

認知奈米光觸媒及其正確使用方法

工研院環安中心 林有銘博士 (May 26, 2003)

1. 光觸媒技術發展沿革

以二氧化鈦(TiO_2)作為光觸媒以進行光催化反應，肇始於 1970 年代日本東京大學的 Akira Fujishima 教授所發表之光觸媒電極分解水以產生氫氣與氧氣之研究成果，從此開啟了光觸媒電化學反應研究之大門，並嘗試利用太陽光分解水以產生氫氣作為潔淨能源。由於光觸媒電極產製氫氣之效率偏低，距離實用化仍有很長的路，因此在 1980 年代中期，Fujishima 教授將光觸媒之研究轉向利用光激發後產生電子與電洞之氧化還原能力，用來進行化學物質的光催化氧化還原反應，以拉近光觸媒之實用化時程。

配合光觸媒之氧化還原能力，自 1990 年代起，在東京大學的帶頭作用下，日本的產業界與學術研究機構紛紛投入光觸媒之污染物去除，包括空氣淨化、水質淨化、除臭、抗菌等應用。在 1995 年，Fujishima 教授再度發表光觸媒之超強親水性與超強疏水性研究成果後，日本之光觸媒應用更擴及防止鏡面起霧、陶瓷或玻璃用品表面防污、建築物外牆防塵等自我清潔的功能，對人類生活環境的改進，產生重要影響。近年來(2001 年以後)，Fujishima 教授更發表利用光觸媒防止鋼鐵材料表面生鏽之研究成果，預計將對光觸媒應用產生重大影響。

除了在光觸媒應用面積極投入研究之外，日本的產業界與學研機構亦紛紛投入可見光光觸媒的開發，以便能將光觸媒之應用範圍從紫外光波長(380 nm 以下)移向可見光波長(400~700 nm)，俾能提升光觸媒之日光使用效率。此項研究成果，在 2002 年公佈取得突破，可在

實驗室製備可見光觸媒，唯其試產價格仍然極度偏高，因此研發可量產化之技術，仍是日本以及全世界致力研發之目標。

從上述光觸媒之發展歷程來看，即使在日本，光觸媒的應用亦尚在萌芽階段，雖然目前有超過 20 家著名廠商投入光觸媒的產品化與應用，但仍未完全達到成熟階段，尤其在光觸媒產品的效能驗證方面，更是尚無統一之標準。有鑑於此，日本政府於 2002 年出面組織一個光觸媒產品標準化制定委員會，由東京大學的 Fujishima 教授擔任總召集人，下設四個子項委員會，負責制定自我潔淨、抗菌、空氣處理與水處理等四個領域之光觸媒產品驗證標準，預期將對光觸媒產業的發展產生重大影響。

2.光觸媒基本特性

光觸媒屬於半導體材料，最普遍的例子為二氧化鈦。其他半導體材料如 ZnO、CdS、SrTiO₃ 等氧化物、非氧化物與混合型氧化物，皆具有吸收光線以激發電子之功能，而具有光催化之性能。其中 TiO₂ 因具有強氧化還原能力、化學安定性、環境友善性等優點，而成為目前光觸媒主要的研究與環境應用對象。TiO₂ 的能階約為 3.0eV，屬於紫外光(波長在 380nm 以下)激發範圍，因此在應用上須以紫外光為光源，方能具有光催化之作用。TiO₂ 之粒徑大小亦會影響光觸媒之功能，文獻研究結果指出，TiO₂ 之粒徑大小須在 5~30nm(奈米)範圍內，才具有較好的光催化活性，最佳的粒徑大小約為 7nm 左右，這也是為什麼將之稱為奈米光觸媒之原因(依目前政府對奈米產業之定義，奈米之範圍為 1~100nm)。利用光觸媒材料經光線激發後，進而活化空氣中的水氣分子或氧氣分子形成氫氧自由基或負氧離子，進行氧化或還原作用，以分解環境中的污染物，即可應用於去除空氣中或廢水中的污染物，亦可應用於抑制或滅除附著於表面之細菌，達到抗菌之

