

江苏高校品牌专业建设工程资助项目
高等院校应用型本科规划教材

材料物理性能

(第二版)

主编 ● 吴其胜 张霞 副主编 ● 蔡安兰

 江苏理工大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

高等院校应用型本科规划教材

材料物理性能(第二版)

吴其胜 主编



 华东理工大学出版社
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS
· 上海 ·

图书在版编目(CIP)数据

材料物理性能 / 吴其胜主编. —2 版. —上海:
华东理工大学出版社, 2018. 12

ISBN 978-7-5628-5674-0

I. ①材… II. ①吴… III. ①工程材料—物理性能
IV. ①TB303

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 277494 号

内 容 提 要

本书以无机材料的物理性能为主要研究对象,并适当延伸至聚合物等材料,介绍了材料的力、热、光、电、磁的功能转换性能及其发展,介绍了各种性能的重要原理及微观机制、材料成分、组织结构与性能的关系及主要制约规律。阐述温度、压力、电场、磁场、化学介质、力场等环境条件下材料物性的稳定性及其变化过程。简要介绍与物理性能相关的特殊材料,重点介绍现代功能材料。

本书可作为高等院校,尤其是应用型本科院校的无机非金属材料、金属材料、高分子材料与工程和材料物理、材料化学等专业的教材,也可供相关工程技术人员参考。

策划编辑 / 周永斌

责任编辑 / 牛 东 周 颖

装帧设计 / 吴佳斐

出版发行 / 华东理工大学出版社有限公司

地址:上海市梅陇路 130 号,200237

电话:021-64250306

网址:www.ecustpress.cn

邮箱:zongbianban@ecustpress.cn

印 刷 / 上海展强印刷有限公司

开 本 / 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 / 19.5

字 数 / 475 千字

版 次 / 2016 年 10 月第 1 版

2018 年 12 月第 2 版

印 次 / 2018 年 12 月第 1 次

定 价 / 49.00 元

版权所有 侵权必究


序

材料科学是关于利用初级物质构造具有一定功能和使用价值的新物质的科学,主要内容是研究关于成分、合成加工、组织结构与材料性能四者之间的相互关系,其任务是采用科学和经济的方法,设计、合成、制备出具有优异使用性能的材料。粗略统计,在数十万种庞大的材料家族中,95%以上是通过各种手段人工合成或改性过的再制品。按使用性能大体可分为以利用其强度、刚度等力学性能为主的结构材料和以利用物理、化学、生物效应为主的功能材料两大类。

进入 21 世纪以来,材料科学与技术发生了巨大的变革。人们可以利用基础科学和信息技术提供的知识和工具,在物质结构更深的层次上,重新认识传统材料中的某些重大科学问题和关键技术,更精确地设计、合成新材料;更准确地控制、预测其性能,材料科学与技术必将步入前所未有的历史发展新阶段。全球至今尚未出现贯穿从基础理论、高科技到产业化过程的知识体系。因此理解和掌握金属、陶瓷和高分子材料中的共性科学规律、构成新的知识系统,是抢占全球制高点的新挑战。材料在不同的条件下具有独特的力、电、磁、热、光、声等功能,涉及不同层次的组织演化与性能之间的关系。这些关系是材料技术科学的主线和核心,是材料与器件功能多样性的基础,是各种材料设计与制备的共同基础,是创新材料制造科学体系的基础。

《材料物理性能(第二版)》从材料科学理论出发并结合工程实际应用,强调多学科知识的交叉与渗透,介绍材料力学、热学、磁学、介电和光学性能,评价材料的各种性能指标,讲解材料性能指标的测定原理与方法,分析各种内在因素和外在因素对材料各项性能的影响。在内容选取上注重实践、突出应用,使学生能够掌握材料的性能特点、影响因素、检测技术以及实际应用,培养学生的探索精神与创新能力。为正确选择和合理使用材料提供可靠的性能依据,充分发挥材料性能潜力,也为研制新材料,改进和发展加工工艺,以及进行零件或器件的失效分析等方面提供坚实的理论基础和工程应用知识。

《材料物理性能(第二版)》是在第一版的基础上,突出材料物理性能的实践性和应用性,加强性能与具体材料应用的联系,可进一步强化学生的工程实践能力,同时也提高了本教材的创新性、实践性和实用性。因此,本书是一部非常优秀的应用型本科院校材料类专业的教材。

