

大 專 用 書

材料科學與工程

顏秀崗 編譯

Fifth Edition

Elements of Materials Science and Engineering



全華科技圖書股份有限公司 印行

大 專 用 書

材料科學與工程


顏秀崗 編譯

Fifth Edition

Elements of Materials Science and Engineering



全華科技圖書股份有限公司 印行

 全華圖書

法律顧問：陳培豪律師

材料科學與工程

顏秀崗 編譯

出版者 全華科技圖書股份有限公司

地址 / 台北市隆汀路76巷20-2號2樓

電話 / 5811300 (總機)

郵政帳號 / 0100836-1號

發行人 陳 本 源

印刷者 華 一 彩 色 印 刷 廠

門市部 全友書局(黎明文化大樓七樓)

地址 / 台北市重慶南路一段49號7樓

電話 / 3612532 • 3612534

定 價 新臺幣 90 元

初版 / 75年 2 月

行政院新聞局核准登記證局版台業字第〇二二三號

版權所有 翻印必究

圖書編號 011969

我們的宗旨：

**推展科技新知
帶動工業升級**

**為學校教科書
推陳出新**

感謝您選購全華圖書
希望本書能滿足您求知的慾望

「圖書之可貴，在其量也在其質」，量指圖書內容充實，質指資料新穎夠水準，我們本著這個原則，竭心盡力地為國家科學中文化努力，貢獻給您這一本全是精華的“全華圖書”

為保護您的眼睛，本公司特別
採用不反光的米色印書紙！！

原 版 序

如同柯漢 (Cohen) 教授在前言裡所述：材料科學與工程 (MSE) 的主題在敘述材料的性質與材料的內部結構係息息相關的，所以若要改進材料的性質就必需對材料的內部結構做適當的改變，反過來因製造過程或使用情況而使材料的內部結構發生變化，也會改變材料的特性。

本新版如同前四版旨在建立結構 \rightleftharpoons 性質 \rightleftharpoons 性能三者間的關係，根據大學化學與物理的課程發展出一套必要的定理；工程上廣泛的應用正說明了以上三者的關係。

本版為對同學能有更好的服務，有了一些改變(1)本書分成三部份以符合學術上的需要；(2)聚合體、陶瓷、電子及複合材料分量上有適當的增加；(3)在每章最後的複習及研討部份已擴充為補充說明。

本書包含三部份；第一部份在說明材料的相 (phases)——結構、性質及性能。本部份 (到第九章) 應用於一般的工程範圍，內容包含原子的規則與不規則性；金屬、聚合物、及陶瓷；與半導體及非導體材料。如果時間上限制則第一部份可做為介紹性的課程。第二部份考慮了多相 (multiphase) 材料，並把重點擺在相的關係、熱處理、複合材料、及使用性能等，尤其對強調設計的規定有特別的興趣。第三部份介紹了廣泛使用的鑄鐵材料 (最便宜的金屬)、混凝土 (最大噸位)、及木材 (最大體積)，這三種材料都不簡單，但都可接近於結構 \rightleftharpoons 性質此等關係的基礎上。

第六章 (聚合體材料) 重新寫過並加入製造過程一節。第九章 (磁性的、介電性的、及光學性的材料) 及第十二章 (複合材料) 是新加進的。由於破斷韌度 (fracture toughness) 對成品的可靠性非常重要，所以把它加入第十三章 (使用效能) 而成一節。

如同第四版，學習輔助包含了每章的提要，將近二百例題於節後，每一章後的摘要，以及五百多個習題等。增入第五版的有簡單的測驗 (及答案)，與在每章最後的名詞複習。

習題分成兩部份，第一部份 (無陰影的) 為試驗性的範圍，這類問題相似

於例題或直接與公式有關，其目的是讓學生於進行較需更多分析或較具整體性的問題之前能先有所預備。

如同前幾版一樣，有些章節必要時可由教師指定講授，而那些註以(●)記號的章節，並不是以後章節所必備的先修課程。

遺憾的是本人無法對密西根大學數以百計的學生，以及本新版有貢獻的其他學校教師們一一地表示謝意，他們的意見都被詳細的考慮過，且大部份已被採用了。

前幾版裡大概是我不小心忘了感謝給我寶貴意見的畢積羅(Bigelow)教授，在此特表謝忱；並感謝M.I.T.的莫里斯·古翰教授對第五版的鼓勵及多項建議，同樣地非力士柯(Filisco)等教授們上課後的反應也具相當的價值，最後對Addison-Wesley出版公司工作人員的熱誠協助及愉快合作，以及佛蘭(Fran)的鼓勵與耐心，在此一併致謝。

密 西 根 L. H. VV.

