

第十三章

材料與奈米科技的發展與人物

人類文明的演進，可以由材料的進步看出來。例如人類的歷史常區分成石器時代、陶器時代、青銅器時代、鐵器時代等，而石頭、陶器、青銅、鐵都是材料的名稱，所以使用不同的材料代表人類生活與科技發展到了不同的階段。同時，人類科技的精密度也可說明時代的演進，以下僅就材料科技及奈米科技來說明。

13.1 材料科技

現代材料科學則是研究材料成分、製造方法、物理特性（硬度、延展性、熔點、密度、導電性、導熱性、熱膨脹系數等）、化學特性（對酸鹼之抗腐蝕性、抗氧化性或防銹性、生化反應等）等的學科。

13.1.1 材料科技的重要與影響

現代人類社會使用的材料種類越來越多，性能也越來越好。舉例而言，若無耐高溫的超合金材料，則無今日蓬勃的航空工業；若無矽單晶材料製程的發明，不會有今日的電腦科技（圖 13-1）；又若無精密陶瓷材料之研發，則太空梭等太空航空器無法安然從

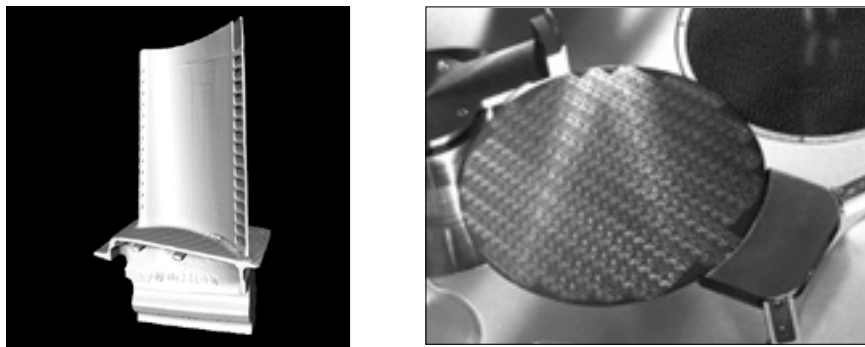


圖 13-1 合金渦輪葉片（左）及矽晶片（右）

外太空返回地球。所以一個優秀的設計若無適當的材料配合，則此設計只是一個無法實現的理想。

13.1.2 材料的分類

我們常將材料區分為結構材料及功能材料兩種，一般常見的材料可分為金屬材料、[陶瓷材料](#)、聚合體（或稱高分子材料或塑膠）、複合材料及半導體材料，其中前四種同時具有結構及功能材料之雙重特性，只有半導體材料僅具有功能材料之特性。這五類材料分別介紹於後。

13.1.2.1 金屬材料

從使用的觀點來看各種材料，我們可以發現金屬材料是最好的材料，金屬材料同時也是用量最多的材料。這是因為金屬材料具有許多優點，例如良好的強度、容易變形加工的能力、耐衝擊、耐溫度變化、價格便宜等特性。金屬材料主要是依靠金屬鍵的強鍵結將原子緊緊的結合在一起。由於金屬鍵強且無方向性，所以金屬具有很高的強度，可任意加工改變其形狀；另外，由於金屬材料內部有自由電子，所以金屬材料不透光，同時為熱與電的良導體。常見的金屬材料簡介如後。

1. 鋼鐵

鋼鐵是發展重工業的首要原料，歐洲冶煉鋼鐵已有較長的歷史，但主要限於小作坊生產，工藝粗糙。日益發展的工業對鋼鐵的需求也日益增大，英國在 18 世紀初時每年都要從國外進口鋼鐵，因為國內產量跟不上。大不列顛並不缺少鐵礦，之所以鐵產量不高主要是因為用來煉鐵的燃料不夠，當時的冶煉技術只知道用木炭煉鐵，而英國的森林資源日見枯竭，用木炭煉鐵成本越來越高。煤雖然已大量開採，但煤中含有硫化物，直接用煤冶煉不出品質良好的鐵來。

1735 年，阿布拉罕·達比在其父親多年試驗的基礎上發明了焦炭煉鐵法。如同將木材燒成木炭一樣，煤也可以先煉成焦炭，再用焦炭煉鐵，這樣煉出的鐵品質優良，也解決了木炭短缺問題，焦炭煉鐵法馬上得以推廣。1750 年，鐘錶匠本傑明·亨茨曼（1704-1776）由於在市場上找不到適合製造發條的材料，決定自己試驗煉鋼，當時煉鋼面臨的主要問題是火爐的溫度不夠高，亨茨曼發明了用耐火泥製的坩堝煉鋼，他將生鐵投入坩堝後將鍋封閉，再用焦炭維持高溫使鐵成為鐵水，由於鐵水與空氣相隔絕，煉出的鋼相當純淨。1760 年，工程師斯密頓發明了鼓風機，用水力驅動，它使焦炭溫度大大升高，從而提高了煉鐵的效率。瓦特發明蒸汽機之後，被廣泛用於鼓風機上，使煉

鐵水平普遍提高。1784 年，工程師亨利·科特（1740-1800）發明攪拌法，他使用攪煉爐在鐵熔化後攪拌成團，冷卻後煅壓即成熟鐵。此法省力而有效，使煉鐵技術邁入一個新的境界。

早期（包括古代）所使用的鋼鐵材料主要為鐵與碳之合金，這是因為鐵礦中都含有雜質—碳、矽、錳、磷及硫，同時冶金技術並不好，不了解合金特性且無法添加其它元素改良其性質。目前所使用之鋼鐵材料是以鐵為主，再添加一些元素，如碳、矽、錳、鎳、鉻、鉬、鈮、鎢或鈦等，可區分為純鐵、普通碳鋼、鑄鐵、合金鋼、工具鋼及不銹鋼等。鐵碳合金可依含碳量之多寡而區分為下列三種：純鐵：含碳量低於 0.02%，韌性及塑性佳，然而硬度差；普通碳鋼：含碳量為 0.02%—2.0%，強度高，韌性和塑性佳，應用範圍最廣；鑄鐵：含碳量為 2.0%—4.5%，質硬且脆，塑性差，通常採用鑄造方式製成品，一般常見於工具機之底座或是鑄成肖像。

一般鋼材之缺點為易生銹，且不耐腐蝕，容易磨損等，所以才會添加其它元素以增強其某一方面之性質，例如耐高溫及高硬度之鎢鋼等。一般民生用品常見之耐腐蝕的 304 或 316 不銹鋼是因為含有鉻、鎳等元素，可在器具表面產生一層薄薄的保護膜以避免氧化生銹；304 不銹鋼俗稱白鐵，用量較多，316 不銹鋼之鉻、鎳含量與 304 不銹鋼差不多，但是 316 不銹鋼多含了 1%—3% 的鉬，因此特別抗氯鹽的局部腐蝕，所以價格也比較貴，應用於對耐腐蝕性要求較高的環境。但是，若不銹鋼中之鉻、鎳元素的添加量不夠，則一樣會生銹。因為台灣是海島，空氣潮濕且含鹽分，普通鋼鐵極易銹蝕，所以對不銹鋼之需要量相當高。圖 13-2 為鋼鐵廠生產鋼片捲之照片。



圖 13-2 鋼鐵廠生產之鋼片捲

2. 輕金屬

常用之輕金屬有鋁合金、鎂合金及鈦合金等，其中鋁合金具有質輕（純鋁比重為 2.7，鋁合金則約為 2.8）及在一般環境中耐蝕之優點而廣受使用，因為鋁合金外表會形成氧化鋁薄層以保護內部材料防止進一步氧化。常用於鋁門窗、飲料罐、民生器具及航空器上之部分結構。鋁銅合金及鋁鋅鎂相當堅韌，具有良好的比強度（即強度除以密度之值），因此可作為飛機材料。鋁亦可用作電線，在一般用矽半導體作成的積體電路（IC）或發光二極體（Light Emitting Diode, LED）上，其電線有些會用鋁矽合金線（圖 13-3）。

