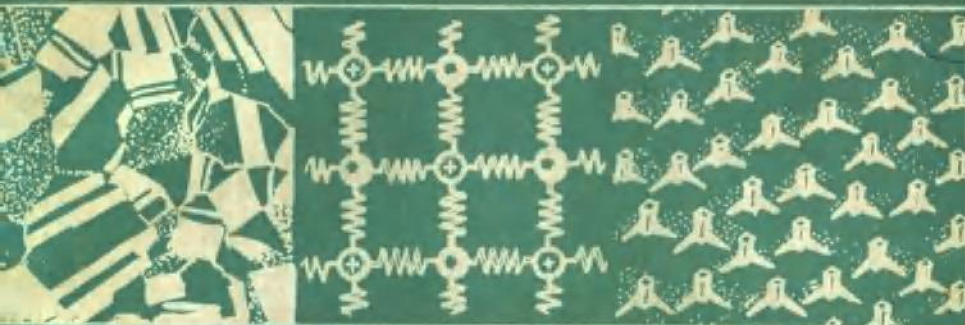


材料科学及测试技术丛书



现代功能材料导论

温树林 编著



严东生等 审阅



科学出版社

内 容 简 介

材料根据用途通常分为结构材料和功能材料。前者利用材料的力学性能,后者则利用其热学、电学、磁学、光学和声学方面的功能。

本书从原子、分子和晶体结构以及显微结构出发,阐明了材料的热、电、磁、光和声等功能特性及其与结构的关系。书中涉及的领域较广,对有广泛应用前景的一些材料,如半导体、超导、热电、压电、防热、激光、声光和红外等功能材料均作了较深入的论述。

本书适用于材料科学和技术工作者,也适用于与材料有关的其他科技人员。对于正在这些领域学习和研究的高等院校师生也有很大的参考价值。

现代功能材料导论

温树林 编著

严东生等 审阅

责任编辑 顾锦梗

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1983年6月第一版 开本:787×1092 1/32

1983年6月第一次印刷 印张:13

精 1—3,600 插页:精3平1

印数:平 1—2,600 字数:294,000

统一书号:15031·494

本社书号:3073·15—10

定价:布脊精装 2.60元
平 装 2.00元

材料科学及测试技术丛书

出版说明

材料科学是现代技术的基础，是具有全局性的重要科学技术领域之一。在国民经济和国防现代化的进程中，往往由于在某些领域中材料的限制而受到影响。因此，必须发展材料科学和工程，促进材料工业为各个部门提供充足和优质的产品。出版这套材料科学及测试技术丛书，目的在于促进科学技术人材的培养，为提高我国材料科研工作和材料生产的理论水平、技术水平服务。本丛书从内容上分为材料科学与测试技术两部分。材料科学部分主要介绍金属、非金属及其他新型材料的研究成果、原理与理论；测试技术部分主要介绍上述材料的宏观和微观组织与结构的观测技术，也介绍有关性能测试和过程机理。读者对象一般为从事材料科学的科研工作者和从事材料生产、应用和测试的工程技术人员以及有关专业的高等院校师生。在编写方法上，我们力求丛书能反映我国材料科学研究工作者和材料工程技术人员的实践经验与成就，以及他们在材料科学与工程方面的见解；同时也要反映国外的最新发展经验和成果。

通过丛书的出版，我们不仅期望对我国的材料科学与技术的发展能起到一定的推动作用，并且对材料科学与技术领域内的科技工作者有所启发，从而进一步写出反映我国科学技术水平和发展方向的专著，以满足广大读者的需要。

材料科学及测试技术丛书编辑委员会

1979年10月

材料科学及测试技术丛书

电子衍射图在晶体学中的应用 郭可信、叶恒强、吴玉琨
金属材料热力学 徐祖耀
马氏体相变与马氏体 徐祖耀
现代功能材料导论 温树林编著 严东生等审阅
钢中的非金属夹杂物 李代锺
光学金相摄影技术 田白玉、杨体强

编辑委员会

主 编：李 薰
副主编：柯 俊 颜鸣皋
编辑委员：冯 端 刘嘉禾 孙珍宝 师昌绪
许顺生 严东生 肖纪美 沈华生
李恒德 范 棠 柯 成 徐祖耀
钱人元 郭可信 郭慕孙 章守华
葛庭燧

科学出版社 出版

地址：北京

前 言

在实现科学技术现代化进程中，发展材料科学具有重大意义。材料科学包括的领域十分广泛，本书仅就功能材料科学中的主要问题进行概略的论述。其中前五章侧重材料和物质的结构；后六章则阐明材料的性能。所谓功能材料，指的是具有特定物理功能的材料。具体说来，是指固体中由原子、离子、电子以及它们之间相互作用所反映出的物理特性。因此，诸如具有核功能的核材料和具有催化特性的化学功能材料等，均不在此书范围之内。本书内容，比较适合于大专院校材料科学系学生作为基础参考书之用。同时，对于刚开始从事材料科学研究的初级研究人员以及一般工程技术人员也有很大的参考价值。

