

本书是苏联机械制造和冶金高等学校同名课程的教科书。书内阐述了金属与合金的热学性质，膨胀，磁性，电性，弹性及其它性质。本书的主要内容是物理性能与组织成份的关系，以及用物理方法来解决金属与合金的金相学与热处理的问题。

本书也适合工厂试验室和科学研究院的工作人员阅读，本书由钢铁学院金属物理教研组集体校订。

Б. Г. Лившиц

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Машигиз (Москва 1956)

* * *

金属与合金的物理性能

王润等译

(根据冶金工业出版社纸型重印)

*

第一机械工业部教材编审委员会编辑 (北京复兴门外三里河第一机械工业部)

中国工业出版社出版 (北京佟麟阁路10号)

(北京市书刊出版事业许可证出字第110号)

机工印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 850×1168 $\frac{1}{32}$ ·印张 12 $\frac{3}{4}$ ·字数 320,000

1959年9月北京第一版

1961年6月北京新一版·1961年11月北京第二次印刷

印数 01,031—04,130·定价: 1.40元

*

统一书号: 15165·520(一机-82)

原
书
缺
页

原
书
缺
页

作者为中譯本寫的序言	6
前言	7
第一章 金屬元素和化合物	9
第二章 热容和热函	26
基本数量及其关系	26
量热計法和热分析法	27
金屬的热学性質	40
合金的热学性質	54
第三章 磁性	67
A. 抗磁性与順磁性	70
順磁和抗磁磁化率的測量	73
金屬元素的性質	74
熔化、多型性轉变和加工硬化的影响	77
金屬相和多相合金的性質	78
B. 鉄磁性	83
磁化曲綫与磁滯迴綫	83
鉄磁性的測量方法	87
測定磁性的冲击法	87
去磁因数	95
磁强計法	100
在封閉磁路中的測量法	100
測量用发电机	104
甩脫法	107
磁化和去磁的物理本質	107
自发磁化	108
磁化过程	114

金屬和金屬相的性質.....	133
多相合金的性質.....	147
鐵磁合金的相轉變和組織轉變的研究.....	148
平衡相圖的研究.....	148
鋼的退火、淬火和回火的研究.....	154
過冷奧氏體的分解及轉變的研究.....	159
合金時效的研究.....	175
晶體結構的研究.....	168
磁性材料.....	169
變壓器鋼和軟磁材料.....	170
永磁合金.....	180
熱磁合金.....	188
第四章 電學性質.....	189
基本定義.....	189
電阻的測量方法.....	190
關於金屬導電性的一般概念.....	199
純金屬電阻與溫度及壓力的關係.....	205
金屬冷加工及退火的影響.....	211
固溶體的電阻.....	215
不均勻固溶體.....	235
金屬的化合物.....	239
中間相.....	242
多相合金的導電性.....	244
冷加工對多相合金電阻的影響.....	250
在金屬學中電學分析的应用.....	251
導體合金及電阻合金.....	265
第五章 導熱性.....	270
基本定義和依存關係.....	270
導熱率的測量方法.....	277
工業合金的導熱率.....	282

第六章 热电性.....	291
基本现象与规律.....	291
合金的热电性.....	296
热电势测量法在金属学中的应用.....	298
热电偶用金属和对铜有低热电势的金属.....	304
第七章 密度及热膨胀.....	307
金属及合金的密度.....	307
热膨胀.....	323
测量转变体积效应及热膨胀的方法 (膨胀仪法).....	345
热处理的膨胀仪研究.....	354
第八章 弹性.....	362
基本量的定义.....	362
金属的弹性.....	364
合金的弹性模量.....	367
弹性的铁磁性反常现象.....	370
超声波探伤.....	374
第九章 内耗.....	377
内耗的模型概念.....	377
固体中弛豫现象的不同机理.....	382
内耗的测量.....	384
频率的改变.....	386
不同因素对内耗的影响.....	387
金属的内耗.....	390
合金的内耗.....	392
用内耗法解决金属学中间题的例子.....	393
附录 (元素的一些物理性质).....	396
参考文献.....	403

作者为中譯本写的序言

这本书能以伟大的中国人民的文字出版，确是我无上的光荣。尤其使我感到高兴的是：听说在中国看过这本书的不但有学生，而且有科学工作者，其中有不少人我早在他们所发表的论文中就久仰其名了。在这次访问中国期间能和他們亲自交谈，使我感到极大的愉快和兴奋。

