

# 無所不在的 環境清潔工 奈米光觸媒

奈米光觸媒可應用於空氣淨化、水質淨化、自我潔淨、抗菌防黴等領域，隨著陽光普照，它成為無所不在的環境清潔工。

■ 林有銘



奈米光觸媒的應用，自 2003 年國內受到 SARS（嚴重急性呼吸道症候群）疫情衝擊以來，在短短時間內，從專業名詞蛻變成流行於消費大眾之間的時髦商品，引起社會大眾對奈米光觸媒的廣泛注意，促進市場商機的發展。因而引起很多廠商的關注，尤其是傳統的民產業，更是寄望透過奈米光觸媒產品的應用，提升產品的附加價值，增強產品的競爭力。

## 何謂光觸媒

在了解奈米光觸媒之前，首先需要了解「光觸媒」。「光觸媒」本身是一個複合名詞，結合了光與觸媒二個名詞與概念。觸媒的定義是大家所熟悉的，也就是：可加速或減緩化學反應的物質，且在反應過程中不會產生永久性的化學變化。光則是具有粒子與波動行為的量子化電磁能量，不具電荷或質量，但有動量。觸媒是物質，光是量子化的能量，兩者結合後，可以把光觸媒反應視為：利用觸媒且牽涉到光線吸收的催化反應。

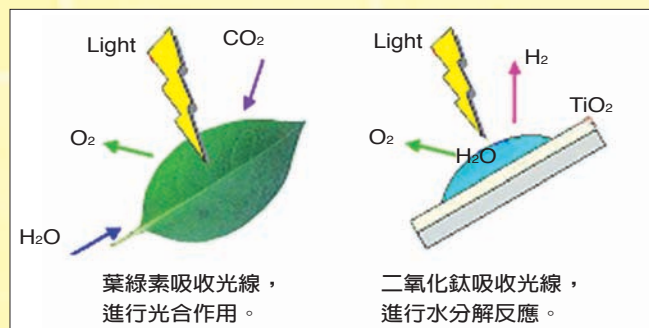
所有因光線吸收而產生的催化反應，都可稱為光觸媒反應，所使用的物質便可稱為光觸媒。光觸媒的種類繁多，如二氧化鈦、葉綠素、金屬錯合物（染料）等物質，凡是可吸收光線而引起催化反應進行的，都屬於光觸媒的範圍。其中尤以葉綠素更是廣為世人所熟悉的天然光觸媒，它可以吸收太陽光的能量，把二氧化碳和水轉化成葡萄糖，這就是著名的光合作用，既可提供生命所需的碳水化合物，更能去除空氣中的二氧化碳，是天然的光觸媒。

## 光觸媒的奈米化

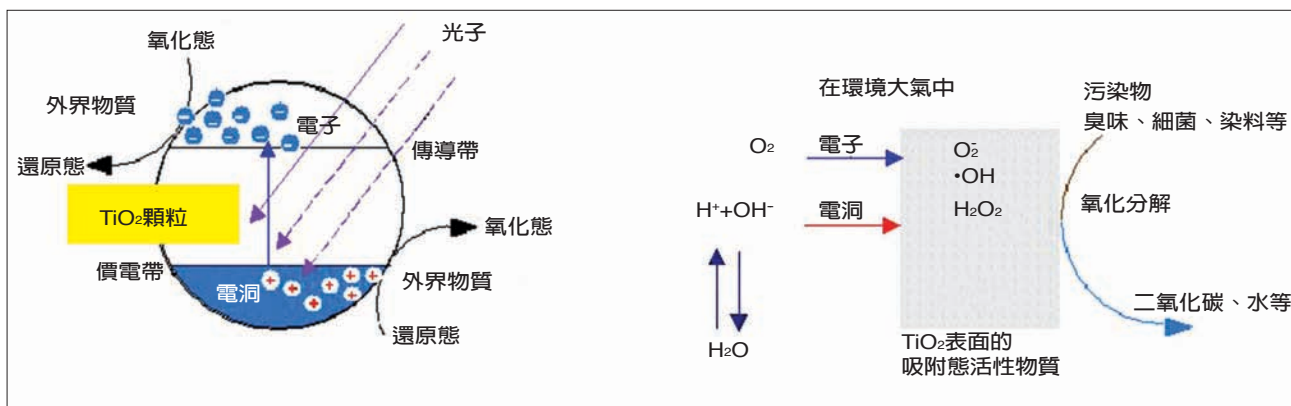
「奈米光觸媒」則屬於組合式的名詞，「光觸媒」是主體名詞，它是一種材料；「奈米」則是尺寸大小的形容詞，是一種長度單位。因此奈米光觸媒的完整含意是：奈米尺寸顆粒大小的光觸媒材料。一奈米是十億分之一公尺（ $10^{-9}$  m），通稱的奈米尺寸則涵蓋 1~100 奈米的範圍，因此當一種物質的粒徑大小落在 1~100 奈米範圍時，就可在該物質前面冠上奈米二字來形容它的尺寸。