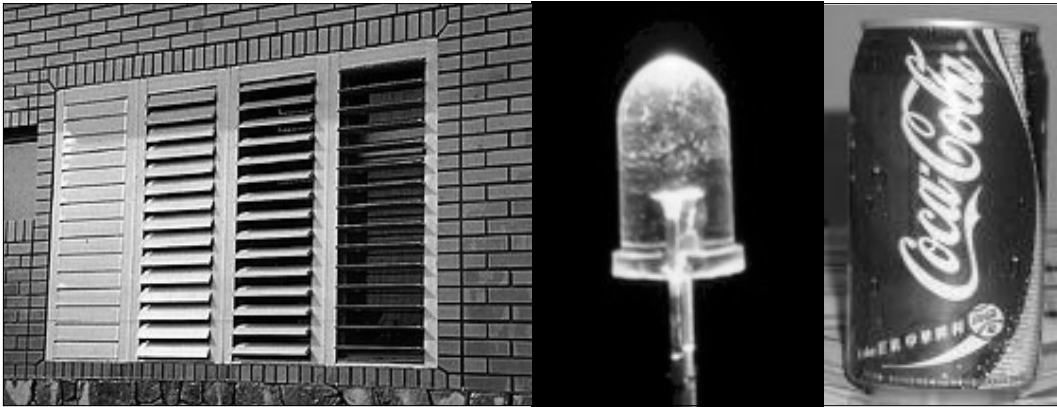


圖 13-3 鋁合金的應用，鋁門窗（左）、飲料罐（中）及發光二極體（右）

另外，鋁也可用在三五族光電半導體上，如砷化鋁鎵（ $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ）等，只要改變鋁與鎵之濃度比，可做出不同波長的雷射二極體（Laser Diode, LD）或發光二極體。鎂合金具有相當低之比重（約為 1.7），但是由於其活性太高及加工性較鋁合金差，所以目前應用範圍較小。但是，現今之行動電話及筆記型電腦在輕薄短小及防電磁波外洩的要求下，其外殼材料已經漸漸從塑膠材料轉向鎂合金。純鈦的比重為 4.51，較鎂合金或鋁合金高。然而相較於鋼鐵而言，鈦合金具有質輕，強度較鋼硬，熔點高（ 1672°C ），且不畏強酸、強鹼腐蝕之優點，缺點則為活性太高不易煉製，且加工性較鋁合金差，同時價格昂貴。一般應用於眼鏡架、高爾夫球具及航空器上（圖 13-4）。在飛機上，部分須要耐高溫的零件就必須以鈦合金來製作。



圖 13-4 鎂鋁合金的應用於電腦外殼 (左) 及高爾夫球桿頭 (右)

3. 有色金屬

常見的有色金屬為銅及金，黃金亦屬於貴金屬之一種，併於貴金屬討論。銅（純銅熔點為 1083°C ）及銅合金之使用已有超過千年的歷史，良好的導電性、導熱性、加工性及耐蝕性是銅合金最吸引人的地方。純銅（又稱紅銅）在導電體的用途比銅合金的用量大，因為純銅的導電性僅次於純銀，而銀很貴，所以電線、電纜幾乎全為純銅的天下；另外，由於銅的優良導熱性，使其在散熱器及熱交換器上亦居有主要之地位（圖 13-5）。在結構工程之要求下，為提高銅合金之機械性質，會添加其他元素到銅合金內，常見的包括黃銅（銅鋅合金）、青銅（銅錫合金）、鋁青銅（銅鋁合金）、鎳青銅（銅鎳合金）以及鈹青銅（鈹銅合金，又稱鈹銅）等。

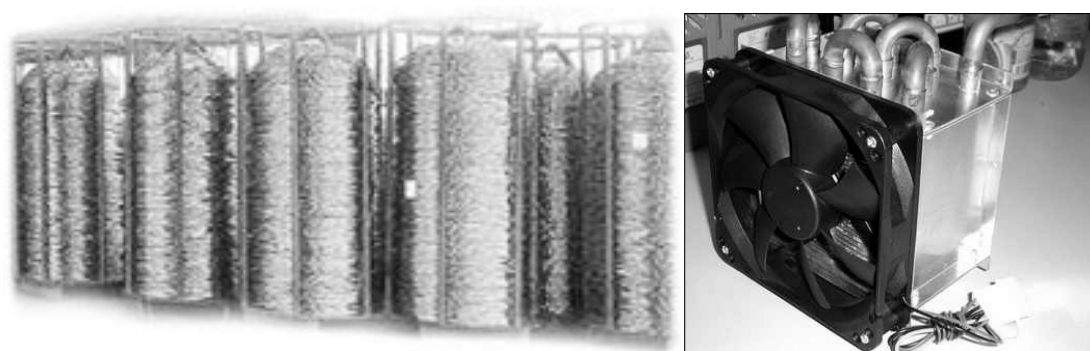


圖 13-5 銅製品，銅纜線 (左) 及小型水冷銅管散熱器 (右)

4. 貴金屬

貴金屬通常指金 (熔點為 1064°C)、銀 (熔點為 962°C)、白金 (熔點為 1769°C) 及其合金，雖然產量不大，但是由於具有獨特之性質，使其具有不少特定應用而深具工程價值。黃金自古以來主要定位在飾品及貨幣。此外，純金的延性及展性均非常的好，31 克的金可展成 300 平方英尺，或拉成毛髮般的細線。純金定位為 24K，為了增加強度、硬度及耐磨性，金與銅元素可依照不同比例製作成 14K 至 18K 的 K 金，作為裝飾、項鍊及戒指等之用。由於黃金的比重高達 19.3，而純銅的比重為 8.93，所以配成 K 金後體積會變大，阿基米德即是利用此現象而判定花圈並非純金製成。由於金的導電率高且不會產生氧化作用，所以目前之光電半導體工業的連接線均以純金線為主，1998 年的使用量即高達數公噸之多 (圖 13-6)。



圖 13-6 純金製品，銀樓展售之純金塊 (左) 及光電半導體工業所用的純金電子連接線 (右)

銀的比重為 10.49，自古以來，亦被當作主要的貨幣及食物容器。銀的特點為質軟、最佳之導電體，但由於價格昂貴而無法做為一般導電材料。銀必須添加其它元素以增加強度及硬度，主要的合金元素為銅，法定純銀之成分為 92.5% 的銀及 7.5% 的銅。銀的反射率高，所以被用於玻璃鍍銀作成鏡子；底片上的感光粒子主要為溴化銀 (AgBr)；此外，銀可作成銀錫汞或銀錫銅汞合金 (俗稱汞齊)，廣泛應用於鑲牙材料。白金的比重為 21.43，其延性及展性均非常的好，可加工成錢幣、珠寶裝飾品 (圖 13-7)，由於具有優秀之耐蝕性及抗氧化性，在實驗室中常被用於高溫熱電偶、電化學的電極、坩堝、電路接點等。又具有獨特的觸媒作用而廣泛應用於石化工業；若利用白金作汽車觸媒轉換器，則可減少廢棄之排放量。



圖 13-7 貴金屬製品，純銀幣（左）及純白金幣（右）

5. 低熔點金屬

常見的低熔點金屬為鉛、錫、鋅及汞（或稱水銀），其中汞在室溫時即已呈現液態。鉛的比重為 11.36，熔點為 327°C ，廣用於子彈頭及釣魚、網魚之重錘等。而鉛合金之應用中，則以鉛錫合金應用於鉛酸電池，鉛錫合金應用於焊接之錫鉛，鉛鋅鎳合金應用於保險絲等之易熔合金，鉛錫合金應用於印刷用鉛版之活字合金。錫的熔點為 232°C ，比重則為 5.8（灰錫）或 7.3（白錫），灰錫與白錫之轉換溫度為 13.2°C ，高於此溫度為白錫。錫廣用於鍍錫鐵板，亦即是馬口鐵，耐蝕性良好，作為一般食品罐頭，其有機酸錫具有抑制腐蝕的作用；錫又可與其他低熔點金屬配成易熔合金或軟焊材料等。在非鐵金屬中，鋅的產量僅次於鋁及銅，鋅的比重為 7.13，熔點為 420°C ，鋅合金廣用於壓鑄模具，用途則以汽車工業使用最多（圖 13-8）。

