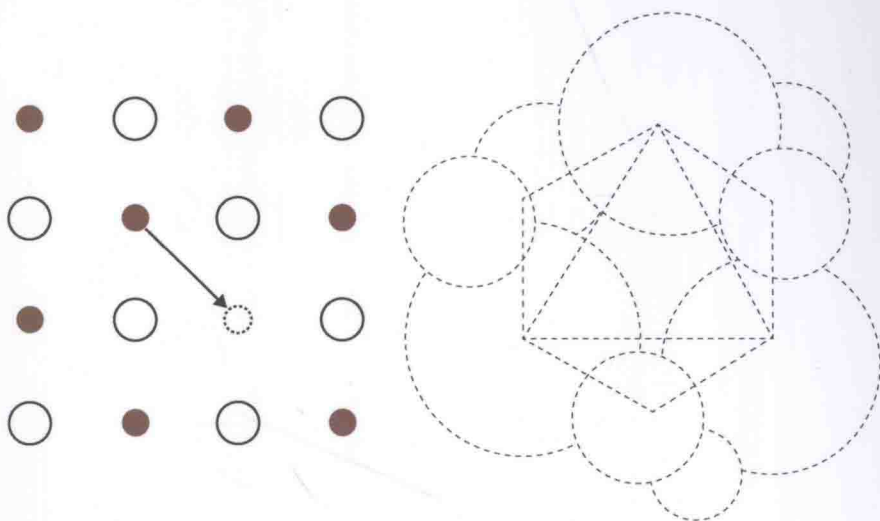




普通高等教育创新型人才培养规划教材



# 材料物理性能

CAILIAO WULI XINGNENG

刘 勇 陈国钦 编著



北京航空航天大学出版社  
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



普通高等教育创新型人才培养规划教材

# 材料物理性能

刘 勇 陈国钦 编著

北京航空航天大学出版社

## 内 容 简 介

本书主要讲述了金属、无机非金属和高分子材料中各种物理性能的物理本质、表征参数、影响因素、分析测试方法以及物理性能分析在材料研究中的应用;作为拓展阅读部分,还讲述了与各物理性能有关的功能材料。物理性能涵盖了材料导电性能、介电性能、光学性能、热学性能、磁学性能以及弹性性能等。为培养和提高理论联系实际、分析和解决实际问题的能力,本书配合各知识点,编写了若干关于材料选择、失效分析、工艺设计类的具体案例;同时,每章后还附有思考题,供学习时使用。

本书可作为高等院校金属材料、无机非金属材料和功能材料等专业的本科生教材,也可供工程技术人员使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

材料物理性能 / 刘勇, 陈国钦编著. -- 北京: 北京航空航天大学出版社, 2015. 8

ISBN 978-7-5124-1405-1

I. ①材… II. ①刘… ②陈… III. ①工程材料—物理性能—高等学校—教材 IV. ①TB303

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 173795 号

版权所有, 侵权必究。

### 材料物理性能

刘 勇 陈国钦 编著

责任编辑 杨 昕

\*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱: goodtextbook@126.com 邮购电话:(010)82316936

北京市同江印刷有限公司印装 各地书店经销

\*

开本: 710×1 000 1/16 印张: 13 字数: 277 千字

2015 年 9 月第 1 版 2015 年 9 月第 1 次印刷 印数: 2 500 册

ISBN 978-7-5124-1405-1 定价: 29.00 元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题, 请与本社发行部联系调换。联系电话: (010)82317024

# 前 言

物理性能是材料性能的重要组成部分,了解材料的物理性能对于设计新材料、改进材料制备工艺、延长材料的使用寿命具有重要的意义。近年来,随着包括金属材料、无机非金属材料和高分子材料在内的大材料学科的建立,材料物理性能已经由原来的金属物理性能扩展为材料物理性能。“材料物理性能”已经成为材料科学与工程专业的专业基础课,在该专业教学体系中居于重要的地位。目前关于材料物理性能的教材种类繁多,各具特色,但也存在理论晦涩、可读性差、内容老化、篇幅过大等缺点。笔者从事“材料物理性能”教学近十年,积累了一定的教学经验,在此基础上组织编写了本教材。

