

冶金工业部工业教育司推荐
中等专业学校试用教材

金 属 学

李惠忠 詹方海 編

冶金工业出版社

635
18
1

冶金工業部教育司推薦
中等專業學校試用教材

金 屬 學

李惠忠 詹方海 編

冶金工業出版社

10642

本書由冶金工業部工業教育司推薦為部屬中等專業學校煉鐵、煉鋼、軋鋼及電爐煉鋼專業的試用教材，也可作為高等學校及廠礦技術人員參考用書。

本書除了較詳細的敘述金屬和合金的構造、平衡圖、熱處理、合金鋼等基本理論外，並且對金屬和合金的有關研究和試驗方法也作了簡要的介紹。此外，還敘述了碳素鋼、合金鋼、鑄鐵、有色合金及粉末合金的結構、性能，以及使用的基本知識。

金 屬 學

李惠忠 詹方海 編

編輯：陳 略

設計：童熙菴、魯芝芳

責任校對：趙崑方

1958年9月第一版

1958年9月北京第一次印刷10,000冊

850×1168 · 1/32 · 200,000字 · 印張 $8\frac{14}{32}$ · 定價(10)1.30元

旅大日報印刷廠印

新華書店發行

書號

0918

冶金工業出版社出版（地址：北京市燈市口甲45號）

北京市書刊出版業營業許可證出字第093號

目 錄

前言	5
緒論	6
第一章 金屬的結晶構造	11
第一節 金屬的晶體構造	11
第二節 純金屬的結晶及金屬錠的構造	22
第三節 金屬在固態下的轉變	32
第二章 合金系	35
第一節 合金的構造	35
第二節 二元合金平衡圖	40
第三節 合金的結構、性能和成分之間的關係	61
第四節 三元合金平衡圖	67
第三章 鐵—碳合金平衡圖	75
第一節 鐵碳合金中的相及其特性	75
第二節 鐵碳合金平衡圖	77
第四章 金屬和合金的研究方法與試驗方法	90
第一節 金相研究方法	90
第二節 x 射綫分析法	100
第三節 物理分析法	105
第四節 金屬的機械性能試驗	110
第五章 金屬的塑性變形和再結晶	120
第一節 金屬的塑性變形	120
第二節 金屬的再結晶	123
第六章 鋼熱處理的理論基礎	125
第一節 概論	125
第二節 鋼加熱時的轉變	126
第三節 冷卻時奧氏體的轉變	129
第七章 鋼熱處理的種類	139
第一節 退火	139
第二節 正火	143

第三節 淬火	144
第四節 表面淬火	150
第五節 回火	152
第六節 鋼熱處理的缺陷	155
第八章 鋼的化學熱處理	158
第一節 鋼的滲碳	158
第二節 鋼的滲氮	162
第三節 鋼的氰化	164
第四節 滲金屬法	166
第九章 碳素鋼	168
第一節 碳素鋼的分類	168
第二節 碳及雜質對鋼性能的影響	169
第三節 碳素鋼的應用	174
第十章 合金鋼	184
第一節 合金鋼的分類及標號	184
第二節 合金元素在鋼中的分佈	187
第三節 合金元素對鋼熱處理的影響	192
第四節 合金元素對鋼性能的影響	197
第五節 合金鋼的種類	202
第十一章 鑄鐵	225
第一節 概述	225
第二節 鑄鐵的種類	226
第十二章 有色金屬及其合金	241
第一節 銅及其合金	241
第二節 鋁及其合金	249
第三節 鎂及其合金	255
第四節 鈦及其合金	257
第五節 軸承合金	257
第十三章 粉末冶金	261
第一節 粉末合金的製造及其應用	261
第二節 粉末硬質合金	265
附表 布氏、洛氏和維氏硬度數的關係	268
參考書目	269

前 言

自中等專業學校煉鐵、煉鋼、軋鋼、電爐煉鋼等專業開設“金屬學”這門課程以來，尚無一本結合我國實際情況和適合我國中等專業學校學生水平的金屬學教材，這就給教師講課和學生學習造成一定的困難。