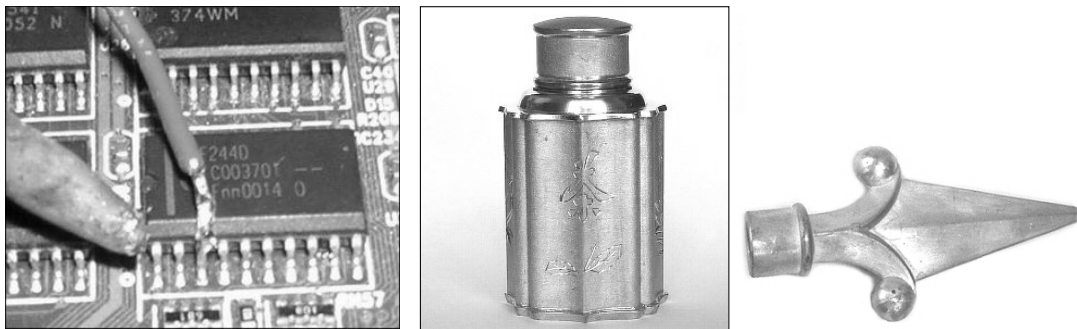


圖 13-8 焊接用之鉛錫合金（左），錫合金容器（中）及鋅合金裝飾品（右）

汞的比重為 13.6，熔點為 -38.8°C ，所以，我們一般看到的都是液態的汞，最常見的就是水銀溫度計及牙科用的汞齊。1911 年，歐尼斯發現當水銀的溫度降到 4.2K （ -269°C ）時，水銀的電阻會忽然間消失掉，這個現象同樣發生於錫、鉛及其他金屬，不過他當時並不了解這種現象就是材料的超導性質。直到 1957 年科學家約翰巴登（J.

Bardeen)、寇柏(L. N. Cooper)及休里夫(J. R. Schrieffer)才成功的以量子電子動力學解釋超導性質。最近這幾年來，高溫超導也成為熱門的研究項目，而這些超導材料可以應用於醫學、核能工程以及磁浮列車等科技。

6. 其他常見金屬

其它常見金屬則有：鎳，與鐵一樣具有磁性，熔點為 1455°C，比重為 8.91，常用於貨幣中之添加元素、不銹鋼的合金元素，或電池及觸媒等材料。鎳基超合金可說是目前最優良的耐熱金屬，應用於最先進超音速戰鬥機之推進器中的渦輪葉片；而鎳鈦形狀記憶合金則廣泛應用於牙齒矯正線。形狀記憶合金的特點為如果將其變化至某個溫度以下，可製成任意形狀，而一旦恢復原來的溫度，由於合金內部微組織的變化，形狀記憶效應會復原而變成原來形狀。最早的記憶合金，是用金(52.5%)與鎳(47.5%)作成，後來又有鈦鎳合金、銅鋅鋁合金等數十種產品出現。記憶合金可用來作自動調節電流之開關，當電流過大時，溫度會升高，此時記憶合金會恢復原狀，使得開關跳開，而當電流變小，溫度降低，記憶合金會再度變形，使得開關重新接通。其他還可用來作可偵測溫度之機器手臂等等。鎢，具有金屬中最高的熔點(3410°C)，可用作燈絲，添加於鐵中可製作成高速鋼、鑽頭鋼等，因其耐磨損且抗腐蝕性佳，且不怕摩擦產生高熱而變質或變形。在鎢的使用及研究上，最有名的就是愛迪生使用鎢絲製作了燈泡，開啟了人類光明的時代。

愛迪生一生卓越的成就並非僥倖，而是他百折不撓、勇於嘗試、敢於創新的成果。由於家境貧困，愛迪生只受過 3 個月的小學教育，12 歲就開始在火車上工作。雖然如此，他仍然努力不懈，刻苦自學。1863 年，他在一家鐵路公司當服務員，他的發明生涯也從此開始。隨著他的發明一個個地誕生，他的名字開始為人熟悉，生活也逐漸富裕起來。1873 年，愛迪生製造出雙工式發報機，翌年又製造了四工式發報機。1876 年，他在門洛帕克建立了美國第一個工業研究實驗室，也就是愛迪生發明工廠。在往後的兩年，他發明了留聲機，轟動了全世界，使他獲得法國爵士的銜頭。愛迪生一生中最大的貢獻，就是發明了電燈。他做了 1600 多次耐熱材料和 600 多種植物纖維的實驗，才製造出第一個燈泡。後來他更在這基礎上不斷改良製造的方法。為了推廣電燈的使用，他研究出並聯電路、保險絲、絕緣物質、銅線網路等電器系統的各種附加設備；又製造了電壓穩定的發電機和經濟配電的三線掣。1882 年，他在紐約建立了一個電力網。雖然他使用直流電的輸電方法限制了傳送電力的距離，但這項偉大的貢獻，已大大改善了人類的生活。1883 年愛迪生發現熱電子發射現象，為電子管的面世奠定了基礎。1887 年，他在西奧倫治建立了更大的實驗室，在那裡他的發明更是多不勝數，其中較重大的有 1888 年的電影攝錄機，1896 年的電影放映機和鎳鐵電池。他接二連三的發明，使他

在 1928 年獲得了國會金質特別獎。1931 年，愛迪生在西奧倫治與世長辭，享年 84 歲。

13.1.2.2 陶瓷材料

金屬或非金屬的氧化物、氮化物或碳化物即為陶瓷材料，一般具有硬、脆、耐高溫、絕緣、安定及耐壓縮的特性。陶瓷材料是一種最早使用的材料，如發現已經具有 5000 年以上的陶器是氧化物陶瓷（圖 13-9）；同時也是最進步的材料，例如太空梭外表之隔熱磚。只是前者成分粗略且製造簡單，而後者成分精確且製作細緻。基本上可將陶瓷材料區分為結晶陶瓷及非晶質陶瓷（即是玻璃）兩種。除了傳統之碗、盤、花瓶等陶瓷外，新式之陶瓷材料可用作假牙，或用在光學、電子元件上。例如聲光調製器，可用在雷射唱盤之光學讀寫頭上，用來控制雷射光輸出之方向。玻璃亦為一種陶瓷材料，其主要成分為二氧化矽加上其他物質；而石英則是純二氧化矽，特點在於耐熱衝擊，溫度的劇烈變化會使得玻璃破裂，石英卻不會；水晶玻璃則是含鉛量較高的玻璃，具有較高的折射率（圖 13-10）。玻璃是一種原子排列狀態類似液體的固體（可視為一種過冷液體），內部原子排列並無一定的規則，而是混亂排列。而玻璃除了可作杯子、窗戶之外，玻璃纖維可用來製造光纖，供通訊之用。光纖之中心為核心（core）區域，其折射率較大（光的速度較慢），而外層為披覆層（cladding），其折射率較小（光的速度較快），因為光在光纖核心區域內會產生全反射，所以光纖可用來導引光線前進（圖 13-11）。

