

第一章 材料簡介

一、什麼是材料

地殼表層是由岩石及礦物所組成，而組成的岩石與礦物便是製作材料的基本原料。簡單來說，原料是指天然生成且尚未加工的物質，而材料則是指原料經加工處理後所產生的物質。

二、什麼是材料科學

利用基本科學的原理，研究並分析材料的成分、組織、結構與加工方法，使材料能發揮其效能與用途，或是改良材料的性質。因此，想要製造高性能的產品，得需要高性能的材料，而要有高性能的材料，就得對材料性能有深入的研究，而這也就是材料科學之所以重要的原因。材料科學承襲於礦冶工程，並以熱力學、反應動力學、結構學為基礎。

三、材料種類

材料的種類繁多，可分為「金屬材料」、「陶瓷材料」、「電子材料」、「高分子材料」及「複合材料」五大類（或加計「生物材料」一類）。其實，任何一項產品，其構成的材料通常不止一種。例如：網球拍的拍面是高分子材料，而拍框則是複合材料。

- 金屬材料：凡具有金屬光澤、不透明、富於延展性，屬於熱電的優良導體者，都稱為金屬；而結合兩種以上的金屬，且未喪失金屬特性者，則稱為合金。工程上很少使用純金屬，大多採用合金，如鋼鐵、鈦合金、鋁合金等。由於金屬材料具有良好的強度、韌性、導電導熱佳，是材料工業的基礎，但其缺點則是質量較重、耐蝕性不佳。
- 陶瓷材料：陶瓷材料範圍很廣，通常是指金屬與非金屬元素之氧化物或其他無機化合物，如 SiO_2 。陶瓷的使用由來已久，新石器時代與彩陶文化的發現，已讓我們知道人類在遠古時代便知道如何燒製陶瓷。陶瓷具有良好的耐熱性、穩定性、抗蝕性等，但缺點則是延展性不佳、脆性大。
- 電子材料：1948 年美國貝爾實驗室發現半導體材料的導電性能及極高效能，使得半導體材料製造的元件逐漸取代真空管，促成電子工業的突飛猛進，並陸續發展出電腦工業。期間（從真空管、電晶體到積體電路）的快速發展，使得電子材料的需求量日益增加。
- 高分子材料：是指具高分子量的物質，大多是有機化合物及人工合成的材料，最常見的便是塑膠、橡膠等。
- 複合材料：結合兩種或兩種以上不同材料而達到特定性質的複合體，統稱複合材料。其可將不同材料的優點保留，並增加材料的一些特性。

四、金屬材料（Metal）

金屬材料包括了金屬和合金材料，如鐵、鎂、鋁、銅、錫、鉛、鋼及其他很多不勝枚舉的金屬，一般都具有良好的導電及導熱性質，常用於結構物或承重元件上；兩種以上不同的金屬結合後，就稱為合金，一般而言，純金屬的應用較少，而合金元素則通常用來增進金屬的室溫與高溫機械性質，所以常見到工程師會要求使用具有特殊性質的合金來作為工程上的應用。

（一）鐵類合金

鐵類合金主要是以鐵為主成份之鐵合金，透過平衡相圖，可以藉由熱處理技術來達到所要求的成份組織，並推知是否能達到所需的性質。

一般的鐵類合金如：碳鋼、鑄鐵、不銹鋼……，其中又可作數十種以上的細分，這和其中含有的少量或微量元素或是和其熱處理方式不同造成的組織差異有關。

常見的不銹鋼對腐蝕的抵抗力較佳，一般至少含有 12% 以上的 Cr，在氧化環境中，可在鋼的表面形成一層薄的二氧化鉻膜，抑止進一步氧化的發生。

（二）非鐵類合金

非鐵類合金是以其他元素為主的合金，如鋁、鎂、銅、鋅、鉛、錫、鎳、鈷、鈦、鋳……等合金。它們利用固溶、析出或相變化等方式來改變組織或性質，來達到合金設計者的要求，一般少見的貴金屬如鈦、鋳等，是被用於特殊的高科技材料中。

耐高溫金屬：如鎢熔點達 3,410°C、鎳熔點 3,180°C、鉬熔點達 2,610°C、鈮熔點達 2,468°C 等，這些耐高溫金屬在熔鍊時較不容易，所以一般採用如粉末冶金的方式來製造成型。

五、陶瓷材料（Ceramics）

陶瓷材料主要是由金屬的氧化物或碳化物所構成。具有與金屬不同的鍵結特性，因此其物性與金屬差異很大。例如鋁是金屬，而氧化鋁是陶瓷，氧化鋁的鍵結主要是離子鍵，較鋁之金屬鍵強上許多，也因此其熔點也比鋁高上很多，但因離子鍵結使得陶瓷導熱能力差，因而成為良好的絕緣體，不過也因為鍵結的特性，使其硬度雖高，但延展性卻相當差且易脆。