 院士

2018 年 6 月

第二版前言

《材料物理性能》自2006年由华东理工大学出版社出版以来,已作为全国45所高校材料类专业本科教材或研究生教学参考书,受到广泛认同。十多年来,材料物理性能发生了日新月异的变化,光电功能材料、介电材料、压电材料、超导材料、红外材料、光纤材料和信息存储材料的发展更是突飞猛进。

2018年,在“江苏高校品牌专业建设工程资助项目”(Top-notch Academic Programs Project of Jiangsu Higher Education Institutions,简称TAPP)——材料科学与工程专业建设基金(编号:PPZY2015A025)的支持下,为适应材料物理性能的发展,我们对《材料物理性能》2006版进行了修订。本次修订主要针对材料物理性能新进展,对原书的内容进行了更新与补充。通过以物理性能为主线,以物理基础、性能评价和功能材料应用为重点,突出材料物理性能的共性规律,注重各种材料物理性能的共性和特性的关系。加强知识与应用相结合,培育学生的创新思维和综合能力,适合培养宽基础、高素质人才的需要。

本书由吴其胜教授、蔡安兰教授、张霞副教授负责全书再版的统稿工作。由盐城工学院吴其胜教授、蔡安兰教授、张霞副教授、温永春博士参与修订与编写。具体编写分工如下:吴其胜教授修订绪论、第1章;蔡安兰教授修订第2章、第4章;张霞副教授修订第3章、第6章;温永春博士修订第5章。

在修订与再版过程中,编者吸收了使用本教材的教师及同学的宝贵意见,另外本书参考了大量的资料文献,在此向这些文献的作者们表示衷心感谢。本书涉及的知识面较广,限于编者学识水平有限,书中不足与不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2018年6月

前 言

随着市场经济的发展与高等教育改革的深化,应用型本科作为高等教育的一个办学层次,在我国经济发展中的作用和地位越来越显示出强有力的生命力。为适应社会对应用型人才培养的需求,我们对材料科学与工程专业应用型本科人才培养目标、模式和课程体系改革做了探索与实践。为服务于培养目标、课程体系的改革方向和教学要求,在统一协调与优化整合的基础上,编写了体现应用型本科特色的系列教材,《材料物理性能》为其中之一。在编写过程中,主要把握以下几点:

以材料学二级学科——无机非金属材料专业作为平台,适当延伸材料学科相关专业,如金属材料、高分子材料的内容,介绍材料的力学性能、热学性能、光学性能、电学性能、磁学性能及功能转换性能。

着力描述材料力、热、光、电、磁的物理本质;阐述这些材料的物性与成分、组成、结构、工艺过程的关系及变化规律;介绍温度、压力、电场、磁场、辐射、化学介质、力场等环境条件下材料物性的稳定性及其变化过程;介绍与物理性能相关的特殊材料,如现代功能材料。

突出材料物理性能的实践性、应用性较强的内容,强化学生工程基本能力的培养。

对反映材料学科前沿的研究理论仅作一般引入,以拓宽学生的视野。注重教材内容的更新,体现教学改革的阶段性成果。

以务实、适用为原则,简化不必要的数学推导,文字做到少而精。

本教材由盐城工学院吴其胜教授、蔡安兰副教授、杨亚群讲师编写。具体编写分工如下:吴其胜教授编写绪论、第1章、第3章,并负责全书的统稿工作;蔡安兰副教授编写第2章、第4章;杨亚群讲师编写第5章、第6章。