本书写成后，除蒙严东生同志审阅外，还请李德宇、王永令、谭浩然和奚同庚等同志审阅和指导，此外，袁宁儿同志参加了部分编写工作。这里一并致谢。

由于时间和本人水平的限制，书中难免出现错误，欢迎广大读者批评指正。

编著者

1981年1月

符 号 表

原子和原子结构

N	阿佛加德罗常数
h	普朗克常数
k	玻耳兹曼常数
R	气体万用常数
G	重力常数
t	时间
λ	放射性衰变常数
Z	原子序数
E	能量
m	质量
c	光速
e	电荷
ϵ_0	真空导磁率
v	速度
ν	频率
n	能级数
R_H	里德伯常数
p	动量
ψ	波函数
ρ	电子密度
θ	角度

ϕ	角度
Θ	电子密度因子
$U(r)$	径向电子密度
Φ	电子密度因子

化学键和物理键

V	体积
K	弹性模量
F	力
U_0	离子晶体键能
E_0	势能
ΔH	焓变
T_m	熔点
T_v	沸点
X	电负性
ρ	电阻率
Θ_D	德拜温度

分子轨道和固体电子理论

σ	分子轨道
π	分子轨道
κ	波数

ω 角频率
 Ψ 波函数
 ψ 波函数
 σ 电导率
 l 平均自由程
 E_F 费米能级
 v_f 费米能级上电子速度
 $N(E)$ 状态密度

晶 体 结 构

h 晶面指标
 k 晶面指标
 l 晶面指标
 A 赫氏函数
 U 内能
 H 焓
 T 温度
 S 熵
 P 压力
 V 体积
 $W(E)$ 微观状态数
 Q 克分子活化能
 q 原子活化能
 γ 反应速率
 D 扩散系数
 P_v 空位几率
 τ 周期
 G 吉氏函数

材料的显微结构

S^0 零维单纯形
 C' 一维复合形
 n 晶粒数
 r 晶粒中多边形边数
 A_A 面积百分数
 P_P 检测点百分数
 λ 电子波长
 α 角度
 ΔF 高斯焦距
 C_S 球差系数

材料的电性能

J 电流密度
 E 电场强度
 E_H 霍尔电势
 H 磁场强度
 R 霍尔系数
 T 特斯拉
 T_c 临界温度
 U_g 禁带宽度
 D 电位移
 P 极化强度
 P_r 剩余极化强度
 θ 德拜频率
 μ_0 真空导磁率; 永久偶极距

μ 迁移率; 偶极距
 ϵ_0 自由空间介电常数
 ϵ_r 相对介电常数
 α 分子极化率
 α_e 电子极化率
 α_i 离子极化率
 θ_f 居里温度
 τ 松弛时间

材料的热性能

β 膨胀系数
 α 线膨胀系数
 E 杨式模量; 表面有效发射率
 K 体模量
 G 剪切模量
 E_{Au} 辐射单位波长的能量
 F 系统中强度变数
 C 最小独立组分数
 P 平衡时均匀相存在数
 T_w 单色光学厚度
 L_0 洛伦兹函数
 T_F 费米温度
 σ 应力; 电导率
 α 导温系数
 q 热流
 d 密度
 c 热容

K 波矢量
 K 凯式温度
 λ 导热系数
 β_w 消光系数
 ϵ 辐射率
 Q 热量
 C_p 比热

磁功能材料

H 磁场强度
 M 磁化强度
 B 磁感应强度
 H_D 去磁场强度
 N 去磁系数
 V 磁位
 M_s 自发磁化强度; 饱和磁化强度
 K 各向异性常数
 M_r 剩余磁化强度
 H_c 矫顽力
 B_r 剩余磁感应强度
 μ_B 玻尔磁子
 μ 磁矩; 磁偶极子; 导磁率

声功能材料

ρ 介质密度
 γ 定压比热与定容比热比值

c 声速
 I 声强
 p 压力
 n 分贝数
 v 体积流
 M 声阻
 V 体积
 c_A 声容
 μ 粘滞性
 s 稠密度
 P 输出功
 r_{AW} 声阻
 K 晶体常数
 r 复数反射系数
 a 吸声系数