本书共7章,即绪论、材料的电性能、材料的介电性能、材料的光学性能、材料的热学性能、材料的磁学性能和材料的弹性性能。每章内容均涉及物理性能的基本概念和物理本质、影响因素、分析测试方法和物性分析在材料研究中的应用,并介绍了与物理性能相关的功能材料。

本教材的主要特色如下:

1. 兼顾理论性和可读性。材料物理性能的基础是固体物理和材料物理,光、电、磁、热的物理基础涉及固体能带理论、声子理论等,理论深奥。关于物理性能的理论基础部分,内容必须要讲述透彻,但又不能占用过多的篇幅。本书中拟以强调明细的物理图像为主,避免繁琐的公式推导,在强调教材的理论性的同时,兼顾可读性。

2. 兼顾基础性和前沿性。材料物理性能内容丰富,既有传统的基础性知识,又有与当前材料学领域的生产、科研发展密切相关的知识,其知识也在不断更新。本教材特别注意兼顾基础性和前沿性。

3. 增加案例式描述。为增强教材的可读性,同时培养和提高学生理论联系实际、分析和解决实际问题的能力,配合各知识点,增加了大量的使用案例。这些案例均来自生产实际,经过提炼而成。具体包括材料选择类、失效分析类、工艺设计类三大类。通过案例式描述,可以使晦涩的知识变得形象、空洞的知识变得实用,从而加深学生对知识点的印象。

本书可作为高等院校金属材料、无机非金属材料和功能材料等专业的本科生教材,也可供工程技术人员使用。其中各种物理性能的物理本质、表征参数、影响因素、测试分析方法是必学内容,材料物理性能分析在材料研究中的应用是选学内容,教材中相关的功能材料则供有兴趣的读者阅读。

作 者

2015年6月

# 目 录

|                        |    |
|------------------------|----|
| 第 1 章 绪 论              | 1  |
| 第 2 章 材料的电性能           | 5  |
| 2.1 电导率和载流子            | 6  |
| 2.1.1 电导率和电阻率          | 6  |
| 2.1.2 载流子              | 7  |
| 2.2 电子类载流子导电           | 8  |
| 2.2.1 金属的导电机制          | 8  |
| 2.2.2 电阻率和温度的关系        | 11 |
| 2.2.3 电阻率与压力的关系        | 12 |
| 2.2.4 缺陷和冷加工对电阻率的影响    | 13 |
| 2.2.5 固溶体的电阻率          | 14 |
| 2.2.6 化合物、中间相和多相合金的导电性 | 17 |
| 2.3 离子类载流子导电           | 17 |
| 2.3.1 离子导电理论           | 18 |
| 2.3.2 离子导电与扩散          | 20 |
| 2.3.3 离子导电的影响因素        | 22 |
| 2.4 半导体                | 22 |
| 2.4.1 本征半导体            | 23 |
| 2.4.2 本征半导体的电导率        | 24 |
| 2.4.3 杂质半导体            | 26 |
| 2.5 超导体                | 31 |
| 2.5.1 超导现象             | 31 |
| 2.5.2 超导体特性            | 31 |
| 2.5.3 超导体分类            | 32 |
| 2.6 导电性的测量             | 32 |
| 2.6.1 双臂电桥法            | 32 |
| 2.6.2 直流电位差计法          | 33 |
| 2.6.3 直流四探针法           | 34 |
| 2.7 电阻分析的应用            | 35 |

