

# 照明用光觸媒空氣清淨螢光燈製作與使用方法

王偉洪

中山科學研究院, 化學研究所  
Email:cubic.wang@msa.hinet.net

## 摘要

以溶凝膠技術開發具有可見光光觸媒功效之奈米結晶二氧化鈦溶膠製備技術,進而使用可見光光觸媒溶膠於玻璃纖維布或套管上進行鍍膜,再將其包覆於螢光燈管外,用於照明且具有空氣清淨之功效。

可見光光觸媒溶膠,採用摻雜貴金屬於TiO<sub>2</sub> Anatase溶膠製程中,製得Doped TiO<sub>2</sub> Anatase溶膠,摻雜貴金屬製程可分為反應前與反應後。研製結果顯示在反應後加入貴金屬鹽Pt及Au於TiO<sub>2</sub> Anatase溶膠,所得Doped TiO<sub>2</sub> Anatase溶膠,乙酸丁酯分解速率約為不加貴金屬2倍。因此證明只需在TiO<sub>2</sub> Anatase溶膠中加入適量之貴金屬,如Pt及Au之硝酸鹽、氯化物或醋酸鹽水溶液,即可製得可見光光觸媒溶膠。其中較佳之Doped TiO<sub>2</sub> Anatase溶膠為Pt doped TiO<sub>2</sub> Anatase溶膠,將該溶膠進行玻璃纖維套管鍍膜,套於DEX 20W日光燈測試,乙酸丁酯分解速率達11.8856  $\mu\text{g}/\text{W}\times\text{min}\times\text{gm}_{\text{cat}}$ ,較日本石原MPT-625可見光光觸媒分散液鍍膜測試結果高,其分解速率為4.5825  $\mu\text{g}/\text{W}\times\text{min}\times\text{gm}_{\text{cat}}$ 。

且因點燈時產生之熱,使燈管外之空氣產生自然對流,使空氣中有害物質可與套管上光觸媒接觸,對有害氣體進行氧化分解,以達除臭、消煙、廢氣處理之功用。對細菌及微粒進行殺菌、抑菌、吸附及自潔等功效,用於室內照明同時清淨環境空氣。因製作成本低,使用方便,將為未來日光燈追求之目標。

Key words: 照明, 光觸媒, 空氣清淨, 日光燈

## 1. 簡介

光觸媒材料用於空氣清淨及廢氣處理,在近年被重視,早期光觸媒廢氣處理在一密閉反應器內,不論是顆粒觸媒或鍍膜觸媒顆粒,在使用或操作時都需要複雜之設備來處理。上述光觸媒廢氣處理設備,無法有效處理生活環境之廢氣,而Robertson et al.[1]採用纖維為光觸媒載體,配合包覆於紫外燈管外,裝置於玻璃或金屬套筒反應器中,進行廢氣廢水處理,因其反應器為密閉型,流體流動須靠泵浦強迫對流,故對生活環境空氣清淨使用時不方便。因此開放式光觸媒空氣清淨燈被開發,早期在螢光燈管外直接進行光觸媒鍍膜用於空氣清淨有Taoda [2]、[3]。而本實驗室亦開發光觸媒空氣清淨燈,在紫外燈管外,包覆光觸媒鍍膜玻璃纖維布或套管,提高光觸媒清淨空氣效率

100倍以上[4]、[5]、[6]。因紫外燈非用於照明,故使用時不甚普遍。

因可見光光觸媒之開發,可在一般日光燈管外進行光觸媒鍍膜,使光觸媒日光燈用於照明,同時亦可清淨空氣。如Ichikawa et al.[7]提出之光觸媒日光燈,在日光燈管外進行TiO<sub>2</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>混成溶膠鍍膜,再加溫烘烤至500°C及600°C得Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> doped TiO<sub>2</sub>鍍膜,具有可見光光觸媒功效。但因採用非結晶態TiO<sub>2</sub>溶膠鍍膜,需要經過500°C燒結才得到Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> doped Anatase TiO<sub>2</sub>結晶鍍膜,在製作技術有困難;且燈管內光照射在光觸媒鍍膜背面,產生之電子洞對無法有效遷移到光觸媒正面,無法有效與空氣中有機或無機廢氣作用,故其光觸媒空氣清淨效果差。