本教材是在冶金工業部工業教育司的領導下，根據四年制煉鋼專業“金屬學教學大綱草案”編寫的，在編寫過程中也同時考慮了四年制煉鐵、軋鋼、電爐煉鋼等專業的要求。今提出下列幾點供使用時之參考。

1. 以下內容對軋鋼專業可不必講授：第二章第二節（相律及其應用，包晶反應平衡圖）；第三章（鋼的初次結晶——包晶反應部分）；第五章（金屬的塑性變形及再結晶）。
2. 凡用小號鉛字排印的部分，除第七章第四節（表面淬火）為軋鋼專業應講授外，其餘可作補充教材之用。
3. 第十章第五節（合金鋼的種類）對煉鐵、煉鋼專業講授時，可作適當精簡。

在編寫時，北京鋼校金工教研組陳松青、曹萬正、王庭楷等同志曾熱心參與本教材編寫提綱的討論，以及鞍山二鋼校、武昌鋼校、太原工業學校、本溪鋼校、上海冶金機械等校金工教研組同志亦提出不少寶貴意見，特在此一併致以衷心的謝意。

本書第四章（第四節）、第九章、第十章、第十二章由詹方海編寫，其餘各章及緒論由李惠忠編寫。由於編者為學識所限，加之教學經驗不足，缺點和錯誤在所難免，有待同志們的指正，以便再版時一併修正。

——編 者

一九五八年五月

緒 論

金屬學是研究金屬和合金的成分、內部構造（結構）、性能以及它們之間相互關係的一門科學。

對純金屬而言，金屬的性能首先與各個元素的本性有關。例如，純銅比純鐵具有高的導電、導熱率和良好的塑性，但却具有較純鐵為低的強度和硬度。

至於合金的性能就與其中各元素的含量即合金的組成密切有關了。例如，含碳量為 0.3% 的鐵碳合金（鋼）可以承受壓力加工，使其變形而不破裂，因而可採用鍛造方法來製成零件；但含碳量為 3.0% 的鐵碳合金（生鐵）不能承受任何壓力加工以改變其形狀，而只能採用鑄造方法來製成零件。顯然，鐵碳合金成分變化與合金內部結構的改變有密切聯系，由於結構不同在性能方面就有很大的差別。

然而，合金的結構和性能不僅取決於合金的化學成分，還取決於合金的加工工藝條件。例如含碳量均為 0.8% 的兩塊鐵碳合金：一塊經加熱到 770°C 在爐內緩慢冷卻（退火）後，具有較低的硬度和強度，另一塊經加熱到同一溫度而在水中急冷（淬火）後，硬度和強度就較前者提高三四倍，這一性能的差別使前者可用做被切削物件，而後者可用來製造切削工具。

又如，在同一爐中熔煉出來的液態合金（生鐵），在兩種不同的條件下進行澆注：一為不加入任何物質而直接注入模中，另一為加入極其微量的合金元素（鎂、矽）後再注模中，結果就得到性能很不相同的兩種鑄件，前者強度低，性質脆；後者強度高且脆性小。

再如，同一成分的合金經不同程度的冷加工則得到性能不同的製件：冷加工程度大者，製件的硬脆性高；冷加工程度小者，則硬脆性小。

所有這些熱、冷加工條件的變更而引起金屬性能的變化是與金屬內部結構的改變密切相關的。因此，金屬和合金的性能就不僅取決於它們的化學成分，而在很大程度上還取決於它們的結構。

金屬學就是一門研究金屬和合金的成分、性能、結構和它們之間相互關係的科學；是研究用改變其化學成分，或用機械、熱處理及其他方法來改善金屬材料性能的科學。

由此可見，金屬學是與許多科學和工藝知識密切聯系的，例如冶煉、鑄工、金屬壓力加工、銲接、金屬切削等。這些工藝課程每天都向金屬學提出許多新的問題，同時也給金屬學提供了豐富的經驗資料。金屬學從各工藝課程中吸取資料，使其本身得到充實和發展；同時金屬學也向各種工藝課程提供出科學的研究成果和新的技術材料，以促進它們的發展。

