

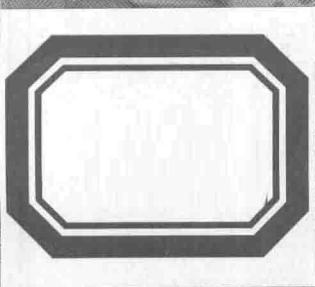
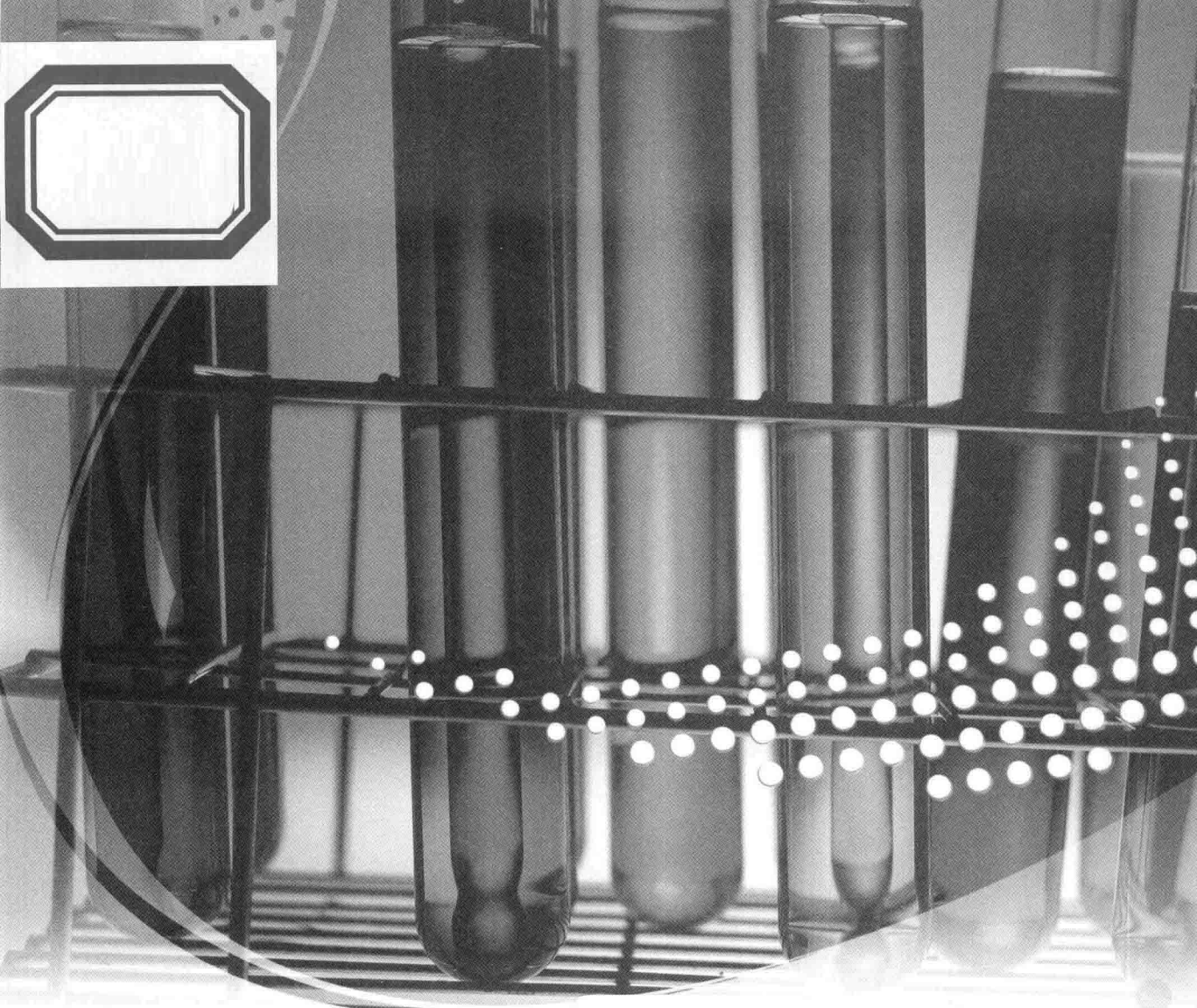


# 材料化學

 Materials Chemistry

梁碧峯 編著

 滄海書局  
Tsang Hai Book Publishing Co.



# 材料化學

Materials Chemistry

梁碧峯 編著



滄海書局

Tsang Hai Book Publishing Co.

