

凝聚态物理学丛书

齐建勋 著

铁电体物理学



科学出版社

凝聚态物理学丛书

铁电体物理学

钟维烈 著



科学出版社

1996

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书全面系统地论述铁电体物理学的基本规律和最新进展。全书以自发极化为核心,系统地总结了作者多年来的研究成果,深入讨论了铁电体的尺寸和表面效应理论;同时吸收了国内外有关铁电体的主要成果和学术思想。全书共9章,前4章主要阐述自发极化机制,包括铁电体的晶体结构、宏观理论、微观理论;后5章讨论极化状态在外场作用下的变化,即铁电体的各种功能效应,包括电畴结构、极化反转、介电响应、压电效应和电致伸缩效应、热电效应、光学效应(电光、非线性、光折变)。此外,结合每种功能效应,介绍若干典型铁电材料及其应用。书末附有3个附录和详细的内容索引。

本书可作为凝聚态物理、电介质物理和功能材料等专业的教学用书,也可供有关领域的科技人员参考。

凝聚态物理学丛书

铁电体物理学

钟维烈 著

责任编辑 李义发

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

新蕾印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1996年6月第一版

开本: 850×1168 1/32

1996年6月第一次印刷

印张: 21 1/2 插页: 2

印数: 1—900

字数: 556 000

ISBN 7-03-005033-9/O · 834

定价: 60.00 元

《凝聚态物理学丛书》出版说明

以固体物理学为主干的凝聚态物理学，通过半个世纪以来的迅速发展，已经成为当今物理学中内容最丰富、应用最广泛、集中人力最多的分支学科。从历史的发展来看，凝聚态物理学无非是固体物理学的向外延拓。由于近年来固体物理学的基本概念和实验技术在许多非固体材料中的应用也卓有成效，所以人们乐于采用范围更加广泛的“凝聚态物理学”这一名称。

凝聚态物理学是研究凝聚态物质的微观结构、运动状态、物理性质及其相互关系的科学。诸如晶体学、金属物理学、半导体物理学、磁学、电介质物理学、低温物理学、高压物理学、发光学以及近期发展起来的表面物理学、非晶态物理学、液晶物理学、高分子物理学及低维固体物理学等都是属于它的分支学科，而且新的分支尚在不断进发，还有，凝聚态物理学的概念、方法和技术还在向相邻的学科渗透，有力地促进了材料科学、化学物理学、生物物理学和地球物理学等有关学科的发展。

研究凝聚态物质本身的性质和它在各种外界条件（如力、热、光、气、电、磁、各种微观粒子束的辐照乃至处于各种极端条件）下发生的变化，常常可以发现多种多样的物理现象和效应，揭示出新的规律，形成新的概念，彼此层出不穷，内容丰富多彩，这些既体现了多粒子体系的复杂性，又反映了物质结构概念上的统一性。所有这一切不仅对人们的智力提出了强有力的挑战，更重要的是，这些规律往往和生产实践有着密切的联系，在应用、开发上富有潜力，有可能开辟出新的技术领域，为新材料、元件、器件的研制和发展，提供牢固的物理基础。凝聚态物理学的发展，导致了一系列重要的技术突破和变革，对社会和科学技术的发展将发生深远的影响。

为了适应世界正在兴起的新技术革命的需要，促进凝聚态物理学的发展，并为这一领域的科技人员提供必要的参考书，我们特组织了这套《凝聚态物理学丛书》，希望它的出版将有助于推动我国凝聚态物理学的发展，为我国的四化建设做出贡献。

主 编：葛庭燧

副主编：冯 端

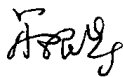
序

铁电体物理学是当代凝聚态物理学的重要分支,发展很快;铁电体作为一类重要的功能材料,在高科技中的应用也日益广泛.近年来,在铁电领域中涌现了大量理论和实际的研究成果,亟待总结.《铁电体物理学》就在这种情况下应运而生.

本书一个鲜明的特色就是抓住铁电现象的物理本质——自发极化,并以此为主线,论述自发极化起因和极化状态在各种条件下的变化,从而展开铁电理论和铁电体的各种功能效应的讨论,使全书丰富的内容浑然一体;本书另一个特点是注意了材料和物理的结合,以典型的铁电材料为例,着重阐述其物理基础;本书第三个特点是,著者在过去铁电专著的基础上,博览大量文献,尽力概括近年来铁电物理和铁电材料的研究成果,力求反映这个领域的全貌和发展动态,把系统性和新颖性很好地结合在一起.

钟维烈教授长期从事铁电物理的研究和教学工作,本书是他在为研究生编写教材的基础上写成的,而且融进了自己的许多研究成果.本书结构完整、物理图象清晰、表达严谨,不仅适合作为相关专业研究生的教材,而且对在铁电物理、铁电材料及其应用领域的人员也有重要参考价值.