效果。這幾項應用方面之研究，近年來已逐漸從實驗室成果提升至商業化應用，而使光觸媒成為環保應用的新材料。

3.光觸媒在我國產業應用現況

光觸媒的應用，近年來在我國亦逐漸受到很多廠商的關注，紛紛收集各種相關的產品、技術與應用資料，從國外引進產品，或透過與研究機構合作開發相關產品與應用，尤其是傳統的民生產業，更是寄望透過光觸媒產品的應用，提升產品的附加價值，增強產品之競爭力。而在光觸媒之環境淨化應用方面，利用太陽光激發光觸媒以去除環境大氣中的污染物，我國亦透過與日本合作研發方式，積極開發其應用途徑，對環保產業之發展將有極大幫助。

台灣社會對光觸媒產品之了解，尚在啟蒙階段，雖然部份廠商在二年前左右即自日本引進相關民生消費用途之光觸媒產品，但其市場應用仍在草創時期。自從今年(2003)四月底以來，因應 SARS 疫情所引發之光觸媒熱潮，在國內外之光觸媒產業發展來看，應可視為一個意外。好的方面而言，固然藉此機會增進消費者熟悉光觸媒此一新穎名稱與產品，為該產業帶來商機；但壞的一方面而言，由於事起匆促，產業界、學術研究界、社會意識皆來不及對光觸媒充分認知與教育，各種產品推銷造成過度的商業語言使用，反而容易誤導民眾之認知，造成市場之混淆，皆非產業與社會之福。

4.光觸媒作為抗菌劑之應用方式

如前所述，奈米光觸媒顆粒對污染物去除與抗菌等效能，皆經國內外實驗室測試驗證，確實具有此一功能。也因為它具有此一功能，因此從學理上推測應會對病毒的去活化亦具有功能，因為純粹從化學的觀點，病毒並沒有像細菌一樣有一層外殼保護，其結構比細菌脆

弱，因此有機會被光觸媒破壞。只是由於病毒的培養與測試比細菌更加危險與困難，因此目前國內外皆尚未有病毒破壞之測試驗證；而引發 SARS 的冠狀病毒又是最近才確定，更加不可能有測試驗證結果，因此坊間的光觸媒產品若直接打上可治 SARS 的口號，應屬於商業語言的誇大，不代表有實際的測試驗證。但是光觸媒可以抗菌與去除污染物等功能，則是具有測試驗證之結果，具有相當的可靠性。

雖然光觸媒顆粒具有抗菌、去除污染物等功能，但在實用上並不能以顆粒型態直接使用，必須將奈米顆粒固定於某些基材表面，如磁磚、玻璃、牆壁、金屬、塑膠等表面，這些表面必須具有不怕光觸媒氧化之特性，以免本身遭到氧化分解，因此某些含有機染料的布面，可能不適合噴上光觸媒，以免染料被分解而產生退色。因此光觸媒顆粒固定化後與基材之密著性，是決定光觸媒使用壽命的主要因素。為了使用上的方便，通常配成光觸媒水溶液進行固定化操作，工業上專業人員使用之光觸媒溶液可以是酸性($\text{pH} < 6$)；但民生消費使用之光觸媒溶液則必須為中性($\text{pH} = 6\sim 8$)，以免對消費者造成傷害。目前光觸媒溶液的製造主要從鈦金屬的鹽類為起點，經過濕式化學法合成，才能得到顆粒大小約為 10 nm 的光觸媒溶液。若直接從光觸媒粉體加水稀釋，則不容易分散且容易造成沉澱，因此若有沉澱產生之光觸媒溶液，將影響其附著性、耐久性與功能性之品質。只要附著性良好，光觸媒即可持續發揮功用，而成為長效性之抗菌劑。