國家圖書館出版品預行編目資料

材料化學 / 梁碧峯編著. -- 初版. -- 臺中市：滄  
海，民 98.01

面；公分

ISBN 978-986-6507-07-6 (平裝)

1. 材料化學

349

97023967

版權所有



翻印必究

滄海書碼 CE0167

## 材料化學

編著者 / 梁碧峯

發行人 / 陳秀珍

出版者 / 滄海書局

總經銷 / 滄海書局

地 址：台中市西屯區 407 台中港路二段 122-19 號 11 樓

網 址：<http://www.tsanghai.com.tw>

通訊處：台中市郵政 25-7 號

郵 撥：0026345-8

電 話：(04) 2708-8787

傳 真：(04) 2708-7799

E-mail：[thbook@tsanghai.com.tw](mailto:thbook@tsanghai.com.tw)

登記證 / 局版台業字第 0503 號

中華民國 98 年 1 月初版一刷

本書所有內容，未經編著者及本公司事前書面授權，不得以任何方式作全部或局部之  
翻印、複印、仿製或轉載。

ISBN 978-986-6507-07-6

# 編序

材料是社會文明和科技進步的物質基礎和先導，材料科學、能源科學、環境科學、資訊科學與生命科學——被列為現代科學與技術的五大支柱，其發展水平已成為一個國家綜合國力與經濟的主要標誌。從科學技術上看，當今人類已邁入蓬勃發展的高科技時代。在此，簡單討論「新材料」與「高科技」。所謂「新材料」，就是新出現或已在發展中，在成分、組織、結構、形態等方面已不同於傳統材料，具有傳統材料所不具備的優異性能和特殊功能的材料。而所謂「高科技」，就是採用新材料、新工藝，產生更高效益，能促進人類社會更快進步的技術。

對學習的教材體系，本應體現人才培養目標。因此，本教材的編寫儘量配合大學院校材料科學與工程專業的人才培養目標和教學要求，並從整體上考量材料科學與工程專業的課程設置與各門課程間的內容安排聯繫，構成一完整且聯繫各門課程的教材。材料科學本是國民經濟發展、國力增強的重要基礎。隨著材料科學技術的發展，對傳統材料在進行技術改造的同時，一些新材料與高科技也將不斷湧現。材料化學是介於化學和材料學之間的一門學科，旨在利用化學中的一些學科知識成果，闡明材料中的組成、結構、性質、製備與應用等種種規律和轉變過程。

材料的發展是日新月異的，材料學、材料工程與材料科學的內容也在不斷深入和更新，隨著材料研究方法與測試技術的進步，一些問題諸如：材料中的基本化學特質與模型；材料在各種外界環境條件下所發生的變性，並出現各種多樣的化學現象和效應；材料的微觀組織結構、物理與化學性質、化學組成以及它們之間的相互關係等也正不斷突顯出來。因此，對材料所展現出的化學特質，可從化學的一些基本概念、原理、定律出發，有系統地總結和介紹上述這些重要問題的確有必要。材料工程更應注重實際上所論及材料的加工之工藝學。目前，它已成為一門極複雜的技藝，諸如半導體、超導體、功能性聚合物、高性能陶瓷、高純金屬、奈米與薄膜材料、金屬玻璃、生物工程等加工工藝都是如此。

雖然材料的形成可依化學特性，包括金屬材料、無機非金屬材料與有機高分子材料，但各學科的發展過程是殊途同歸。也就是說，構成工程材料的結構材料和功能材料有著共同的學科基礎，這個學科就是材料科學。顯然，材料科學已成為一門獨立的學科以及各組成學科的共同聚集體。「材料化學」是繼「材料學」、「材料工程基礎」、「材料科學基礎」之後所開的課程，在學生已初步掌握材料的發展和分類、材料加工原理與工藝以及材料科學的基本知識基礎後，其主要在講授材料中的化學問題，即從化學的角度闡述材料本身的結構、性質和它們在各種外界條件下發生的變化及其規律。透過本課程的學習，使學生獲得較廣泛的材料化學基礎知識，初步掌握各種材料中的基本化學原理，能夠應用化學的基本理論和實驗技巧，進行材料的研究與探討，以便改進傳統材料和研製新的功能與結構材料。

材料是多種多樣的，諸如：半導體材料、超導材料、電介質材料、鐵電材料、非晶態材料、低維材料、光電材料、生物材料、智能材料、能源材料、玻璃材料、陶磁材料、儲氫材料、耐火材料、生態環境材料等等。其實，依化學分為金屬材料、無機非金屬材料與有機高分子材料三大類。但因依其工程使用結構材料與功能材料，已形成一些新出現或正在發展中的新材料——複合材料與奈米材料。在前述諸多材料製備和使用過程中發現彼此之間，許多化學與物理性質的概念、現象和轉變都有相當地類似。