光觸媒是一種吸收光線而產生觸媒反應的材料，只有在吸收適當光線後才會發生作用。當光觸媒材料的粒徑落在 1~100 奈米範圍時，就可稱為奈米光觸媒，以形容這光觸媒材

所有因吸收光線而產生的催化反應，都可稱為光觸媒反應，所使用的物質便可稱為光觸媒。光觸媒的種類繁多，如二氧化鈦、金屬錯合物（染料）等，其中尤以葉綠素更是廣為世人所熟悉的天然光觸媒。



人工的二氧化鈦與天然的葉綠素在光觸媒作用上，有異曲同工之妙。



二氧化鈦光觸媒吸收光線的能量後，透過環境大氣中水與氧氣的幫助，可有效發揮空氣淨化的功能。

料的粒徑大小屬於奈米級。然而某些材料即使具有奈米尺寸，並不必然具有光觸媒的功能，照光後也無法發揮光觸媒的作用，二者絕不相等，也不能混用。

### 二氧化鈦的除污原理

天然的葉綠素儘管具有高效率的光觸媒功能，但到目前為止，還無法用人工方式合成。目前合成的光觸媒以半導體材料為主，很多種金屬氧化物半導體材料都光觸媒的功能。其中二氧化鈦（TiO<sub>2</sub>）因為化學性質安定、不會危害人體與自然環境、價格低廉等優點，而成為最為廣泛使用的人工光觸媒。

當二氧化鈦粒子吸收大於其能量間隙的光能後，電子會從共價帶激發至傳導帶成為自由電子，而在共價帶留下一個帶正電的電洞。激發態的電子可以與靠近光觸媒粒子表面的分子進行還原反應，使它成為還原態。另一方面，帶正電的電洞可以與化學分子進行氧化反應，使它成為氧化態。因此在光觸媒粒子表面同時進行著氧化與還原反應，這就是典型的光催化反應過程。

當利用二氧化鈦粒子進行環境淨化時，由於是在大氣中，因此氧分子與水氣分子會主導光觸媒粒子表面上氧化還原反應的進行。當環境中的水氣與氧氣分子分別接觸到二氧化鈦粒子表面的電子與電洞時，就會在二氧化鈦粒子表面上產生氫氧自由基（·OH）與負氧離子（O<sub>2</sub><sup>-</sup>）等吸附

目前合成的光觸媒以半導體材料為主，很多種金屬氧化物半導體材料都具有光觸媒的功能。其中二氧化鈦因化學性質安定、價格低廉等優點，而成為最為廣泛使用的人工光觸媒。

態的活性物質。這些具有高度氧化能力的活性物質，與大氣或水相中的污染物，如有機化合物、臭味、氮氧化物、細菌等接觸時，會把它們氧化分解成二氧化碳與水，達到去除污染物的目的。

### 奈米光觸媒的反應機制

自1960年代以來，由於半導體理論的發展，提供人們了解半導體光觸媒反應機制的理論模式。而近代光觸媒技術與產業化的發展，一般以1972年的本多－藤嶋效應（Honda－Fujishima effect）做為分水嶺。一直到1980年代把光觸媒的氧化還原反應功能應用於空氣淨化與水質淨化，才逐漸使光觸媒技術實用化，並帶動光觸媒產業的發展。到了1995年，更進一步發現光觸媒表面的超親水性現象，而應用於自我潔淨領域上，帶動了光觸媒在建材表面的實用化發展。