1984年9月

譯 考 序

隨著太空梭、超大型積體電路(VLSI)、光通訊纖維、及雷射的發展，顯示現代科技已逐漸進入一新的紀元，而其發展過程中尤以獲得性能優越的材料為主要關鍵；於是開發新材料便成為現代科技領域中最重要的一環。相對地；無論是任何理工科系也都必需具備基本的材料科學知識，才能使工作設計上發揮得淋漓盡致。我國近年來對科技的發展不遺餘力，並將材料科學列入四大重點科技之一，期能科技生根、國防武器體系自製、經濟上更能提高產品的附加價值，由此可見材料知識的重要。

Van Vlack所著的材料科學與工程(Elements of Materials Science and Engineering)很適合於大專理工科系的教學，其前四版無論在國內或國外均受學生歡迎。本版(第五版)為最近之修訂版，本人首先採用做為教科書，但發現大部份學生仍苦於語文上的障礙，無法收到事半功倍的效果，乃決定翻譯此書，節省學生閱讀時間，提高學習效果。翻譯是項煩瑣的工作，且本書涉及範圍甚廣，雖然多次修改仍有許多不盡妥當之處，尚祈諸先進不吝指正。本書專有名詞部份主要依照教育部公佈“材料科學名詞”翻譯。

最後，我要特別感謝我的妻子美惠、妹妹玉惠，以及雲林工專機械材料及製造科同學們的協助，謹致謝忱。

顏 秀 崗

1985年11月於國立雲林工專
機械材料科

編輯部序

「系統編輯」是我們的編輯方針，我們所提供給您的，絕不只是一本書，而是關於這門學問的所有知識，它們由淺入深，循序漸進。

本書係譯自 Van Vlack 的 “Elements of Materials Science and Engineering” 第五版，前四版由於題材新穎，故廣受國內外各大專院校採用為教本，本版更分成三部份，並涵蓋了金屬、陶瓷、聚合體三大類材料的介紹及鑄鐵、混凝土、木材的敘述，同時也增加許多新資料，內容更臻充實，讀者更易吸收，是大專材料科系最佳教材。

前言：材料與社會

材料環繞在我們的四周；它們深深地植入我們的文化、思想，甚至於生命當中。事實上，材料與所謂的石器、銅器、鐵器時代的文明息息相關，不論是自然生成的以及人造的材料，從食物、生活空間、能源及資訊等，已成為我們生活中被公認的完整部份，並列為人類的根本資源。它是我們社會中所必須的工作物質，不僅在我們的生活中，並且也在國家安全上擔任了重要角色。

但是什麼是材料呢？我們如何去了解改造及使用它們呢？材料是宇宙物質中的一部份，但很特別地它們的性質能應用在結構、機器、設計、或者製品上。舉例來說，它們包含了金屬、陶瓷、半導體、超導體、聚合體（塑膠）、玻璃、介電質、纖維、木材、砂、石、及很多複合材料。這些材料的加工與製造佔美國國民生產毛額約 $\frac{1}{3}$ 。

因為人體可視為一種結構、機器或裝置，同樣地我們也可將食物、藥、蔬菜、肥料等包含在材料內；但在材料分類上現在一般習慣上將這類問題歸於生物與農業的研究範圍。相同的理由，即使是燃料、水與空氣等雖同在材料範圍內，它們通常也劃分於其他學科來討論。

人類使用的材料可看出是順著一個大材料圈而循環不息的，其為整個從誕生到死亡的系統。原料從地表或地下被人以開礦、鑿取、挖掘或收割的方式開採出來，成為半成品，如金屬錠、碎石塊、原油及木材，接著加工製成工程材料，如電線、結構鋼、水泥、塑膠及合板等，以應社會上成品的需要。最後經過人類的使用後，這些材料又回到了地上成為廢物，或者在它們尚未到達最後使用期前，再加工重新進入循環圈。在這樣大的國際性循環圈裡，差不多有 $\frac{1}{3}$ 的原料在美國製造或消耗。