本書共有 10 章，各章內容簡介敘述如下：第 1 章緒論簡述材料化學課程的內容、對材料學與化學的聯繫、材料化學所涉及的基礎學科及其與新材料和高技術的關係作了概括性的闡述。第 2 章介紹材料結構中，分子結構與其鍵結的一些基本知識。第 3 章介紹材料晶體構造的基本性質和各種缺陷的特徵，它們之間的相互作用以及缺陷理論的應用，主要討論固體材料中晶體缺陷的幾何圖像及其運動規律。第 4 章介紹有關非晶態物質，包括准晶、非晶、液晶的結構和其模型，以及非晶態固體金屬玻璃、記憶材料的形成與電學和光學方面的性質。從第 5 章介紹各種金屬合金材料的電子電導和離子電導的物理性質與化學製造基礎。第 6 章介紹各種無機非金屬材料的物理與化學性質、製備與其應用，包括玻璃材料、陶磁材料、儲氫材料、耐火材料等。第 7 章介紹高分子材料的結構，高分子的聚集狀態和轉變，以及高分子複合材料的性質。第 8 章介紹奈米材料的由來及其基本原理，探討奈米材料基本現象和基本理論，以及其製造技術。第 9 章著重介紹由典型材料中的化學材料，有些已轉變出材料化學新領域研究。第 10 章介紹由實驗的角度適當介紹當今材料的製造方法。在此基礎上，重點式討論強化一些新材料的基本合成方法與材料的表徵測試。

材料化學範圍甚為廣泛，包羅萬象。歸納綜合諸多材料之共同性，試圖從化學的角度闡明材料中的種種規律和製造過程。因此，顯然這是一個嘗試，定會有很多內容尚未編入教材之中。在此，儘量做到依化學彙集其基礎部分、選出最基本的内容，提供本科生最佳教學之用。本書適合作材料物理、材料化學、材料科學、冶金、化工等專業本科生教材和相關工程技術人員參考使用。

鑒於編者水平，教材中的缺點、錯誤恐怕在所難免，希望使用本教材的老師、同學及其他讀者能提出寶貴意見，以便今後再版時修改。同時，本書寫作時，參考了許多同類教材和相關著作，其中部分已列入書末的參考文獻，編者在此表示真誠的感謝。另外，本教材的編寫除正文以外，還增加了思考題與習題等內容，以使教材既適合於教學需要，也便於學生自學。

編者 梁碧峯 2008 年 8 月  
于東海大學化學系

# 目錄

## 第 1 章 ● 緒論 1

- |     |         |    |
|-----|---------|----|
| 1.1 | 何謂材料化學  | 3  |
| 1.2 | 材料發展史   | 7  |
| 1.3 | 金屬材料    | 16 |
| 1.4 | 無機非金屬材料 | 22 |
| 1.5 | 高分子材料   | 27 |
| 1.6 | 複合材料    | 33 |
| 1.7 | 奈米材料    | 42 |

## 第 2 章 ● 簡單物質鍵結 49

- |     |           |    |
|-----|-----------|----|
| 2.1 | 化學鍵結      | 50 |
| 2.2 | 分子結構      | 54 |
| 2.3 | 共價鍵的性質    | 62 |
| 2.4 | 價鍵理論與混成軌域 | 66 |
| 2.5 | 分子形狀      | 73 |
| 2.6 | 氫鍵        | 83 |
| 2.7 | 分子中之交互作用  | 89 |
| 2.8 | 分子軌域理論    | 92 |

## 第 3 章 ● 固態晶體 103

- |     |       |     |
|-----|-------|-----|
| 3.1 | 固體的性質 | 104 |
| 3.2 | 金屬    | 113 |

3.3	離子晶體	121
3.4	離子晶體之熱力學	134
3.5	在佔優勢離子鍵中的共價性	142
3.6	能帶理論與半導體	149
3.7	超導體	155

## 第 4 章 ● 晶態和非晶態材料 163

4.1	晶體的結構特徵	164
4.2	晶體學點群和晶體性質	167
4.3	非整比化合物材料	170
4.4	非晶態材料	172
4.5	液晶	179
4.6	玻璃與陶瓷	186