Akira et al.[8]採用TiO<sub>2</sub> Anatase奈米微粒分散於含醇類溶劑中,因TiO<sub>2</sub> Anatase奈米微粒需添加矽烷偶合劑、SiO<sub>2</sub>溶膠、TiO<sub>2</sub>溶膠或Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>溶膠等,製得之TiO<sub>2</sub> Anatase奈米微粉分散混成漿液或溶膠,進行日光燈鍍膜。因添加各式無機膠合劑都會將光觸媒表面部份或全部覆蓋,因而降低空氣、水氣及空氣中有機氣體或無機氣體與光觸媒材料接觸機會,使得光觸媒鍍膜日光燈空氣清淨之功效大幅降低。為提高TiO<sub>2</sub> Anatase奈米微粉鍍膜附著性,在日光燈管表面進行坎孔式覆膜,再於坎孔中以TiO<sub>2</sub> Anatase奈米微粉之分散漿液或溶膠填孔式覆膜,如此更降低光觸媒鍍膜日光燈空氣清淨之功效。

而本實驗室在日光燈管外,包覆可見光光觸媒鍍膜玻璃纖維布或套管[9]、[10]、[11],整光觸媒鍍膜玻璃纖維布或套管編織密度,使日光燈可見光遮蔽率<10%,當光觸媒空氣清淨日光燈開燈時用於照明,同時可清淨室內空氣。

## 2. 製作技術

照明用光觸媒空氣清淨螢光燈製作與使用,建立於三項技術之上,包括:奈米光觸媒溶膠製備、光觸媒鍍膜玻璃纖維套管及光觸媒螢光燈製作等,光觸媒螢光燈用在照明時,同時具強效空氣清淨能力,對室內空氣進行除臭抗菌等作用,相關技術說明如後:

### 2-1. 奈米光觸媒溶膠製備:

採用溶凝膠鍍膜技術,以鈦醇鹽Ti(OR)<sub>4</sub>為原料,在溶液中製備TiO<sub>2</sub> Anatase奈米結晶微粒溶膠,採用FT-Raman分析,具TiO<sub>2</sub> Anatase拉曼光譜637、

513、395 及 205  $\text{cm}^{-1}$  特性激發光譜，如圖 1 所示。該溶膠以動態雷射粒徑 DLS 量測，得溶膠二次粒徑  $<20\text{nm}$ ，如圖 2 所示。再以穿透式電子顯微鏡 TEM 照相，顯示  $\text{TiO}_2$  Anatase 溶膠初級粒徑達 2.0nm，小於 10nm，如圖 3 所示。因  $\text{TiO}_2$  Anatase 溶膠是在水溶液中製得  $\text{TiO}_2$  奈米結晶微粒，表面皆為—OH 氫氧基，光觸媒活性極高。使用  $\text{TiO}_2$  Anatase 溶膠鍍膜，祇需經低溫(100~250 $^{\circ}\text{C}$ )烘烤，去除有機溶劑， $\text{TiO}_2$  Anatase 表面 Ti—OH 氫氧基經脫水鍵結成 Ti—O—Ti，得奈米多孔之  $\text{TiO}_2$  Anatase 鍍膜，增加觸媒表面積，提高光觸媒空氣清淨能力。

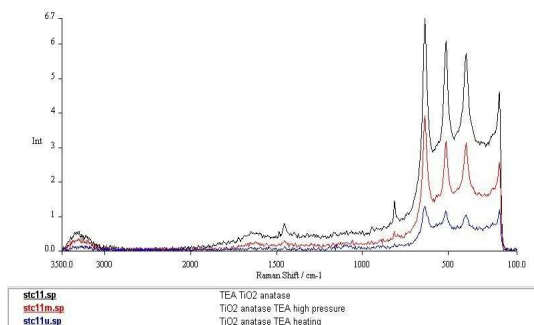


圖 1：製備奈米銳鈦礦結晶微粒  $\text{TiO}_2$  Anatase 溶膠 Raman 光譜圖

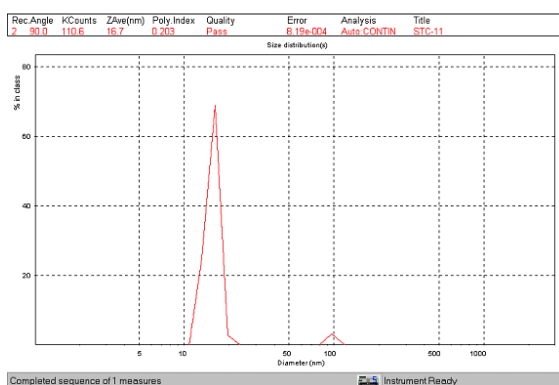


圖 2：製備之  $\text{TiO}_2$  Anatase 溶膠 DLS 平均粒徑為 16.7nm

## 2-2. 光觸媒鍍膜玻璃纖維載體：

採用玻璃纖維編織布或套管，或其他紫外光可穿透之材質如石英，進行光觸媒溶膠鍍膜，較直鍍式光觸媒燈管可增加 100 倍以上之光觸媒面積，讓空氣中廢氣輕易擴散至光觸媒活性位置，且讓可見光穿透玻