|                       |           |
|-----------------------|-----------|
| 2.7.1 研究合金的相变         | 35        |
| 2.7.2 研究合金的变形和疲劳过程    | 37        |
| 2.7.3 研究碳钢的回火         | 37        |
| 2.8 延伸阅读              | 38        |
| 2.8.1 导电材料            | 38        |
| 2.8.2 精密电阻材料          | 39        |
| 2.8.3 重要的超导体材料        | 41        |
| 2.8.4 半导体             | 43        |
| 思考题                   | 46        |
| <b>第3章 材料的介电性能</b>    | <b>48</b> |
| 3.1 电介质及其极化           | 48        |
| 3.1.1 平板电容器及其电介质      | 48        |
| 3.1.2 介电常数            | 49        |
| 3.1.3 与极化相关的物理性能参量    | 50        |
| 3.1.4 电介质极化的机制        | 51        |
| 3.1.5 宏观极化强度与微观极化率的关系 | 55        |
| 3.2 交变电场下的电介质         | 56        |
| 3.2.1 复介电常数与介质损耗      | 56        |
| 3.2.2 电介质弛豫和频率响应      | 58        |
| 3.2.3 介电损耗分析          | 60        |
| 3.3 电介质在电场中的破坏        | 61        |
| 3.3.1 介电强度            | 61        |
| 3.3.2 影响无机材料击穿强度的各种因素 | 62        |
| 3.4 压电性               | 63        |
| 3.4.1 压电性基本概念         | 63        |
| 3.4.2 晶体压电性产生的原因      | 65        |
| 3.4.3 压电材料的主要表征参数     | 66        |
| 3.5 热释电性              | 66        |
| 3.5.1 热释电现象           | 66        |
| 3.5.2 热释效应产生的条件       | 67        |
| 3.5.3 材料热释电性的表征       | 67        |
| 3.6 铁电体               | 68        |
| 3.6.1 铁电体和电畴          | 68        |
| 3.6.2 铁电体的起源与晶体结构     | 69        |
| 3.7 压电性和铁电性能基本参数的测定   | 70        |

|                     |           |
|---------------------|-----------|
| 3.7.1 电滞回线的测定       | 70        |
| 3.7.2 铁电体居里温度的测定    | 71        |
| 3.7.3 压电应变常量的测定     | 72        |
| 3.7.4 机电耦合系数        | 73        |
| 3.7.5 机械品质因数        | 74        |
| 3.8 延伸阅读            | 74        |
| 3.8.1 压电材料          | 74        |
| 3.8.2 铁电材料          | 75        |
| 思考题                 | 77        |
| <b>第4章 材料的光学性能</b>  | <b>78</b> |
| 4.1 光和固体的相互作用       | 78        |
| 4.1.1 光的波粒二象性       | 78        |
| 4.1.2 光通过固体的现象      | 79        |
| 4.1.3 材料的折射率及其影响因素  | 80        |
| 4.1.4 材料的反射系数及其影响因素 | 82        |
| 4.1.5 材料的透射系数及其影响因素 | 83        |
| 4.1.6 介质的散射系数       | 85        |
| 4.2 材料的发光           | 87        |
| 4.2.1 发光和热辐射        | 87        |
| 4.2.2 激 光           | 88        |
| 4.3 光的其他性质          | 90        |
| 4.3.1 电光效应          | 90        |
| 4.3.2 声光效应          | 91        |
| 4.3.3 光电导性          | 91        |
| 4.4 材料光学性能的测试表征     | 92        |
| 4.4.1 光吸收           | 92        |
| 4.4.2 拉曼光谱          | 93        |
| 思考题                 | 94        |
| <b>第5章 材料的热学性能</b>  | <b>95</b> |
| 5.1 材料的热容           | 96        |
| 5.1.1 热容的基本概念       | 96        |
| 5.1.2 固体热容理论简介      | 97        |
| 5.1.3 金属热容与合金热容     | 99        |
| 5.1.4 无机材料的热容       | 100       |