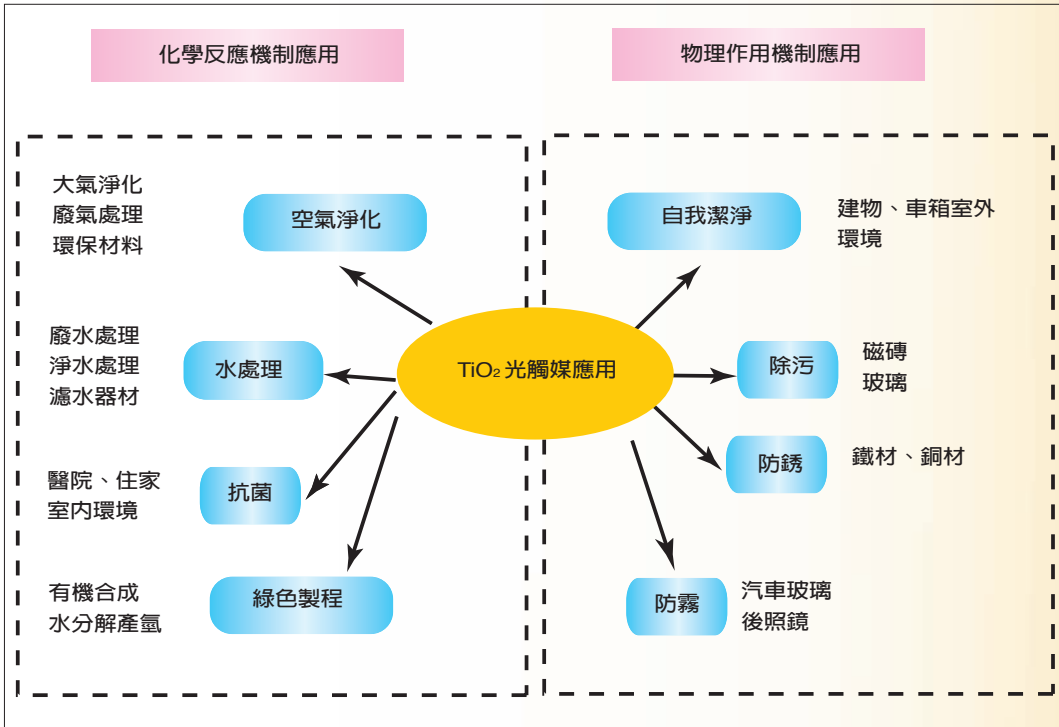
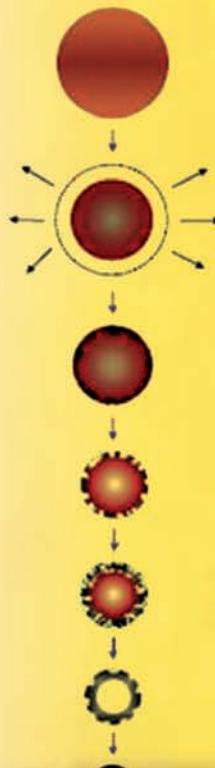
光觸媒的反應機制可概分為化學反應機制與物理作用機制。舉凡空氣污染物或水中污染物的去除、有機化學合成、水分解產生氫氣等應用，都牽涉到氧化或還原的化學反應。具有多孔隙且較厚的光觸媒塗層，能提供較多的有效面積供電子－電洞與附著在表面上的分子進行反應，以提高反應速率。

至於物理作用機制，如自潔、防霧、防銹



# 專題報導 功能性粉末

## 奈米光觸媒



光觸媒的化學反應與物理作用機制在環境淨化上的多功能應用

等，則因為僅牽涉電子的移轉機制，不需要太厚的光觸媒塗層。加上所塗布的對象大多是玻璃或磁磚等光滑表面，不能因為光觸媒塗層而造成透光率的減少，或影響建物原來的顏色與外觀，因此物理作用機制需要的僅是一層均勻，厚度約數十或數百奈米的薄膜。

透過化學反應與物理作用，奈米光觸媒可應用於空氣淨化、水質淨化、自我潔淨、抗菌防黴等主要領域，利用無所不在的陽光與照明光線，替人類營造一個清潔的生活環境，可說是最貼心的環境清潔工。

### 空氣與水質的淨化

空氣污染的問題會直接影響生活環境的品質，大致可區分為室內與室外的空氣污染。室外空氣污染主要來自汽機車與工廠排放的廢氣，以氮氧化合物、硫氧化合物、懸浮微粒、臭氧等為主，會導致酸雨或呼吸道系統疾病等問題。室內空氣污染以揮發性有機化合物如甲醛、甲苯等溶劑性化學品為主，對人體具有毒性，而光觸媒可以把有機污染物分解成水與二氧化碳。