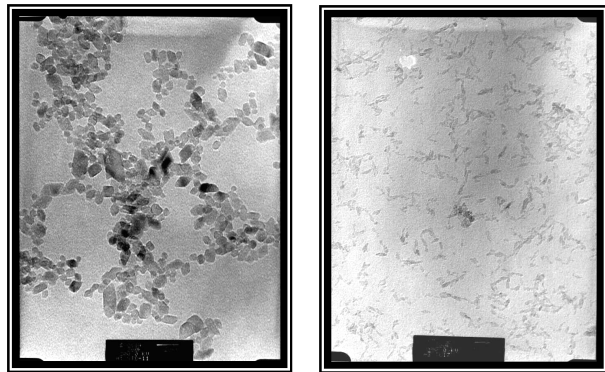


圖 3：製備之  $\text{TiO}_2$  Anatase 溶膠 TEM 照片(A)鹼性 STC-11(B)酸性 TC-17

璃纖維套管用於照明，更讓螢光燈光源中近紫外光及藍紫光可多次接觸玻璃纖維上光觸媒，有效激發產生光觸媒作用。玻璃纖維在製程中先採用矽烷偶合劑強化，製成玻璃纖維束紗錠，再以玻璃纖維束編織成布或套管，可採斜紋交叉、經緯編織或其他編織方法，其編織空隙度 10~1000 mesh，如圖 4 所示。

將玻璃纖維布或套管浸泡光觸媒溶膠，控制浸鍍拉昇速度或離心脫水轉速，在玻璃纖維布或套管表面均勻塗布一層(0.1~1.0 $\mu\text{m}$ )之光觸媒溶膠，因所開發之  $\text{TiO}_2$  Anatase 溶膠粒徑小，受熱後  $\text{TiO}_2$  Anatase 表面 Ti—OH 氫氧基與玻璃纖維表面 HO—Si 氫氧基，經脫水鍵結成 Ti—O—Si，使得奈米多孔之  $\text{TiO}_2$  Anatase 鍍膜於玻璃纖維具有良好附著性。塗布光觸媒溶膠之纖維布及套管，在空氣中乾燥後，進入 150~250 $^{\circ}\text{C}$  烘烤 10~100 分鐘，即可製得光觸媒鍍膜玻璃纖維布或套管，如圖 4 所示。

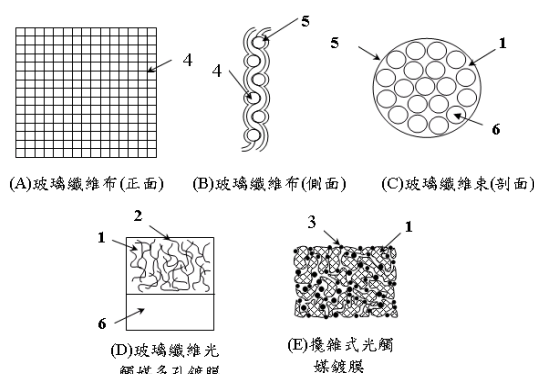


圖 4：光觸媒鍍膜玻璃纖維布結構示意圖：1.光觸媒鍍膜，2.奈米孔洞，3.攪雜貴金屬或過渡金屬氧化物，4.玻璃纖維布，5. 玻璃纖維束，6. 玻璃纖維。

為提高光觸媒功效，可於光觸媒材料製程中，添加奈米貴金屬或過渡金屬氧化物溶膠於  $\text{TiO}_2$  Anatase 溶膠中，可用之貴金屬有 Pd、Pt、Au 或 Ag 等，可用之過渡金屬氧化物有 Fe、Mo、Nb、V 或 Ce 等，添加量  $<1.0\text{ wt}\%$ ，製得攪雜貴金屬或過渡金屬氧化物之二氧化鈦 Doped  $\text{TiO}_2$  Anatase 溶膠，用以提高  $\text{TiO}_2$  Anatase 光觸媒鍍膜具可見光光觸媒能力。本發明亦採用將  $\text{TiO}_2$  Anatase 溶膠鍍膜玻璃纖維布或套管，浸泡於上述之金屬鹽溶液後，取出後於 (100~250 $^{\circ}\text{C}$ ) 烘箱烘烤，再包覆於螢光燈管外，當點燈時螢光燈光源中紫外光，激發  $\text{TiO}_2$  Anatase 使含浸之金屬離子還原，配合  $\text{TiO}_2$  Anatase 光觸媒作用，生成攪雜式二氧化鈦 Doped  $\text{TiO}_2$  Anatase 鍍膜玻璃纖維布或套管，具有可見光光觸媒功效，以提高光觸媒螢光燈空氣清淨能力。