## 第 5 章 ● 金屬材料 207

5.1	金屬特性與金屬鍵	209
5.2	金屬單質結構	213
5.3	合金結構	220
5.4	金屬材料的應用	227

## 第 6 章 ● 無機非金屬材料 255

6.1	離子晶體	256
6.2	分子間作用力	274
6.3	超分子化學	280
6.4	無機非金屬材料的應用	291

**第 7 章 ● 高分子材料** 325

- |     |             |     |
|-----|-------------|-----|
| 7.1 | 高分子材料的發展    | 326 |
| 7.2 | 高分子材料的結構和性能 | 328 |
| 7.3 | 高分子的聚合      | 350 |
| 7.4 | 塑料          | 358 |
| 7.5 | 橡膠          | 365 |
| 7.6 | 纖維          | 370 |
| 7.7 | 複合材料        | 374 |
| 7.8 | 醫用高分子材料     | 380 |
| 7.9 | 高吸水性高分子材料   | 391 |

**第 8 章 ● 奈米材料** 399

- |     |           |     |
|-----|-----------|-----|
| 8.1 | 奈米材料的基本概念 | 400 |
| 8.2 | 奈米材料應用進展  | 405 |
| 8.3 | 奈米的材料製備   | 413 |
| 8.4 | 奈米結構測試技術  | 422 |
| 8.5 | 奈米材料的應用   | 429 |
| 8.6 | 高分子奈米材料   | 444 |

**第 9 章 ● 材料化學新領域** 449

- |     |              |     |
|-----|--------------|-----|
| 9.1 | 無機高分子物質      | 451 |
| 9.2 | 大環配位化合物及其應用  | 464 |
| 9.3 | 電功能材料及物質的電性質 | 470 |
| 9.4 | 磁性材料及物質的磁性   | 477 |
| 9.5 | 光學材料及物質的光學性質 | 481 |
| 9.6 | 新型陶瓷         | 490 |

9.7	高分子科學各學科研究前沿	501
9.8	導電高分子材料及其應用	503
9.9	樹枝狀聚合物與超支化聚合物	510
9.10	固相合成與組合化學	515
9.11	分子識別聚合物	522
9.12	酶催化聚合	526

## 第 10 章 ● 材料化學實驗技術 531

10.1	材料製備與合成	533
10.2	材料檢測和表徵	558

## 參考書目 577

## 附錄 579

附錄一	元素之物理與化學數據	580
附錄二	基本單位	582
附錄三	常數與轉換因數	583
附錄四	元素之原子與離子半徑	584
附錄五	結構與功能材料之物理性質	587

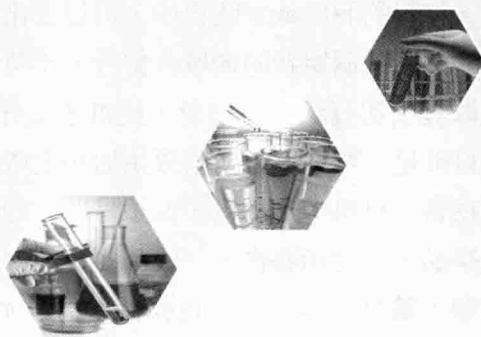
## 索引 595

中文索引	596
英文索引	606

# 緒 論

# 1

CHAPTER



## CHAPTER OUTLINE

- 1.1 何謂材料化學
- 1.2 材料發展史
- 1.3 金屬材料
- 1.4 無機非金屬材料
- 1.5 高分子材料
- 1.6 複合材料
- 1.7 奈米材料

人類發展的歷史洪流中已展現出，材料 (Materials) 不僅是社會進步的物質基礎和先導，也是人類文明進步的里程碑。縱觀人類利用材料的輝煌歷史，可以很清楚地看到，每一種重要材料的發現或發明及其利用，都會把人類支配和改造自然的能力提高一個新的層次，為社會生產力和人類生活水平帶來巨大的變化，把人類物質文明和精神文明均向前推進一大步。

眾所周知，石器、陶器、鐵器、銅器、有機高分子材料的出現，都曾為人們的生活帶來重大改變，這些新材料的發明、開發與利用都標誌著人類文明進入了一個嶄新的發展時期。材料的發展離不開化學，可以說化學是材料發展的源泉，也可以說材料為化學的發展開闢了一個嶄新的領域。當今，能源、材料與資訊是國民經濟的三大支柱，而材料為能源發展和資訊技術創新，提供了很好物質基石。

材料就是人類用以製成用於生活和生產的物品、器件、構件、機器和其他產品而所採用的物質。材料本是物質，但不是所有的物質都可以稱為材料，如燃料和化學原料、工業化學品、食物和藥物，一般都不算是材料。但是這個定義也並非那麼的嚴格，如炸藥、固體火箭推進劑，有人也就稱之為合能材料。

