦光觸媒之 UV-vis DRS 圖譜。與純二氧化鈦比較，摻雜尿素和硫脲之氮氧化鈦光觸媒，在可見光之吸收確實得到提升，且光學能皆低於純二氧化鈦。

#### (五) 可見光光催化活性分析

在可見光催化活性分析上，本實驗使用一般家庭式 10 W 日光燈管做為可見光光源。經過 4 小時的光催化活性試驗結果如圖 16 所示，與純二氧化鈦進行比較可發現，摻雜尿素和硫脲與氨水之氮氧化鈦光觸媒確實可以提升可見光的催化活性。

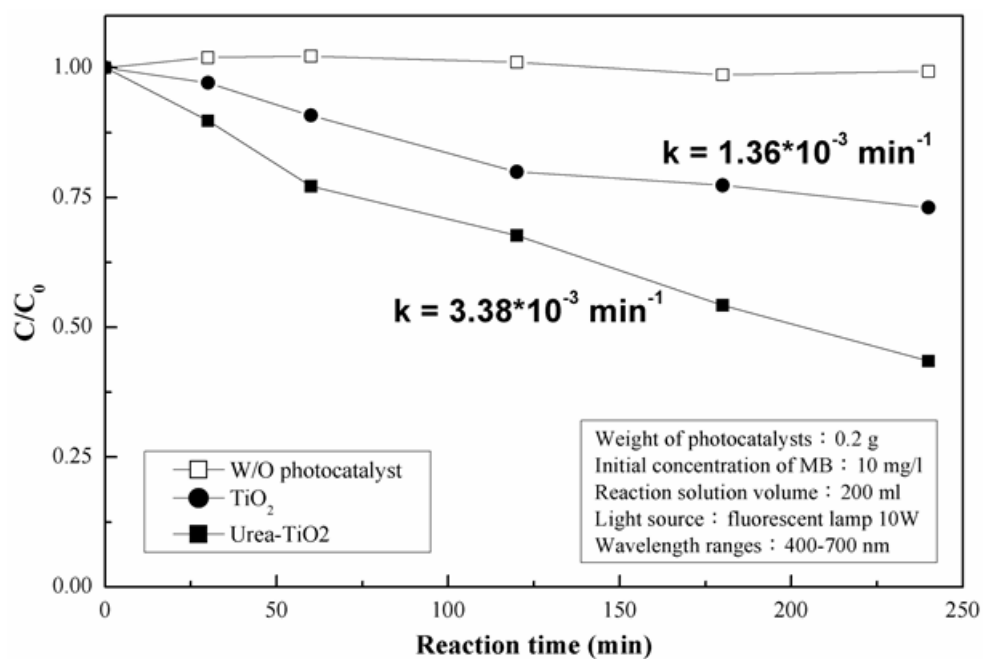


圖 19 Photocatalytic degradation curves of MB under fluorescent lamp with  $\text{TiO}_2$ , Urea- $\text{TiO}_2$