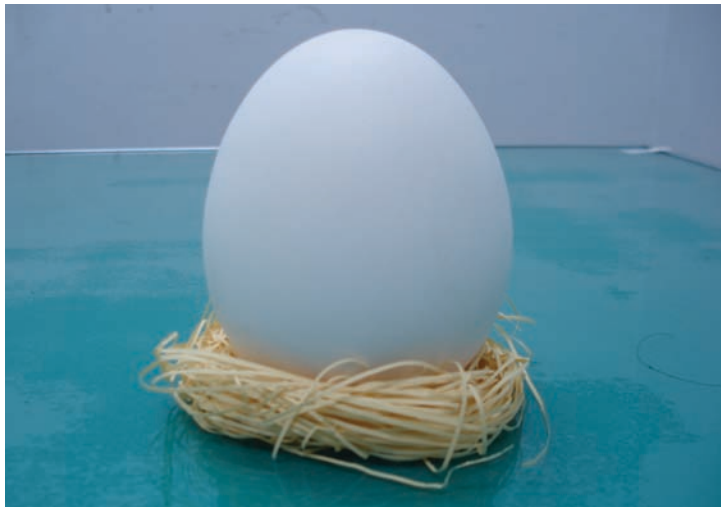
圖片來源：日本AIST松澤員夫博士演講資料



光觸媒塗布於隔音牆上可淨化公路上的空氣，發揮相當於種樹的效果。



光觸媒塗布在魚缸表面及循環水過濾材料中，可進行水質淨化，維持魚缸水質乾淨。



這個多孔性陶製的光觸媒蛋，上面附有磷灰石和二氧化鈦光觸媒。磷灰石不論在有光照或無光照時，都有吸附空氣中有機物的作用，二氧化鈦光觸媒則有把吸附的有機物氧化成為水與二氧化碳的功能。在有光照射、不太大的空間中放一個光觸媒蛋，有淨化空氣的作用。

光觸媒淨化空氣的功能與植物對氮氧化物的吸收類似，根據研究，1 平方公尺的光觸媒材料淨化空氣的能力，約等於 3 棵白楊樹的功能。因此若把光觸媒廣泛塗布在大樓外牆或高速公路隔音牆表面上，就與種樹淨化空氣的作用類似。

水質淨化的原理及應用與空氣淨化相似，水中的有機污染物與光觸媒材料接觸後，就被破壞分解，因此可以分解臭味分子或破壞有機

建材表面塗布光觸媒材料後，透過超親水性的作用，使水分子很容易附著在建材表面，並進入污染物與建材的間隙中，輕易帶走沾黏在表面上的髒東西。光觸媒同時具有化學的分解能力，更能維持表面的潔淨。

色料分子，而達到除臭脫色的功能，可廣泛使用於飲用水水質改善、游泳池用水的循環處理等。此外，光觸媒也可用來去除地下水或土壤中的有機污染物。

### 超親水性的功能

自我潔淨是指建材表面塗布光觸媒材料後，透過超親水性的作用，使水分子很容易附著在建材表面上，並進入污染物與建材的間隙中，輕易帶走沾黏在表面上的髒東西。與一般親水劑不同的是，光觸媒同時具有化學的分解能力，可以把建材表面的油脂或有機色料破壞分解，更能維持表面的潔淨。

在下雨的季節，可透過大雨的沖刷維持自我潔淨的功能，在長期無雨的情況下，則需適時噴水，以維持自我潔淨的功能。透過自潔的作用，可避免清潔劑的使用及減少人工清洗的次數，既可節省清潔成本又可提升環境效益。

光觸媒的超親水性也可延伸至透明玻璃、塑膠或鏡面的防霧。霧氣是由於水氣蒸發後在基材表面冷凝產生小水滴，以致降低了基材的能見度（如玻璃）與反射度（如鏡面）。光觸媒的超親水性，使水氣冷凝附著後，水滴會分布開來而形成連續性的水膜，因此不影響能見度與反射度。在下雨天，汽車防霧玻璃或鏡面上的使用可提高駕駛人的能見度，進而提升安全性。