金屬學是冶金和機械製造各專業的必修課程。無論該專業的畢業生是設計工作者或工藝工作者，在他們生產金屬，選用金屬材料，設計金屬製件，對金屬進行加工等工作中，都要經常不斷地提高金屬產品質量，正確地對金屬進行加工和合理地選用金屬材料，因此必須具備金屬學這一知識。這樣說來，學習金屬學的目的就不僅在於掌握金屬和合金的成分、性能和結構之間變化的規律知識，更為重要的是在掌握這一知識的基礎上，正確地制訂和改進金屬及合金的生產和加工工藝規程，以提高產品的質量和產量，降低廢品率；合理地選擇和使用金屬材料，以充分發揮材料能力，延長其使用壽命，並降低成本。

我國不僅是冶煉金屬和合金最早的國家，並且在很早以前就已掌握金屬和合金的性能與成分之間的規律。

根據廠史資料（周禮工考記、考工記等）記載和對發掘的銅器進行分析，證明遠在三千多年前，中國在殷代和商代就能將冶煉出來的純銅和純錫，按照不同的目的，配制了它們的合金。譬如為提高兵器的硬度，創造了含錫量較高的錫青銅；而創造鐘及鼎用的合金則含錫量較少；為了節省錫料而創造鉛錫青銅以制成

生活用具，如針、錐、裝飾用品等。

在兩千多年前的“呂氏春秋”這一著作中，記載了古代對於銅錫合金性質的研究結論，這一結論是同現代金屬學的原理相符合的。

宋沈括在距今八百多年前，在其所著“夢溪筆談”的著作中記載了古代人民對鋼和鐵性質的了解和正確的應用。譬如爲使劍刃鋒利而劍身柔韌，則劍刃宜用鋼制，而劍身宜用柔鐵。

在十四世紀明朝曹昭所著的“格古要論”（1388）一書之金鐵論中，記載了檢查金、銀、銅、鐵及其合金的綜合方法，其中以粗視分析法爲主。該書提供了通過粗視結構的觀察和分析以判斷金、銀及其合金的質量；同時爲了考查金和鋼鐵的質量，還利用了不同的浸蝕劑。

這一著作總結性地記載了長時期來，我國古代人民考查金屬方法的成就。並且對制備金屬粗視試面的整個過程完全與現代金屬中檢查金屬粗視試面的過程相符合。截至目前爲止的國際史料而論，可以說明金屬的粗視分析法是我國古代勞動人民首先應用的。

我國古代在金屬熱處理方面也有許多輝煌的成就。在東漢班固所著“漢書”中王褒傳上說：“清水淬其鋒”。這就說明遠在漢朝就能用熱處理方法使刀劍更爲堅硬和鋒利。

在明朝宋應星所著的“天工開物”（1637）一書中總結了我國古代在鋼鐵熱處理方面所積累的成就。該書首先說明熱處理的作用，並指出爲了提高鋼鐵的強度和硬度，只有通過熱處理來達到，否則弱性仍存；其次該書對各種工具和農具（如銼、鉋、鋸、斧、鋤等）的熱處理方法及效果加以詳細說明。這些記載都是合乎近代熱處理原理的，而時間却是在距今三百多年前。

必須指出，所有上述文獻記載中的成就都是在民間應用已很普遍，流傳已經久遠，才經個別有志之士編寫成文，載入史冊。然而，由於我國長期處於封建制度的束縛下，我國古代勞動人民所取得的科學技術上的光輝成就就未能得到系統的整理和充分的發

展。

自十九世紀末葉以來，金屬學之所以成為一門新興的獨立的科學，並在目前取得很大的成就，是與俄國學者和蘇聯科學家們的工作分不開的。其中 A. K. 契爾諾夫是金屬學的奠基人，他首先用肉眼發現鋼的臨界點，即當鋼加熱到一定程度時鋼的狀態發生轉變，確定了這一轉變對鋼結構和性能的影響，並建立了第一個不同含碳量鐵合金的熱處理轉變狀態圖；他還創造了科學的金屬結晶理論，並解說鑄錠的構造。蘇聯的化學家 H. C. 庫爾納可夫創立了物理—化學分析法，並首先用此法來確定合金的成分、結構與性能之間的關係。蘇聯的其他科學家們，如 G. G. 斯捷因別爾格、A. A. 包奇瓦爾、Г. B. 庫爾久莫夫等人，他們在發展金屬學理論和解決金屬學中最重要和最複雜的問題上作出了卓越的貢獻，並培養了許多年青一代的金屬學家。