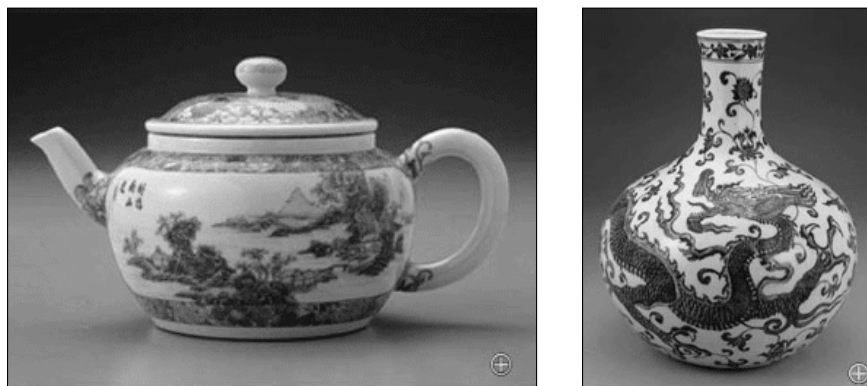


圖 13-9 傳統陶瓷製品（引用自故宮博物院網站）

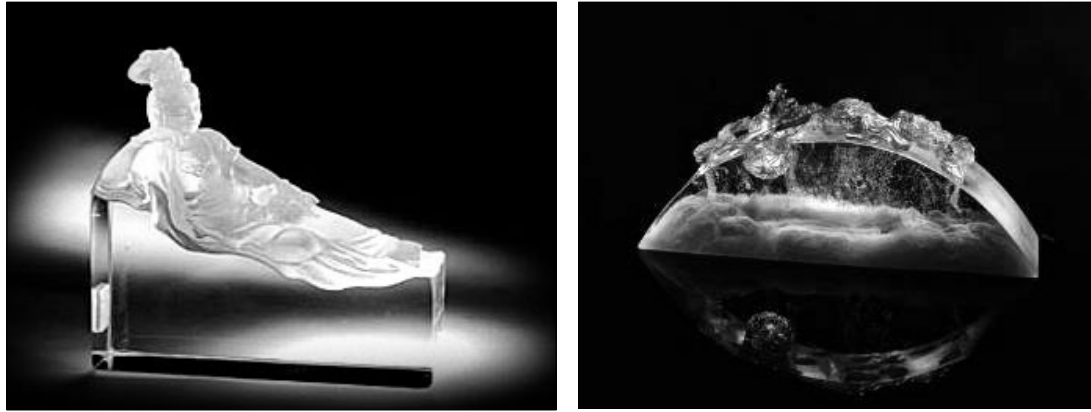


圖 13-10 琉璃作品 (引用自琉璃工坊網站)

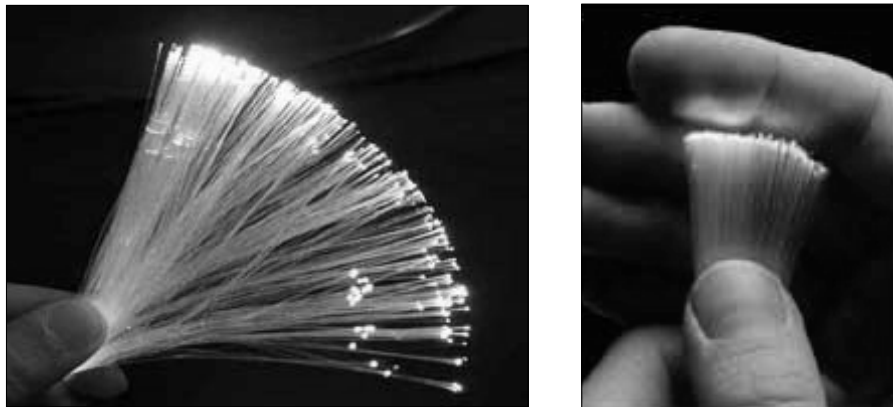


圖 13-11 玻璃纖維所製作之光纖，可用來導引光線前進

朱經武博士於 1987 年 2 月找到鉕銀銅氧的化合物，在較高的低溫（絕對溫度 98K，即-175°C）狀態中仍然具有超導現象，即目前所謂的高溫超導，而這種鉕銀銅氧化合物也是屬於陶瓷材料。朱經武博士 1941 年 12 月 2 日出生於中國湖南省長沙市，1948 年遷到台中縣清水鎮，小學、初中及高中都在清水度過，1962 年畢業於台南市國立成功大學，1968 年畢業於加州大學聖地牙哥分校並取得博士學位。

朱經武的突破始自於 1986 年。1986 年春天，IBM 在瑞士實驗室的研究員繆勒（Alex Müller）和拜諾茲（Georg Bednorz），利用新材料發現在絕對溫度 35K 之超導現象，但是這項進展並未受到重視。朱經武博士找到他們的研究報告，並以該報告為基礎，在 1986 年底得到在絕對溫度 40K 之超導材料；並於 1987 年 2 月初，以休斯頓大學朱經武教授及阿拉巴馬大學吳茂昆教授為首的兩個研究小組終於打破瓶頸。他們利用

便宜的液態氮當作冷卻劑，將超導溫度一舉提昇至絕對溫度 98K。這項成就立即廣為世界性傳播媒體報告，並掀起一陣朱經武熱。他接受報章雜誌及電視台的訪問，到各國去演講，甚至到美國國會山莊為國會議員們解說超導原理，期間亦曾回台做短暫的停留。朱經武博士表示，科學家們早就知道有超導材料，而且深信一定會有新的發現，對其特性及未來功能也都瞭解，在沉寂多年之後能有所突破，因此在全世界掀起研究新熱潮。

超導材料具有零電阻及磁浮等兩項特點。零電阻可減少電流傳遞之損失；而磁浮現象是因為超導材料在其臨界溫度以下，磁力線無法穿透，只能從其旁邊經過，因而將超導體托起而使其懸浮（圖 13-12）。此種磁浮現象與磁鐵南北極之同性相斥，異性相吸的原理不同，超導體的磁浮現象是與磁鐵的南北極無關的。若將超導材料製作成傳輸電力的電線，則可省下很多在傳遞過程中因為電阻而損失的電力。若將超導材料與磁鐵搭配應用於高速鐵路，則可使得列車浮在軌道上，不必使用車輪而無摩擦損失，列車將因此更平穩及更快速。

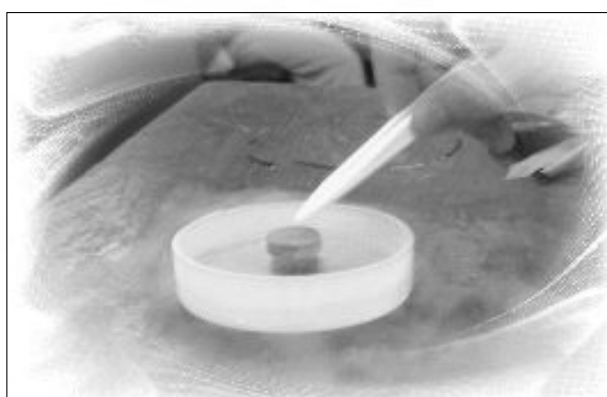









圖 13-12 超導材料之磁浮現象

13.1.2.3 聚合體或高分子材料

聚合體就是很多單體分子聚合在一起的意思，也稱之為高分子材料，俗稱塑膠，是屬於有機材料，主要來源是石油化學工業的產物加以合成，可分為一般塑膠及工程塑膠兩大類型。聚合體通常是以大分子構成，分子內部是以共價鍵結合，大分子之間則是以凡得瓦例之類的次鍵結來結合，其分子量可以任意大。就是因為這種分子間的弱鍵結，使得聚合體容易變形。聚合體的特點在於質輕且容易變形加工，製出各種形狀。聚合體包括塑膠、人工橡膠及人造纖維等，是將有機單分子聚合而成。有機高分子材料不易破碎、質輕、不導電、耐酸鹼腐蝕及不耐溫，故可作為容器、衣物、電線外面之絕緣層及

家用器具之外殼等。根據對溫度的反應可分為熱固型及熱塑型兩種，熱固型聚合體就是聚合體在加熱後會硬化，熱塑型聚合體則相反，加熱後會軟化。一般而言，聚合體的製成多半採用射出成型方式製造，而其外觀顏色則可藉由添加顏料或塗料而得之。由於這些聚合物不易分解，在過去曾經被視為優點，而今則被視為環保問題。高分子材料依照其成分及性質之不同分為七大類，如表 13-1 所列。