雖然「材料」是早已存在的名詞，但「材料科學」(Material science) 的提出是 1960 年代後的事。眾人皆知，1957 年俄國人造衛星首先發射上空，美國朝野上下為之震驚，體認出美國人落後的主要原因，就是「先進材料」落後俄國人。於是，在全國大學裡相繼成立十餘所材料科學研究中心。而後「材料科學」這個名詞便廣泛地被引用。事實上，材料科學的形成是人類科學技術發展的必然結果。

有人將材料科學表達成如圖 1-1 所示的四面體結構。作為四面體基礎的是物理學 (Physics)、化學 (Chemistry) (包括實驗)，以及工程設計 (Engineering design) 和理論 (Theory) 研究，包括其相關的技術目標和設計理論。而在這四個不同學科之間交叉的領域是材料科學。一個工程設計人員必須對材料有所瞭解，最起碼的是要有材料的詳細說明

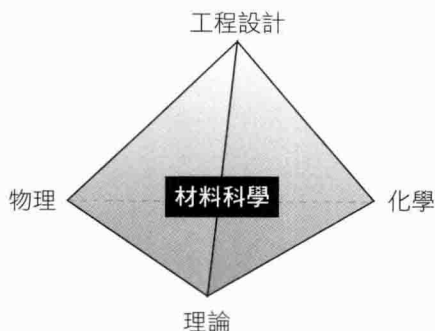


圖 1-1 材料科學的正四面體結構

書，說明書中的工程參數可以保證材料在說明書規定的條件下具有某些確定的功能。據此工程師可以規定電視機、計算機、橋樑、精煉油的設備、火箭發動機、核反應堆、超音波飛機所使用的材料及其規格。爲了使工程參數最優化，則要求理論框架把設計語言轉換成變量或參數，如形狀、大小、製備歷史等。若工程設計人員嘗試將某種材料用於有特定要求的工程，則理論框架不僅要考慮該工程與參數之間的聯繫，還應該對材料的化學組成、結構、材料之間的結合與特定需求性質之間的關係有更深入的瞭解，這樣才能對相關功能進行新且有明顯改進的材料設計。沒有這方面的知識，材料仍是一個簡單的「黑箱」。換句話講，創新的工程人員，必須對材料的結構與性能有更深入的瞭解。

材料化學 (Materials chemistry) 本是材料科學的一個分支，主要從材料科學的整個角度來看問題，把材料研究中有關化學的內容集中起來，加以分析、綜合和提升材料的品質。可以說，材料化學就是研究材料製備、組成、結構、性質和應用的一門學科。在人類歷史上 20 世紀中葉是一個材料科學與其科技快速起飛的世紀，當然本世紀也不例外，只會更加顯示其重要性。科技從來沒有像今天，這樣廣泛而深刻地影響著我們的生活和觀念，並且這種影響仍在持續增加中。許多人預測，21 世紀材料科學、資訊科學、生命科學、環境科學、海洋科學、能源科學、工程科學等交叉科學將獲得極大的發展。

## 1.1 何謂材料化學



材料可以按多種不同的方法分類。按出現的先後，可以將材料分爲傳統材料 (Traditional materials) 或舊材料 (Old materials) 和新型材料 (New materials) 或先進 (Advanced materials)；按用途不同，可以將材料分爲結構材料 (Structural materials) 和功能材料 (Functional materials)；按化學組成和特性不同，又可以將材料分爲金屬材料 (Metallic materials)、無機非金屬材料 (Nonmetallic materials)、高分子材料 (Polymer materials) 和複合材料 (Composite materials)。本書取名爲《材料化學》，即將採取化學分類方法，分別加以介紹，並討論其中有關的化學問題。

人類社會之所以能取得如此快速的進步，大部分都直接或間接地依賴於先進材料的受惠。先前有一大段時間所強調的是金屬材料，而當今，作爲結構材料的複合材料 (Composite materials) 和高分子材料已佔據了首要位置。尤其，當今先進的陶瓷材料 (Ceramic materials) 已成爲電子、電力、汽車和其他工業的主要構件，也爲在各種可能情況下，所設計新型傳感器提供了更廣闊的基礎，使人們在製造更快和更好的計算機晶片 (Computer chips) 方面得以不斷自身超越。

先進材料的獲得大致可以分爲三種方式：(1) 進一步研究已有的材料 (包括天然的和非天然的)；(2) 精心設計新材料；(3) 根據材料改進的需求，需要創新性地研製出新材料。