我國解放後設立了從事近代金屬學的專門科學研究所，在冶金工廠和金屬加工工廠中建立了金屬學試驗室，在高等工業學校中也設立了許多用現代技術裝備起來的金屬學實驗室，這對發展我國金屬學，解決金屬生產中的問題，以及為培養年青一代的科學家們無疑地起了極為重要的作用。

當代鑄造事業中最大成就之一的球墨鑄鐵的制造和應用，在我國金屬學工作者和生產部門密切的配合下，所取得的成就可列於世界先進科學水平的行列。

為了充分利用我國礦產資源，節約我國稀有而貴重的合金元素，金屬學者們在尋求和創造新型合金方面也取得一定的成就，並已着手建立我國自己的合金鋼系統。

黨向全國人民發出號召，要在十二年內在主要方面趕上世界先進的科學水平，並在十五年內在鋼鐵和主要工業產品趕上和超過英國。為了達到這個目的，我國金屬學家們正在努力向科學大進軍，並配合其它的科學和工業部門將這一偉大目的早日實現。

金屬學是由下面五大部分所組成的：

1. 金屬的結晶構造：是研究各種金屬的晶體構造及其特

點，金屬由液態轉變為固態的結晶過程和影響這一過程的因素來理解鑄造金屬的構造，以及在固態下當溫度改變時金屬內部結構所發生的變化。

2. 合金系：是研究合金的構造，合金在不同溫度時所處的狀態，以及合金的成分，結構和性能之間的關係。

3. 金屬和合金的研究和試驗方法：是研究和分析金屬的結構和缺陷，以及試驗和測定金屬的性能。

4. 鋼的熱處理：是研究鋼在加熱和冷卻時結構和性能變化的規律，以及為獲得一定性能的鋼所需的方法。

5. 金屬材料：是研究各種成分合金（碳素鋼，合金鋼，鑄鐵，有色金屬和粉末合金）的結構、熱處理、性能以及它們的用途。

第一章 金屬的結晶構造

第一節 金屬的晶體構造

I. 晶體與非晶體

一切固態的物質都是由許多極其微小的質點——原子（分子、離子）所組成。在固體狀態下，根據原子在空間排列的方式，可將固態物質分為晶體與非晶體。

所謂晶體，就是原子按一定次序作有規排列的物體。相反，原子作無次序而紊亂狀態存在的物體，稱為非晶體。

物質內部的原子是否按一定次序排列，是利用 x 射線分析法進行測定的。

晶體與非晶體的區別不僅表現在內部結構上，還表現在許多性能（物理、機械及其它）方面。顯然，性能上的差別與內部結構是密切聯系着的。

非晶體物質（如松香、樹膠、石蠟、玻璃等）沒有固定的熔點，當升高溫度時，凝結較牢固的非晶體物質就逐漸轉變為有顯著流動性的液體。當冷卻時，液體逐漸稠化，變成固態。由此可見，非晶體實質上就是一種黏度很大的液體。此外，非晶體的性能並不隨方向而改變，因為在各個方向上，原子聚合的密度大致相同，這就表現出各向同性，或稱為無向性。

晶體有固定的熔點。當溫度升高時，晶體轉變為液體是在溫度不變的情況下進行的。此外，由於晶體在不同的方向上，原子排列的密度不同，因而就表現出晶體的性能（機械的、物理的、化學的、）隨方向而異，即表現為晶體的異向性。