|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 5.1.5 相变对热容的影响 .....        | 101 |
| 5.2 材料的热膨胀 .....            | 103 |
| 5.2.1 热膨胀系数 .....           | 103 |
| 5.2.2 热膨胀本质 .....           | 105 |
| 5.2.3 影响材料热膨胀的因素 .....      | 106 |
| 5.3 材料的导热性能 .....           | 108 |
| 5.3.1 热传导宏观规律和微观机制 .....    | 108 |
| 5.3.2 导热的微观机制 .....         | 109 |
| 5.3.3 热导率的影响因素 .....        | 112 |
| 5.3.4 非晶体的热导率 .....         | 114 |
| 5.4 热电性 .....               | 115 |
| 5.5 热焓和比热容的测量及热分析方法 .....   | 115 |
| 5.5.1 热焓和比热容的测量 .....       | 115 |
| 5.5.2 材料热膨胀系数的测量 .....      | 116 |
| 5.5.3 材料热导率的测量 .....        | 118 |
| 5.6 热性能分析在材料研究中的应用 .....    | 118 |
| 5.6.1 热分析法及应用 .....         | 118 |
| 5.6.2 热膨胀法及应用 .....         | 120 |
| 思考题 .....                   | 123 |
| <b>第6章 材料的磁学性能</b> .....    | 125 |
| 6.1 磁学基本量及磁性分类 .....        | 126 |
| 6.1.1 磁学基本量 .....           | 126 |
| 6.1.2 物质的磁性分类 .....         | 129 |
| 6.2 铁磁性和亚铁磁性材料的特性 .....     | 129 |
| 6.2.1 磁化曲线 .....            | 130 |
| 6.2.2 磁滞回线 .....            | 130 |
| 6.2.3 铁磁性的起源 .....          | 131 |
| 6.2.4 磁晶各向异性和各向异性性能 .....   | 131 |
| 6.2.5 铁磁体的形状各向异性及退磁能 .....  | 132 |
| 6.2.6 磁致伸缩与磁弹性能 .....       | 133 |
| 6.3 磁性材料的自发磁化和技术磁化 .....    | 134 |
| 6.3.1 自发磁化理论 .....          | 134 |
| 6.3.2 技术磁化理论 .....          | 138 |
| 6.3.3 影响合金铁磁性和亚铁磁性的因素 ..... | 139 |
| 6.4 磁性材料的动态特性 .....         | 143 |

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| 6.4.1 交流磁化过程与交流回线 .....    | 143        |
| 6.4.2 复数磁导率 .....          | 144        |
| 6.4.3 交变磁场作用下的能量损耗 .....   | 145        |
| 6.5 铁磁性测量 .....            | 147        |
| 6.5.1 冲击法测量磁性能 .....       | 148        |
| 6.5.2 振动样品磁强计 .....        | 150        |
| 6.5.3 材料动态磁性测量 .....       | 151        |
| 6.6 磁分析的应用 .....           | 154        |
| 6.6.1 铁磁性分析的应用 .....       | 154        |
| 6.6.2 抗磁性与顺磁性分析的应用 .....   | 155        |
| 6.7 延伸阅读:磁性材料 .....        | 156        |
| 思考题 .....                  | 159        |
| <b>第7章 材料的弹性性能</b> .....   | <b>161</b> |
| 7.1 胡克定律及弹性表征 .....        | 161        |
| 7.1.1 胡克定律 .....           | 162        |
| 7.1.2 弹性的表征 .....          | 164        |
| 7.2 弹性与原子间结合力等物理量的关系 ..... | 165        |
| 7.2.1 弹性模量的物理实质 .....      | 165        |
| 7.2.2 与周期表的关系 .....        | 166        |
| 7.2.3 与德拜特征温度的关系 .....     | 166        |
| 7.2.4 与熔点的关系 .....         | 167        |
| 7.3 弹性模量的影响因素 .....        | 167        |
| 7.3.1 温度的影响 .....          | 167        |
| 7.3.2 相变对弹性模量的影响 .....     | 168        |
| 7.3.3 固溶体材料的弹性模量 .....     | 169        |
| 7.3.4 晶体结构 .....           | 170        |
| 7.4 材料滞弹性及内耗 .....         | 171        |
| 7.4.1 粘弹性及滞弹性 .....        | 171        |
| 7.4.2 滞弹性 .....            | 171        |
| 7.4.3 内耗 .....             | 174        |
| 7.4.4 弛豫型内耗 .....          | 175        |
| 7.4.5 静滞后型内耗 .....         | 176        |
| 7.4.6 内耗的表征 .....          | 176        |
| 7.5 内耗产生的机制 .....          | 177        |
| 7.5.1 点阵中原子有序排列引起的内耗 ..... | 177        |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 7.5.2 与位错有关的内耗 .....          | 178 |
| 7.5.3 与晶界和界面有关的内耗 .....       | 179 |
| 7.6 弹性性能的测量 .....             | 180 |
| 7.6.1 弹性模量的测量 .....           | 180 |
| 7.6.2 内耗的测量方法 .....           | 183 |
| 7.7 内耗分析的应用 .....             | 185 |
| 7.7.1 过饱和固溶体的析出沉淀行为和溶解度 ..... | 185 |
| 7.7.2 扩散激活能和低温扩散系数 .....      | 187 |
| 7.7.3 内耗法研究金属的疲劳 .....        | 188 |
| 7.8 弹性合金和高阻尼合金 .....          | 190 |
| 7.8.1 高弹性合金 .....             | 190 |
| 7.8.2 恒弹性合金 .....             | 190 |
| 7.8.3 阻尼减振材料 .....            | 191 |
| 思考题 .....                     | 191 |
| 部分思考题提示或答案 .....              | 192 |
| 第2章 .....                     | 192 |
| 第3章 .....                     | 193 |
| 第4章 .....                     | 195 |
| 第5章 .....                     | 196 |
| 第6章 .....                     | 197 |
| 参考文献 .....                    | 198 |