## 2-3. 光觸媒螢光燈：

使用上述 Anatase  $\text{TiO}_2$  溶膠光觸媒鍍膜玻璃纖維布或套管，剪裁所需尺寸包覆於螢光燈管外，剪裁尺寸視螢光燈管長度及包覆層數而定，包覆後使用熱收縮塑膠套環固定於螢光燈上，其他接縫以耐紫外線膠或雷射燒結固定。採用玻璃纖維套管進行光觸媒鍍



膜，內徑與日光燈管相當，裁剪所需尺寸直接套於日光燈管上，兩端以熱收縮膠套環固定於於螢光燈上，製成光觸媒螢光燈，如圖 5 所示。

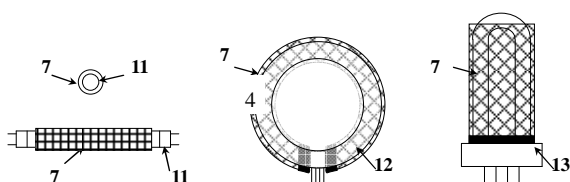


圖 5：光觸媒螢光燈結構示意圖：7.光觸媒鍍膜玻璃纖維布或套管，11.直管螢光燈，12 圓管螢光燈，13 其他型螢光燈。

本發明可採用各式螢光燈為光源，而照明用螢光燈其波長主要為 420~700 nm 之可見光，少量 365 nm 及 405 nm 近紫外光。為便於可見光盡量穿透光觸媒鍍膜玻璃纖維布及套管，可採用較細及較鬆之玻璃纖維布及套管為基材，經光觸媒溶膠浸鍍，得均勻透光性良好之光觸媒鍍膜玻璃纖維布及套管，包覆或套於螢光燈管上，製得空氣清淨螢光燈，用於照明亦可清淨室內空氣。

本發明之光觸媒空氣清淨螢光燈，採用開放式安裝，在一般燈具之螢光燈安裝座上即可安裝使用，因螢光燈管在通電點燈時，產生螢光中可見光用於照明，少量近紫外光用於清淨環境空氣，提高空氣品質。且螢光燈點亮時電能部份變為熱能，使燈管升溫，造成燈管外空氣產生自然對流，如圖 6-1 所示，可加速廢氣接觸光觸媒分解與吸附效果。

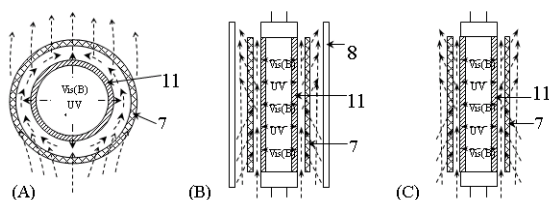


圖 6-1：光觸媒空氣清淨螢光燈開放式安裝，空氣自然對流現象(A)燈管橫置自然對流 (B)燈管垂置有外套管自然對流 (C)燈管垂置自然對流。7 光觸媒鍍膜玻璃纖維布或套管，8 空氣導管，11 直管螢光燈。

若配合使用場合，如大廈空調、冷氣機及電風扇，光觸媒空氣清淨螢光燈可安裝於空氣導管中，如圖 6-2 所示，以管件或設備方式製作，配合空調系統安裝，此時空氣受鼓風機強迫對流，其空氣清淨能力更佳。