光觸媒顆粒既為奈米粒子，則與一般奈米顆粒相同，若吸入人體，對肺部將造成傷害，這並非是因為其為光觸媒之緣故，而是因為奈米粒子之特性所致，因此不只是光觸媒，所有的奈米粒子都應避免吸入人體，以免造成肺部的傷害。故在使用上應該避免將光觸媒噴散於空氣中，或直接噴在人體上，防止吸入人體造成肺部傷害，或直接

粘著於皮膚，可能造成毛細孔堵塞。因此光觸媒溶液乾燥後必須具有好的附著性，既能維持長久功能，又能避免剝落造成粉塵。為了讓附著性更好，在噴塗前應盡可能維持基材表面之乾淨，越乾淨的表面其附著性會越好。

5.光觸媒之紫外光來源與應用方式

光觸媒顆粒既然需要紫外光(波長 $< 380 \text{ nm}$)方能激發抗菌與去除污染物之作用，因此光源的供應就成為必要條件。啟動光觸媒催化作用的光強度在波長 365 nm 的紫外光下，實驗測試結果在約為 0.1 mW/cm^2 下即可具有抗菌與去除污染物之作用。在中午時分室外之日光下的紫外光(365 nm 波長)強度約為 $2\sim 3 \text{ mW/cm}^2$ ，室內靠窗之處約為 1 mW/cm^2 左右，距離窗口越遠的地方，紫外光強度越弱，但只要高於啟動光觸媒所需的強度，仍會具有抗菌與去除污染物的效果，因此採光充分的室內，應是最適合發揮光觸媒功能的空間。在無採光的空間或夜晚，則需提供紫外光來源。一般的紫外光燈管，如家庭用的捕蚊燈管，即可提供紫外光來源，但使用時應避免長期間眼睛直視，以免造成眼睛功能的慢性傷害。若使用波長更短的紫外光燈管(253 nm)，如殺菌燈管，則應避免眼睛直視，以免造成立即性的眼睛腫痛等傷害。至於一般的白晝光與燈泡色日光燈管或省電燈管(包括螺旋型、U型與電球型)，雖然主要為可見光，但仍具有微量的紫外光(365 nm 波長)，其強度在燈管表面約為 0.2 mW/cm^2 左右，與微弱的日光強度相似，因此在靠近燈管表面之處，仍足以啟動光觸媒作用，當距離越遠則光強度越弱，光觸媒之效用將越低。故在較大的室內空間裡，於夜晚無人的時段若能改用類似捕蚊燈之紫外光來源，將更能有效發揮光觸媒之作用。

6.消費性光觸媒溶液之正確使用方法

奈米光觸媒既然是一個新型產品，為了導正產品市場之發展，必須盡速建立產品規範，讓消費者能夠真正買到有效的光觸媒產品，才是當務之急。因此建立光觸媒產品之功能驗證的標準方法，可參考日本之做法，分別建立抗菌、自我潔淨、空氣淨化、水質淨化等功能驗證，是政府與學術研究機構可以提供服務的課題。

由於功能驗證標準方法的建立，屬於相當專業的課題，且需要長期之努力。為了因應民生消費者對噴塗式光觸媒溶液之需求，綜合以上所述光觸媒之基本特性與應用方式，本文嘗試歸納出下列消費性光觸媒產品之正確使用方法如下：

- (1) 二氧化鈦光觸媒為奈米尺寸之固體顆粒，其粒徑大小約為 10 個奈米(nm)左右，製成中性水溶液後為不產生沉澱的澄清液體，使用前不需搖一搖。若放置期間會產生沉澱，應為顆粒太大，或非合格的光觸媒溶液，將不具光觸媒之催化效果。
- (2) 光觸媒溶液噴塗在磁磚、牆壁、玻璃、金屬、塑膠等表面，水分乾燥後將奈米顆粒密著在表面，不應有剝落現象，才不會造成粉塵的產生。
- (3) 奈米粒子造成的粉塵若吸入人體，將造成肺部的危害，這是所有奈米粒子的特性所造成，並非是光觸媒的特性所獨具。因此光觸媒既然具有奈米粒子的特性，就不適合直接噴灑在空氣中，以免形成粉塵吸入人體，危害肺部。
- (4) 光觸媒溶液並非消毒水，因此不適合直接噴在身上，以免因皮膚附著性不佳，造成奈米粒子剝落，因而吸入肺部造成危害。身體的消毒，仍以酒精擦拭最為直接有效。