我欣喜地看到《铁电体物理学》一书的问世,并相信本书的出版将有助于我国铁电体研究和应用的发展.



主要符号一览表

- A 亥姆霍兹自由能, 面积, 十倍时间老化率, 自由能展开式中序参量二次方项的系数
- a 吸收系数, 晶胞边长
- B 自由能展开式中序参量三次方项的系数, 温度因数
- B_{mn} 真空电容率 ϵ_0 与光频电容率 $\epsilon_{mn}(\infty)$ 之比
- b 晶胞边长
- C 居里常量, 电容, 自由能展开式中序参量四次方项的系数
- C_0 静态电容
- C_1 动态电容
- C_L 负载电容
- C_x 样品电容
- c 比热, 真空中光速, 晶胞边长
- c^v 体积恒定时的比热
- c^D 电位移恒定时的比热
- c^E 电场恒定时的比热
- c' 单位体积的热容
- c 弹性刚度
- c_{mnpq} ($m, n, p, q=1-3$) 弹性刚度分量
- c_{ij} ($i, j=1-6$) 弹性刚度矩阵元
- c^E 短路弹性刚度
- c^D 开路弹性刚度
- D 面电荷密度
- D 电位移
- D_m ($m=1-3$) 电位移分量
- D^* 比探测率
- d 电畴厚度, 空间维数
- d 压电应变常量, 二阶非线性光学系数
- d_{mpq} ($m, p, q=1-3$) 压电应变常量分量, 二阶非线性光学系数分量