光功能材料

ϵ 介电常数
 n 折射率
 k 吸收指数
 R 反射系数
 μ 微米
 P 功率
 n_0 寻常光折射率
 r 电光系数
 V 电压

θ 旋转角
 λ_0 光电效应长波边界
 S 积分灵敏度
 Φ 辐射通量
 E 光照度
 Q 电荷量
 J_u 辐射角密度

功能转换材料

S_A 材料A塞贝克系数
 S_{AB} 材料A和B相对塞贝克系数
 E_{AB} 塞贝克电动势
 π_{AB} 材料A和B相对珀耳帖系数
 τ_A 汤姆逊系数
 Z_{AB} 电偶灵敏值
 K 机电耦合系数
 N 功率
 H 耗散常数
 ϵ_P 功率灵敏度
 α 温度系数
 J 热功当量
 P_s 自发极化强度
 E 光电池电动势

目 录

符号表	ix
绪论	1
第一章 原子和原子结构	5
1.1 引言	5
1.2 基本粒子	7
1.3 放射性	9
1.4 质量亏损和裂变	12
1.5 氢原子的玻尔理论	13
1.6 波动力学原理	17
1.7 电子状态和电子云密度	20
1.8 元素电子结构的周期性	29
1.9 离解能	31
1.10 电子亲合能	32
1.11 原子的大小	33
第二章 化学键和物理键	37
2.1 引言	37
2.2 键的类型	40
2.3 离子键	43
2.4 晶格能的计算	48
2.5 玻恩-哈伯循环	50
2.6 共价键	54
2.7 极性共价键	58
2.8 杂化	59
2.9 共振	61
2.10 电负性	62
2.11 氢键	65

2·12	金属键	67
2·13	范德瓦尔键	70
2·14	多种键型化合物	71
第三章	分子轨道和固体电子理论	73
3·1	分子轨道的概念	73
3·2	分子轨道的分类	73
3·3	简单分子的电子能级	76
3·4	碳的化合物	80
3·5	薛定谔方程	83
3·6	索木菲理论	87
3·7	布里渊区理论	94
3·8	固体的能带	100
3·9	导体、半导体和绝缘体	103
3·10	晶体的内聚能和状态密度	106
第四章	晶体结构	110
4·1	晶体	110
4·2	空间点阵	111
4·3	元素的晶体结构	115
4·4	米勒指数	119
4·5	密堆积型晶体结构	122
4·6	固溶体和居间相	124
4·7	晶格缺陷	128
4·8	热能与平衡	132
4·9	缺陷热力学	138
4·10	扩散	141
第五章	材料的显微结构	149
5·1	光学显微镜	149
5·2	电子探针和电子显微镜	151
5·3	形貌和显微结构类型	154
5·4	立体显微技术	157

5.5	多晶的显微结构	161
5.6	晶界和烧结	164
5.7	显微结构与材料性能	168
5.8	高分辨电子显微技术	170
5.9	晶格象及其应用	174
第六章	材料的电性能	180
6.1	导言	180
6.2	电导率	181
6.3	散射中心	186
6.4	电阻率与温度的关系	188
6.5	霍尔效应	189
6.6	超导性	192
6.7	超导材料	195
6.8	半导体	200
6.9	本征半导体	202
6.10	杂质半导体	206
6.11	化合物半导体	209
6.12	绝缘体	210
6.13	离子导电	212
6.14	电介质在弱电场中的行为	216
6.15	铁电体	220
6.16	电介质在交变电场中的行为	222
第七章	材料的热性能	226
7.1	热膨胀系数	226
7.2	材料的热膨胀行为	230
7.3	导热系数	233
7.4	声子与热传导	235
7.5	电子与导热系数	242
7.6	辐射热传导	243
7.7	熔点和相律	246

7·8	相平衡和亚稳平衡	249
7·9	热容与蓄热	253
7·10	隔热与防热	256
7·11	隔热材料	262
第八章	磁功能材料	270
8·1	引言	270
8·2	磁学的一些基本概念	271
8·3	磁化过程	277
8·4	铁氧体	281
8·5	磁记录材料	286
8·6	薄膜材料	289
8·7	磁泡材料	294
8·8	永磁材料	296
第九章	声功能材料	301
9·1	声学的一些概念	301
9·2	水声功能材料	306
9·3	超声功能材料	311
9·4	吸声材料	315
9·5	微声	319
9·6	次声	322
第十章	光功能材料	325
10·1	材料的透光性	325
10·2	激光材料	329
10·3	荧光和磷光	337
10·4	红外材料	343
10·5	外光电效应	346
10·6	光敏材料	349
10·7	发光材料	351
10·8	非线性光学晶体	355
10·9	光色材料	356

10·10 光学纤维材料(光纤)	359
第十一章 功能转换材料	362
11·1 热电材料	362
11·2 压电材料	370
11·3 热敏材料	378
11·4 热释电材料	381
11·5 光电转换材料	383
11·6 磁光材料	387
11·7 电光材料	391
11·8 声光材料	393
主要参考文献	398
索引	401