# 第 1 章 绪 论

材料(material)是人类用于制造物品、器件、构件、机器或其他产品的物质。材料在人类生活和生产中占有重要的地位,对人类文明的发展具有重要的推动作用。历史上标志人类文明进步的旧石器时代、新石器时代、青铜器时代和铁器时代就是通过材料进行分类划分的。20 世纪 70 年代,人们把信息、材料和能源并称为文明的三大支柱;80 年代以高技术群为代表的新技术革命,又把新材料、信息技术和生物技术并列为新技术革命的重要标志;现今,材料种类繁多,数以万种。材料具有各种不同的分类方法,按材料本身的性质进行划分,可以分为金属材料、无机非金属材料和高分子材料;按用途划分,可以分为结构材料和功能材料。

材料的成分、组织、工艺和性能是材料研究的要素。其中,材料的性能居于重要地位。材料性能是一种用于表征材料在给定的外界条件下的行为的参量。材料在使用中表现有多少种行为,就对应有多少种性能。外界条件不同,相同的材料也会有不同的性能。多数的性能都有量纲。为了便于学习、测试和研究,常采用不同的标准来划分性能。材料性能一般可以分为物理性能、力学性能、化学性能、工艺性能、使用性能等。力学性能包括强度、塑性、韧性、刚性等;化学性能包括抗氧化性能、耐腐蚀性能等;复杂性能包括高温抗折强度、高温蠕变强度等;工艺性能包括可塑性、流动性、焊接性等;使用性能如耐磨性等。

材料的物理性能是材料的重要性能之一。外界因素(温度、电场、磁场等)作用于材料,引起材料内部原子、分子、电子的微观运动状态的改变,在宏观上表现为一定的感应物理量,即呈现某一物理性能。具体地讲,最常见的材料物理性能有材料的电性能、介电性能、光学性能、热学性能、磁学性能以及弹性性能,每一种物理性能对应一定的物理基础。而材料的物理性能强烈依赖于物质不同层次的结构组成,同时也受环境因素的强烈影响。每一种材料物理性能都具有一定的分析和测试方法,而物理性能分析也是材料研究的重要手段。因此,本书选择材料的电性能、介电性能、光学性能、热学性能、磁学性能以及弹性性能作为主要内容,讲述各种物理性能的物理本质和表征参量、影响因素、分析测试方法以及物理性能分析在材料研究中的应用。最后作为了解内容,介绍与各种物理性能相关的功能材料。