本书的翻译工作是由我的学生王潤等同志完成的。我希望我的同行們——中国金属学家們——能借中譯本的帮助对这本书給以批判性的意見，以便再版时加以修正提高。

这本书的中譯本是在俄文本出版两年半以后完成翻译的，有些地方还没有来得及修正补充，这是要請讀者原諒的。

我希望，在中国出版这本书的中譯本将是我在伟大的中苏人民友誼中所作出的一点微小的貢獻。

Б.Г. 李夫舍茨

前 言

按照机械制造和冶金高等学校的课程教学大纲，本书属于金相学的范围。其中可把合金的成份和组织看作“自变数”，而物理性质是“函数”。书中所探讨的物理性质有：热学性质、体积、磁性、电性、热电性、弹性和内耗。至于与测定金属及合金在不可逆形变或断裂情形下的强度有关的机械性质，不在本书探讨范围之内。

金属和合金的物理性质与成份及组织之间的关系是本书的基本内容。与此同时（更准确地說，就是为了研究这种关系）本书将探讨关于各种性质的基本规律和测定这些性质所用方法的原理。用物理方法来解决金属及合金的金相学和热处理的问题在本书各章中将处于首要地位。这些就是本课程和本书的基本任务。

作者还企图通过适当的叙述方法来解决另一个任务，这就是用工程上的语言（即通过研究合金工艺学的实验室所积累的事实）来阐明重要的物理规律。本书的第一及第二版本^①曾成为工厂实验室和产业部门研究所工作人员的参考书，根据这一事实和作者的讲授经验使作者有理由期望他对解决以上提出的任务所采取的途径是正确的。

本课程在苏联各高等学校是在物理、化学、金相学、X-射线学和合金热处理诸课程之后讲授的。

此书本版重行编写了很多。新增加了弹性模量（第八章）和内耗（第九章）两章。结合金属在门德列耶夫（Менделеев）周期表中的位置对纯金属的性质作了更广泛的研究。

^① В.Г. Лившиц, Физические свойства черных металлов, Металлургия, 1937.

В.Г. Лившиц, Физические свойства сплавов, Металлургия, 1946.

變更了叙述合金性質的次序。先叙述各相（固溶体、中間相、化合物）的性質，然后写多相混合体的性質。在可能的地方，描述了单相合金中相的类型的影響和多相系中各种性質的組織敏感性。大大刷新了有关磁性，比热和热膨胀的各章。較詳細地研究和討論了传导性問題（对馬特辛〔Маттисин〕，維德滿-佛兰滋-劳仑兹〔Видеманн-франц-Лоренц〕等定律的偏离）。探討了金屬化合物的半导体性質等。

第九章是技术科学副博士 Ю.В. 皮古索夫（Пигузов）所写；第七章中有一部分是技术科学副博士 Н.А. 索洛維也娃（Соловьёва）所写；所有其余部份都是本書作者所写。

莫斯科斯大林鋼学院金相教研組同志，特别是技术科学副博士 В.С. 尔沃夫（Львов），参加了原稿的准备工作，对原稿进行了討論并提出了意見。作者对此表示感謝。

作 者

第一章 金屬元素和化合物

以我們的直接感觉作基础，金屬可以描述为具有金屬光泽（即能很好地反射光能）和良好的导热性的物体。金屬具有較其他元素为高的导电性。这种性質大概是金屬最典型的性質。将元素区分为金屬与非金屬时，导电性是最好的标准。

若在金屬体的两点間产生电位差，則在金屬中便发生自由电子的定向流动。

原子是帶正电的核，在他的周围分布着电子，电子的数目等于元素在周期表中的原子序数。按照波耳 (Бор) 的模型，电子是成层的分布着，并且距核最远的电子可以認為是相对地自由的。电流正是由这些电子形成的。所以金屬的导电性叫做电子导电性。这种导电性的特点是当电流通过时不發生物質原子的迁移，这一特点正是电子导电性区别于离子导电性的地方。由于运动着的电子与金屬中原子（离子）的碰撞引起后者的动能增加，結果传导体被加热，并放出焦耳热。

按照現代的观点，金屬含有自由电子，他們与位于点陣結点上的正离子保持热平衡，結果好像形成了为所有空間点陣共有的电子气。不但金屬导电借助于电子气，而且导热也是如此。金屬的热传导在很大程度上可以解释为自由电子間和他們与点陣离子的碰撞而进行的能量传递。热电流也可以看作是热端电子的迁移。

自由电子迁移的可能性可以从伏特首先作出的实验中看到。假若将 A 和 B 两种金屬接触（預先用接地法去电），則在分开后他們将或多或少的带电，他們中的一个将帶正电，另一个将帶負电。显然，在金屬接触时电子气曾由他們中間的一个迁移到另一个去。

