

# 奈米科技之發展與應用



呂宗昕／臺大化工系

## 奈米的來源

「nano」在希臘文中，是「侏儒」的意思；在英文中，其意為  $10^{-9}$ ，亦即是十億分之一。奈米就是「nanometer」，為一長度單位，大小是十億分之一米。這個看似平凡無奇的長度單位，卻對現代工業產生了重大影響，亦將為人類的生活與文明帶來嶄新風貌。諾貝爾物理獎得主費曼教授於一九五九年所發表的預言式演講中，以「底層之下，還有廣大空間」為題，將人類的思維帶向超迷你及微小的空間，並指出：在架構物質最基礎的原子與分子層次中，還有一個浩瀚無窮的未知世界等待科學家去開拓，他所指的原子及分子層次，即是今日的奈米世界。大眾對奈米尚未耳熟能詳之際，奈米早已成為高科技產品的代名詞。奈米被認為將引爆現代產業的第四波工業革命，對許多領域均將造成巨大影響。因此，積極的將奈米引入無數新興產業，開創了龐大市場商機。

## 奈米的定義

「奈米」兩字儼然是二十一世紀高科技的代名詞，但自然界中早已有許多奈米物質及奈米組織，已經在這個世界上生存了幾千萬年。越了解自然界的奈米物質及奈米現象，會使我們越接近，也更尊重自然界。「師法自然」可為研發人員帶來創新及靈感，並提供另一種思考途徑與模式。

## 光子晶體的發現

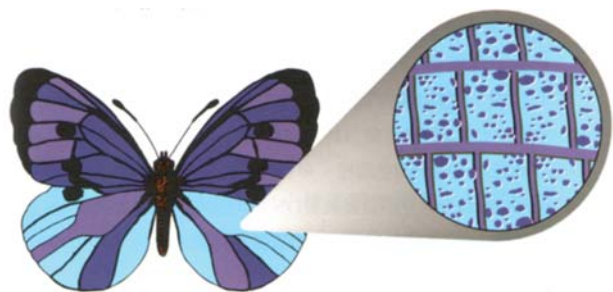
飛蛾眼睛的角膜表面具有奈米級的微小突起，因具有低反光性，看起來異常的漆黑，在夜間飛行時，不容易為敵人所察覺（圖1）。此種特性稱為蛾眼效應(moth eye effect)。目前已有公司依據此種原理，成功開發出不會反光的玻璃，將來可望廣泛運用在眼鏡鏡片、電視及電腦螢幕及汽車上，具有龐大的商機。某些生物的顏色特別繽紛燦爛，人們最早以為這與生物體內所含的色素有關；不過，後來科學家們發現其關鍵在於稱為光子晶體(photonic crystals)的顯微結構。凡一種物質呈特殊的週期性排列，可以反射特定波長的可見光，便屬於「光子晶體」。某些蝴蝶的翅膀能



▲圖 1 角膜表面具有奈米級突起的飛蛾眼睛。圖片來源：『圖解奈米科技與光觸媒』（商周出版社）



顯現五彩斑斕色澤，是因為其翅膀上的鱗片具有此種類似的光子晶體；週期在數百奈米左右的網狀結構（圖 2），可將特定顏色的光反射，隨著觀看角度的不同，顏色也會改變。



▲圖 2 具有光子晶體結構的蝴蝶翅膀。圖片來源：『圖解奈米科技與光觸媒』（商周出版社）

### 奈米在生物上的角色扮演

DNA 是攜帶人類遺傳密碼的重要物質，其直徑只有 2 奈米，所以人類的生命可謂是肇始於奈米。細胞核中有兩種重要的聚合酵素 (polymerase)，分別負責 DNA 的複製以及從 DNA 轉錄出 RNA，此兩種酵素的分子大小僅為 15 奈米左右。人體細胞以細胞膜來分隔細胞內部與外在環境，細胞膜的厚度約在 7~10 奈米之間，膜中有離子通道 (ion channel) 可控制鈣、鉀、鈉、氯等離子的進出，這些離子通道的內徑約僅有 1~2 奈米寬。細胞內的核糖體 (ribosome) 的直徑約 25 奈米，負責以 RNA 為模版，將個別胺基酸組合成長鏈狀蛋白質，進而執行人體的各項功能。這些奈米物質在人體中扮演各種不同的重要角色。