除了陶器外，黏土燒成的磚、瓦以及水泥製品等都算是陶瓷。一般而言，這一類用在建材上的陶瓷，又通稱結構陶瓷。隨著科技發展，現在的陶瓷已有長足的進步。陶瓷應用於精密儀器中也十分普遍，這類光電用陶瓷，一般又稱精密陶瓷。

一般而言，陶瓷材料都具有一定的結晶結構，但如果在加工過程中，冷卻速度太快，其分子來不及排列，而形成非定形的結構，我們通稱之為玻璃。以氧化矽為主的玻璃，在我們日常生活中最為普遍。而氧化矽在鍵結中以

四面體結構存在而構成玻璃的網狀結構，這個結構是玻璃強化的主要機制。如果在玻璃中加入其他成份，例如鈉及鈣，四面體的網狀結構會被破壞，可使其軟化，容易加工。如加入氧化硼及氧化鈉之玻璃，由於成形成容易，可製成燒杯及試管等。

利用加工之技巧，我們也可製造出其結構介於陶瓷及玻璃之間的玻璃陶瓷。一般的玻璃陶瓷其結晶度多控制在 10% 以下，結晶顆粒約在 0.1~0.01 微米之間。這一類的材料，一般具有優越的耐熱衝擊能力，且抗碎程度遠大於一般之陶瓷及玻璃。

陶瓷在電的應用上，最有趣的大概就是壓電效應（piezoelectric effect）了，石英便具有這方面的特性。由於受到極化的影響，材料受壓變形會產生電壓。當然，施加電壓也可使其變形。若經過適當的設計，則這類的材料可用在超音波之發射及接收。

六、高分子材料（Polymers）

由許多的小分子物以共價鍵或凡得瓦爾力之類的次鍵結結合成的大分子物，通常又稱為聚合體或塑膠。它具有容易變形、輕量、絕緣及低強度、低熔點等特性，大多數的大分子物其骨架是碳原子，算是一種有機材料，至目前無止，種類已超過數百萬種。

而聚合物就是指許多的單體 monomers，透過化學反應而聚集在一起；依其聚化反應 polymerization reaction，又可分為加成 addition 聚合反應與縮和 condensation 聚合反應；基於特殊用途時，可以用物理或化學方法將其改質，以獲得所希望的性質。

常見高分子材料的形式：

- 纖維：Kevlar、PET、PAN、Nylon、Rayon、棉毛類等
- 塑膠：PVC、PE、PP、PU、PS、ABS...
- 薄膜：PAN 膜、RO 逆滲透膜、PE 膜...
- 油墨：感光劑、揮發劑、潤滑油、阻水劑
- 塗料：PTFE 鐵氟龍、油漆、亮光漆、黏著劑、樹脂、蠟
- 液晶：Kevlar、Thermotropic 熱向液晶、Lyotropic 離液液晶

(一) 高分子材料在光學材料的應用

- 光纖維：以光來傳遞訊號，1964 年杜邦公司就有塑膠光纖維的商品化生產，光在纖維內部全反射傳送訊號，塑膠光纖維的柔軟可撓性及加工接合性均佳，惟傳送損失較矽光纖維高，且耐候性、耐化藥性較矽光纖維差，目前在短距離的應用上具有製造成本較低、加工性及撓屈性高的發展淺力。
- 隱形眼鏡：目前市面上的隱形眼鏡以高透氧性、舒適性、長時間佩戴等為訴求，分為硬性和軟性，硬型以 PMMA 為主成分，折射率適當、透明、質輕；軟型隱形眼鏡則以 HEMA 為主成分，具有較高的透氧性和親水性，可較長時間的佩戴，對於近視族而言，除了帶眼鏡外，隱形眼鏡也是用來矯正視力的好選擇。

(二) 高性能的高分子材料材料

- 工程塑膠：一般塑膠如聚乙烯 PE、聚丙烯 PP 及聚苯乙烯 PS 最為廣用，但具有耐熱性差、低機械強度等缺點，而具有較高強度、熱變形溫度在 100°C 以上的塑膠材料則稱之為工程塑膠，以取代一般鐵板壓膜、鋅或鋁鑄件的零件；如超高分子量 PE、ABS 塑膠，不但具有所需的高強度，其輕量化和較低的成本更是應用的主因。
- 人工透膜：人體的腎臟可將體內毒素濾出，當其機能發生障礙，更換使用與人體相容的腎臟將是最好的方法。人工腎臟是由適當的高分子分離膜所組成的，具有滲析或超微過濾的功能，目前世界上有數十萬人依靠這類裝置維生。
- 碳纖維：碳纖維具有高比強度、耐高溫、低密度、等優點目前除了航太工業不可或缺，更是一般工業、運動休閒用品的最愛之一；而活性碳纖維最近幾年更是新寵，且國內已有國際級的水準和生產。
- 液晶：大部分的有機化合物固體加熱至熔點會變成透明液體但有一些有機物並不直接變成透明液體，而是先變成白濁的液態，此一白濁液體具有光學雙折射現象，似乎介於分子無序排列的液體與三次元排列構造的結晶固體之間。一般稱此狀態為液晶 Liquid crystals。近年來手提電腦或掌上型電腦的螢幕，多是應用液晶的研究成果。