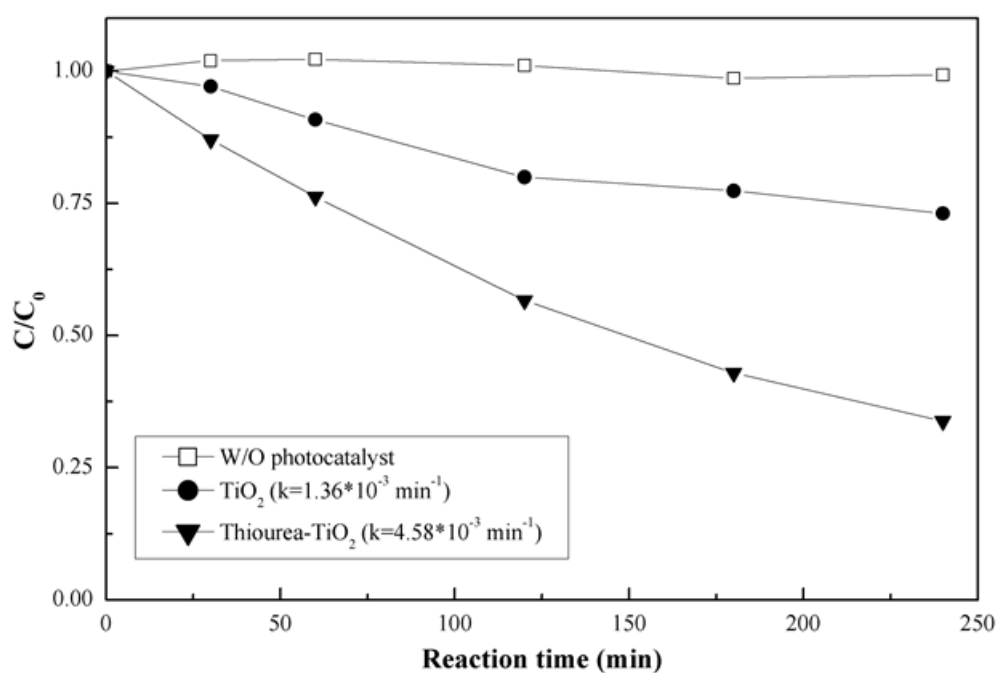


圖 20 Photocatalytic degradation curves of MB under fluorescent lamp with  $\text{TiO}_2$ , Thiourea- $\text{TiO}_2$

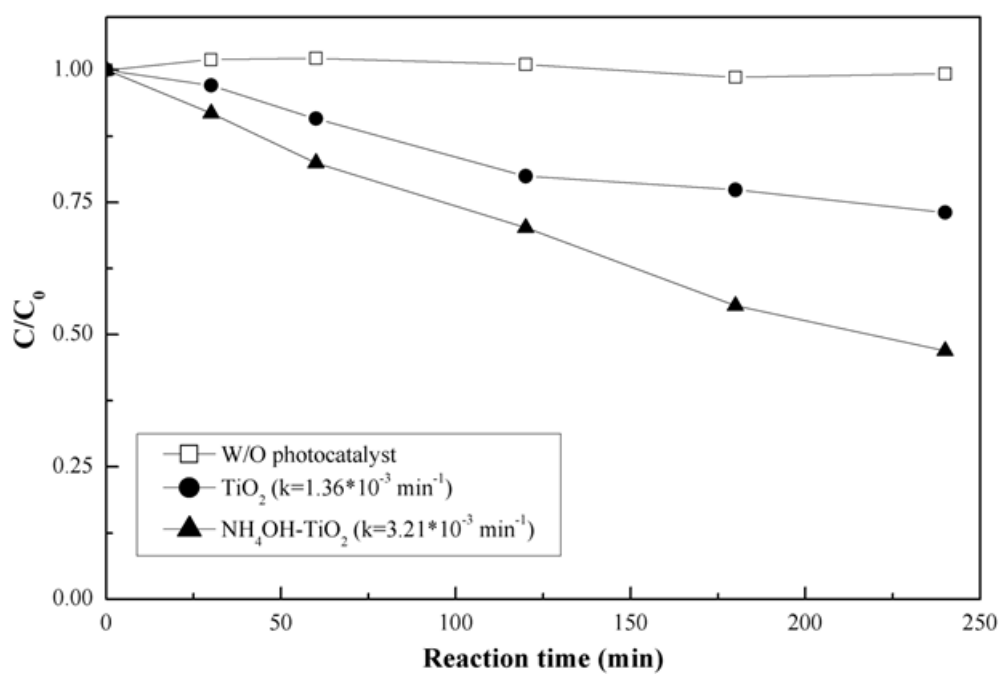


圖 21 Photocatalytic degradation curves of MB under fluorescent lamp with TiO<sub>2</sub> , NH<sub>4</sub>OH-TiO<sub>2</sub>