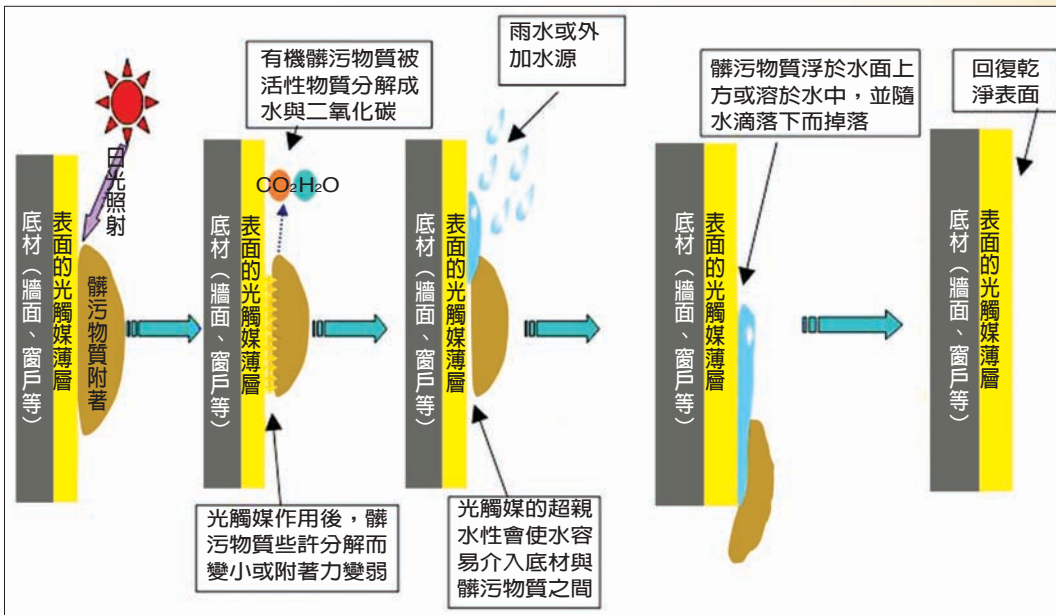
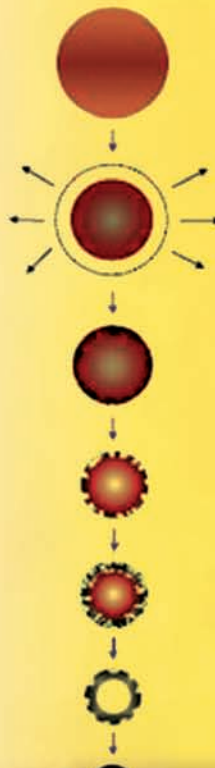
### 防蝕與抗菌

金屬防蝕是指金屬材質經過表面加工後，具備抵抗環境中水氣、氧氣與鹽類侵蝕的能



# 專題報導 功能性粉末

## 奈米光觸媒



自我潔淨基本原理的示意圖

力。金屬腐蝕屬於氧化作用，例如鐵受腐蝕後會生成紅色的銹斑。金屬表面塗布光觸媒材料後，在光線的照射下，被激發的電子會傳遞至金屬表面，使其帶負電，而提高水氣與氧氣侵蝕的難度，達到防蝕的功能。光觸媒應用於金屬防蝕，對目前流行的大樓不銹鋼建材，可提供最好的保護作用，減少防銹維護的成本。

抗菌材料是指物質本身或經加工後，具有抑制細菌生長或進而使細菌死亡的功能。奈米光觸媒表面吸收光線所產生的活性物質具有抑殺細菌的功能，可達成抗菌的效果。在一般居家環境中，細菌的分布以物品表面居多，散布在空氣中的細菌數目較少，把光觸媒薄膜塗布在物品表面上，以及使用光觸媒空氣過濾裝置，再配合適當的光源，可以減少居家環境中的細菌。此外，光觸媒塗層也能防止黴菌的生長，可以

應用於食物保鮮盒或戶外石材表面上，防止黴菌的孳生，以維持材料表面的乾淨衛生。

傳統的抗菌方式常使用化學藥劑（如酒精與漂白水等），或是使用殺菌燈，這些化學藥品及殺菌燈對於人體都有相當程度的危害性，且化學藥品有一定的效期，必須定期噴灑才能維持抗菌功能。光觸媒則可利用室內燈光或日光源，來達成長效性抗菌的目的。至於安全性



光觸媒親水性的比較，從照片中可清楚看出，塗布光觸媒的鏡面（鏡的右半面）具有良好的超親水性而形成水膜，並呈現清晰的影像。未塗布光觸媒的鏡面（鏡的左半面），則因沾黏水滴，導致影像不清晰，二者具有明顯的差異。