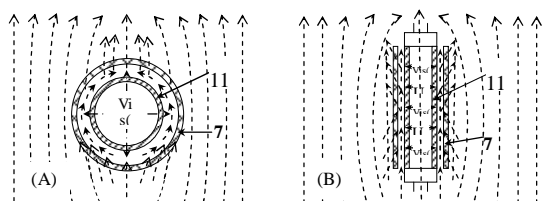


圖 6-2：光觸媒空氣清淨螢光燈導管式安裝，空氣強迫對流現象(A)燈管橫置強迫對流 (B)燈管流向配置強迫對流。7 光觸媒鍍膜玻璃纖維布或套管，11 直管

螢光燈。

### 3. 功效測試：

光觸媒空氣清淨螢光燈功效測試系統設計如圖 7 所示，採用可揮發之化學物質：包括氣體、液體或固體，可使用氣體偵檢管、氣體感應器、GC、LC、NDIR 或 FTIR，定量量測空氣中揮發性化學物質在光觸媒作用下濃度變化。本實驗採用塗料中常用之溶劑乙酸丁酯為空氣中揮發性化學物質之代表，用 FTIR(Bomem B-104) 與(4.0 公升)氣體腔結合，量測 10 米空氣中微量氣體，檢測準確度可達 1.0 ppm，在空氣中乙酸丁酯氣體於 IR 中主要吸收光譜在  $1240\text{ cm}^{-1}$ 。本系統採用不同大小之反應器(1.0~4.0 公升) 如圖 8 所示或如圖 7 中手套箱(400 公升)為反應空間，對不同之光觸媒加工材料及光觸媒空氣清淨螢光燈，以批示或連續反應方式進行功效測試，其管線設定如表 1 所示。

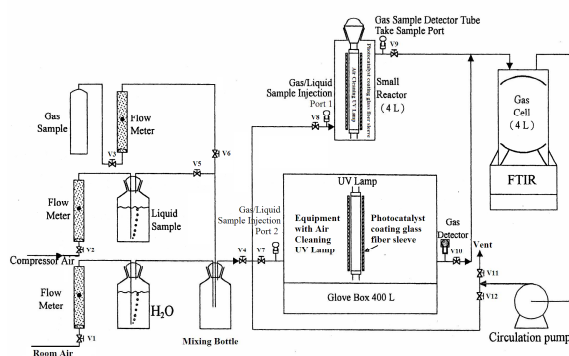


圖 7：光觸媒空氣清淨螢光燈功效測試系統架設圖

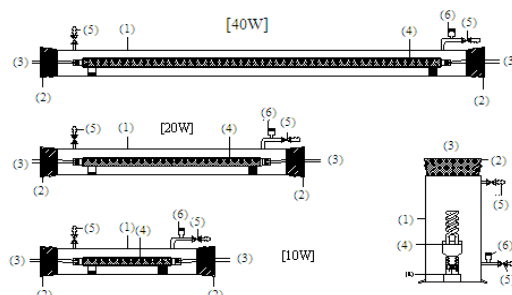


圖 8：光觸媒空氣清淨螢光燈功效測試系統不同小反應器製作示意圖

#### 3.1 批式反應測試方法：

採用 10W 螢光燈反應系統(4.0 公升)，在循環之乾淨空氣中注入乙酸丁酯 2-6 $\mu\text{l}$ ，管線密閉與設備對乙酸丁酯吸收可忽略。操作步驟如下：(1)使用 UVA 照度計(ITT VLX3W)量測螢光燈表面 UVA 強度，(2)在 10W 螢光燈反應器中氣密安裝光觸媒空氣清淨螢光燈，(3) 起動空氣幫浦，以 2-4 liter/min 抽取系統外乾淨空氣進入反應系統，沖洗反應系統 30 分鐘，(4)設定管線為批示循環方式，(5)注入口 1 注入乙酸丁酯 2-6 $\mu\text{l}$ ，(6)每 2mins 記錄乙酸丁酯( $1240\text{ cm}^{-1}$ )吸收峰高度或面積 30mins，以達穩定，(7)開螢光燈，(8)每 2mins

記錄乙酸丁酯( $1240^{-1}$  cm) 吸收峰高度或面積下降變化, 至少 30mins, 乙酸丁酯吸收峰高度或面積接近零, 停止量測。

### 3.2 連續反應測試方法：

採用 10W 螢光燈反應系統(4.0 公升), 在循環之乾淨空氣中注入乙酸丁酯 2-6 $\mu$ l, 管線密閉與設備對乙酸丁酯吸收可忽略。(1)、(2)、(3)步驟與批示方式相同, (4)設定管線為連續方式;(5)設定定量(2, 4, 20, or 40 ml/min)空氣進入乙酸丁酯液體瓶中, 產生 25 $^{\circ}$ C、1 atm 之保飽和乙酸丁酯之空氣, (6)與 2-4 liter/min 抽取之外界乾淨空氣, 於氣體混合瓶中混合, 控制進入反應系統之空氣中乙酸丁酯濃度, (7)每 2mins 記錄乙酸丁酯( $1240^{-1}$  cm)吸收峰高度或面積以達穩定 30mins, (7)開螢光燈, (8)每 2mins 記錄乙酸丁酯( $1240^{-1}$  cm) 吸收峰高度或面積下降以達穩定, 繼續量測 30mins 以上。