在本书出版过程中,得到了盐城工院校领导的支持,在此表示感谢。

应用型本科教材的编写,只是一种探索,限于编者学识水平有限,书中不足与不妥之处在所难免,恳请各位教师、学生给予批评指正。

编 者

2006年7月

目 录

绪论	1
1 材料的力学性能	5
1.1 应力及应变	6
1.1.1 应力	6
1.1.2 应变	7
1.2 弹性形变	9
1.2.1 Hooke 定律	9
1.2.2 弹性模量的影响因素	10
1.2.3 无机材料的弹性模量	12
1.2.4 复相的弹性模量	13
1.2.5 弹性形变的机理	15
1.3 材料的塑性形变	16
1.3.1 晶体滑移	17
1.3.2 塑性形变的位错运动理论	18
1.4 滞弹性和内耗	22
1.4.1 黏弹性和滞弹性	22
1.4.2 应变松弛和应力松弛	22
1.4.3 松弛时间	23
1.4.4 无弛豫模量与弛豫模量	25
1.4.5 模量亏损	25
1.4.6 材料的内耗	26
1.5 材料的高温蠕变	26
1.5.1 蠕变曲线	26
1.5.2 蠕变机理	27
1.5.3 影响蠕变的因素	29
1.6 材料的断裂强度	31
1.6.1 理论断裂强度	32
1.6.2 Inglis 理论	33
1.6.3 Griffith 微裂纹理论	34
1.6.4 Orowan 理论	35
1.7 材料的断裂韧性	35

1.7.1	裂纹扩展方式	35
1.7.2	裂纹尖端应力场分析	36
1.7.3	几何形状因子	36
1.7.4	断裂韧性	37
1.7.5	裂纹扩展的动力与阻力	38
1.8	裂纹的起源与扩展	38
1.8.1	裂纹的起源	38
1.8.2	裂纹的快速扩展	39
1.8.3	影响裂纹扩展的因素	40
1.9	材料的疲劳	40
1.9.1	应力腐蚀理论	41
1.9.2	高温下裂纹尖端的应力空腔作用	41
1.9.3	亚临界裂纹生长速率与应力场强度因子的关系	42
1.9.4	根据亚临界裂纹扩展预测材料寿命	42
1.9.5	蠕变断裂	43
1.10	显微结构对材料脆性断裂的影响	43
1.10.1	晶粒尺寸	44
1.10.2	气孔的影响	45
1.11	提高材料强度及改善脆性的途径	46
1.11.1	金属材料的强化	46
1.11.2	陶瓷材料的强化	49
1.12	复合材料	53
1.12.1	复合材料的分类	53
1.12.2	连续纤维单向强化复合材料的强度	55
1.12.3	短纤维单向强化复合材料	57
1.13	材料的硬度	58
1.13.1	硬度的表示方法	58
1.13.2	硬度的测量	59
1.14	碳纤维复合材料及其性能	61
1.14.1	碳纤维简介	61
1.14.2	碳纤维的结构与分类	61
1.14.3	碳纤维复合材料工艺	62
1.14.4	碳纤维复合材料的应用	62
1.15	多孔陶瓷材料及其性能	64
1.15.1	多孔陶瓷孔隙的形成	64
1.15.2	多孔陶瓷材料制备技术	65
1.15.3	多孔陶瓷材料性能	67
	习题	69

2 材料的热学性能	71
2.1 热学性能的物理基础	71
2.2 材料的热容	72
2.2.1 热容的基本概念	72
2.2.2 晶态固体热容的有关定律	73
2.2.3 材料的热容及其影响因素	76
2.3 材料的热膨胀	79
2.3.1 热膨胀的概念及其表示方法	79
2.3.2 固体材料的热膨胀机理	80
2.3.3 热膨胀和其他性能的关系	82
2.3.4 多晶体和复合材料的热膨胀	83
2.3.5 陶瓷制品表面釉层的热膨胀系数	88
2.3.6 高分子材料的热膨胀	88
2.4 材料的热传导	89
2.4.1 固体材料热传导的宏观规律	89
2.4.2 固体材料热传导的微观机理	90
2.4.3 影响热导率的因素	92
2.4.4 某些无机材料实测的热导率	100
2.4.5 高分子材料的热导率	100
2.5 材料的热稳定性	101
2.5.1 热稳定性的表示方法	101
2.5.2 热应力	102
2.5.3 抗热冲击断裂性能	104
2.5.4 抗热冲击损伤性能	107
2.5.5 提高抗热震性的措施	108
2.6 高分子材料的热性能	109
2.6.1 热性能的基本要求及评价	109
2.6.2 提高高分子材料热性能的途径	110
习题	111
3 材料的光学性能	112
3.1 光传播的基本性质	112
3.1.1 光的波粒二象性	112
3.1.2 光与固体的相互作用	114
3.2 光的反射和折射	115
3.2.1 反射定律和折射定律	115
3.2.2 折射率的影响因素	116
3.2.3 晶体的双折射	117
3.2.4 材料的反射系数及其影响因素	119