绪 论

功能材料的发展

近二十多年来,关于固体材料的研究,受到人们特殊的重视,这主要是因为固体物理和固体化学的飞速发展给功能材料的研究带来了巨大的进步。目前功能材料的研究,正处于由经验方式过渡到具有一定理论基础的实验科学阶段。现代功能材料和现代结构材料有着共同的学科基础,这就是在物理学、化学和冶金学、陶瓷学等学科基础上发展起来的一门新兴学科——材料科学。

形成材料科学的第一个推动力来自现代化学的发展。人们知道,在化学发展之前,材料的生产仅仅被看成是一种制造技术和工艺艺术。正是现代化学的发展,成功地向我们提供了合成化学以及定性和定量分析化学,从而结束了各种材料制造技术之间互不相关的情况,并把材料的各个分支连结成一个整体。此后,固体物理和现代物理化学、结构化学、结晶化学等的发展,进一步把材料工艺技术发展成为材料科学。它们向材料科学所提供的物理标准、光学显微镜、各类电子显微镜、光谱仪和X射线衍射技术等强有力的研究手段,又大大武装了材料科学。

近年来,量子化学和固体物理一直是比较活跃的领域,在固体凝聚能、超导、电导和磁性的本质方面的研究取得了巨大进展之后,对于固体中的原子、电子组态和所存在的缺陷及其对性能的影响也有了更进一步的了解。

今天,现代技术迫切需要各种性能优异的功能材料。因

此可以预料,在最近的将来它将会在此基础上得到迅猛发展。

功能材料科学与技术

材料科学和技术是不同的领域,然而它们之间并不存在明显的界线。材料技术过去经常采用尝试法,然而它的发展趋势是越来越深刻地建立在材料科学的基础之上。最突出的例子是半导体材料的研究。正是由于物理和化学的发展,才使纯度得到科学的检测和保证,从而使硅、锗晶体管材料最终得以过关。又例如,透明氧化铝的发明过程:陶瓷材料能做到透明,是带有突破性的成果,过去长期的尝试,都没有成功,只有在深入了解烧结过程中原子、空位传递机理之后,透明氧化铝才得以研制成功。虽然,运用尝试法和有目的地试探来合成新材料今后仍然不可避免,但技术依赖科学的趋势会越来越明显。由于材料的各种功能特性对许多因素(如微量杂质、缺陷、表面状态)是敏感的,科学还没有能力做到完全定量地掌握它们。在这种情况下,技术只能试探着前进,然而也还经常有成功的机会,乃至走在科学的前面。

功能材料科学和其他学科的联系

与功能材料研究有关的物理学家、化学家以及冶金、陶瓷、物质结构、晶体学等方面的专家,他们的工作方式是各不相同的。但是,为了解决重大的课题,各学科之间往往保持密切合作,发挥它们各自的特长。我们看到,在受过系统物理和化学训练,目前正从事材料研究的人员中,将有相当数量的人仍然保持着与原有学科的联系。此外,物理、化学和材料工艺学三方面也将更密切地配合,因为没有这种配合要取得任何实质性的进展都将是很困难的。事实证明,为了使现代材料科学取得长足的进展,越来越需要具有基础科学素养的应用

科学家。今天在从事材料科学的学者之中，既有相当数量的物理学家，也有大量的化学家(或物理化学家)和冶金学家、陶瓷学家。事实表明，为了加速材料科学的发展，需要各学科之间的配合。

半导体物理曾一度发展迟缓，但在化学家和冶金学家的共同努力下，在取得了提纯材料方面的重大突破之后，即获得了迅速进展。表面化学的研究曾在很长的时期内处于混乱和肤浅的状态，但是由于高真空和各种能谱研究技术的发展，情况即大为改观。

许多强有力的近代实验手段，如X射线衍射、电子能谱、高电压高分辨率的各种电子显微镜、低温技术、中子衍射和散射、纯化技术以及晶体生长等等，对推进材料的研究都起着重要作用。在材料制备工艺上，杂质和缺陷能做到定量控制，也应归功于电子显微镜和核磁共振仪的应用，因为它们能对原子排列提供几乎是直接观察的机会。

与功能材料研究有关的领域

所谓现代功能材料，是指用于工业和技术中的有关物理功能，即具有特定光、电、磁、声、热等特性的各类材料。它们是能源、计算技术、通信、电子、激光和空间等现代技术的基础。与功能材料有关的领域可列举如下：

有关物理和化学的基础理论；

晶体结构；

能态学(结合能、比热、相平衡、弹性学、膨胀等)；

介电极化(介电、压电、铁电、介电损耗等)；

静态和低频磁学(顺磁学、反铁磁学、反磁学、铁磁学)；

磁共振(顺磁共振、反铁磁共振、铁磁共振、反磁共振、核磁共振)；