### 三、 綜合比較

根據第二部分之各項分析，綜合以上數據比較。

#### (一) XRD 結晶結構分析

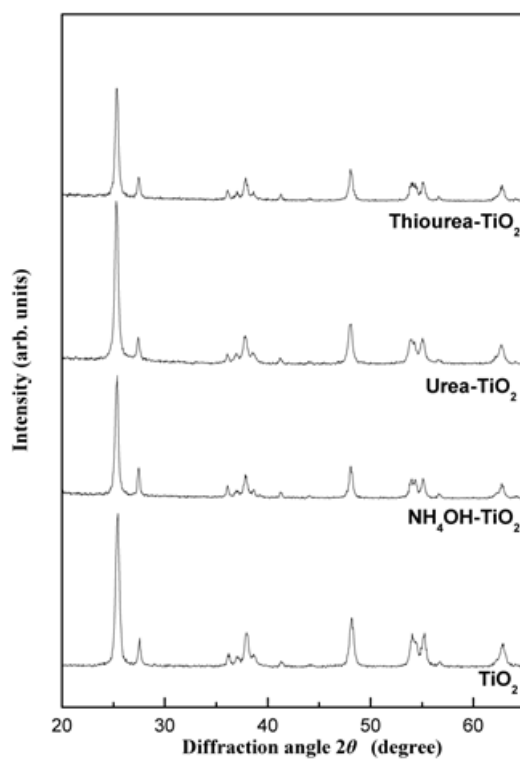


圖 22 XRD spectra of the photocatalysts

圖 22 為比較二氧化鈦和三種不同氮源之氮氧化鈦光觸媒之 XRD，分別為可發現 Urea- $\text{TiO}_2$  和 Thiourea- $\text{TiO}_2$  與  $\text{NH}_4\text{OH-TiO}_2$  氮氧化鈦光觸媒。可發現其摻雜之氮氧化鈦光觸媒與純二氧化鈦之結晶性相似，並未發現其他雜相生成。

#### (二) UV-vis DRS 光學特性分析

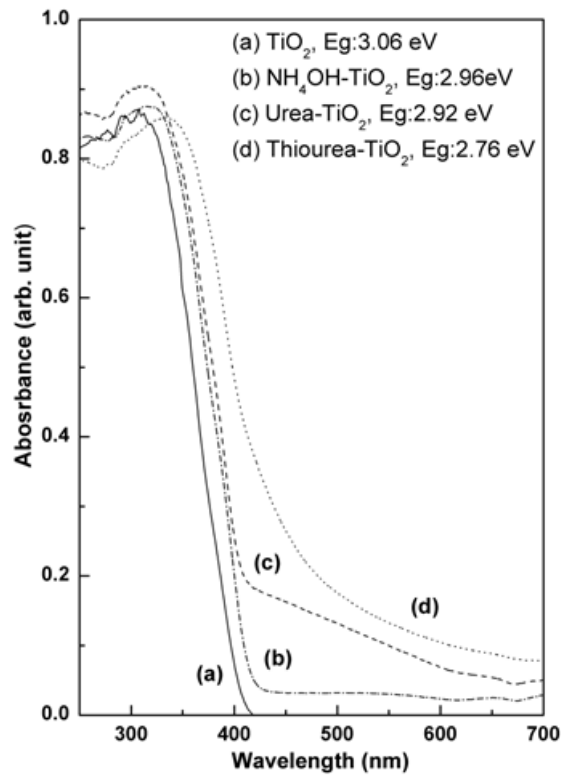


圖 23 UV-vis DRS absorbance

圖 23 分別為二氧化鈦光觸媒和摻雜尿素和硫脲之氮氧化鈦與  $\text{NH}_4\text{OH-TiO}_2$  氮氧化鈦光觸媒之 UV-vis DRS 圖譜。與純二氧化鈦比較，摻雜尿素和硫脲之氮氧化鈦光觸媒，在可見光之吸收確實得到提升，且光學能皆低於純二氧化鈦。其中，又以硫脲之氮氧化鈦為最佳。