## 4. 測試結果：

使用上述光觸媒空氣清淨螢光燈功效測試系統, 假設光觸媒空氣清淨為一次反應, 反應速率與有機氣體濃度一次關係, 採用批式或連續方法量測光觸媒空氣清淨日光燈空氣清淨反應速率與能力。

### 4.1 批式測試結果：

光觸媒空氣清淨日光燈以批式反應測試, 開燈前乙酸丁酯濃度變化, 開始為系統吸附為主, 穩定後以洩漏為主, 洩漏率雖低, 但可以洩漏速率常數以  $k_1$  代表; 開燈後乙酸丁酯濃度變化, 開始包含觸媒反應、吸附與洩漏, 穩定後以觸媒反應與洩漏為主, 其變化速率常數以  $k_2$  代表; 故光觸媒空氣清淨日光燈乙酸丁酯分解速率常數為  $k_2 - k_1$  (in  $\text{min}^{-1}$ ), 採用兩種  $\text{TiO}_2$  Anatase 溶膠鍍膜玻璃纖維套管, 套於 10W-BL(365 nm) 紫外燈管及 10W-DEX 三元色日光燈管, 進行乙酸丁酯分解速率及常數量測與計算, 其結果如表 2 所示。

不同光觸媒空氣清淨燈具有不同空氣清淨能力, 以批式反應測試, 在 4 公升反應系統中注入乙酸丁酯 6 $\mu$ l  $\div$  5310 $\mu$ g, 反應系統中空氣之乙酸丁酯濃度約 1327  $\mu$ g/liter  $\div$  1128 ppm, 兩式光觸媒空氣清淨螢光燈批式量測乙酸丁酯分解速率, 其結果如表 3 所示。在反應系統中空氣注入乙酸丁酯 1  $\mu$ l, FTIR 顯示乙酸丁酯( $1240^{-1}$  cm)吸收峰強度為 0.2808, 推算反應系統中空氣之乙酸丁酯濃度約 221  $\mu$ g/liter  $\div$  188 ppm。

### 4.2 連續測試結果：

在連續方法測試時, 控制保飽和乙酸丁酯之空氣進料量為 2, 4, 20 或 40 ml/min, 與抽氣邦浦定量抽入 2 or 4 liter/min 外界空氣混合, 以 FTIR 每 2 mins 量測乙酸丁酯( $1240^{-1}$  cm)吸收峰強度或面積穩定連續達 30mins, 以吸收峰強度推算反應系統中空氣之乙酸丁酯濃度  $C_0$ 。開燈後繼續以每 2 mins 量測乙酸丁酯( $1240^{-1}$  cm)吸收峰強度或面積, 穩定連續達 30mins 以上, 此時乙酸丁酯( $1240^{-1}$  cm)吸收峰強度, 推算反應系統中空氣之乙酸丁酯濃度為  $C$ , 以一次反應關係

可以  $\ln C/C_0$  表示反應率  $y$ , 其測試結果如表 4 所示, 兩式光觸媒空氣清淨螢光燈連續方式量測乙酸丁酯分解速率, 其結果如表 5 所示。

### 4.3 各式可見光光觸媒空氣清淨日光燈測試結果：

在溶膠開發方面—以酸性  $\text{TiO}_2$  Anatase 溶膠最具實用性, 已建立 200 公升/批式先導工廠, 具量產能力。除用於光觸媒空氣清淨紫外燈, 亦可於金屬、陶瓷及玻璃表面加工, 用於建築室外金屬、陶瓷及玻璃材料表面自潔抗污, 功能顯著附著良好。

可見光光觸媒溶膠開發, 使用有機鉍為界面活性劑, 開發鹼性  $\text{TiO}_2$  Anatase 溶膠, 進行玻璃纖維鍍膜套於 DEX 20W 日光燈測試, 其光觸媒乙酸丁酯分解速率約為 4.0  $\mu$ g /  $W_L \times \text{min} \times \text{gm}_{\text{cat}}$ , 較日本石原 STS-21 光觸媒鍍膜分解速率 2.2 高, 亦較德國 Hombikat UV-100 WP 光觸媒鍍膜分解速率 3.0 高, 但較日本石原 MPT-625 可見光光觸媒分散液鍍膜分解速率 4.6 低, 如表 6 所示。