d_{mi} ($m=1-3, i=1-6$) 压电应变常量矩阵元, 二阶非线性光学系数矩阵元

E 能量

E_g 能隙

E 电场

E_b 偏置电场

E_c 矫顽场

E_d 退极化场

E_i 内偏场

e 电子电荷, 约化电场

e 压电应力常量

e_{mpq} ($m, p, q=1-3$) 压电应力常量分量

e_{mi} ($m=1-3, i=1-6$) 压电应力常量矩阵元

F_d 探测率优值

F_i 电流响应优值

F_v 电压响应优值

$F(hkl)$ 结构因子

$|F(hkl)|$ 结构振幅

F 腰自旋系统中的分子场

f 频率, 原子散射因子

f_a 反谐振频率

f_r 谐振频率

f_m 最大导纳频率

f_n 最小导纳频率

f_s 串联谐振频率

f_p 并联谐振频率

f 线性极化光系数

f_{mnp} ($m, n, p=1-3$) 线性极化光系数分量

G 吉布斯自由能

G_1 弹性吉布斯自由能

G_2 电吉布斯自由能

G_E 电导

G_T 热导

g 压电电压常量, 二次极化光系数

g_{mpq} ($m, p, q=1-3$) 压电电压常量分量

g_{mi} ($m=1-3, i=1-6$) 压电电压常量矩阵元

g_{mnpq} ($m, n, p, q=1-3$) 二次极化光系数分量

g_{ij} ($i, j=1-6$) 二次极化光系数的矩阵元

H 焓, 哈密顿量

H_1 弹性焓

H_2 电焓

h 高度, 序参量的共轭场, 等静压

h 压电劲度常量

h_{mpq} ($m, p, q=1-3$) 压电劲度常量分量

h_{mi} ($m=1-3, i=1-6$) 压电劲度常量矩阵元

$\hbar$ 普朗克常量

I 电流强度, 衍射强度, 光强度

i 虚数 $\sqrt{-1}$, 电流强度

J 相互作用常量, 电流密度

J_{ij} 赝自旋系统中二体相互作用常量

J_{ijkl} 赝自旋系统中四体相互作用常量

J_s 赝自旋系统中表面相互作用常量

J_{sc} 表面临界相互作用常量

K 自由能展开式中序参量梯度平方项的系数, 格拉斯常量

k 玻尔兹曼常量, 机电耦合因数

L 退极化因子, 电感, 长度

L_1 动态电感

L_c 相干长度

M 热容

M 电致伸缩系数

M_{ij} ($i, j=1-6$) 电致伸缩系数矩阵元

m 质量

m 电致伸缩系数

m_{ij} ($i, j=1-6$) 电致伸缩系数矩阵元

N 晶体中原子数, 频率常量, 群的阶
 n 折射率, 成核速率, 晶胞中原子数
 n_o o 光折射率
 n_e e 光折射率
 n_0 无外加电场时的折射率
 P 极化, 正则动量
 P_s 自发极化
 P_r 剩余极化
 p 热电系数
 P^x 总热电系数
 p^x 初级热电系数
 p^{PC} 部分夹持热电系数
 Q 热量, 电荷, 正则坐标, 品质因数
 Q_m 机械品质因数
 Q_e 电学品质因数
 Q_{ph} 光折变品质因数
 Q 电致伸缩系数
 Q_{ij} ($i, j=1-6$) 电致伸缩系数矩阵元
 q 电荷
 q 波矢
 q 电致伸缩系数
 q_{ij} ($i, j=1-6$) 电致伸缩系数矩阵元
 R 电阻, 气体常量, 相位共轭反射率, 残差
 R_w 加权残差
 R_L 负载电阻
 R_i 电流响应率
 R 二次电光系数
 R_{mnpq} ($m, n, p, q=1-3$) 二次电光系数分量
 R_{ij} ($i, j=1-6$) 二次电光系数矩阵元
 r^* 半径
 r 位矢
 r 线性电光系数

r_{mnp} ($m, n, p=1-3$) 线性电光系数分量
 r_{ip} ($i=1-6, p=1-3$) 线性电光系数矩阵元
 S 熵, 灵敏度
 S_n 以折射率改变衡量的光折变灵敏度
 S_η 以衍射效率改变衡量的光折变灵敏度
 S 赭自旋
 S^x, S^y, S^z , 赭自旋的三个分量
 s 弹性顺度
 s_{mnpq} ($m, n, p, q=1-3$) 弹性顺度分量
 s_{ij} ($i, j=1-6$) 弹性顺度矩阵元
 s^D 开路弹性顺度
 s^E 短路弹性顺度
 s 约化时间
 T 温度
 T_c 居里温度
 T_0 居里-外斯温度
 T_1 亚稳铁电相最高温度
 T_2 电场可诱发铁电相的最高温度
 t 时间, 约化温度, 厚度
 U 内能, 能量密度
 V 体积, 电压, 速率
 V_B 相界面速率
 v 速率, 位移型系统中二体相互作用常量, 晶胞体积
 v 速度
 W 功, 能量
 W_d 退极化能
 W_{dip} 偶极能
 W_E 静电能
 W_w 畴壁能
 W_x 应变能
 w 宽度
 X 应力

- X_{mn} ($m, n=1-3$) 应力分量或矩阵元
- X_i ($i=1-6$) 应力矩阵元
- x 应变
- x_{mn} ($m, n=1-3$) 应变分量或矩阵元
- x_i ($i=1-6$) 应变矩阵元
- Z 阻抗
- α 弹性吉布斯自由能展开式中电位移二次方项的系数, 弥散性指数, 比热的临界指数, 激活能
- α 线偏振光生伏打系数, 热胀系数
- α_{mnp} ($m, n, p=1-3$) 线偏振光生伏打系数分量
- α_{mn} ($m, n=1-3$) 线胀系数分量或矩阵元
- α_i ($i=1-6$) 线胀系数矩阵元
- β 序参量的临界指数, 弹性吉布斯自由能展开式中电位移四次方项的系数, 玻尔兹曼常量与绝对温度之积的倒易
- β 光生伏打系数
- β_{mnp} ($m, n, p=1-3$) 光生伏打系数分量
- β^0 二阶非线性静态电导率
- β_{mnp}^0 ($m, n, p=1-3$) 二阶非线性静态电导率分量
- Γ 关联函数, 对称群
- γ 弹性吉布斯自由能展开式中电位移六次方项的系数, 敏感率临界指数, 非谐振子势能中位移四次方项的系数, 阻尼系数
- δ 外推长度, 介电损耗角
- ϵ 电容率
- ϵ_{mn} ($m, n=1-3$) 电容率分量或矩阵元
- ϵ_r 相对电容率
- ϵ_0 真空电容率
- ϵ^x 自由电容率
- ϵ^x 夹持电容率
- $\epsilon(0)$ 低频(静态)电容率
- $\epsilon(\infty)$ 光频电容率
- η 序参量, 衍射效率
- η 介电刚度