### (三) 可見光光催化活性分析

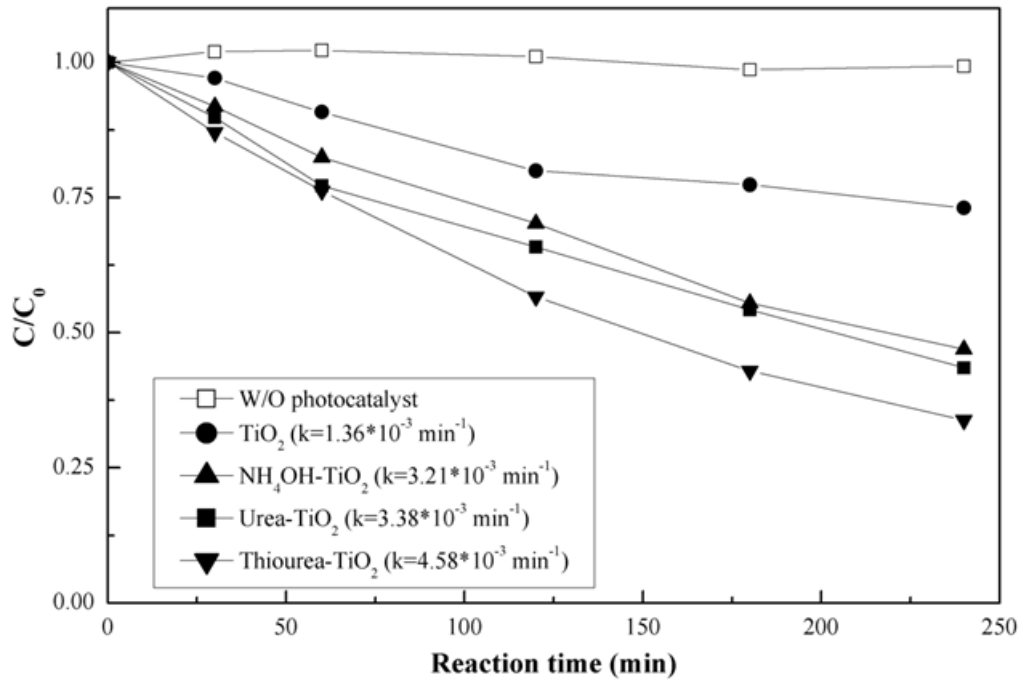


圖 24 Photocatalytic degradation curves of MB under fluorescent lamp with N-TiO<sub>2</sub>

在可見光催化活性分析上，與純二氧化鈦進行比較可發現，摻雜不同氮源之氮氧化鈦光觸媒確實可以提升可見光的催化活性，並且以硫脲之氮氧化鈦效率為最佳。

## 伍、 結論

- 一、不同濃度之氮源尿素對氮氧化鈦光觸媒之影響實驗中發現，尿素濃度在 2.0M 時，光催化活性反應的效能最佳。
- 二、經 XRD 結果顯示，摻雜不同氮源之氮氧化鈦光觸媒與純二氧化鈦結晶相似，且並未發現其他雜相形成。
- 三、根據 SEM 微觀照片發現，摻雜不同氮源之氮氧化鈦光觸媒表面均呈現緻密狀，顆粒分佈不平整，粒子間有團聚現象。而透過 EDS N Mapping，可證實氮原子確實分佈在二氧化鈦上。
- 四、UV-vis DRS 分析結果顯示，本研究製備之不同氮源的氮氧化鈦可見光光觸媒的吸收範圍確實提升。其中，又以硫脲(Thiourea)為最佳。
- 五、在實際光觸媒分解污染物的應用上，本研究以亞甲基藍針對不同氮源之氮氧化鈦可見光光觸媒做光催化活性反應，以摻雜硫脲(Thiourea)之二氧化鈦效能最佳。經過 4 小時可見光照射反應後，其反應速率常數  $k$  為  $0.0046\text{min}^{-1}$ 。

## 陸、參考資料及其他

- 一、林世平(2006)。TiN<sub>x</sub>O<sub>y</sub> 薄膜特性之研究。國立大同大學材料工程研究所碩士論文。
- 二、謝永旭(2009)。以可見光催化 V-TiO<sub>2</sub> 光觸媒降解亞甲基藍之研究。國立中興大學環境工程學系所碩士論文。
- 三、鄭曼婷(2009)。利用常壓電漿和高壓鍛燒法製備含氮摻雜二氧化鈦光觸媒降解異丙醇之研究。國立中興大學環境工程學系所碩士論文。
- 四、羅志緯(2006)。於鈦/矽基材上成長含二氧化鈦薄膜及其作為光觸媒之材料及性質研究。國立台灣科技大學化學工程系碩士論文。
- 五、葉世墉(2005)。二氧化鈦的合成與光催化性質的研究。國立中央大學化學工程與材料工程研究所碩士論文。
- 六、S. M. Prokes, J. L. Gole, X. Chen, C. Burda, and W. E. Carlos, Adv. Funct. Mater. 15, (2005) 15.
- 七、Y. Q. Wang , X. J. Yu , and D.Z. Sun. Journal of Hazardous Materials 144 (2007) 328.
- 八、Yu-Lin Kuoa, Te-Li Sub, Fu-Chen Kungc and Tsai-Jung Wua. Journal of Hazardous Materials 190 (2011)
- 九、Yu-Lin Kuo, Hua-Wei Chen and Young Ku. Thin Solid Films 515 (2007)
- 十、D.G. Huang, S.J.Liao, W.B.Zhou, S.Q.Quan, L.Liu, Z.J.He and J.B.Wan. Journal of Physics and Chemistry of Solids 70 (2009)
- 十一、H. Znad and Y. Kawase. Journal of Hazardous Materials 314 (2009)
- 十二、De-En Gu, Bang-Chao Yang and Yong-Da Hu. Catalysis Communications 9 (2008)

## 評語

本計畫以不同的含氮化合物化合入氧化鈦中，進行光觸媒改質，對於氮源，及濃度變因所產生的  $\text{TiO}_x\text{N}_y$  分析及進行光反應活性檢測，研究工作頗完整，若能在含氮量，結構的分析上更明確，以及對能隙影響建立相關，就是極具前瞻性的工作成績。