表 13-1 高分子材料 (塑膠) 之分類、代表符號及其辨識法

符號	用途	辨識法
	寶特瓶：清潔劑、洗髮精。	寶特瓶通常是無色透明的，有的加色成淺綠、淺藍或茶色。圓的 PET 瓶底下方有一圓點，瓶身其他地方無接縫，是最簡單的辨識方法。
	高密度聚乙烯：如塑膠提袋、鮮奶瓶、100%果汁瓶。	多半不透明，手感似蠟，塑膠袋揉搓或摩擦時有沙沙聲。
	聚氯乙烯：如雨衣、保鮮膜。	圓的 PVC 瓶底部為一條線，是與寶特瓶的差別所在。PVC 用力折會有白痕出現，在太陽底下長時間曝曬後會變成鐵色；用火燒在邊緣會有青色火焰，延燒性差，所以火源一滅則燃燒停止是其特色。
	低密度聚乙烯：如部分牙膏或洗面乳的軟管包裝。	LDPE 做成的塑膠袋較柔軟，揉搓時較不會發出沙沙聲，外包装塑膠膜軟而易撕的是 LDPE，較脆而硬的是 PVC 或是 PP 膜。
	聚丙烯：如塑膠餐盤、杯子。	PP 和 PE 很難分出，一般來說 PP 的硬度較高，且表面較有光澤，PE 則像蠟製器，燃燒時 PE 的蠟味較重。
	保利龍：分為發泡及未發泡兩類。發泡即是一般常見的保麗龍器具，未發泡的如養樂多瓶。	未發泡的製品，輕折就有白痕出現，並有擴散現象，通常以手即可撕裂。
	其他類：如部分化妝品的罐子。	

13.1.2.4 複合材料

複合材料是由前面所提到的金屬、陶瓷、聚合體三種基本材料中，兩種或兩種以上性質不同的材料合在一起而產生的一種新材料，為目前材料科學研究之主流。基本上，複合材料內部可以分為兩個基本相—強化材及基材。強化材可以是三種基本材料中的一種，主要目的在提供強度，其形狀可為纖維狀、顆粒狀或片狀；而基材之主要目的是在將強化材結合在一起，也可能是上述三種基本材料中的一種，基材除了黏結效果外，另

外有提供韌性及保護強化材之功用。若根據強化材的形狀來分類，可分為粒子複合材料、纖維複合材料及板狀複合材料；若根據基材來分類，則可分為塑膠基複合材料、金屬基複合材料及陶瓷基複合材料三大類。

複合材料的觀念並不新穎，大自然中的例子俯拾即是，例如葉子就是一種纖維強化的懸臂，木材即是纖維素的纖維靠木質素基材來結合的複合材料。人造的複合材料也很早即開始使用，例如輪胎為橡膠中添加碳黑，或者是建材中的鋼筋混凝土。由於人類對材料的要求日益提昇，目前所研發之複合材料稱之為尖端複合材料，要求的特性為更高的剛性（抵抗變形的能力）、高強度、低膨脹性且低密度。所以，這類複合材料大量應用於需要質輕且高強度之航空及太空工業之結構材料。一般應用之玻璃纖維複合材料為玻璃纖維所製之布加上熱熔樹脂，然後壓製而成，可用作人造衛星、火箭之外殼，以及雷達罩（因其不反射電波）等。碳纖維複合材料則為苯烯脂纖維加上其他材料製成。碳纖維複合材料質輕，強度大，且耐高溫。在民生工業上常用作高級自行車架、網球拍、高爾夫球具之桿身等（圖 13-13）。



圖 13-13 複合材料製作之自行車架（左）及網球拍（右）

13.1.2.5 半導體材料

上述之四種類型的材料都可作為結構用途，唯獨半導體材料只有功能性用途。許多尖端科技產品，例如電腦、太陽電池及顯示器等光電產品，都必須使用半導體材料（圖 13-14）。這 20 年來，地球文明的進展應歸功於電腦科技的進步，而其最大功臣則是半導體產業的突飛猛進。所謂半導體材料就是它的導電性質介於金屬與陶瓷之間，而且其導電性受雜質、溫度、電壓等許多因素的影響，所以人們利用此特性來產生與偵測各種訊號，並進而研發各種儀器。半導體材料一般分為：1. 四價半導體材料，如矽（Si）、鍺（Ge）等；2. 三五族半導體材料，如砷化鎵（GaAs）、磷化銦（InP）等；3. 二六族

半導體材料等。吾人可在半導體材料中添加適當雜質，使之變成 P 型（電洞數較多）或 N 型（電子數較多）之半導體，再將 P 型與 N 型半導體適當排列組合，即可製成各式各樣的元件。矽材料常用來製造電腦及家電產品的積體電路（圖 13-15），也可做成感測器。而三五族半導體及二六族半導體材料因為會發光，所以常用來製造雷射二極體、發光二極體、光感測器等光電元件；另外，電子與電洞在三五族半導體中運動速度較快，因此三五族半導體也常用作高速電子元件，但是其積體化效果較差。



圖 13-14 半導體材料製程所製作出之微晶片

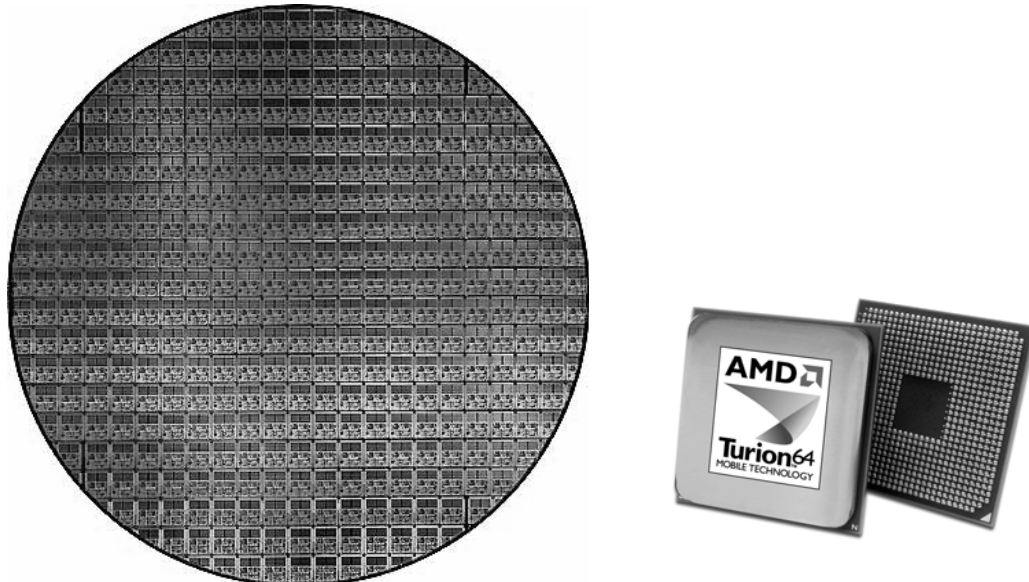


圖 13-15 美商超微公司（AMD）所生產之 8 吋晶圓（左）及處理器（右）

除了雷射光源以外，其他常見的光電元件，還包括太陽能電池、光調變器與光解調器、發光二極體、光感測器、CCD影像儲存器、[液晶顯示器](#)、[電漿顯示器](#)等。介紹如下：太陽能電池是將光能轉換成電能的元件（圖 13-16），一般說來，轉換效率並不高，所以只用在中、小型的電子系統上。光調變器與光解調器通常用在光纖通訊系統。光調變器可將要傳輸的訊號加在雷射光上，再由光纖傳送出去，傳至接收端時，再由光解調器將所要的訊號解析出來。發光二極體所發出之光特性與一般光源相同，但較省電，可代替小型燈泡，當作位置標示之用，或是顯示電器是否有接電、損壞等。也可用在遙控開關上，與光調變器併用，以發射不同的光訊號。光感測器則是用來偵測光強度的儀器，常與光解調器合併在一起，以偵測訊號，例如電視遙控開關發出如開、關、音量放大、改變頻道等不同的光訊號，必須經過電視內的光感測器接收暨偵測後，電視才能動作。CCD影像儲存器常用在電子顯微鏡、高畫質數位相機、數位攝影機等產品上，可代替傳統的底片，儲存及傳送影像。CCD影像儲存器所儲存的影像資料，解析度高，而且可直接連上電腦處理。液晶顯示器除了可用在手錶、計算器之外，也可用作彩色電視及電腦螢幕。電漿顯示器亦可作為彩色電視及電腦螢幕，二者都有厚度薄、省電、解析度高等優點。