所有固態的金屬和合金都是晶體。圖1和圖2表示在顯微鏡下看到的金屬晶體構造（在這裡不能看出原子在晶體內排列的次序）。

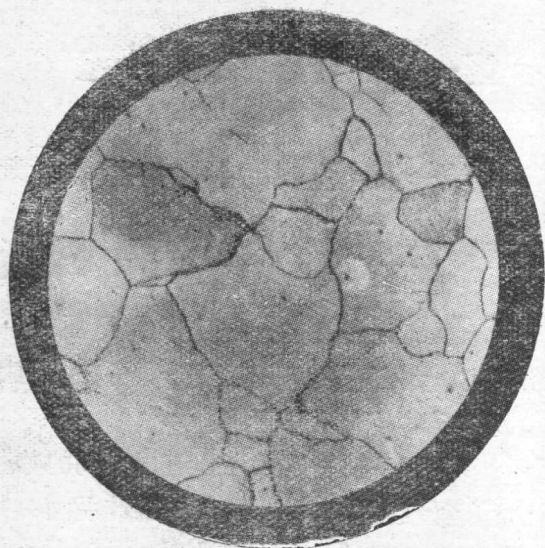


圖 1 純銅的顯微結構($\times 200$)

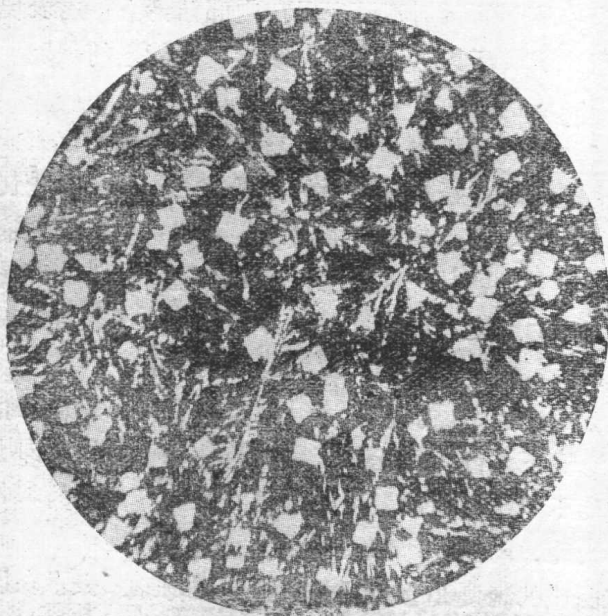


圖 2 錫、鎳銅合金的顯微結構($\times 200$)

晶體是由許多原子有規則排列成的所謂結晶格子（或叫空間晶格）所組成。空間晶格如圖 3 所示。在空間晶格中，由許多平面在各行列上的相交點，稱為晶格結點。晶體內部的原子（分子、離子）重心就是在這些結點上。

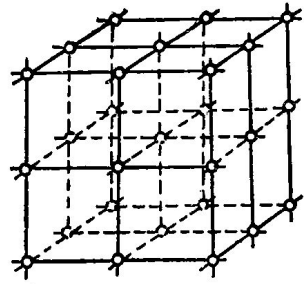


圖 3 空間晶格

什麼力量使金屬原子牢固地聯結在晶格結點上呢？

II. 金屬的結合

金屬原子間的結合是由於帶電荷的正離子與電子之間的相互作用而引起的。在金屬的原子結構中，最外層的電子是價電子（或稱自由電子），其數目較小，它們與原子核的結合力很弱，容易脫離金屬原子，在金屬內部，即正離子的間隙處作自由運動，構成所謂“電子氣”。電子氣中的任一電子不是固定屬於某一個原子，而是屬於整個金屬中的正離子。因此，可以將金屬看作一個大的分子，它是由帶正電荷的離子與電子氣構成的，如圖 4 所示。這樣說來，位於晶格結點處的並不是中性原子了，而是帶有正電荷的離子。