材料循環中的一重要觀念顯示了材料、能源與環境三者之間具有強烈的相關性，而且必須三者同時列入國家計劃與工業技術的評估之中。現在正值能源與物質特別缺乏危急的時候，加上人類更加關心他們生活空間的品質問題，故這些考慮更形重要。舉個例子來說吧，如果能使廢鋁罐有效地重新進入循環圈，那麼比起直接從礦石中去提煉相等噸位的鋁，前者所需能量只要後者的廿分

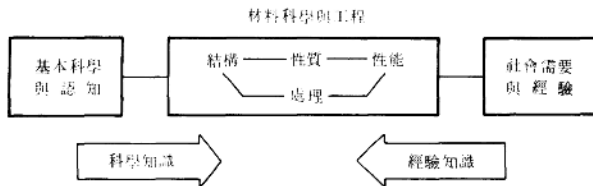


圖 1 中央的材料科學與工程關係著科學知識與經驗知識的兩個相反導向

之一。同時地球表面也因此可以大大地減少因大量開採所造成的痕跡。

因此，材料循環連繫著自然資源與人類必需品的一個系統，整體而言，材料形成了一個全球性的連接網，而此網不但聯繫著整個地球的國家及經濟，而且也連繫著所有的自然物質。

很明顯地，在人類知識發展之際，我們不必對有關材料科學與工程的地位凌駕人類探求及努力擴展其他事物能力所及的範圍上覺得驚奇。簡言之，材料科學與工程所關心者，是材料之組成、結構、處理方法，及其相關的性能與用途等知識的建立與運用。如圖 1 所示，存在著材料的結構、性質、處理、功用及性能彼此相關連的問題。材料科學與工程扮演著知識導體的角色，從基本的科學與研究導向社會的需要與經驗。科學知識及經驗累積的相反導向，同時在材料科學與工程的領域中相交會。

如果我們希望更明瞭材料科學，我們應致力於了解材料的本質，進而由理論或敘述去說明結構、組成與性能之間的關係。另一方面，材料科學與工程告訴我們如何利用基本原理與經驗的知識去發展、改良、變更和運用材料，以符合特殊的需要。顯然材料科學與材料工程學之間的差別，只在於一些觀念上與所置重點的不同而已；在兩者之間並沒有很明顯的界線，我們發覺採用合併的名稱“材料科學與工程”較合邏輯。事實上，這本書在名稱上係結合了兩者，採用材料科學之名，又包含了許多關於工程上的內容。

圖 2 與圖 3 顯示藉著材料的選擇與功能可有各種不同的應用。爲了社會的需要，所有諸如此類材料的應用都需要多種有關於使用的可靠性、持久性、經濟效益及環境方面等職業性的判斷。在所示的噴射引擎中，所有的材料都經過細心的選擇，使能符合各部份適切的功效。其中包含了渦輪葉片的超合金、燃燒室內的抗合金、壓縮翼的抗疲勞鈦合金、軸承耐磨合金、齒輪及轆的高強度鋼、與整個外殼的輕鋁合金。利用這些材料在整個系統中做整體的運作。

另外一個材料系統是光電設計如圖 4 所示，它是一個電子經過能隙掉入價電子能帶時，部份放釋的能量便能夠激發其他電子繼續進行相同的過程，而導致光子放射而生成雷射光，此雷射光束經由左右鏡的反射，使光度加強及持續。各種不同的雷射形成如今已被廣泛地應用到局部性高溫加熱，例如焊接、表

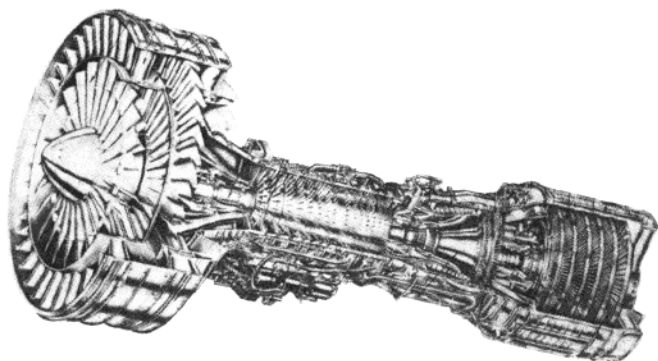


圖 I 噴射引擎中的材料。噴射引擎是種將燃料能量轉換成動力的複雜設計系統。此處主要的目的是要改進推力對重力的比值。每個設計的材料都經過選擇與處理才能發揮特定的功能，並與其他運作的材料相協調