3.2.5 光的全反射	120
3.3 材料对光的吸收和色散	120
3.3.1 吸收系数与吸收率	120
3.3.2 光的吸收与波长的关系	121
3.3.3 光的色散	124
3.4 光的散射	125
3.4.1 散射的一般规律	125
3.4.2 弹性散射	126
3.4.3 非弹性散射	126
3.5 材料的不透明性与半透明性	127
3.5.1 材料的不透明性	127
3.5.2 材料的乳浊	129
3.5.3 半透明性	130
3.5.4 透明材料的颜色	131
3.5.5 材料的着色	132
3.6 电光效应、光折变效应、非线性光学效应	133
3.6.1 电光效应及电光晶体	133
3.6.2 光折变效应	135
3.6.3 非线性光学效应	137
3.7 光的传输与光纤材料	138
3.7.1 光纤发展概况和基本特征	138
3.7.2 光纤材料的制备	139
3.7.3 光纤的应用	140
3.8 材料的光发射	141
3.8.1 激励方式	141
3.8.2 材料发光的基本性质	142
3.9 特种光学材料及其应用	143
3.9.1 固体激光器材料及其应用	143
3.9.2 光存储材料	146
习题	147
4 材料的电导性能	148
4.1 电导的物理现象	148
4.1.1 电导率与电阻率	148
4.1.2 电导的物理特性	149
4.2 离子电导	150
4.2.1 载流子浓度	150
4.2.2 离子迁移率	151
4.2.3 离子电导率	152

4.2.4	离子电导率的影响因素	154
4.2.5	固体电解质 ZrO_2	156
4.3	电子电导	157
4.3.1	电子迁移率	157
4.3.2	载流子浓度	158
4.3.3	电子电导率	160
4.3.4	电子电导率的影响因素	161
4.4	金属材料的电导	165
4.4.1	金属电导率	165
4.4.2	电阻率与温度的关系	166
4.4.3	电阻率与压力的关系	167
4.4.4	冷加工和缺陷对电阻率的影响	168
4.4.5	电阻率的各向异性	171
4.4.6	固溶体的电阻率	171
4.5	固体材料的电导	174
4.5.1	玻璃态电导	174
4.5.2	多晶多相固体材料的电导	176
4.5.3	次级现象	178
4.5.4	固体材料电导混合法则	179
4.6	高分子材料的电导	179
4.7	半导体陶瓷的物理效应	180
4.7.1	晶界效应	180
4.7.2	表面效应	183
4.7.3	西贝克效应	185
4.7.4	p-n 结	186
4.8	超导体	188
4.8.1	概述	188
4.8.2	约瑟夫逊效应	189
4.8.3	超导体的分类	190
4.8.4	超导体的应用	190
	习题	191
5	材料的磁学性能	193
5.1	基本磁学性能	193
5.1.1	磁学基本量	193
5.1.2	物质的磁性分类	195
5.2	抗磁性和顺磁性	196
5.2.1	原子本征磁矩	196
5.2.2	抗磁性	199

5.2.3	物质的顺磁性	200
5.2.4	金属的抗磁性与顺磁性	201
5.2.5	影响金属抗、顺磁性的因素	202
5.3	铁磁性与反铁磁性	204
5.3.1	铁磁质的自发磁化	204
5.3.2	反铁磁性和亚铁磁性	205
5.3.3	磁畴	206
5.3.4	磁化曲线和磁滞回线	207
5.4	磁性材料的动态特性	210
5.4.1	交流磁化过程与交流回线	210
5.4.2	磁滞损耗和趋肤效应	211
5.4.3	磁后效应和复数磁导率	212
5.4.4	磁导率减落及磁共振损耗	214
5.5	磁性材料及其应用	216
5.5.1	软磁材料	216
5.5.2	硬磁材料	219
5.5.3	磁信息存储材料	221
5.5.4	纳米磁性材料	223
5.6	稀土永磁材料	224
5.6.1	稀土永磁化合物的晶体结构	224
5.6.2	稀土永磁材料的研究进展	229
	习题	241
6	材料的功能转换性能	243
6.1	介质的极化与损耗	243
6.1.1	介质极化相关物理量	243
6.1.2	极化类型	245
6.1.3	宏观极化强度与微观极化率的关系	249
6.1.4	介质损耗分析	250
6.1.5	材料的介质损耗	253
6.1.6	降低材料介质损耗的方法	256
6.2	介电强度	257
6.2.1	介电强度的定义	257
6.2.2	固体电介质的击穿	257
6.2.3	影响材料击穿强度的因素	260
6.3	压电性能	261
6.3.1	压电效应及其逆效应	261
6.3.2	压电材料主要表征参数	263
6.3.3	压电陶瓷的预极化	265