單晶 (Single crystal)、多晶 (Poly-crystal)、非晶 (Non-crystalline) 矽 (Si) 系列、無機多元化合物 (Inorganic multi-compounds)、敏化奈米晶、有機 p-n 異質結薄膜等新材料，已被證明對太陽光電的應用相當有效；高溫超導體可對交通電力產生極爲重要的影響 (如磁浮)；新的磁性材料 (Magnetic materials) 已被證明比老的鐵氧體 (Ferrite) 或金屬磁性材料 (Metallic magnetic materials) 優越得多；在通訊和資訊技術領域，光學 (Optics) 正在慢慢替代電子學 (Electronics)，生物材料 (Biomaterials) 也有了很大的進展。

通訊 (Communication) (需要鐵氧體、纖維、雷射、非線性光學材料)、能源 (Energy sources) (需要新型電池、燃料電池、太陽能電池)、交通 (Transportation) (需要複合材料、超導材料) 三者已成爲應用和要求先進材料的重要關鍵領域。已有人提出 DNA 不僅僅是生命的密碼，它還是製造奈米級 (Nano scale) 構件和設備的通用元件。

化學家非常感興趣的先進材料大致可分爲以下幾類：

1. **高分子材料**：包括結構高分子、功能高分子。
2. **陶瓷材料**：包括高溫材料 (如氮化矽)、電子材料 (各種鐵電和鐵彈性材料)、超導體 (銅酸鹽)、玻璃、玻璃陶瓷。
3. **磁性材料**：包括稀土鈷合金、金屬玻璃、釷-鐵-硼體系。
4. **電子材料**：包括半導體材料、超導體、電子學方面的分子材料。
5. **化工材料**：催化劑和吸附劑。
6. **其他新型材料**：包括超硬材料 (金剛石和  $\gamma$ -C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>)、金剛石膜、傳感器材料、新結合劑等。

化學家對這些材料的合成、修飾、取代、性質 (包括反應活性) 等進行了研究，發現這些材料都不是單相晶體、單一組成分物質，有些是無定形的，有些是薄膜的形式，還有的是幾種組分和相的複雜混合物。值得驕傲的是，化學家不僅爲發展先進的材料做出了巨大的貢獻，而且將高聚物 (Polymers)、陶瓷 (Ceramics)、催化劑 (Catalysts) 等應用於工業生產中，使它們發揮了重要作用。按照材料的組成、結構、作用、使用領域可以對材料進行不同的分類。表 1-1 所示爲材料的分類。

許多例子都可以用來說明材料合成的藝術和科學。例如化學家用鋁和氧分別替代高溫陶瓷氮化矽 (Si-N) 中的部分矽和氮，製造了性能獲得改進的高溫陶瓷材料賽龍 (Sialon)，Si-Al-O-N；化學家將烴 (如乙烯、甲烷……等) 分子內的化學鍵在還原氣氛中斷

表 1-1 材料的分類

按化學組成分類	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 金屬材料</li> <li>• 無機非金屬材料</li> <li>• 高分子材料：塑料、橡膠與纖維、膠黏劑等</li> </ul>
按結構分類	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 單晶材料</li> <li>• 多晶材料</li> <li>• 非晶材料</li> </ul>
按作用分類	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 結構材料</li> <li>• 功能材料</li> <li>• 複合材料</li> </ul>
按使用領域分類	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 電子材料、耐火材料</li> <li>• 醫用材料、耐蝕材料</li> <li>• 建築材料</li> </ul>

裂，使碳以金剛石形式沈積於合適的基質表面，並開發金剛石薄膜的許多應用。中國大陸科學家曾用  $\text{CCl}_4$  和  $\text{Na}$  在催化劑的作用下，利用武爾茨 (Wurtz) 反應在世界上首次製得金剛石粉末，此種方法也適用於製備其他碳化物，如  $\text{SiC}$  和  $\text{WC}$  經驗的積累，數據庫的建立，理論研究的深入化，實驗技術的快速進步，已經為材料設計與創新提供很好的基礎，對預定目標材料的合成或製備速度，正在不斷地加快。

材料化學家所製備新材料 (如氧化物  $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{SnO}_2$ 、 $\text{ZnO}$ ……等) 的多功能性和實用性，已為傳感器的應用創造了好條件。迄今為止，大多數氣體、蒸汽、熱和其他形式的輻射均可使用傳感器檢測，傳感器工業已經成為投資少、回報高的一個高技術產業。目前，科學家們正在努力製造使用於特定生物體系 (如酶) 的生物傳感器，只要使用一個針狀傳感器，就能準確瞭解市場上出售的水果是否成熟。可以設想，在不久的將來，人們不僅可以帶著針狀傳感器去買水果，而且還會有與人類健康和環境密切相關的傳感器，如檢測人體的血糖、三酸甘油酯、膽固醇水平是否正常，以及室內有害氣體是否超標的傳感器進入我們的生活。