在原子最外层的电子叫做价电子，因为在形成金屬化合物（金屬間化合物，金屬和非金屬的化合物），固溶体和其他相时

由他們實現化學結合。

點陣中金屬原子間的金屬結合的存在也歸功於自由電子。對這種結合的本質研究的還不夠。應當着重指出的是，在純金屬中具有最高對稱和最密致排列的點陣。

從這些例子可以看出，金屬的性質在很大程度上決定於價電子相對的自由程度。這個特點從本質上區別開金屬和非金屬。金屬的物理性質為自由電子和陽離子所決定，在每個陽離子中實際上集中了整個原子的質量。在敘述每一性質時，需要注意離子和共有電子的相互作用。

在表 1 中載有門德列耶夫週期表和所有元素自由原子最外層的電子數。原子中所有電子按能級排列。這些能級按升高的次序表示為：1s, 2s, 2p^①, 3s, 3p, (3d, 4s), 4p, (4d, 5s), 5p, (5d, 4f, 6s), 6p, 7s, 6d, 5f。電子能級的填充按以上所述次序進行。括號中的能級是幾乎相等的，在各元素中的次序各不相同。為了闡明原子所有的全部電子，需將附於其下的電子數加上最近的前一惰性氣體的全部電子數。為了數出一惰性氣體的全部電子數，則需將附於其下和附於以前所有惰性氣體的電子數（在第 18 列中）相加起來。

例如，銻原子有以下的電子：

Zr									
1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	5s
2	2	6	2	6	10	2	6	2	2
He									
Ne									
Ar									
Kr									

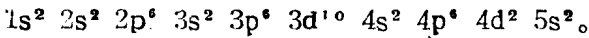
電子總數 40 等於銻的原子序數。這裡從表 1 計算了在銻下的 4d, 5s 電子和由 He, Ne, Ar, Kr 下的電子數目組成的氬的總電子數。銻的電子可以寫出下式：

① 原書中無 2p—躍遷。

表 I

門德列耶夫周期表和自由原子的外層電子數

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1s	H 1												B 2 1	O 2 2 2	N 2 3 3	O 2 4 4	F 2 5 5	He 2
2s		Be 2																Ne 2 6
2p																		Ar 2 6
3s																		
3p																		
3d																		
4s																		
4p																		
4d																		
5s																		
5p																		
4f																		
5d																		
6s																		
6p																		
5f																		
6d																		
7s																		
	Fr 1	Ra 2	Ac 2 1 2	Th 2 2 2	Pa 2 1 2	U 3 1 2	Np 4 1 2	Pu 5 1 2	Am 7 — 2	Cm 7 1 2	Bk 9 — 2	Cf 10 — 2	Tl 14 14 14	Pb 14 14 14	Bi 14 14 14	Po 14 14 14	At 14 14 14	Rn 14 14 14



在表 I 里沒有引証 La 和 Hf 間的 稀土元素。他們各有 2 个 6s 电子和 1 到 14 个 4f 电子。

絕大多数的元素是金屬，值得注意的是在第 4、5、6 周期中，在从 Sc 到 Ni、Y 到 Pd、La 到 Pt 的各金屬中，3d、4d、5d 的填充是在其后的 4s、5s 和 6s 已滿之后进行。这些 d 层未填滿的金屬叫做过渡金屬，而其余的金屬，即 d 层已全滿或完全未填者，叫做普通金屬。以后将会看到，按他們的性質說，过渡金屬与普通金屬有很大的区别。

在金屬和非金屬之間划绝对的界限是不可能的。在 IV、V、VI 族（表 I 中的 14、15、16 豎行）的普通元素中有介于金屬和非金屬之間元素。Si、Ge、As、Se、Te 和 α -Sn（灰錫）六元素属于这一类。例如，在 V 族里随着原子序数的增加，逐渐由非金属（N、P—絕緣体）向有高导电性的金屬（Sb、Bi）过渡。属于半导体的 As 位于他們的中間。在 IV 和 VI 族（14 和 16 豎行）中也有同样的情形。H、He、B、C（金剛石）、N、O、P、S、卤族元素和惰性气体，无疑地属于非金属。其余的元素都是金屬。

金屬与非金屬的区别，可以用从孤立原子取出連系最松的电子所需的功来标志。这功叫做电离势，以电子伏特为单位表示。各元素的电离势列在表 2 中。从这里可以看出，在門德列耶夫周期表的每一周期中，随着原子序数的增加，电离势也增大，到惰性气体达到极大值。这是由于当原子序数增加时核的电荷也随之增加，从而核对最外电子的束縛作用也随之增加。具有最大的电离势是惰性气体的特征。这是由于他們的电子层結構完善的结果。当从惰性气体向繼其后的硷族元素过渡时，电离势急剧减少，这表示核与附加的 S-电子的結合合力不大。