## 1. 《材料物理性能》的主要内容

本书以研究材料的物理性能为主,顾名思义,物理性能的主体是材料,包括金属材料、无机非金属材料和高聚物等,因此介绍的内容为材料物理性能。任何物理性能都有其物理本质和理论基础、表征参量、影响因素、分析测试方法、物理性能分析在材料研究中的应用以及相应的功能材料。因此本书以各物理性能的物理本质和表征参

量、物理性能的影响因素、物理性能的分析测试方法、物理性能分析在材料研究中的应用以及与物理性能相关的功能材料为主线,组织相关的课程内容,具体如下:

① 介绍各物理性能的物理本质和表征参量。分别就材料的电性能(Electronic properties)、介电性能(Dielectric properties)、光学性能(Optical properties)、热学性能(Thermal properties)、磁学性能(Magnetic properties)和弹性性能(Elastic Properties)的物理本质、理论基础和主要物理性能的表征参量进行介绍。如关于材料的导电性能,讲述了导电的经典自由电子导电理论、量子自由电子导电理论和能带导电理论,介绍了电导率、电阻率及电阻温度系数等导电性能的表征参量。

② 描述这些物理性能与材料成分、结构、工艺过程的关系及变化规律和环境影响因素。外界环境的影响包括温度、压力、电场、磁场、辐照、化学介质等。如金属导电性能部分就分别讲述了影响导电性能的内因——材料成分和组织结构的影响,包括材料成分、晶粒组织、缺陷乃至形成固溶体的影响;外因——环境因素的影响,包括温度、压力、辐照等环境因素的影响。

③ 介绍与物性相关的测试技术与分析方法,包括物性的表征参量、测试原理和结果分析,以及物性参数变化在材料分析中的应用等。以导电性能为例,介绍了导电性能的各种测试方法,如双臂电桥法、直流四探针法和直流电位差计法等,讲述了电阻分析在合金相变、变形和疲劳过程、碳钢的回火过程等研究中的应用。

④ 结合各种物理性能,简要介绍与各物性相关的功能材料。功能材料多是根据物理性能工作的,因此更重视物理性能。与物理性能相关的材料很大一部分是功能材料。结合物理性能,本书简要介绍了相关的功能材料,如导电材料、半导体材料、超导体材料、电阻材料、压电材料、铁电材料、硬磁材料、阻尼材料等。

## 2. 学习《材料物理性能》的目的和意义

材料的性能是材料的四大要素之一,材料物理性能涵盖声、光、电、磁和热领域,是材料性能的重要组成部分。了解材料的物理性能特点,明确其物理本质和影响因素,掌握分析测试方法和物理性能分析在材料研究中的应用,对于设计新型功能材料,改进材料加工制备工艺,保证和提高零部件的服役性能以及提高材料的研究效率具有重要的意义。具体如下:

① 掌握材料的物理性能是设计、发展和制造功能材料的基础。功能材料是现代社会的实现信息化、自动化的基础。人们称现代社会为“硅时代”,形象说明了硅功能材料在现代社会通信、控制等方面的广泛应用。功能材料就是利用相关的材料物理性能工作的。要设计新型的功能材料并对其性能作出合理的解释必然离不开相应的物理性能知识;对功能材料的性能进行评价也离不开相应的表征参数和分析测试方法;对材料性能进行优化必然涉及材料的成分、组织结构以及工作温度、压力等影响因素的综合考虑和调整。上述内容正是物理性能课程的基本内容。因此了解相关物理性能的物理本质和理论基础、表征参量、影响因素和分析测试方法是设计和制备新型功能材料的基础。