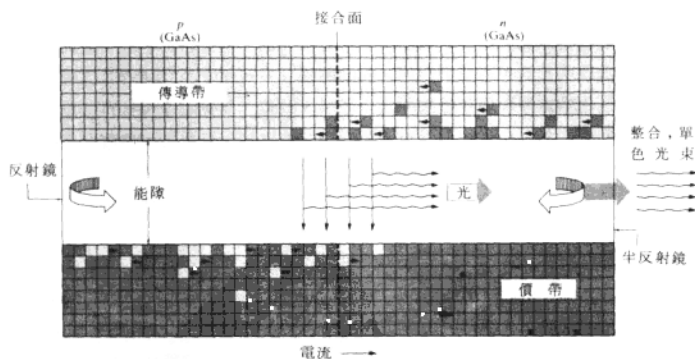


圖 II 半導體雷射。當電子與電洞在半導體 (GaAs) p-n 接合面結合時便放射光子；放射光子在兩端受到反射，回到內部激發更多的電子 - 電洞配對。這種便建立起強且一致的光束，而能做很多精巧的應用

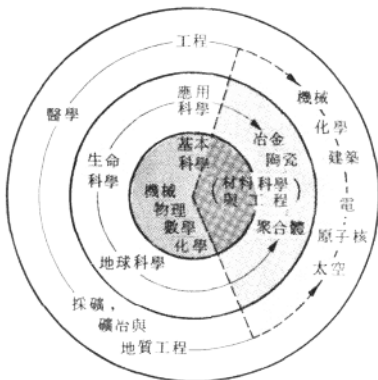


圖 IV 材料科學與工程。本書主要根據物理與化學的基本原理，找出材料成分與結構對性質與使用性能的關係。國家科技努力中超過四分之一用於材料的科技與發展；此項努力來自於物理科學與所有工程的分支

面處理、外科手術，甚至於光纖維通訊的訊號傳送。電子材料藉著它們電性、光性、及磁性的有用特質，在材料科學與工程的領域裡日益扮演活躍的角色。

因此，我們曉得材料科學與工程是一個有前途的企業，它深入原子、電子的微觀世界，並連繫物質的狀態以致材料的功能與使用的巨觀世界以符合社會需求。如圖 IV 所示之圓中，畫出大部份人類知識，從核心的基本科學經過中間圓環的應用科學，到最外層各種不同的工程領域。在核心處我們顯示出物理及化學伴隨著數學及機械；繼續往外，我們經過了多種相關應用的學科。在右邊有陰影的部份就是材料科學與工程，與它相對應的是生命科學及地球科學。於寬廣的感覺裡，材料科學與工程是一多重學科，包含（但不是取代）一些主要學科（如冶金及陶瓷）及一些副學科（如固態物理及聚合體化學），當然也跨越了幾個工程學科。

當然，有很多科學家及工程師是材料專家——冶金家、陶瓷家、及聚合體化學家——他們都完全投入材料科學與工程的領域裡。相對地，從政府數據的分析，顯示其他工程師的職業工作中，每六小時就有一小時直接介入材料及其利用。這種時間比率對物理家及化學家甚至更高。結果在美國二百萬科學家及工程師中，有五十萬人貢獻他們的心力於此國家產品，及福祉的主要領域中。

因此，材料科學與工程便形成一個架構，在此架構中很多學科的專家們創造性地工作以探求自然的過程，同時，開創新知以符合人類的需求。

莫理斯·古翰

1984年9月於劍橋


全華機械相關圖書

- 814 粉末冶金概論
陳克紹編譯
25K/208頁/130元
- 971 現代陶瓷工程學
于若軍編譯
20K/352頁/240元
- 850 機械材料選用手冊
彭猷平·李秋貴編譯
16K/208頁/190元
- 792 材料力學(上)
劉上聰編著
20K/296頁/180元
- 863 材料力學(下)
劉上聰編著
20K/320頁/195元
- 628 機械加工法(上)
張鄧益編著
25K/264頁/139元
- 989 BASIC程式範例
—有限元素法圖形解析基礎
(NEC9801及IBM PC/XT
適用)
利世旭編譯
20K/328頁/210元