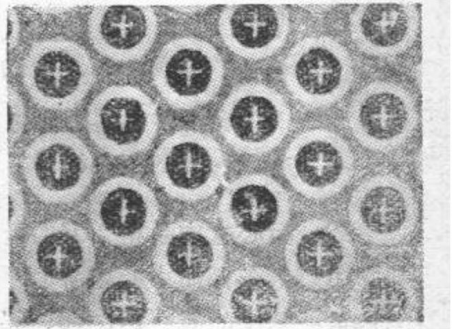


圖 4 金屬構造示意圖

在晶格結點上為正離子；在晶格結點間隙處為自由電子

由於各種金屬原子的構造不同，因而原子在空間排列成不同的晶格。

III. 金屬晶格的主要類型及其特徵

為了便於研究原子在空間晶格上排列的特徵，則從晶格上取下一個單位晶格，或稱晶胞，如圖 5 所示。如果這個單位晶格的

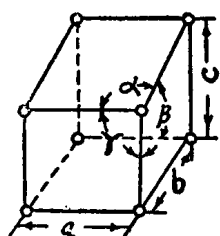


圖 5 單位立方晶格
一晶胞

各稜邊長度相等，且相互垂直 ($a=b=c$, $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$)，則叫做簡單立方晶格。

金屬的晶格遠比簡單立方晶格複雜，最常見的有下面三種晶格類型：

1. 體心立方晶格 它的特徵是在立方晶格的各結點上和立方體的中心處各有一原子，如圖 6, a 、 b 、 c 所示。屬於這一類型的有：鉻、鈮、鉬、錫、 α 鐵（當溫度在 910°C 以下以及 $1390\sim 1535^\circ\text{C}$ 之間）等。

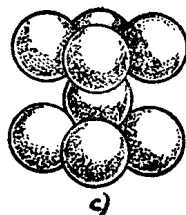
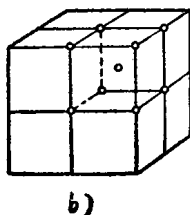
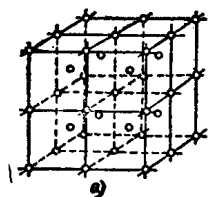


圖 6

a —體心立方晶格； b 和 c —體心立方晶胞

2. 面心立方晶格 它的特徵是在立方晶格的各結點上，以及立方體的各個面中心處各有一個原子，如圖 7, a 、 b 、 c 所示。屬於這一類型的有：鋁、銅、鎳、金、銀、 γ 鐵（當溫度在 $910\sim 1390^\circ\text{C}$ 時）等。

3. 密集六方晶格 它的特徵是一個六方柱體，除去上下兩面的各結點上及其面中心處各有一原子外，在六方柱體中心處還有三個原子，如圖 8, a 所示。屬於這種類型的有：鋅、鎂、錳、 α 鈷、 β 鉻等。