② 物理性能是保证结构材料的使用性和服役安全性的重要保证。结构材料虽然以强调力学性能为主,但物理性能也是不可忽视的。一些重要的结构件,在承受载荷的同时,还要求具有某些必需的物理性能或满足一些功能性要求。以航天飞机热障涂层为例,热障涂层在要求和基体有强的结合力的同时,还要求其热膨胀系数与基体相匹配以防止在使用过程中涂层剥落、破坏;同时要求高的热容和低的热导率,以提高热防护性能。可见作为热障涂层在保证力学性能的同时,还需要一定的热学性能。

③ 材料的物理性能分析是材料研究的重要手段。有些物理性能对组织变化极为敏感,如电阻率、热膨胀系数、内耗等,因此可以利用某些物理性能的变化表征材料的组织变化。例如,利用电阻率变化表征金属退火时的组织变化,利用 DSC 设备研究材料的相变行为,利用内耗测试材料的扩散激活能和扩散系数等。因此掌握材料的物理性能分析方法对于材料研究具有重要的意义。

④ 明确材料物理性能与成分、组织结构和环境因素的关系,可以为合理制定生产工艺提供规律性的指导。物理性能参量包括非组织敏感量(如弹性模量、热膨胀系数、居里点等)和组织敏感量(内耗、电阻率、磁导率等)。对于非组织敏感参量,研究不同成分的材料非组织敏感量并作出正确的评估,可以为合理选材提供依据;对于组织敏感参量,明确成分、组织和环境对组织敏感量的影响规律,可以为控制和提高材料的物理性能,合理制定生产工艺提供理论指导。

⑤ 研究材料的物理性能理论及相关表征方法,为确定产品的可靠性分析提供必要的物理性能模型。当今,国民经济发展和国防建设都需要大型机电设备和批量生产机电产品、集成电路和电子产品等。这些产品都需要进行可靠性分析和失效分析,以提高产品质量和经济效益。物理性能知识则为正确建立产品的可靠性分析模型和失效分析物理模型提供必要的理论支撑。

### 3. 学习《材料物理性能》的方法

《材料物理性能》内容繁杂,需要有《大学物理》《固体物理》《材料科学基础》相关的基础知识,学生学习起来感觉比较吃力。《材料物理性能》中物理性能的理论基础部分涉及较多的物理概念和数理公式,理论色彩较浓,晦涩难懂;而物理性能表征参量的分析测试和物理性能分析在材料研究中的应用部分,又强调实用性和实践性。根据“材料物理性能”课程的特点,建议学生在学习本课程时注意以下几点:

① 强化概念理解,明确性能的理论基础和物理图像,避免陷入冗繁的公式推导之中。对于任何一门学科知识,概念是基石,只有真正理解相关的概念,才能真正了解、掌握一门知识。“材料物理性能”也不例外,读者应该把更多的精力放在对物理性能基本概念的理解上。对于数理基础较弱的学生不建议陷入复杂的公式推导中,而公式推导结果,只要明确其物理图像即可。陷入冗繁的公式推导之中,犹如“一叶障目”,不利于加强对物理基本概念的理解。

② 识记学习和动手实践相结合,理论联系实际。“材料物理性能”是一门介于理

论和工程之间的课程。物理性能的理论基础、表征参量和影响因素是理论部分,物理性能的测试表征和物性分析在材料研究中的应用属于实践部分,建议学生在学习相关内容时,注意意识记学习和实践相结合,实验学习和课堂学习相结合,真正做到理论联系实际。

③ 配合课后习题和书中案例,多结合实际问题思考。对于课堂学习的知识,只有反复思考、训练,才会真正掌握。本教材每章后都配有若干习题供学生演算、思考使用。同时在每章中都有相关的案例,以供学生结合具体的物理性能知识分析解决实际问题。通过习题和案例,多结合实际问题进行思考。