方面，當人體皮膚接觸到光觸媒時，並不會有危害發生，因為人體皮膚有角質層的保護，不會受到光觸媒所產生活性物質的傷害。

### 無所不在的清潔工

光觸媒在生活環境清潔上所扮演的角色，已越來越受到學理與實用上的肯定。如何讓光觸媒廣泛而安心地使用於生活環境中的各角落，成為無所不在的清潔工，則是未來技術發展的課題。為了克服光觸媒粉體應用上的困難，把光觸媒做成奈米溶膠的型態，已是目前技術發展的主要趨勢。光觸媒溶膠具有分散均勻、施工簡便的優點，適合使用於需要大面積塗布的基材表面，因此可充分發揮環境清潔工的功能。

雖然奈米光觸媒優點甚多，但是到目前為止尚未在市場上普及運用，主要的因素之一應

是消費者的信心問題。由於在SARS期間，誇大效能的廣告或魚目混珠的各類光觸媒產品到處充斥，造成消費者信心的喪失。因此如何透過產品檢驗機制，或是類似光觸媒標章的管理體系，來篩檢優秀產品，恢復消費者的信心，應是目前亟待克服的問題。

目前的二氧化鈦光觸媒需要波長小於388奈米的紫外光來激發電子，以產生光觸媒作用，而在一般室內照明條件下，大都只有可見光的照明光源，因此會降低其功能。為了進一步發揮室內環境中的光觸媒功能，必須改良二氧化鈦的結構與性能，把它的催化活性延伸至可見光的區域，才能讓二氧化鈦光觸媒更稱職地扮演室內環境清潔工的角色。二氧化鈦可利用在結晶構造中摻入雜質元素的方式，或是在表面上摻入無機性可見光吸收劑的方式，改進可見光催化活性，目前這方面的研究都已獲得突破

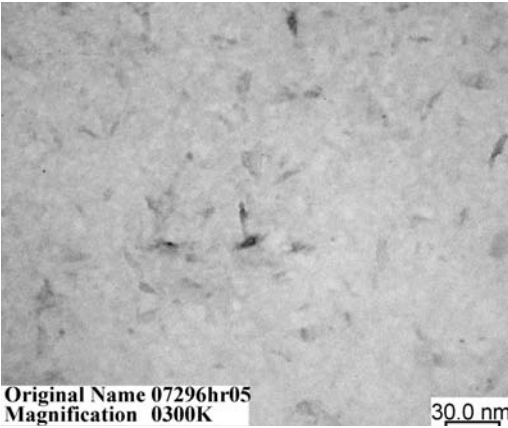
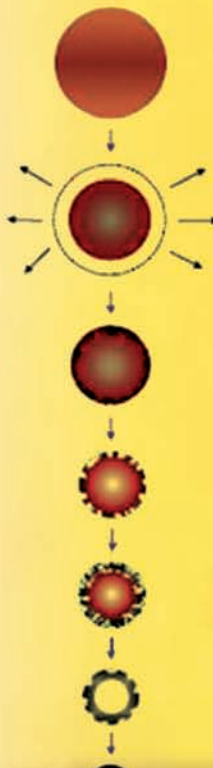
玻璃表面塗布光觸媒，可以維持玻璃帷幕建築外觀的亮麗潔淨。





# 專題報導 功能性粉末

## 奈米光觸媒



奈米光觸媒溶膠的成品及電子顯微鏡照片，顯示奈米顆粒分布均勻，便於在塗布製程中使用



照片來源：日本KAST光觸媒博物館展示場

日本太陽工業公司開發的自潔性帆布材料

性的進展。

光觸媒除了環境淨化的應用之外，在水的分解以產生氫氣、二氧化碳還原以產生甲醇、光觸媒太陽電池等方面的應用，也日益受到重視和廣泛的研究與開發。尤其是光觸媒太陽電池的開發，自1990年代以來，其發展已日益成熟，商業化應用指日可待。與一般矽基太陽電池比較，光觸媒太陽電池具備可撓曲性，可製備於軟性基材（如布料、塑膠等）上，應用範圍會大為增加，因此備受期待。

綜合而言，奈米光觸媒的應用涵蓋環境淨化與潔淨能源二大領域，而潔淨能源技術的發

展，最終也會帶來環境淨化的好處。陽光不僅是地球上所有生命所需能量的總源頭，更是促成環境淨化的綠色動力。奈米光觸媒則是人類駕馭陽光的重要推手，善用奈米光觸媒的功能，就可隨著陽光普照，讓奈米光觸媒扮演無所不在、最稱職的環境清潔工的角色。 □

林有銘

工研院南分院奈米粉體與薄膜科技中心