6.3.4 压电陶瓷的稳定性	265
6.3.5 压电材料的研究进程	266
6.3.6 压电材料及其应用	267
6.4 热释电性能	270
6.4.1 热释电效应及其逆效应	270
6.4.2 热释电材料	271
6.4.3 热释电材料的应用	272
6.5 铁电性	273
6.5.1 铁电性的概念	273
6.5.2 铁电体的分类	275
6.5.3 铁电体的起源	276
6.5.4 铁电体的性能及其应用	277
6.5.5 反铁电体	279
6.5.6 铁电性、压电性、热释电性之间的关系	280
6.6 热电性能	280
6.6.1 热电效应	280
6.6.2 热电材料	282
6.6.3 热电材料的应用	285
6.7 光电性能	285
6.7.1 光电效应	286
6.7.2 光电材料及其应用	287
6.8 智能材料	289
6.8.1 智能材料的特征与构成	290
6.8.2 智能材料的分类	291
6.8.3 智能金属材料	291
6.8.4 智能无机非金属材料	293
6.8.5 智能高分子材料	295
习题	296
参考文献	298

绪 论

1. 材料性能的定义

材料性能是一种用于表征材料在给定外界条件下的行为参量。有多少行为,就对应有多少性能。例如,外力作用下的拉伸行为的载荷-位移曲线或应力-应变曲线,采用屈服、缩颈、断裂等的行为判据,便分别有屈服强度、抗拉强度、断裂强度等力学性能。用表征材料在外磁场作用下磁化及退磁行为的磁滞回线,采用不同的行为判据,便分别有矫顽力、剩余磁感、贮藏的磁能等磁学性能。外界条件不同,相同的材料也会有不同的性能。断裂强度的临界条件是断裂,不少的外界条件可以影响断裂行为,温度升高到熔点的 40%~50%以上——蠕变断裂强度;反复的交变载荷——疲劳断裂强度;特定的化学介质——腐蚀断裂强度。

2. 材料性能的外延与划分

材料性能的划分只是为了学习和研究的方便。各种性能间既有区别,又有联系(见表 1)。复杂性能就是不同简单性能的组合。消振性,对于高振动的器件(如汽轮机的叶片)是一个重要的力学性能,但对于琴丝、大钟,除了力学性能外还涉及悦耳的声学性能;材料的高温蠕变强度,既是力学性能,又是热学性能;材料的应力腐蚀既是化学问题,又是力学问题;反射率既是光学性能,又与金属表面的化学稳定性有关。

表 1 材料性能的一般划分方法

物理性能	力学性能	化学性能	复 杂 性 能
热学性能	强 度	抗氧化性	复合性能:简单性能的组合,如高温、疲劳强度等
声学性能	延 性	耐腐蚀性	工艺性能:铸造性、可锻性、可焊性、切削性等
光学性能	韧 性	抗渗入性	使用性能:抗弹穿入性、耐磨性、乐器悦耳性、刀刃锋锐性等
电学性能	刚 性		
磁学性能			
辐照性能			

研究材料性能时,还要注意性能的复合与转换。物理现象之间的转换相当普遍,人们利用这些现象,制备了很多功能元件与控制元件,如热电偶、光电管、电阻应变片、压电晶体等。近年来,还提出了相乘效应:若对材料 A 施加 X 作用,可得到 Y 效果,则这个材料具有 X/Y 性能,压电性能中 X 为压力,Y 为电位差;材料 B 具有 Y/Z 性能,则 A 与 B 复合之后具有 X/Z 新性能, $(X/Y) \cdot (Y/Z) = (X/Z)$,一些实例已列于表 2 中。