● 上列書籍為七十五年定價，業
後若有調整請以最新目錄為準。

目 錄

1	材料科學與工程簡介	1
1-1	材料與文明	3
1-2	材料與工程	4
1-3	結構—性質—性能	6
1-3.1	內部結構與性質	7
1-3.2	性質與處理	8
1-3.3	性質與使用性能	8
1-3.4	工程處理方法	9
1-4	材料的種類	9
1-4.1	金屬	9
1-4.2	聚合體	10
1-4.3	陶瓷	11
1-5	部份材料性質的複習	12
1-5.1	導電係數	12
1-5.2	應力與應變	13
1-5.3	應力—應變曲線	15
	複習與研討	17



2-2	分 子	32
2-2.1	鍵長與鍵能	33
2-2.2	鍵 角	34
2-2.3	同分異構物	35
2-3	原子配位	37
2-3.1	共價配位	37
2-3.2	離子配位	38
2-3.3	擴展鍵結	40
2-4	原子間距	41
2-4.1	庫倫力	42
2-4.2	電子相斥力	43
2-4.3	結合能	44
2-4.4	原子與離子半徑	44
2-5	配位原子間電子的移動	48
2-5.1	非固定電子	48
2-5.2	平均自由路徑	50
2-6	基於原子配位的結論	51
	複習與研討	52
3	固體中原子的排列	59
3-1	晶 體	61
3-1.1	晶 系	62
3-2	立方晶體	63
3-2.1	體心立方金屬	63
3-2.2	面心立方金屬	65
3-2.3	其它面心立方結構	66
3-3	六方晶體	68
3-3.1	六方密集金屬	69
3-4	多晶形	71
3-5	單胞幾何	72
3-5.1	單胞內的點	73
3-6	結晶方向	76
3-6.1	方向指標	76

3-6.2	方向夾角	76
3-6.3	線密度	77
3-6.4	方向族	78
3-7	晶面	80
3-7.1	米勒指標	81
3-7.2	平面族	82
3-7.3	六方晶體平面指標	82
3-7.4	原子平面密度	83
3-7.5	研究輔助(結晶方向與平面)	83
3-8	x -光繞射	
3-8.1	平面間距	86
3-8.2	布勒格定律	87
3-8.3	繞射分析	88
	複習與研討	90

4 固體中原子的不規則排列 101

4-1	固體中的雜質	103
4-2	金屬固溶體	103
4-2.1	取代型固溶體	104
4-2.2	有序型固溶體	104
4-2.3	填隙型固溶體	105
4-3	化合物固溶體	107
4-3.1	取代型溶體	107
4-3.2	非計量化合物	108
4-4	晶體中之非完美性	110
4-4.1	點缺陷	110
4-4.2	線缺陷(差排)	111
4-4.3	表面	113
4-4.4	晶界	114
4-4.5	晶界面積與晶粒大小	116
4-5	非結晶材料	119
4-5.1	液體	119
4-5.2	玻璃	121

4-5.3	相	123
4-6	原子振盪	124
4-6.1	熱膨脹	124
4-6.2	熱能分佈	126
4-7	原子擴散	129
4-7.1	自身擴散	131
4-7.2	擴散係數	132
4-7.3	擴散係數與溫度的關係	133
4-7.4	研讀輔助(原子移動)	134
4-8	擴散處理	137
	複習與研討	140

5 單相金屬 149

5-1	單相合金	151
5-1.1	單相合金性質	151
5-1.2	單相合金之顯微結構	153
5-2	單相合金之處理	156
5-3	彈性變形	158
5-3.1	彈性模數	158
5-3.2	彈性模數與溫度之關係	160
5-3.3	彈性模數與結晶方向之關係	160
5-4	單晶塑性變形	163
5-4.1	臨界剪應力與滑移系統	163
5-4.2	分解剪應力	164
5-4.3	滑移機構	165
5-4.4	固溶體中差排之移動	166
5-4.5	中間金屬化合物	167
5-5	塑性變形金屬的性質	170
5-5.1	應變硬化	171
5-6	再結晶	174
5-6.1	再結晶溫度	175
5-6.2	再結晶速率	177
5-6.3	金屬熱作與冷作之關係	178