- 鋰離子二次電池：傳統鋰離子電池是以液體有機電解液搭配鋰化物當正極，和碳負極組成；現在的高分子電池是以高分子電解膜取代有機電解液和隔離膜，正負極間用隔離膜隔開，其選用之正極材料和電解質膜的特性就成為目前研究的重點。鋰離子二次電池尚有許多待突破的空間如：提高其體積或重量能量密度，改善充放電性質，提高安全性，體積薄化，成本價格的降低等等。

七、半導體材料（Semiconductors）

半導體材料是近十年來熱門的材料之一，拜半導體科技進步之賜，電子資訊產業發展進步一日千里，國內科學園區或工業區的大型晶圓廠，更顯現我國半導體科技之發達。

它的導電性介於絕緣與良導體間，常見的原料是位於原子週期表四 A 族的 Si、或三-五族的 Ga-As 等，半導體的能隙大小是決定其傳導性的重要因素，藉由外加能量，即可獲得通路或斷路的電流信號；利用半導體對電壓的特性，可以應用於積體電路 IC、二極體元件、電晶體和半導體雷射等等。

- 半導體元件：因為半導體可藉由外加能量改變其電的傳導性，所以像應用在熱電阻器上，就可以藉由其半導體導電度和溫度的關係測得溫度，火災警鈴是一個常見的半導體材料的應用。
- 二極體元件：整流器可將交流電轉換成直流電，它將兩種不同型的半導體黏結（p-n junction），使電流在經過此元件時，只能以單方向通過，反向時就無電流通過。
- 電晶體元件：利用半導體的獨特電性，將半導體材料作成 p-n-p 或 n-p-n 的結合可用來放大精密儀器中微小的電流訊號。
- 半導體雷射：目前實用中最便宜的雷射是以類似電晶體的技術生產的半導體雷射，具備了輕巧、堅固、高效率、低消耗、壽命長等優點。主要應用在光纖通訊和精密量測儀器上，家用電器如在影音光碟機或 CD 隨身聽、音響或雷射印表機裡也可見到一顆被用來精密讀取資料的小元件。

八、複合材料（Composites）

不同的材料在性質上互相截長補短，是材料獲得更佳性質的方法之一，由基材 matrix 和強化材 reinforcement 組成之複合材料，通常具有單一類材料所無法兼顧的性質，如高比強度（抗拉強度/密度 specific strength）、高比剛性（彈性係數/密度 specific strength）：所以複合材料是現今高科技發展的一個重要的研究方向。

自然界中如樹木，即為一種纖維與木質素基材結合的複合材料，在人造複合材料中如在橡膠內加入碳黑顆粒製成的輪胎，水泥和砂石作成的混凝土，都是日常生活中顯而易見的例子。

（一）複合材料分類

一般複合材料的分類以強化材形狀分類：

- 纖維複合材料：如玻璃纖維、硼纖維、碳纖維、有機纖維、陶瓷纖維、金屬纖維等。
- 粒子複合材料：如氧化鋁、碳化矽、碳化鎢、石墨、矽紗等。
- 板狀複合材料：三夾板、積層板、覆面金屬、雙金屬等。

或以基材的種類來區分：

- 金屬基複合材料（metal matrix composite, MMC）
- 陶瓷基複合材料（ceramic matrix composite, CMC）
- 塑膠基複合材料（polymer matrix composite, PMC）

(二) 尖端複合材料 (Advanced Composite Materials, ACM)

ACM 以高性能的材料成為這世紀研究的重點之一，其成果應用於美國空軍、NASA (國家航太空總署) 的航空太空用之構造材料上、汽車工業、一般工業、運動休閒器材等等。

以飛機構造應用複合材料為例，飛機需要抵抗重力飛行於空中，所以減輕機身重量便可提升速度或性能，而在飛行或起降過程中，機身承受複雜的荷重應力，所以飛機的構造材料除了比重要小，更要強度大、耐疲勞等，最後我們更要能有效的降低成本、或在性能與材料取用成本間取得一最佳平衡，在國防軍工業之戰機方面，則因性能要求，所以其造價昂貴但性能極優異。

國內生產的運動休閒器材有許多項在品質、產量或技術上是世界第一的，在應用上更是令人熟悉：如遊艇、球拍、高爾夫球桿、腳踏車、釣竿等。以球拍、球桿和腳踏車為例：最初由木材成形，而後發展強度較高的不銹鋼或鐵金屬，輕量化的鋁合金金屬，到現今高強韌度、重量更輕的碳纖維球拍、球桿和腳踏車，無一不是複合材料科技進步的成果。

其他參考資料：中國材料科學學會網路輔助教學課程 (教育部顧問室補助) <http://pilot.mse.nthu.edu.tw/>