### 奈米材料—奈米粉體

第四次工業革命中，奈米科技將扮演重要角色。許多新的學術理論將被建立，不同的學術藩籬將被打破，各科技領域也將重新整合。原有的化工、材料、電子、光電、生醫、機電等工業，亦將在與奈米科技結合後，產生全然不同的風貌及企業再生的動力。奈米材料具有特殊的電、光、

磁、熱、機械、生物等機能，吸引了大批科學家投入研究。奈米材料是奈米科技的基礎，由不同化學或物理的方式製備出不同形態的奈米材料，其電、光、磁、化學等特性經量測分析，確立其獨特特性後，再加以組裝及應用於不同的奈米元件上。奈米材料乃指構成材料的基本單位，在三維空間中至少有一維在 100 奈米以下，其材料種類包括陶瓷、半導體、高分子、金屬、及複合材料等。依其尺寸特徵，可分為零維、一維、及二維奈米材料，在量子力學上稱為量子點、量子線、及量子井結構；零維的奈米材料即是所謂的奈米粉體，亦是目前最被積極廣泛應用的奈米材料。

### 奈米材料的應用

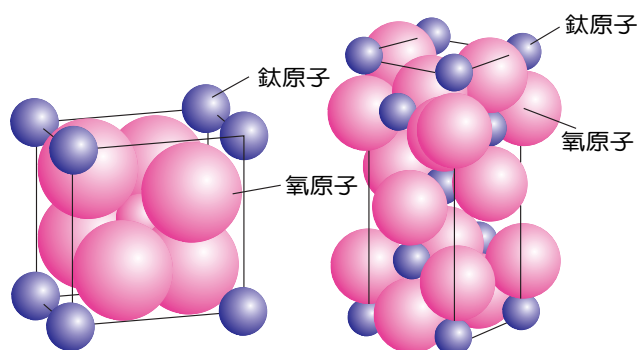
纖維是製衣必備材料，原本變化性不大。但奈米材料帶給纖維產業強大的動力與嶄新風貌。大多數有機系的抗菌除臭劑均有耐熱低、揮發性高及容易分解的缺點，故無機系的抗菌除臭劑乃因應而生。無機系的二氧化鈦光觸媒經紫外光照射，產生電子與電洞後，再與水及氧反應形成具強氧化及還原力的自由基，可殺死病菌並分解臭味。把二氧化鈦加入纖維，可消除惱人的異味並防止病菌孳長。利用奈米化無機系的紫外光吸收材料與纖維混紡，微量添加即有良好的紫外線遮蔽效應，成為良好的夏日防曬之織物材料。

奈米氧化鋅用於橡膠產業上，可提升橡膠的耐磨性，並具有防老化、抗摩擦、延長壽命的優點。奈米黏土用於塑膠產業上，可提升塑膠的機械強度，並降低材料的熱膨脹係數，達到尺寸安定化的效果；同時，少量的黏土添加，即可大幅提升材料的耐熱變形溫度及熱分解溫度，有效改善塑膠的熱安定性，擴大一般塑膠之使用溫度範圍。高長徑比的奈米層狀材料，在塑膠中可有效阻絕可燃氣體的釋放，及降低熱量的釋放，故可成為優良的防燃材料。奈米材料可補強塑膠之剛

性，並改善其吸溼性及提升其阻氧特性，在電子元件的封裝材料上有廣大之應用空間。奈米粉體因對光散射及反射減小，可大幅提高光穿透性，透明的奈米顏料可應用於高畫質的噴墨彩色列印。無機奈米材料在聚合物膜均勻分散時，產生氣阻作用，可有效減緩金屬之氧化或腐蝕速度，成為優良的防蝕塗料。利用奈米顆粒可吸收紅外線或雷達電磁波的特性，可使塗覆此種隱形塗料的物體，不易被偵察到，因此在軍事國防上受到高度的重視。