从表 2 可以看出，非金属有較金屬为高的电离势，其值在 10 电子伏特以上（硼除外）。金屬有比这低的数值，在絕大多数情

形下介于从4到9电子伏特之間。中間元素 (Si、Ge、As、Se、和 Te) 的电离势为 8~10 电子伏特。

表 2

原子的电离势 (一次电离), 电子伏特

H 13.53	He 24.47	Li 5.36	Be 9.28.	B 8.25	C 11.21	N 14.47	O 13.55	F 18	
Ne 21.46	Na 5.11	Mg 7.61	Al 5.96	Si 8.10	P 11.0	S 10.31	Cl 12.96	Ar 15.69	
K 4.32	Ca 6.09	Sc 6.7	Ti 6.81	V 6.76	Cr 6.74	Mn 7.40	Fe 7.83	Co 8.5	
Ni 7.61	Cu 7.68	Zn 9.36	Ga 5.97	Ge 8.09	As 10.5	Se 9.70	Br 11.5	Kr 13.94	
Rb 4.16	Sr 5.67	Y 6.5	Zr 6.92	Mo 7.2	Ru 7.7	Rh 7.7	Pd 8.3	Ag 7.54	Cd 8.96
In 5.76	Sn 7.30	Sb 8.35	Te 8.96	J 10.5	Xe 12.08	Cs 3.87	Ba 5.19	La 5.59	Ce 6.54
Pr 5.76	Nd 6.31	Sm 6.55	Eu 5.64	Gd 6.95	Tb 6.74	Dy 6.82	Ib 6.23	W 8.1	Os 8.7
Pt 8.88	Au 9.19	Hg 10.38	Tl 6.07	Pb 7.38	Bi 7.25	Rn 10.70	Ra 5.25		

在非金屬晶体中作用着共价結合, 这由属于二邻原子的价电子成对結合实现。作为典型非金屬的金刚石的每一原子給出其最外层的四个电子 ($2s^2 2p^2$) 与四个邻原子形成共价結合。結果, 金刚石的空間点陣以具有配位数 4 为特点。与金刚石同一族的、叫做金屬和非金屬間的中間型的并具有金刚石型点陣结构的元素 (Si, Ge, α -Sn), 也有配位数 4。这些元素有一些金屬屬性, 原子序数愈高表現愈显著。因之, 可以認為在 Si、Ge、 α -Sn 中的价电子較在金刚石中的为自由, 并且与点陣中的离子結合較弱。对于孤立原子, 这种看法可以从原子的电离势由 C 到 Sn 的減弱所証实。

从以上所述, 可以看出在金刚石、Si、Ge 和 α -Sn 的晶体中配位数等于 $8-N$, 这里 N 是价电子数, 也即等于門德列耶夫周期表中“族”的号数。这对于其他高价元素也适用。

配位数为3的As、Sb和Bi (V族) 有較复杂的菱面晶系的点陣。配位数为2的Se和Te (VI族) 有更复杂的由原子螺旋鏈形成的点陣。这种原子鏈是由比較弱的范德瓦尔斯 (Ван-дер-Ваальс) 力結合的, 它們是从晶体的原子結構向分子結構的过渡形式。例如, 配位数为1的碘 (VII族) 晶体是由以弱的范德瓦尔斯力結合的双原子的分子所形成。

随着非金属元素的原子价的增加, 他們点陣的結合强度和致密度减少。高价 (从4到6) 中間元素有某种程度的金属性質, 其原子之間的結合, 大概部份是共价的, 部份是金属的。共价結合表現愈完善, 則实现共价結合的价电子愈不自由。这些电子处于被他們結合的二原子之間, 他們在空間点陣中其他位置找到的几率是很小的。这表明非金属点陣中結合是有方向性的, 这已用实验方法証明 [1]。

在金属中价电子是公有的, 不是属于一对相邻的原子, 而是属于整个晶体的。每一电子在任一离子附近的几率是一样的, 这就引致金属中結合的无方向性。配位数不决定于金属元素的价数, 并且几乎对所有的金属都很高。通常, 金属的空間点陣都致密而且高度对称。大多数金属具有配位数为12的面心立方和六方密排点陣和有配位数为8的体心立方点陣。

以下金属具有这种点陣:

面心立方: α -Ca, β -Ce, Sr, Th, Pb, α -Sc, β -La, Ni, Ag, Au, Pd, Pt, Rh, Ir, γ -Fe, Cu, β -Co;