表 2 相乘效应

A 组元性能(X/Y)	B 组元性能(Y/Z)	AB 复合材料性能(X/Z)
压电性	磁阻性	压阻效应
压磁性	法拉第效应(电磁转变)	压致电极性变化
压电性	场致发光	压力发光
压电性	凯尔光电效应	力致发光
磁致伸缩	压阻性	磁阻效应
磁致伸缩	压电性	磁电效应
光导性	电致伸缩	光致伸缩
光导性	场致发光	光波转变(红外/可见光)
闪烁现象	光导性	辐照诱致导电
闪烁现象	荧光	辐射荧光
热胀变形	热敏性	热阻控制效应

同一材料不同性能,只是相同的内部结构,在不同的外界条件下所表现出的不同行为。在研究材料性能时,既要总结个别性能的特殊规律,也应该要从材料的内部结构去理解材料为什么会有这些性能。例如,在研究材料机械性能时,我们既要研究材料的各种强度、弹性、塑性、韧性的特殊规律,即建立与性能的各种表象规律,又要运用晶体缺陷理论去研究材料从形变到断裂的普遍规律,去探寻这些现象形成的机理。又如,材料的电、磁、光、热现象的物理性能,可以在电子论的指导下得到物理本质的统一。因此,我们必须运用固体物理和固体化学,从本质上理解固体材料的各种性能所涉及的现象。绝大多数性能是与整体内部的原子特性和交互作用有关的,但是,有些性能则只与材料的表面层原子有关,如腐蚀和氧化、摩擦和磨损、晶体外延生长与离子注入、催化和表面反应等。

一般人们都用“工艺→结构→性能”这条路线去控制或改造性能,即工艺决定结构,结构决定性能。改变结构时,应考虑它的可变性以及这种改变对于性能改变的敏感性。有些结构是难于改变的,如原子结构;有些组织虽然可以通过工艺来改变,但性能对于结构却有不同的敏感性。某些性能主要取决于成分,成分固定,性能也就随之而固定,称之为非结构敏感性性能。另一些性能则由于晶体的缺陷、畸变、第二相的数量、大小和分布等的改变而可能有很大的变化,这则称为结构敏感性的性能,例如,电导率、屈服强度、矫顽力等。

3. 材料性能的研究目的

材料性能的研究,既是材料开发的出发点,也是其重要归属。陶瓷材料,它之所以能广泛地应用,归根结底是因为其某一方面的性能可以满足人们的需要,可制成各种各样的形状,坚硬、表面光洁度高,可用作各种各样的容器;同时具有一定的电气绝缘强度及机械强度,可作为重要的绝缘材料。近年来开发出来的一些新性能还可满足一些特殊环境的要求,用此制备重要的功能元件:利用磁性制备计算机记忆元件;利用光学性能制备光学元件,如透明陶瓷可用作钠光灯的灯罩,钠光灯的发光效率高且节能,但若用普通玻璃,则因为钠蒸气的腐蚀作用而出问题;利用机械强度与化学惰性制备仿生陶瓷(人造骨骼、牙齿等)、耐高温陶瓷等。

集成电路的绝缘基板材料,首先必须要具有一定的强度,以便能够承载起安装在其上的集成电路元件及分布在其上的电路线,要有均匀而平滑的表面,以便进行穿孔、开槽等精密加工,从而能够构成细微而精密的图形;应有优良的绝缘性能,尤其是在高频下;还要有充分的导热性,以迅速散发电路上因电流产生的热,电子元器件与基片的热膨胀系数之差应尽可能地小,从而保证基片与电路间良好的匹配性,电路与基片就不会剥离。总之,材料的强度、表面光洁度、绝缘性能、热导性、热膨胀系数等是衡量基板材料好坏的重要指标。环氧树脂等塑料是较好的基片材料,但它们的导热性能不好。氧化铝的导热性能约为环氧树脂的 30 倍,故氧化铝是重要的基片材料。比氧化铝的导热性更好的材料,更有希望作基片的材料。氧化铝单晶(亦称为蓝宝石),其导热系数比氧化铝烧结体大 4 倍,却难于获得合适的薄片形状。碳化硅导热性较好,约 10 倍于氧化铝,硬度高,可精密加工,热膨胀系数接近硅,却是半导体,且致密烧结非常困难。现采用添加百分之几的氧化铍,并用热压烧结方法,获得了导热性能与绝缘性兼有的致密材料。金刚石是导热系数最好的材料,绝缘性也很好,是最理想的绝缘基片材料,但是要稳定地供给高纯度且具有一定大小的片状金刚石晶体,目前还有很大困难,要投入实际应用,还需要做出很大的努力。以上仅从导热系数指标来讨论,实际应用中还要考虑其他指标。如对于大型计算机,还要考虑介电常数,因为若基片材料的介电常数过大,则电子元件上的响应时间就会变长,从而影响计算机的运算速度。因此,用氧化铝作基片材料,还存在着许多值得改进之处。总之,对材料的使用,主要是使用其某一方面的性能。在选用材料时先考察主要性能满足与否,再考察其他性能。