還有一些為數不多的金屬，它們的晶格有的是正方晶格（立方晶格的某一邊較其它二邊長些），如圖 8, b 所示；有的是斜方晶格（三晶軸互相垂直而不等長）。

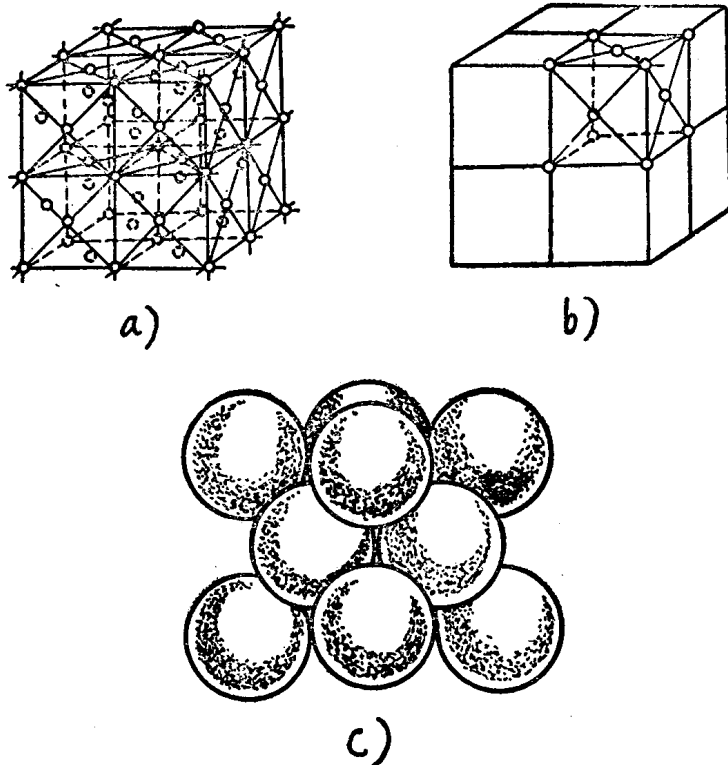


圖 7

a—面心立方晶格; b 和 c—面心立方晶胞

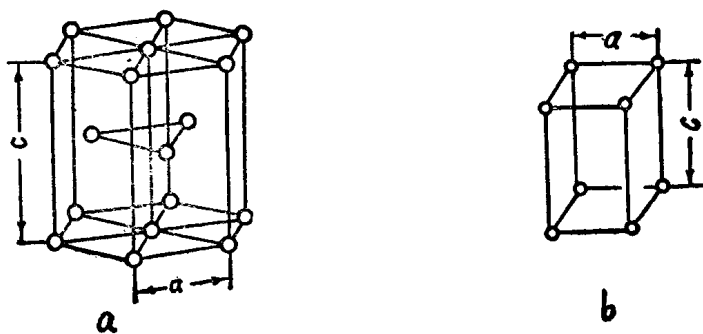


圖 8

a—密集六方晶格; b—正方晶格

表 1 是形式稍加改變的門德雷也夫元素週期表。各種元素的晶格類型均在表中載明。

表 1

門德雷也夫元素週期表

週期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	1 H 	元素的結晶構造  面心立方晶格  體心立方晶格  金剛石型立方晶格  六方晶格  正方晶格  斜方晶格																	
2	3 Li 											4 Be 	5 B 	6 C 	7 N 	8 O 	9 F 	10 Ne 	
3	11 Na 											12 Mg 	13 Al 	14 Si 	15 P 	16 S 	17 Cl 	18 Ar 	
4	19 K 	20 Ca 	21 Sc 	22 Ti 	23 V 	24 Cr 	25 Mn 	26 Fe 	27 Co 	28 Ni 	29 Cu 	30 Zn 	31 Ga 	32 Ge 	33 As 	34 Se 	35 Br 	36 Kr 	
5	37 Rb 	38 Sr 	39 Y 	40 Zr 	41 Nb 	42 Mo 	43 Tc 	44 Ru 	45 Rh 	46 Pd 	47 Ag 	48 Cd 	49 In 	50 Sn 	51 Sb 	52 Te 	53 I 	54 Xe 	
6	55 Cs 	56 Ba 	57 La 	58 Ce 	59 Pr 	60 Nd 	61 Pm 	62 Sm 	63 Eu 	64 Gd 	65 Tb 	66 Dy 	67 Ho 	68 Er 	69 Tm 	70 Yb 	71 Lu 	72 Hf 	
7	87 Fr 	88 Ra 	89 Ac 	90 Th 	91 Pa 	92 U 				93 La 	94 Ce 	95 Nd 	96 Sm 	97 Eu 	98 Gd 	99 Tb 	100 Dy 	101 Ho 	102 Er 

晶格的大小是用晶格常數來表示的。立方晶格的大小用一個常數 a 來表示 (圖 5)，六方晶格和正方晶格的大小用兩個常數來表示，即 a 和 c ，或 c/a (圖 8, a 、 b)。

原子的大小和晶格常數都是用一種特別的單位來計量的，這種單位叫做埃 ($\text{\AA}$)； $1\text{\AA} = 10^{-8}$ 公分。

在金屬晶體中立方晶格的常數 a 為 $2.5 \sim 5.5\text{\AA}$ 。由此可見，晶格在大小上的差別是有限的。在上述週期表中，凡同屬一組且具有同一類型晶格的諸元素，其原子序數愈大者，晶格常數也愈大。

下面將討論與單位晶格密切相關的幾個特性，這些特性對認識金屬的各種性質 (密度、溶解度、晶格轉變時體積的變化等)