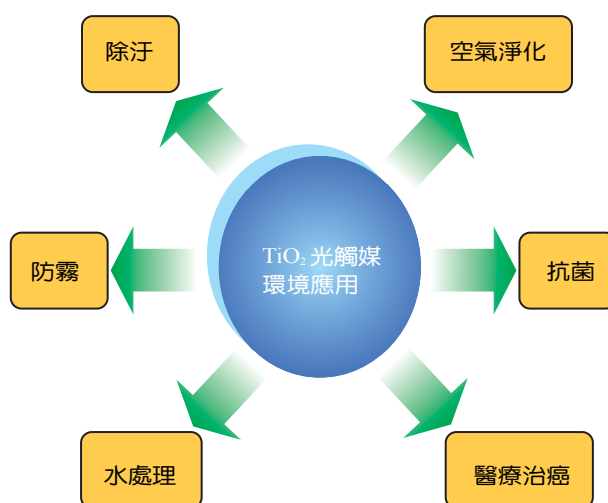
### 光觸媒的應用

二氧化鈦光觸媒為國內第一波新興的奈米材料產業。光觸媒是指經過特定頻率範圍的光激發下，可以催化化學反應進行的物質。光觸媒在光照射下，可將光能轉成化學能，促進有機物降解，這樣的反應過程稱為光觸媒反應。利用光觸媒的作用，可去除空氣的臭味或水中的有機物質，以達到去汙、除臭、淨水等功能。二氧化鈦具有兩種較常見的晶體結構（圖3），分別為金紅石型(Rutile)及銳鈦礦型(Anatase)，而後者具有較優良的光觸媒活性。光觸媒作用原理如下：當施以大於二氧化鈦的能隙之光照後，電子會由價帶躍遷至傳導帶，因而產生電子-電洞對。電子會與氧分子結合成為超氧離子自由基，而電洞會與



▲圖3 二氧化鈦的晶體構造。圖片來源：『圖解奈米科技與光觸媒』（商周出版社）

氫氧根反應成為氫氧自由基，所產生的兩種自由基具有高氧化或還原能力，因此可將有機物降解為二氧化碳及水，而達到淨化的效果。因銳鈦礦相的二氧化鈦之能隙為 3.2 eV，故需紫外光波段的光源才可激發二氧化鈦，產生光觸媒作用。利用光觸媒的特殊光化學反應，可運用於「淨水」、「清淨空氣」、「防汙」、「抗菌」、「防霧」、及「醫療」六大領域（圖4）。因光觸媒具有眾多功能，因此被稱為「夢幻材料」，目前已被廣泛應用於空氣清淨機、冷氣機、抗菌塗料、自清磁磚、自潔玻璃等方面。



▲圖4 二氧化鈦光觸媒的應用領域。圖片來源：『圖解奈米科技與光觸媒』（商周出版社）

### 奈米科技在電子科技上的應用

在奈米旋風席捲全球時，電子產業亦積極利用奈米材料的量子效應、電子穿隧效應、庫侖阻塞效應等特殊效應，製備奈米電子元件，以配合資訊時代中各項電子產品都必須更小、更快、更有效率的要求。電晶體閾極寬度也由 250 奈米、180 奈米、130 奈米，一直縮小到今日的 90 奈米至 65 奈米。除閾級奈米化，元件結構將由平面式轉變成立體式。鰭式場放電晶體是種新型 CMOS