表 6: 各式光觸媒材料於 DEX 20W 日光燈測試乙酸丁酯分解速率

觸媒編號	STC-11	STS-21	UV100	MPT-625
$\mu\text{g}/W_L \times \text{min} \times \text{gm}_{\text{cat}}$	3.9825	2.1895	2.9718	4.5825
觸媒編號	PCC-14 (Pt)	PCC-15 (Au)	VTC-01 (Pt)	VTC-02 (Au)
$\mu\text{g}/W_L \times \text{min} \times \text{gm}_{\text{cat}}$	11.8856	9.3527	5.3436	5.0569

採用攪雜貴金屬或過渡金屬氧化物於  $\text{TiO}_2$  Anatase 溶膠製程中, 製得 Doped  $\text{TiO}_2$  Anatase 溶膠, 攪雜貴金屬或過渡金屬氧化物製程, 可分為反應前與反應後, 在反應前加入所得 Doped  $\text{TiO}_2$  Anatase 溶膠為 VTC 系列, 反應後加入所得 Doped  $\text{TiO}_2$  Anatase 溶膠為 PCC 系列, 其鍍膜乙酸丁酯分解速率皆大於日本石原 MPT-625 可見光光觸媒分散液鍍膜分解速率 4.6, 具可見光光觸媒能力。

研發結果發現在反應後加入貴金屬鹽 Pt 及 Au 於  $\text{TiO}_2$  Anatase 溶膠, 所得 Doped  $\text{TiO}_2$  Anatase 溶膠, 乙酸丁酯分解速率約為反應前加入 2 倍。因此證明在  $\text{TiO}_2$  Anatase 溶膠中攪雜貴金屬, 只需在  $\text{TiO}_2$  Anatase 溶膠中加入適量之貴金屬, 如 Pt 及 Au 之硝酸鹽、氯化物或醋酸鹽水溶液。其中較佳之 Doped  $\text{TiO}_2$  Anatase 溶膠, 編號 PCC-14(Pt) 為 Pt doped  $\text{TiO}_2$  Anatase 溶膠, 進行玻璃纖維鍍膜套於 DEX 20W 日光燈測試, 乙酸丁酯分解速率達 11.8856  $\mu\text{g}/W_L \times \text{min} \times \text{gm}_{\text{cat}}$  以上。

## 5. 結論：

開發  $\text{TiO}_2$  Anatase 溶膠製備、鍍膜加工及應用技術, 進行  $\text{TiO}_2$  Anatase 鍍膜材料及產品開發, 將本項技術除推廣於民生工業, 成效顯著。進而開發照明用光觸媒空氣清淨日光燈, 於 95 年獲得美國富比仕公司選為 2005 年 10 項頂級奈米產品之一, 同年獲得經濟部頒授奈米標章。對空氣中有害氣體進行氧化分解, 以達除臭、消煙、廢氣處理之功用。對細

菌及微粒進行殺菌、抑菌、吸附及自潔等功效，用於室內照明同時清淨環境空氣。因製作成本低，使用方便，將為未來日光燈追求之目標。

## 6. 謝誌：

本技術在 1997 年經濟部科技專案計畫 86-EC-2-A-15-152 特用化學計畫，溶凝膠鍍膜技術開發，開發光觸媒廢氣處理紫外燈，獲得 USP 6,135,838 等專利 3 篇，其後進而開發照明用光觸媒空氣清淨日光燈，獲得 USP 7,327,087 等專利 3 篇，感謝期間經濟部科技專案計畫經費之支持，更感謝邱智謀、姚錦富、黃家齊、游敏鋒等參與研發工作同仁

## 7. 參考資料

- [1] Robertson et al., USP 4,892,712, Jan 9, 1990
- [2] Taoda et al., USP 5,650,126, July 22, 1997
- [3] Taoda et al., USP 5,670,206, Sept. 23, 1997
- [4] Wang Wei-Hong, USP 6,135,838, Oct. 24, 2000
- [5] Wang Wei-Hong, USP 6,336,998., Jan. 8, 2002
- [6] 王偉洪、游敏鋒，中華民國發明專利 182521，July. 21, 2003
- [7] Ichikawa et al., USP 6,024,929, Feb. 15, 2000
- [8] Akira Kawakatsu, USP 6,242,862, June. 5, 2001
- [9] 王偉洪，中華民國發明專利 206702，Nov. 11, 2004
- [10] Wang Wei-Hong, USP 7,327,087B2, Feb. 5, 2008
- [11] 王偉洪，中華民國發明專利 I 307289，March 11, 2009