除了上面提到的光纖通訊系統，以及 CD、LD、VCD 或 DVD 等光碟機之外，一般商店的自動門、廁所之自動噴水裝置等，也是包含光源與光感測器的簡單光電系統。這

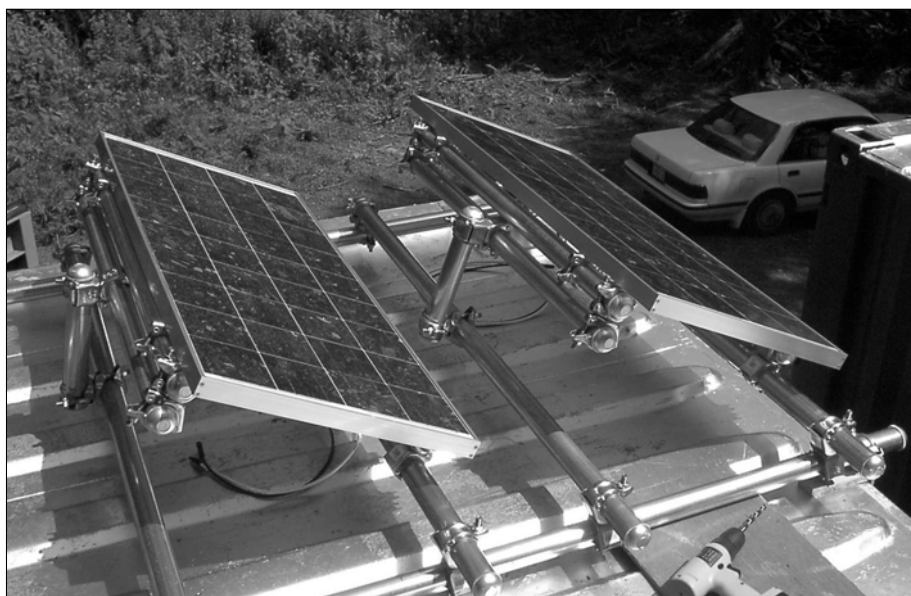


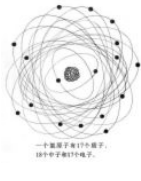

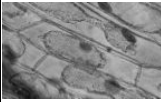



圖 13-16 太陽能電池

些簡單的光電系統，其光源發射的光碰到人或其他物體，會反射到光感測器，經光感測器偵測後，便可發出電流或電壓信號，作出對應之動作。而商店所用的讀調碼機、聯考用的讀卡機與個人電腦所用之掃瞄器，也是包含光源與光感測器的光電系統，只是此時光感測器所偵測到的訊號，需要經過電腦判別以分辨之。

13.2 奈米科技

奈米科技是當今相當熱門的話題，而奈米技術的產品應用於日常生活的食、衣、住行、育、樂、醫療等，更是無所不在，其對人類生活之重大影響由此可想而知。奈米是長度的一個單位，約莫為四個氮原子串聯起來的長度。倘若我們將一公尺比喻為地球之直徑，則一奈米的長度約莫為一個玻璃彈珠之直徑大小，即一奈米 (1 nm) 比一公尺 (1 m) 等於玻璃珠比地球。科學單位之比較如表 13-2 所示。究竟奈米科技是什麼呢？奈米科技實乃奈米尺寸下之科學與技術，一般多數科學家對奈米科技的定義是，在 1—100 奈米尺寸等級的微小世界裡。

表 13-2 科學單位之比較

尺寸	Å (10 ⁻¹⁰ m)	nm (10 ⁻⁹ m)	m (10 ⁻⁶ m)	mm (10 ⁻³ m)	cm (10 ⁻² m)	m (10 ⁰ m)
通俗用語	埃俗	奈米、毫微米	微米	毫米、公釐	釐米、公分	米、公尺
例子	原子 	DNA 寬 	細胞 	針頭寬 	手指寬 	人高 

奈米科技是在此微小的世界裡，研究、量測、操控或製造原子、分子或聚合物之基本性質或結構，並進一步將此特性加以應用之科學與技術之總稱。奈米科技是跨領域的密集結合，所涉及之領域相當廣泛，舉凡物理、化學、生物、材料及工程等方面皆與奈米科技有很深的關聯性。所以，其應用層面也極為多元而廣泛，對人類日常生活之影響極具震撼力。

13.2.1 奈米科技的緣起與發展

回顧人類科學史之發展，科技尺寸隨著科學的發達而越來越細微。公元前 2000 年代之農業時期，人類以農耕及捕魚獵獸為生活型態，其科技尺寸為農具等級的釐米階段。在沈寂很長一段時間後，1750 年代肇始於歐洲的第一次工業革命，成功地將科技尺寸推向機械等級的毫米尺寸，此時蒸汽機的發明，帶動交通運輸、冶金、採煤等各項機械相關產業的蓬勃發展。

隨後 200 多年間，科技尺寸依舊停留在毫米尺寸，並沒有明顯向更微小的階段邁進，儘管如此，人類在此期間還是開創了不少成果，諸如內燃機、電機、石化及太空科技等成就，此階段稱為第二次工業革命。1960 年代起，人類陸續發明了電子計算機、電晶體、積體電路及個人電腦，這些資訊技術的迅速發展，得以邁入第三次工業革命，並順利將科技尺寸推進到 CMOS 等級的微米層次。成千上萬的電晶體相嵌在微小的晶片上，使其功能越來越強大，而體積卻是越來越微小，進而造就了電腦資訊的大革命，提升人類科技文明，同時也大幅改寫了人類生活和工作型態。近幾年來，分子層次的奈米科學一直是眾所矚目的科技新寵，隨著世界各國競相投入大筆經費在此領域之研發及訓練，奈米科學儼然成為新世代發展之趨勢，也被公認為 21 世紀最重要的科技產業，人類的第四次工業革命從此開展。圖 13-17 為現代穿透式電子顯微鏡所拍攝之矽晶片的原子顆粒影像。

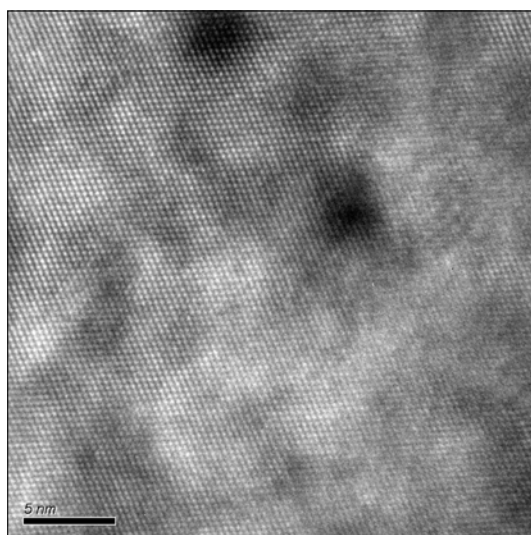


圖 13-17 穿透式電子顯微鏡觀察所拍攝之矽晶片原子顆粒的影像

奈米科技的發展可追溯自諾貝爾物理獎得主費因曼 (Richard P. Feynman) 於 1959 年提出的概念：「如果有一天，人們可以按照自己的意志來排列一個個的原子，那將會產生怎樣的奇蹟呢？」直到 1982 年瑞士 IBM 公司蘇黎士研究實驗室 (Zurich Research Laboratory) 的賓尼格 (Gerd K. Binnig) 及羅樂爾 (Heinrich Rohrer) 兩位研究員發明掃描穿隧式顯微鏡 (scanning tunneling microscope, STM)，及隨後 1986 年賓尼格和同事進一步發明原子力顯微鏡 (atomic force microscope, AFM) 後，物質之奈米結構特性才得以清楚觀察，而奈米的謎樣世界也從此正式揭開序幕。

IBM 實驗室的伊格 (Don M. Eigler) 研究員在 1990 年利用 STM 在超高真空和極低溫的條件下，在鎳基板上操縱 35 個氙 (Xenon) 原子而成功排列成 “I-B-M” 三個英文字母 (圖 13-18)，這是人類史上首次以自己的意志操控原子的排列。同年 7 月，第一屆國際奈米科學技術會議在美國巴爾的摩市 (Baltimore) 舉行，此為奈米科技正式獨立成為一門學科的里程碑，更標誌著奈米科技正式誕生。