材料性能的研究,有助于研究材料的内部结构。材料性能就是内部结构的体现,对结构敏感性能,更是如此。同样,材料的性能,也反映了材料的内部结构。例如,根据布拉格方程 $n\lambda = 2d\sin\theta$,利用晶体对 X 射线的衍射图像,就可以推知晶体中晶面间距 d ,进而就可以分析晶体的结构。

4. 材料生产工艺

任何一种新材料从发现到应用于实际,必须经过适宜的制备工艺才能成为工程材料。高温超导材料自 1986 年发现到 20 世纪末,已有 15 年的历史,但仍不能普遍应用,主要是因为没有找到价廉而稳定的生产线材的工艺。 C_{60} 也是如此,尽管在发现之初认为它的用途十分广泛,但到 20 世纪末仍处于科研阶段。传统材料也需要不断改进生产工艺或流程,以提高产品质量、降低成本和减少污染,从而提高竞争能力。分子束外延技术的出现,可以控制薄膜的生长精确到几个原子的厚度,从而实现了“原子工程”或“能带工程”,为原子、分子设计提供了有效手段;快冷技术(即每秒冷却速度达 $10^4 \sim 10^8$ K)的采用,为金属材料的发展开辟了一条新途径。首先是金属玻璃的形成,提高了金属强度、耐磨耐蚀性能和磁学性能。其次通过快冷可得到超细晶粒,成为改进性能的有效方法。第三是通过快冷发现了准晶,由此改变了晶体学的传统观念。所以材料制备方法的研究与开发成为材料科学技术的重点。

材料的广泛应用是材料科学技术发展的主要动力,实验研究出来的具有优异性能的材料不等于具有实用价值,必须通过大量应用研究,才能发挥其应有的作用。材料的应用要考虑以下几个因素:一是材料的使用性能;二是使用寿命及可靠性;三是环境适应性,包括生产过程与使用时间;四是价格。当然,不同材料及使用的对象不同,考虑的重点就不一样,有些量大面广的材料,价格低廉是主要的,因而生产要低成本,检验不十分复杂,如建材与包装材料;相反,有些关键技术所用关键材料,如航空航天及医用生物材料,一旦发生意外,则损

失严重,因而必须高质量、安全可靠,加强检验,否则后果不堪设想,所以有时检验费用比材料本身花费还高。以航空发动机所用高温合金为例,作为涡轮叶片及涡轮盘材料,一旦在飞行过程中出现断裂,很可能造成机毁人亡,因而在要求长寿命(几万小时)的同时,对可靠性的要求特别严格。为了保证材料的质量,采用三次熔炼:真空感应炉熔炼,以保证严格控制成分(去气、去有害杂质);再用电渣重熔,以去除非金属夹杂物;最后真空自耗电弧重熔,可以得到无宏观缺陷的合金锭,如此保证材料质量的均一性和完整性,再经锻造,或重熔铸造加工成零件,最后经过高灵敏度的检验合格后,再装机使用。对医用生物材料来说,质量保证更为严格,因为一旦因质量事故而产生不良后果,则后患无穷。

人类开发利用材料是从其性能入手的,根据对材料性能上的要求,来探索合适的工艺路线。在整个开发过程中又不断地研究了材料的结构与性能的关系,为开发新的材料奠定基础。因此,材料性能在近代材料科学中占有重要地位。