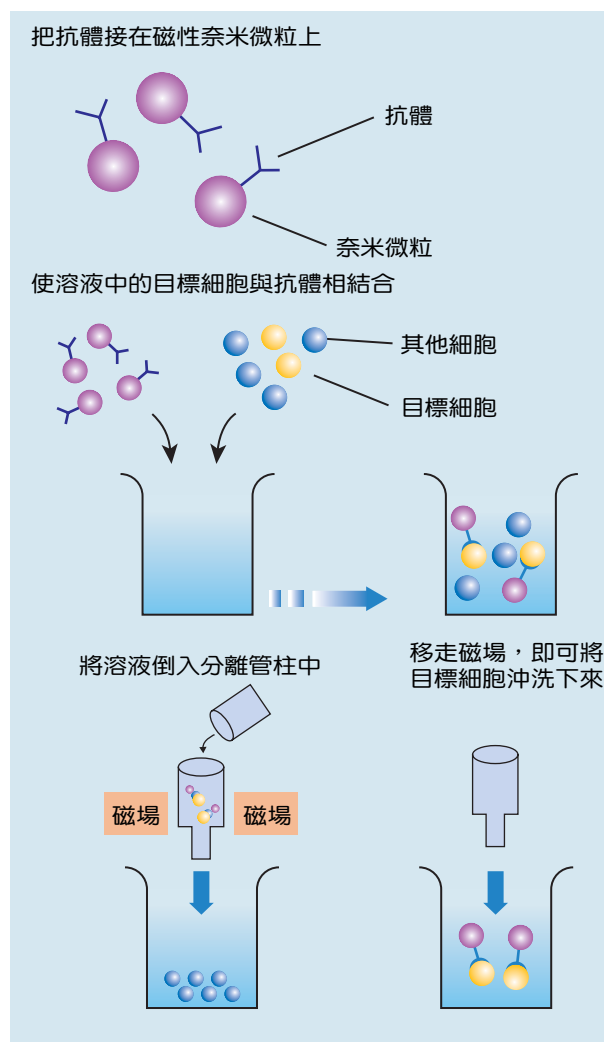
電晶體，具有立體化閘極結構，可有效改善元件之漏電流，縮短電晶體閘長至 25 奈米以下，並大幅提高電晶體密度。傳統電晶體大概一次控制 10 萬顆電子通過，所以需耗費相當電量；若減少通過電子數，即可減少消耗之電量。單電子電晶體 (single electron transistor) 的概念因之而生。此種元件在源極和汲極間，置入一奈米結構的孤立島，利用庫侖阻塞效應，一次僅允許一個電子通過，其消耗功率較傳統電晶體大幅下降外，高度集積化元件的散熱問題亦隨之迎刃而解。奈米科技帶給電子產業更大的魅力及更寬廣的發展空間。

### 奈米科技在生物科技上的應用

生物科技上也積極應用奈米技術。各國產官學界均致力於利用奈米技術來改善生物系統，並以生物系統作為發展新型奈米級產品的雛形。發展自奈米技術的生物感測器，具有快速、準確、靈敏度高之優點，除了可作為醫療檢測的工具外，在防疫、環境檢測、汙染控制、食品安全等方面亦大有用途。例如：利用奈米碳管製成可偵測二氧化氮及氨氣等有毒氣體的「奈米鼻」，在短時間內可同時檢測出多種病原菌的奈米感測器，包括曾在美國引起大規模恐慌的炭疽熱桿菌，以及在多國造成嚴重經濟損失的口蹄疫病毒。在進行生物分析時，經常需要分離出單一細胞、抗體或酵素。如果將目標細胞的抗體附著在有磁性的奈米微粒上，然後填裝於管柱內，因為抗體會與目標細胞相結合，當施加磁場時，磁性奈米微粒會將目標細胞固定住，進行快速的目標細胞分離（圖 5）。「基因工程」就是將好的 DNA 片段插入細胞原有的 DNA 內，使該細胞展現所希望的特性，除應用於人類的基因療法外，也常作為動植物品種改良的手段。以往科學家們多利用病毒將所要的 DNA 片段送入細胞核內，其缺點是病毒本身具有毒性、成功率不高，且有引

起免疫反應的風險，所以不適合重複施行。最新的研究發現，將 DNA 片段壓縮裝進高分子微粒中，可明顯提高基因改造的成功率，又不致造成毒性或免疫反應，有效性與安全性因而大大提升。

經由各種不同領域人員的共同努力，雖然奈米科技尚處於萌芽階段，不過可預見的是，在人類未來的生活中，奈米科技的應用將大量增加。咸信日後各種奈米科技的熱潮將風起雲湧，奈米世代的來臨已指日可待；也確信在奈米的小小世界裡，將有一個無盡的廣大空間等著人類去開拓與發掘。



▲圖 5 磁性奈米粒子之細胞分離法。圖片來源：『圖解奈米科技與光觸媒』（商周出版社）