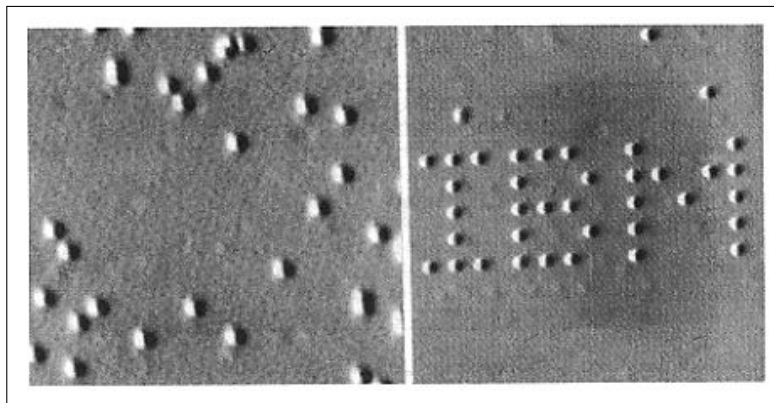


圖 13-18 科學家利用探針排列氙原子成 IBM 字型

13.2.2 奈米科技的應用

奈米科技之所以能在今日大放光彩，乃因物質於微小的尺寸下，其特殊之奈米結構會改變物質之基本物理化學性質，而異於一般大尺寸世界下之行為。例如力學性質、光學性質、電性質、磁性質、熱性質、表面性質等方面，皆會在奈米尺寸下展現出不同於大尺寸世界之特性。舉例來說，一般巨觀的金塊是物化性極為穩定之物質；然而，當其尺寸縮小至奈米尺寸時，金粒子之表面原子比例大增，造成金粒子表面能量升高，而物理化學活性亦隨之大增，此特性可作為化學反應之活性劑或觸媒。奈米尺寸下之金粒子，顏色會從金色變為鮮紅色，可用於驗孕試劑或其他醫學疾病之篩檢。

倘若我們能將這些奈米尺寸下獨特的奈米性質如具吸收、催化、吸附及輻射等特性加以強化、隔離，並善加應用，相信奈米科技將會帶給人類更舒適美好的生活。接下來，分別以食、衣、住、行、育、樂及醫療美容等七大方向，分別探討奈米科技為人類帶來之福祉。

13.2.2.1 食的應用

奈米化陶瓷複合材料所發射的遠紅外線波長可具食物保鮮之功能，將其做成裝盛食物的盤子或做成編織物覆蓋於食物上，皆可達保鮮之功效，而市場上所謂的奈米冰箱，便是添加此類奈米陶瓷複合材料於冰箱內，用以增加保鮮效能，並能降低冰箱所製造之熱效應，減少電力浪費。奈米鈦塗料之奈米結構具有自潔性，將其塗佈於裝盛飲水或食物之容器表面，可減少結垢之發生。在農業生產方面，將物質奈米化工程應用於農藥時，可提昇防治病蟲害效果，增加農產品之產能，若用於肥料，則有促進農作物吸收養分之效果。在食品應用上，奈米化食物由於表面積大增，可提昇養分吸收效率，強化營養物質之效用。添加具氣味加強劑之奈米顆粒於低卡路里食物，不但可使食物美味，又可不必擔心吃過多造成的肥胖問題，這對每年毛利高達 300 多億美元之人類肥胖減重產業將具極大吸引力。

13.2.2.2 衣的應用

奈米化纖維可使紡織品光澤優雅，質感細緻，且可提昇紡織品之機能性而更輕薄、柔軟、保暖，而其奈米結構具自潔之功能，一旦被油污沾染時，用一般清水即可洗滌乾淨，因此搏得「奈米免洗衣服」之稱。衣服纖維中添加奈米級二氧化鈦或氧化鋅等無機粉體材料時，可吸收陽光中之紫外線，使紫外線對衣服之穿透率降至小於 1%，大大減少紫外線對人體之傷害，此技術較傳統塗層抗紫外線方法更具持久效果，而抗菌除臭為其另一附加之特殊優異功能。在鞋墊應用方面，奈米物質遠紅外線纖維具有吸濕排汗之功能，可防止穿於腳上的襪子發生變濕發臭等擾人問題。

近年來，為了追求更安全衛生的環境，生活中的許多用品在設計時都把自潔、抗菌等功能列入考量。抗菌劑的使用必須考慮安全性與環境保護，許多抗菌劑已經使用了很長的時間，也發揮了抗菌的功效，但由於它們會持續釋放出毒性物質，污染環境，這類的抗菌劑已逐漸被禁止使用，取而代之的是金屬銀的奈米粒子。銀離子對於細菌的毒性及生物體的刺激性已是大家習知的事實，一般認為銀離子會使DNA失去複製蛋白質的能力，而且銀離子也會與蛋白質上的某些官能基形成鍵結，因而使蛋白質受損。Sondi等人於 2004 年曾使用自行合成的奈米銀粒子做為抗菌劑，測試它對大腸桿菌的抗菌效

果，研究結果顯示與奈米銀接觸的大腸桿菌，細胞壁上產生了許多小孔洞，奈米銀粒子則累積在細胞壁上，細胞壁形成孔洞之後會使得細胞壁的透過度顯著增加，最後造成細胞的死亡。

13.2.2.3 住的應用

奈米化建材或塗料可具有防水、防火、自潔、質輕、環保、耐震及高強度等特性。應用奈米光觸媒的涼風扇、冷氣機及空氣清淨機等電器，由於奈米化顆粒的高化學活性，可增強光分解反應之效益，因此其淨化空氣、除臭、殺菌或抑菌等清潔功能極為優異。將馬桶、洗臉盆、浴盆等衛浴設備之表面鍍有奈米級的塗料顆粒時，可填平傳統釉料的粗糙坑洞，使衛浴設備表面細緻光滑，除了可防髒污外，更能抑制雜菌繁殖。例如電光牌衛浴採用奈米抗污防菌技術，就是運用奈米材料經過適當的成分調配及燒烤處理步驟，讓瓷釉表面形成細緻的奈米介面結構，達到蓮花出淤泥而不染的蓮花效應 (Lotus Effect)，也就是污垢無法附著於上，所以水一沖即可將髒污去除乾淨 (圖 13-19)。



圖 13-19 電光牌衛浴採用奈米抗污防菌技術

將奈米二氧化鈦光觸媒塗佈於建築物之外觀，會因為陽光 (紫外線) 之照射而產生自潔之效應，可保持建築物外觀美麗，且不必人工清洗 (圖 13-20)。另外，在居家生活或工廠排放之污水處理方面，傳統處理方法在奈米科技加入後更是如虎添翼，例如奈米級淨水劑具有高表面積，可有效吸附污水中之污染物；奈米微氣泡技術突破傳統水處理技術，可大幅提升污水處理速率及效能。