- (5) 口罩的功能係過濾沾帶細菌或病毒的飛沫或灰塵，光觸媒噴在口罩上，並非增加過濾功能，而是藉由與吸附在口罩上之細菌或污染物的接觸，抑制細菌繁殖或分解污染物，以淨化口罩表面。因此光觸媒只要噴塗在口罩外面能接收光源之處即可，不須噴在口罩內面，以免奈米粒子吸入肺部造成危害。
- (6) 光觸媒必須照射紫外光方能有效，因此若噴塗在室內，應打開窗簾或窗戶，讓日光照射進來方能有效。若是沒有日光照射的室內或夜晚，可使用家庭用捕蚊燈照射，以加強紫外線來源。一般白晝光之日光燈管或省電型燈管或燈泡，亦含有較低強度的紫外光來源，但必須在越接近的距離下，光觸媒的效果才會越好。
- (7) 為增進光觸媒與磁磚、牆壁、玻璃、塑膠表面之密著性，噴塗前盡可能先清洗表面，維持乾淨的表面才能避免光觸媒噴塗後的剝落現象，亦能增進光觸媒功能之持久性。
- (8) 光觸媒屬於固體型態的抗菌劑，因此不需要與漂白水、清潔劑、酒精等混合使用，與其他溶劑或液體混合並不會增加效果，反而降低其功能。
- (9) 光觸媒的功能必須在污染物或細菌與光觸媒表面接觸下方能有效，因此噴塗後只有最表面的顆粒能吸收光源破壞污染物或細菌，以發揮功能，故表面的均勻性最為重要，噴的均勻遠比噴的多來的重要。

7.光觸媒之環境效益與未來展望

光觸媒屬於固態型、長效性的抗菌劑，與液態型、短效性的漂白水可形成互補，提供民眾另一種維護生活環境的選擇。若由於光觸媒的使用，可減少漂白水的使用次數與用量，以減輕環境負荷、降低對污水處理場與環境生態可能造成之衝擊，亦是對環境與生態效益提供

正面的貢獻，因此透過學者專家與業者的研究討論，逐步建立對光觸媒的認知與正確的使用方式，對於利用光能以提升生活環境之品質，應會產生正面之效益。錯誤的認知與誇大之商業語言的使用，容易造成誤導，必須予以避免。

中性光觸媒溶液係由鈦金屬之液相鹽類，經過濕式化學法合成二氧化鈦結晶體(屬於銳鈦礦 Anatase)之水溶液，由於顆粒只有 10 個奈米左右，因此溶液澄清無沉澱，即使以高速離心機亦無法將奈米顆粒分離沉澱。以二氧化鈦粉體加水直接配製之光觸媒溶液，則分散性受到限制，容易造成沉澱，影響光觸媒之效能。中性光觸媒溶液既為新型產品，價格係由市場機制決定，除了材料成本之外，尚應包含研發成本、生產成本、銷售成本等，無法僅以工業原料成本計算。雖然如此，相關廠商為了產品市場的永續經營，仍應回歸合理的市場機制，對光觸媒產品之應用與發展較為有利。

由於奈米光觸媒的應用範圍，除了抗菌與環境淨化用途之外，尚可應用於氫氣能源產製、化學品合成、廢水、廢氣處理等多種用途，研究發展的空間既深且廣，若因短期的熱潮扭曲了長期之發展，殊為可惜，亦是產業界與社會的損失。期望在業者自制、學者專家導正、消費者正確認知的努力下，開啟光觸媒技術深化研究與開發之契機，以建立光觸媒產業永續發展之環境，達到促進傳統產業技術奈米化之總體發展目標。