在材料的合成中，經過化學組分的調控，已可使絕緣體材料 (Insulator materials) 轉變成金屬導體材料 (Conductor materials) 或無機半導體材料 (Semiconductor materials)。2000 年諾貝爾化學獎就可充分說明這一點。眾所周知，電流是由電子 (Electron) 定向移動形成的。在很多材料 (如一般塑料) 中，電子被束縛在一個很小的範圍內，幾乎無法移動，電流就不能形成。但如果設法移走某些被固定的電子，那麼剩餘電子的移動就會容易得多，這時只要施加很小的電壓，就會產生電流 (Electric current)。美國的麥克迪爾米德 (Macdiarmid) 和黑格教授以及日本的白川英樹教授共同發現，將塑料置於鹵素蒸汽中，由於鹵素易吸取電子，使得塑料生成缺電子體有了空洞 (Hole)，大大提升塑料的導

電性能，此即熟知的電子與洞理論 (Electron-hole theory)。

隨著科技日新月異創新，我們科學與技術正邁入奈米材料的新境界。當材料的結構尺寸越來越小，你將會發現一個全新的世界，包括物理與化學的某些定律和規律也可能因此而更新。一個嶄新的世界——奈米材料產品，例如：奈米金、奈米銀、奈米光觸媒、……等，一個遠比我們頭髮的直徑還要細微許多的世界，將會呈現在你的面前，甚至奈米計算機、奈米機器人等不久將會問世。

在無機固體材料 (Inorganic solid materials) 的製備過程中，除了傳統的高溫燒結、熱壓工藝和提拉、坩堝下降、水熱、區熔，或在熔鹽中培養單晶等生長方法，以及蒸發、濺射……等製膜方法外，各種新的合成技術和工藝正被越來越多的研究者使用，如分子束外延技術、金屬有機化學蒸汽沈積 (MO-CVD)、LB 膜 (Langmuir-Blodgett films) 及高轉速急冷法製備非晶態薄膜 (Noncrystalline thin films)，利用注入方法進行摻雜，製造奈米顆粒的多種方法等。

隨著物理技術的發展，超高壓、超高真空、超高溫、超低溫、強磁場、強電場、強雷射、電漿區、驟冷……等極端條件，越來越廣泛地應用在合成方法和合成技術中，實現了通常條件下無法進行的合成，有可能獲得一般條件下無法得到的新化合物、新的物質相，開拓出新的合成路線與方法，如化學氣相沈積法、溶膠-凝膠法、水熱法、燃燒合成法等已被用來合成新材料。

材料表徵技術近年來已發生很大的變化。目前儀器的分析能力讓人們感到驚奇，如需要的樣品極少，甚至樣品僅需幾個、幾十原子或單一分子。今天的電子顯微鏡已具有原子級的分辨能力。隨著同步加速器 X-射線以及脈衝電子源的使用，繞射能力大大增強，對聚焦繞射分布圖的分析已成爲確定複雜材料結構不可缺少的手段，原子力顯微鏡 (AFM) 和掃描穿隧顯微鏡 (STM) 的出現使材料研究可以在真實條件 (在空氣、液體界面、真空中) 的原子級水平上進行研究。

材料化學作爲一個交叉性的學科，其發展不外乎透過兩種方式——突破 (深化) 和融合。所謂深化，就是從巨觀進入微觀 (如從巨觀反應動力學到微觀反應動力學)、從平衡態到非平衡態，從研究個體發展到研究相之間的聯繫、滲透以及不同層次的整體統一。所謂融合，就是採用多種學科滲透、融合來解決各種問題。可以毫不誇張地說，材料化學必將在奈米、生物、資訊、環境認知這些對未來發展具有深遠影響的領域做出重要貢獻。

## 1.2 材料發展史



材料是人類社會賴以生存和發展的基礎。因此，材料發展史 (History of materials) 是人類從其誕生開始，爲了獲得和製備食物、工具，準備衣著和居所，學會了利用自然材料，並在此基礎上進行加工、改造和改性，又創造出許多新的材料。人類在利用和創造新材料的過程中，也加速自身的發展。

### 1.2.1 材料的發展與歷史變遷

材料的發展與人類社會的進步是密不可分的。人們常按材料的使用來劃分社會發展的不同時代。

#### 1. 木石並用時代

人類的早期發展延續了 3~400 萬年，經歷第四紀冰川的四、五大冰川時期。爲了與自然進行鬥爭，古代人利用天然的木材製造木矛，並學會打製有銳利邊緣的石塊或石片 (如雲南元謀、山西西城西侯度)。到 70 萬年前山西西域居住在合河村的先民們製作了狩獵用石球。在舊石器時代晚期製造細石器的技術和利用離心力的飛球技術傳播到西藏、新疆、東北，也影響了北美洲的石器製作。在此以後的 8~10 萬年中，先民利用植物纖維結構的彈性、細石簇的硬度和箭桿的穩定作用發明了弓箭。非洲西北岸阿替林文化人可能是最早的弓箭發明人。在中國，弓箭最早出現於距今 2 萬年左右，以下川文化爲代表的山西中條山一帶。