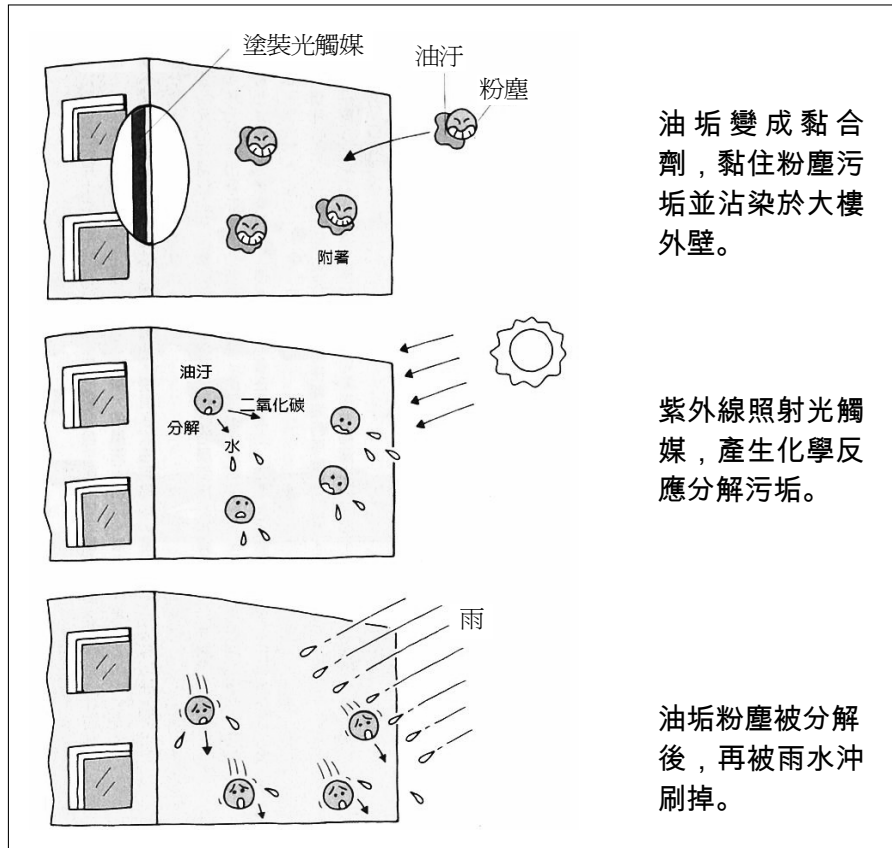


圖 13-20 奈米二氧化鈦光觸媒塗佈於建築物外觀之自潔效應

13.2.2.4 行的應用

[奈米複合材料](#)之使用，可使車體重量減輕、強度增強、抗熱、耐腐蝕。橡膠輪胎若摻入奈米碳顆粒，可增加輪胎之耐磨性與抗老化性，使輪胎壽命大增。在汽機車排放廢氣處理方面，奈米化之化學反應催化劑，由於具有極高比表面積，故具較強之催化活性，可在短時間內將廢氣處理轉換成不具毒性的氣體。奈米金粒子催化劑可將一氧化碳轉化為無害的二氧化碳，將氮氧化物還原成氮氣及氧氣，催化水煤氣轉移反應及加速臭氧的分解。二氧化鈦奈米顆粒更是成熟的光觸媒，可應用於廢氣處理及空氣清淨方面。此外，奈米能源技術的開發，可使人類免於依賴日漸枯竭的石油。例如，以奈米觸媒技術將太陽的光能轉換成電能，並進一步以電能將水分解，產生繼石油之後無污染的新能源—氫氣，而奈米碳管則是具有高儲氫能力之材料。

13.2.2.5 育的應用

奈米高密度磁記錄材料可增加記憶儲存容量達傳統磁材的數十倍，而奈米光碟的超大容量更可達一般光碟容量的百萬倍，且能增加資料保存效能。傳統矽材料之電子電路技術為微米級層次，然當奈米技術引進後，非但可加速電腦晶片運算處理速度，更可加強省電效益。在印刷技術方面，奈米科技之導入可大幅改善油墨質地及印材設備，具有極細緻、精確的高品質色彩印刷。一般紙張加入特殊奈米塗劑時，具有防水防油之功能，可延長書籍之壽命。

13.2.2.6 樂的應用

將半導體界成熟的奈米製程技術用於手機通訊晶片，可使通訊影音傳輸品質更快、更清晰細緻，且功能更多元化。奈米碳管可應用於場發射顯示器 (FED)，其成本相當於以往傳統映像管電視 (CRT) 之價格，但其影像顯示品質卻媲美高畫質數位電視 (HDTV) 之高解析畫質，並兼具重量輕、強度強而厚度薄之優勢，甚至可做成紙片形式，便於捲曲收藏及攜帶。奈米化之電池隔離膜可大幅提升化學電解反應之效益，進而提供高容量之電池電力，用以延長手機、數位相機、數位攝影機、筆記型電腦或其他機器之待機使用時間。手機電磁波對人體健康威脅一直是大家關心的話題，而奈米化金屬粉末對電磁波之吸收特性，將可作為手機輻射遮罩之用。

13.2.2.7 醫療美容的應用

醫學檢驗方面，奈米生醫晶片可取代傳統繁雜人工檢驗步驟，並可使檢驗平台微小化；奈米金粒子可利用其特殊的顏色變化來做驗孕、藥物成癮、肝炎、愛滋病毒及梅毒等之篩檢。在疾病治療方面，奈米醫藥不易使細菌產生抗藥性，可逐漸取代目前之抗生素；奈米技術可做定位給藥、顯微注射，用以消除人體內之癌細胞、病毒或細菌。例如以糖衣包裹的奈米氧化鐵粒子，可躲過免疫細胞的吞噬而進入腫瘤組織，利用交換磁場技術而使氧化鐵停留於欲作用位置，藉由攜帶進入的藥物將腫瘤癌細胞殺死。具足球狀

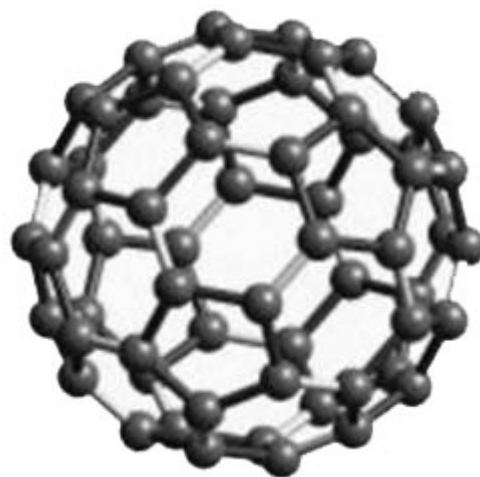


圖 13-21 碳六十的原子排列示意圖

奈米結構的「碳六十」(圖 13-21)，可快速吸引愛滋病毒而與之結合，藉此用以減低病毒毒素，並阻止病毒之擴散，可提供治療愛滋病的另一方向。美容方面，奈米化妝品或藥物其細微之顆粒較傳統大顆粒塗覆吸收方式更易滲透皮膚，而順利到達欲作用之部位，此可加速療效及降低藥物劑量。奈米氧化鋅粉末用於美容美髮護理劑時，可吸收紫外線，避免紫外線輻射造成的皮膚傷害，且尚具滲透及修復功能。

☞ 關鍵詞彙 ☞

不銹鋼	半導體材料	光觸媒
朱經武	奈米科技	奈米銀
金屬材料	高分子材料	陶瓷材料
費因曼	貴金屬	超導體
愛迪生	輕金屬	複合材料

☞ 自我評量題目 ☞

- [1]一般我們所使用的材料可分為哪幾類？
- [2]何謂輕金屬、有色金屬及貴金屬？請舉例說明之。
- [3]何謂精密陶瓷材料？請舉例說明之。
- [4]何謂複合材料？舉例說明之。
- [5]複合材料大量應用在航空工業之飛行器上，為何汽車工業上卻很少應用？
- [6]半導體材料最主要的成分為何？
- [7]舉例說明生活週遭日用品是用何種材料製作出來的。
- [8]為何奈米材料的特性會與我們熟知的塊狀材料不一樣？
- [9]舉例說明生活週遭用品是哪些是屬於奈米科技產品。

☞ 參考文獻 ☞

- [1]劉國雄、林樹均、葉均蔚、鄭晃忠，《工程材料科學》，全華科技圖書股份有限公司，民國 87 年。
- [2]郭行健、張柳春譯，《材料科學與工程》，學銘圖書有限公司，民國 94 年。
- [3]中國文化大學科技發展與人物編委會，《科技發展與人物》，中國文化大學出版部，民

國 89 年。

[4]林永昇，〈奈米科技生活〉(一) (二)，《儀科中心簡訊》，70 期，民國 94 年 8 月 31 日，為本文奈米科技之主要引用資料。

[5]周更生、李賢學、高振裕、盧育杰，〈奈米銀〉，《科學發展》月刊，409 期，民國 95 年 12 月。

[6]I. Sondi, B. Salopek-Sondi, Silver nanoparticles as antimicrobial agent: a case study on E. coli as a model for Gram-negative bacteria, *Colloid Interface Sci.*, Vol. 275, p.177-182, 2004.

[7]王建義譯，《圖解奈米科技》，全華科技圖書股份有限公司，民國 92 年。

[8]張晶、楊健譯，《光觸媒圖解》，商周出版社，民國 92 年。

[9]馬遠榮，《奈米科技》，商周出版社，民國 91 年。