## 8. 附錄

表 1: 光觸媒空氣清淨螢光燈功效測試系統不同量測方法氣體流動與管線閥之開與關

測試方法	樣品種類	注入方式	注入口	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12
小反應系統(2-6 公升)，測試管線閥之開(O)與關(C)															
沖洗	空氣			O	C	C	O	C	C	C	O	O	C	O	C
批式	氣體注入	1		C	C	C	C	C	C	C	O	O	C	C	O
批式	液體注入	1		C	C	C	C	C	C	C	C	O	O	C	C
連續	氣體鋼瓶接管			O	C	O	O	C	O	C	O	O	C	O	C
連續	空氣注入液體中飽和			O	O	C	O	O	C	C	O	O	C	O	C

手套箱(400 公升)反應系統，測試管線閥之開(O)與關(C)															
沖洗	空氣			O	C	C	O	C	C	O	C	C	O	O	C
批式	氣體注入	2		C	C	C	C	C	C	O	C	C	C	O	C
批式	液體注入	2		C	C	C	C	C	C	O	C	C	C	O	C
連續	氣體鋼瓶接管			C	O	O	C	O	O	C	C	C	O	O	C
連續	空氣注入液體中飽和			O	C	O	O	C	O	C	C	C	O	O	C

表 2: 兩式光觸媒空氣清淨螢光燈批式量測乙酸丁酯分解速率常數

光觸媒種類/	光觸媒/玻纖套管	螢光燈	UV365 強度	燈管表面積	UV power	k <sub>3</sub> -k <sub>1</sub> 速率常數
單位	gm/gm	10 W	mW/cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	mW	min <sup>-1</sup>
STC-A	1.288/	BL	3.500	240	840	0.3772
	9.3277	DEX	0.026	240	6.24	0.0956
STC-B	0.3843/	BL	3.500	240	840	0.3127
	8.9576	DEX	0.026	240	6.24	0.0350

表 3: 兩式光觸媒空氣清淨螢光燈批式量測乙酸丁酯分解速率

光觸媒種類/	螢光燈	k <sub>3</sub> -k <sub>1</sub> 速率常數	L <sub>0WB</sub> (10 W)	L <sub>0VB</sub> (10 W)	K <sub>0WB</sub> (10 W)	K <sub>0VB</sub> (10 W)
單位	10 W	min <sup>-1</sup>	$\frac{\mu g}{min \times W_0}$	$\frac{ppm \times liter}{min \times W_0}$	$\frac{\mu g}{min \times W \times gm}$	$\frac{ppm \times liter}{min \times W \times gm}$
STC-A	BL	0.3772	200	170	1851	1574
	DEX* <sup>1</sup>	0.0028	1.5	1.26	14	12
	DEX* <sup>2</sup>	0.0956	51	43	463	398
STC-B	BL	0.3127	166	141	5144	4374
	DEX* <sup>1</sup>	0.0023	1.2	1.0	37	31
	DEX* <sup>2</sup>	0.0350	18.6	15.8	576	490

\*1:從 DEX 日光燈量測 UV 365nm 紫外線發射強度估算

\*2:從 DEX 光觸媒空氣清淨日光燈實測乙酸丁酯分解速率

表 4: 兩式光觸媒空氣清淨螢光燈連續方式量測乙酸丁酯分解率

光觸媒種類/	光觸媒/玻纖套管	螢光燈	乙酸丁酯濃度	關燈濃度	開燈濃度	y 分解率
單位	gm/gm	10 W	ml/l	ppm	ppm	ln c/c <sub>0</sub>
STC-A	1.288/	BL	20/2	913	355	-0.94499
	9.3277	DEX	2/2	92.5	48	-0.66432
STC-B	0.3843/	BL	20/2	824	358	-0.83358
	8.9576	DEX	2/2	76.7	49	-0.45476

表 5: 兩式光觸媒空氣清淨螢光燈連續方式量測乙酸丁酯分解速率

光觸媒種類/	螢光燈	0.65min 反應速率	L <sub>0WC</sub> (10 W)	L <sub>0VC</sub> (10 W)	K <sub>0WC</sub> (10 W)	K <sub>0VC</sub> (10 W)
單位	10 W	min <sup>-1</sup>	$\frac{\mu g}{min \times W_0}$	$\frac{ppm \times liter}{min \times W_0}$	$\frac{\mu g}{min \times W \times gm}$	$\frac{ppm \times liter}{min \times W \times gm}$
STC-A	BL	-1.45383	156	133	1441	1226
	DEX	-1.02203	11.1	9.48	102	87
STC-B	BL	-1.28243	124	105	3846	3274
	DEX	-0.69963	6.3	5.4	195	168