体心立方: Cs, Rb, K, Na, Li, β -Ti, β -Tl, β -Zr, Ta, α -W, Mo, V, α - (δ -) Fe, Cr, Nb, Ba;

六方密排点陣: Hf, Mg, α -Ti, Cd, Re, Os, Ru, Zn, α -Co, Be, β -Ca, β -Sc, Y, α -La, α -Tl, α -Zr。

为了研究合金的物理性質和他們的組織的关系, 首先需要描述合金中形成的金属相。現在只能經驗地将金属系統中的固体相分类, 因为原子間的結合的理論还远未成熟。在描述元素的化学

相互作用时，認為他是由离子結合，共价結合和金屬結合实现。关于結合的类型这里不准备詳細叙述。

化学結合的存在是由元素形成各种金屬相和其他相的前提。金屬和非金屬电离的原子間的靜电（离子）結合，是由于金屬元素易于給出价电子，他們归併到非金屬元素。这样，金屬和非金屬原子有異号电荷并相互吸引，并由此实现他們間的結合。

为了标志金屬相，金屬結合和共价結合有最重要的意义。像很多离子化合物一样，金屬相結晶成原子晶体类型而不是分子晶体类型。

在各种金屬元素的化学相互作用下形成各种相，把它們都叫做化合物也未尝不可。但是金屬化合物这种广泛的定义，对于金屬相的分类毫无益处。以后，为了加强对比，把金屬化合物狭义地了解为有以下特性的相：1) 按物理性質說，它远区别于它的組成元素；2) 有几乎固定的成份，它在很狹的范围内变化，而且可用簡單的原子浓度比写出；3) 由各組成元素形成化合物时具有大的生成热。

在很多情况下，这种化合物有共价結合。

按化学本質說，与純金屬最相近的是在它們的基础上形成的固溶体。它們的成份可能很接近純金屬——溶剂；在这个情况下，固溶体按其性質說将与溶剂区别很少。定性地說，固溶体的原子結構和金屬溶剂的相同，并以金屬結合为其特征。溶解度极限通常随溫度而增加，这种增加可能很大。相同結構的組元可能无限互溶，即組成連續固溶体。

在化合物和金屬固溶体之間有很大一組所謂中間相存在。这些相的性質和結構是多种多样的。他們的成份可能在很寬范围内变化，这一点与固溶体类似。然而它們的点陣結構和性質可能与組元金屬差別极大；它們在平衡相图上的区域与以組元金屬为基的固溶体区域之間有多相区把它們分开。从这些特点来看，中間相在一定程度上又与化合物相似。只有根据結構和性質的實驗數

据，才可判断中間相与化合物相近还是与固溶体相近。

在金屬物理的現狀下，远非所有中間相都可分类。其中很多不能归入具有一定特点的任一組別。但有些中間相可以經驗地分为以下四类：1) 电子化合物；2) 有砷化鎳結構的相；3) 間隙相；4) σ -相。

H. C. 庫尔納科夫 (Курнаков) [2], [3] 的較为普适的分类，是将中間相分为道尔頓体 (Дальгсид) 和別尔多利体 (Бертолид)。道尔頓体的特点是在性質与成份的关系曲綫上在单相区内有“畸異点 (‘сиггулярная точка’)” (按庫尔納科夫)。畸異点与組元浓度的簡單比值点相对应。若在中間相范围内，在性質-成份曲綫上沒有畸異点存在，則此中間相是別尔多利体。按庫尔納科夫和其同事們的数据所作出的 Bi-Tl 系 (图 1) 中的 r -相可作为这种相的例子 [4]。

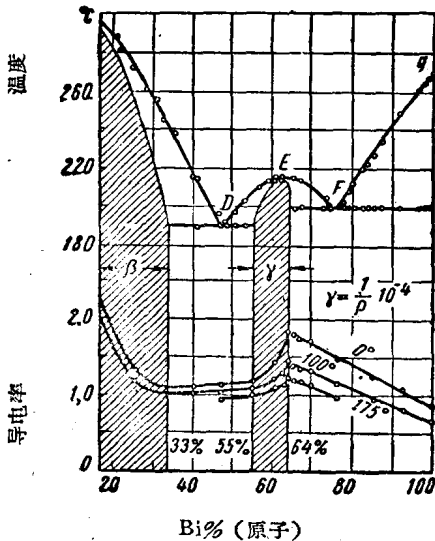


图 1 Tl-Bi 合金的平衡相图和电导率 [4]

前面列出的中間相分类与H. C. 庫尔納科夫的分类不符合。

在电子化合物、有砷化鎳結構的相和其他相中既有道尔頓