#### 2. 弓箭的發明

正如恩格斯所指出的，這是人類獲取食物一個非常重要的發明，也是人類還處於發展階段時，利用材料各種性能的一種複雜構件。從商周開始，中國人利用不同材料以複合材料的形式製造了強有力的弓，有的達到 160 厘米，並製造出張弓待發的弩機，以及青銅、鐵和用鉛增重的箭頭，最後發展到利用火箭原理發射的箭。

#### 3. 陶器時代

一萬多年前最近一次的冰河後退，使農業得到發展，從而促使人類定居，並利用土壤及其烘焙改性，進行房屋建造，磨削石器製造生活用具。人口的增加，城鎮的出現，新的需要導致了烘焙泥土成磚的發明。約在 1 萬年左右，在埃及和巴比倫一帶製造出利用草料纖維加入粘土、用日照烘乾成的磚。5000 年前，中國河南鄭州附近大河村仰韶文化後期，房屋牆用圓木立柱、柱間附加蘆葦束，裡外塗抹草泥，最後用火烘烤硬化而

成。4000 年前印度左哈拉巴文化建築使用了磚；至遲在 2500 年前的戰國時期出現了磚；2000 年前，西漢用磚鋪地，東漢起成爲民間用材。

中國在製磚技術上還發展了先用氧化氣氛燒製，然後改用還原氣氛製成青磚的技術，提高磚的雨水度。增加磚的致密度，改善磚的傳熱、耐熱和耐磨性能是製磚技術的又一大進步。北京宮殿所用的地磚是以粉碎的細粘土壓製後，經過多次燒結冷卻循環，再用桐油填充硬化而成，具有特殊的優良性能。

可能由於原始陶器的製作較磚簡單，中國在製磚以前，在 7000 年前的裴里崗—磁山文化已出現陶器，在 4~5000 年前仰韶—龍山文化裡，製陶技術已達到較高水平，出現了薄如蠶殼的龍山黑陶。商代後期有些地方使用了高嶺土製陶，尤其，構築土窯技術的發展，已使燃燒溫度提高，又可促進早期瓷器的出現。1800 年前，東漢時期就出現了以高嶺土（即瓷土）爲原料，經高溫燒成的瓷器，並陸續發明多種著色和上釉技術。大量瓷器通過海路運往中東、非洲和歐洲，促進貿易和友好往來，更促進歐洲對瓷器的研究、仿製和發展。

進入陶器時代不久，人類從自然存在的金、銅發現了金屬和礦石的關係，學會用金屬礦石冶煉金屬。冶銅、冶鐵技術的出現極大地發展了生產力，改進工具，促進農業的發展，改善人類生活條件。

約 6~7000 年前，在現今伊朗至兩河流域上游一帶出現了銅的冶煉，在此之前的 1~2000 年已經接觸到在銅礦中廣泛存在的金屬銅。中國冶銅最早出現時代還有待確定，大約在距今 5000 年前，兩河流域烏爾王墓中的殉葬品，已發現有含有錫的青銅。中國蘭州附近馬家窯文化中，也已出現最早的錫青銅刀和煉銅殘渣。在距今 4000 年前，中國進入了青銅時代，比歐洲富錫地區略早幾個世紀。

#### 4. 鐵器時代

地球上自由存在的鐵，主要是來自宇宙空間的隕鐵。人類進入鐵器時代是在發明冶鐵之後。在西亞各地發現的鐵器可以早到公元前 3000 年前，距今約 5000 年。冶鐵技術真正的發展起源於現今土耳其的中部地區，距今 3000 年前或稍早一點。約西元前 1000 年間，已向巴爾幹半島及南歐傳播。埃及、中國都在公元前 8 世紀中葉進入鐵器時代。但是鐵器的重大發展，則是在 2500 多年前發明生鐵以後，影響了世界農業和人口分布、經濟和政治的發展。

#### 5. 鐵—矽時代

鐵器時代是從公元前 10 世紀一直延續到今天，由於鐵在地殼資源中的分布，鐵的本質是一個過渡族金屬，其冶煉金屬的過程，還原成金屬的熱力學條件尤其特殊。鐵及