η_{mn} ($m, n=1-3$) 介电刚度分量或矩阵元

θ 温度

θ_D 德拜温度

θ_E 爱因斯坦温度

λ 波长

λ 介电隔离率

λ^s 绝热介电隔离率

λ^T 等温介电隔离率

λ_{mn} ($m, n=1-3$) 介电隔离率分量或矩阵元

μ 迁移率, 约化质量

ν 关联长度的临界指数

ξ 关联长度, 位移

ρ 密度矩阵, 密度

σ 正则分布的方差

σ 线性电导率

σ_{mn} ($m, n=1-3$) 线性电导率分量或矩阵元

σ_T 热导率

σ^E 泊松比

τ 弛豫时间, 介电弛豫时间

τ_T 热弛豫时间

τ_E 电场弛豫时间

τ_T' 热时间常量

τ_E' 电时间常量

τ^* 涨落的寿命

χ 敏感率, (介电) 极化率

χ_{mn} ($m, n=1-3$) 线性极化率分量

χ_{mnp} ($m, n, p=1-3$) 二阶非线性极化率分量

χ_{mnpq} ($m, n, p, q=1-3$) 三阶非线性极化率分量

Ω 圆频率, 隧道贯穿频率

Ω_0 谐振子固有频率

Ω_i 非谐振子固有频率

ω 圆频率

ω_{TO} 光学横模频率

ω_{LO} 光学纵模频率

ω_0 振模的简谐频率

ω_s 振模的非谐频率

目 录

《凝聚态物理学丛书》出版说明	葛庭燧 冯端
序	蒋民华
主要符号一览表	iv
第一章 绪论	1
§ 1.1 基本概念	1
§ 1.2 历史和现状	7
§ 1.3 内容安排和说明	15
参考文献	18
第二章 铁电体的晶体结构	22
§ 2.1 含氧八面体的铁电体	22
2.1.1 钙钛矿型铁电体	22
2.1.2 铌酸锂型铁电体	27
2.1.3 钨青铜型铁电体	30
§ 2.2 含氢键的铁电体	31
2.2.1 KDP 系列晶体	31
2.2.2 LHP 和 LDP	33
§ 2.3 含氟八面体的铁电体	34
§ 2.4 含其他离子基团的铁电体	36
2.4.1 NaNO_2	36
2.4.2 TGS	39
2.4.3 内酰胺化合物	42
2.4.4 罗皂盐	43
§ 2.5 铁电聚合物和铁电液晶	45
2.5.1 铁电聚合物	45
2.5.2 铁电液晶	48
§ 2.6 铁电晶体的结构分析	51

2.6.1	参量关联	52
2.6.2	单畴化不完善的影响	55
2.6.3	铁电体绝对构型的测定	58
§ 2.7	由结构分析预言新铁电体	61
2.7.1	AKJ 关系	61
2.7.2	Abrahams 条件及其应用实例	63
参考文献		65
第三章 铁电相变的宏观理论		68
§ 3.1	电介质的特征函数	69
3.1.1	特征函数和相变	69
3.1.2	弹性吉布斯自由能的展开	72
§ 3.2	一级铁电相变	74
3.2.1	特征温度	74
3.2.2	系数 α_0 , β 和 γ 的测定	77
3.2.3	潜热及熵的改变	78
3.2.4	电场对居里温度的影响	78
§ 3.3	二级铁电相变	81
3.3.1	极化和介电特性	81
3.3.2	系数 α_0 , β 和 γ 的测定	82
3.3.3	居里点附近的比热	83
3.3.4	电场对相变温度的影响	84
3.3.5	三临界点	85
§ 3.4	朗道相变理论	87
3.4.1	序参量与对称破缺	87
3.4.2	朗道相变理论	89
§ 3.5	居里原理在铁电相变中的应用	95
3.5.1	居里原理	95
3.5.2	顺电-铁电相变	96
3.5.3	铁电-铁电相变	101
3.5.4	铁电相变与空间群	102
3.5.5	铁电相变的级	104
3.5.6	反铁电相变	105

§ 3.6	朗道理论的适用范围, 临界区	106
§ 3.7	非本征铁电相变和反铁电相变	113
3.7.1	初级序参量和次级序参量	113
3.7.2	非本征铁电相变	113
3.7.3	赝本征铁电相变	118
3.7.4	反铁电相变	121
§ 3.8	铁性相变	124
§ 3.9	铁电相变中的尺寸效应和表面效应	130
3.9.1	薄膜中的铁电相变	131
3.9.2	颗粒中的铁电相变	142
3.9.3	长柱体中的铁电相变	148
	参考文献	151
第四章	铁电相变的微观理论	155
§ 4.1	铁电软模的基本概念和实例	156
4.1.1	布里渊区中心光学横模的软化与铁电相变	156
4.1.2	软模相变的几个实例	159
§ 4.2	软模的机制	164
4.2.1	短程力与库仑力的平衡	164
4.2.2	非谐相互作用	166
§ 4.3	平均场近似下的软模理论	169
4.3.1	非谐振子系统及其基本性质	169
4.3.2	相变温度、软模频率和序参量	175
§ 4.4	赝自旋系统的模型哈密顿量及其静态性质	180
4.4.1	横场 Ising 模型	180
4.4.2	静态性质	185
§ 4.5	赝自旋系统的动力学	189
4.5.1	赝自旋的自由旋进	189
4.5.2	赝自旋运动的弛豫	194
§ 4.6	隧穿运动可忽略的赝自旋系统	200
§ 4.7	双势阱不对称的赝自旋系统	205
§ 4.8	赝自旋的四体相互作用	209