另外,教材中还有和相关物理性能相对应的功能材料,作为拓展阅读使用。读者可以根据这些功能材料进一步理解材料物理性能。

## 第 2 章 材料的电性能

材料的电性能包括导电性能和介电性能。本章主要讲述材料的导电性能。材料的导电性能和人类生活息息相关。小到电子元器件,大到国家电网,其工作原理都依赖于材料的导电性能。电性能指材料对外部电场的响应。如果打开一个 CD 播放器,会发现各种各样的、活跃的电子元器件,如半导体、聚合物包覆的金属导线、电容器(陶瓷)等。现在已经进入电气化时代,发电机、变压器、电网输送、微电子线路、集成电路、超导等已经和我们的生活息息相关。

图 2-1~图 2-5 给出了与材料导电性能相关的典型电子电气元器件。



图 2-1 导线

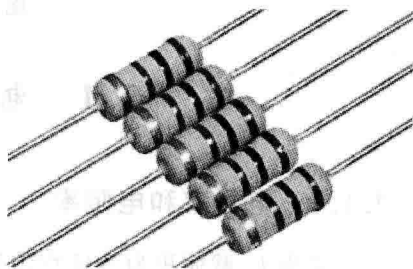


图 2-2 电阻器

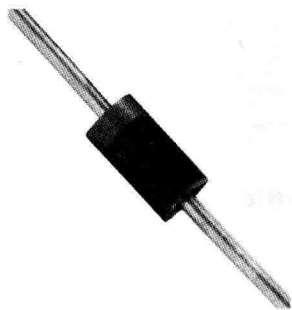


图 2-3 二极管

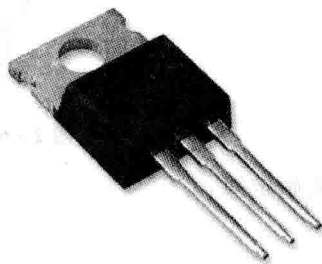


图 2-4 三极管



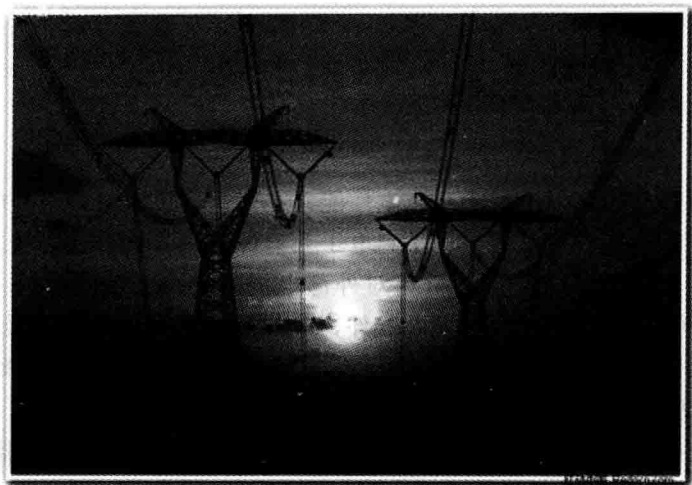


图 2-5 电 网

## 2.1 电导率和载流子

### 2.1.1 电导率和电阻率

一个长为  $L$ 、截面积为  $S$  的均匀导体，两端加电压  $V$ ，则有电流通过，这称为电导(如图 2-6 所示)。

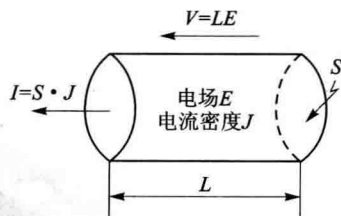


图 2-6 欧姆定律示意图

根据欧姆定律，有

$$I = \frac{V}{R} \quad (2-1)$$

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (2-2)$$

式中： $R$  为电阻， $J$  为电流密度， $\rho$  为电阻率(单位： $\Omega \cdot \text{m}$ )。可见  $R$  不仅与材料的性质有关，还与材料的长度  $L$  及截面积  $S$  有关。其中电阻率  $\rho$  表征了材料自身的性质，可以用来表征材料的导电性。根据电阻率的不同，可以把材料划分为导体、绝缘