

893403

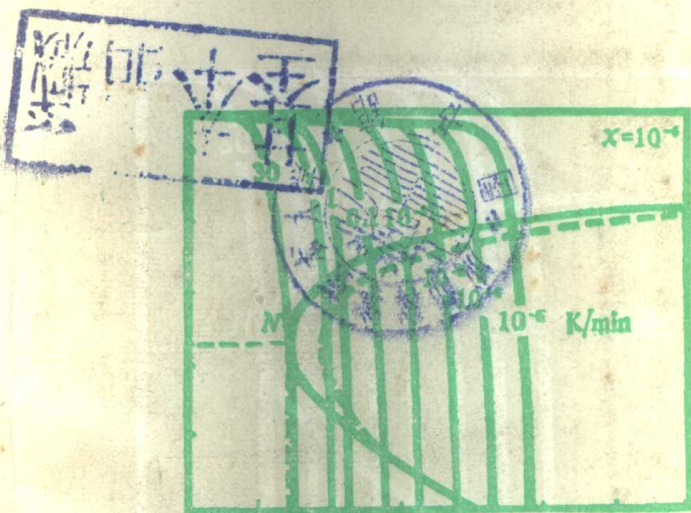
高等学校教学用书

3485

4332

非晶态物理

戴道生 韩汝琪等 编著



电子工业出版社

封面设计: 薛太忠



ISBN 7-5053-0460-7/TN·163 定价: ~~7.00元~~
5.60元

非晶态物理

戴道生 韩汝琪 等编

电子工业出版社

内 容 提 要

本书基于固体物理基础知识 and 近20年来非晶态固体结构及性能研究的大量实验资料,系统地阐述了该学科的重要理论和基本现象、常用的研究方法等。全书共16章,讨论了非晶态固体的形成,非晶半导体物理和器件原理,非晶金属的输运特性,非晶合金和薄膜的基本磁性,非晶态固体的结构弛豫和稳定性等。可作为有关专业大学学生、研究生的教学参考书,也可作为科技人员的自学参考书。

非晶态物理

戴道生 韩汝琪 等编

责任编辑:宋玉升

电子工业出版社出版(北京海淀区万寿路)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
山东电子工业印刷厂印刷

开本: 850×1168毫米 1/32 印张: 23.125 字数: 650 千字

1989年3月第一版 1989年3月第一次印刷

印数: 1—1500册 定价: ~~7.00元~~

5.60元
ISBN 7-5053-0460-7/TN·163

前 言

非晶态物理是当前固体物理学科比较活跃的领域之一。国际上对非晶态材料(主要是金属和半导体)的开发和研究已进入新的阶段,人们对它的应用前景抱有巨大希望,不少用非晶态材料制作成的元件和器件已经问世,基本理论的研究也取得了很大的进展。我国的非晶态材料的研究和开发工作同样取得了很大的成绩。由于长期以来,固体物理主要以晶体为研究对象,因此,在现有的固体物理著作中还很少有关于非晶态物理方面的论述。

随着非晶态材料的研究、开发和生产发展,培养人材和提高现有人员的基本知识和理论水平等各方面的要求也日益迫切。我们在科研工作和教学实践中,深感有必要编写一本比较系统地讨论非晶态固体的基础知识和理论的参考书,供从事实际生产和研究的科技人员、大专院校有关专业的大学生、研究生,以及新参加这一领域工作的同志学习基本概念和理论之用。

这本《非晶态物理》是我们在北京大学为高年级大学生和研究生讲授选修课的基础上编写成的。全书共十六章,内容的编排和取舍均由我们共同研究讨论后,分工负责编写成的。其中有关非晶态固体的制备工艺原理、形成和结构(第一、十二和十三章),由王文采编写;非晶态固体的结构缺陷、弛豫及稳定性(第十四、十五和十六章),由陈金昌编写;非晶态半导体的电子结构、物理性质和器件(第二、三、四和五章),由杨大同和韩汝琦编写;非晶态金属的内禀磁性和技术磁性(第七、八、九、十和十一章),由林肇华和戴道生编写;非晶态金属的输运特性作为独立的第六章,由林肇华编写。戴道生和韩汝琦负责全书内容的审定和最终定稿,并撰写了绪论。由于国内外难于找到可以借鉴的非晶态物

理的专著，我们不得不参阅大量原始文献和评述性论文，从中找出那些公认的、比较成熟可靠的规律性结果和理论，作为本书的基本内容和素材，结合我们在工作和教学中的体会，加工整理和系统编排，我们希望它能成为一部合适的参考书。考虑到一些读者对深入研究某些问题的兴趣，在每章都给出了相应的文献。由于水平和经历的局限，以及篇幅的考虑，书中必然存在不足（例如缺少对力学、化学等性质的讨论），甚至还会有不少缺点和错误，恳请广大读者批评指正。

作 者

1984.11.15

目 录

绪 论	(1)
第一章 非晶态固体的结构	(8)
1-1 非晶态固体的结构特点	(8)
1-1-1 晶格、有序和无序	(8)
1-1-2 长程序和短程序	(10)
1-2 非晶态结构的描述方法	(14)
1-2-1 径向分布函数RDF	(14)
1-2-2 短程序参数	(16)
1-2-3 中程序参数	(17)
1-3 大角散射法测定径向分布函数	(17)
1-3-1 基本原理	(18)
1-3-2 多元无序体系,干涉函数和偏分布函数	(22)
1-3-3 径向分布函数的测定方法	(26)
1-3-4 偏分布函数的测定	(28)
1-4 扩展X射线吸收精细结构谱(EXAFS)测定短程序 结构参数	(31)
1-4-1 基本原理	(31)
1-4-2 实验方法和数据处理	(37)
1-4-3 由 EXAFS 求短程结构参数	(39)
1-5 结构模型	(45)
1-5-1 建造结构模型的原则和方法	(45)
1-5-2 非晶态半导体	(46)
1-5-3 非晶态金属和合金	(56)
参考文献	(69)
第二章 非晶态半导体的电子理论	(74)
2-1 非晶态半导体的能带模型	(74)

2-1-1 单电子近似方法	(74)
2-1-2 非晶态半导体能带模型的要点	(76)
2-2 共价键与能带之间的联系	(80)
2-2-1 共价结合与短程有序	(80)
2-2-2 紧束缚近似——原子轨道线性组合(LCAO)法	(87)
2-3 Anderson定域化	(91)
2-3-1 Anderson模型	(93)
2-3-2 Mott 的假定	(95)
2-3-3 渗透理论模型	(96)
2-4 迁移率边	(99)
2-4-1 Kubo-Greenwood 公式	(100)
2-4-2 最小金属化电导率	(104)
参考文献	(109)
第三章 非晶态半导体中的缺陷	(111)
3-1 非晶态半导体中的缺陷态	(111)
3-1-1 非晶态半导体材料中缺陷态的一般特点	(111)
3-1-2 非晶态硅和锗的缺陷态	(114)
3-1-3 非晶态硫系半导体中的缺陷态	(118)
3-2 隙态密度的实验测定	(125)
3-2-1 电子自旋共振(ESR)	(125)
3-2-2 场效应(FE)	(130)
3-2-3 深能级瞬态谱(DLTS)	(136)
3-2-4 空间电荷限制电流(SCLC)	(147)
3-3 掺杂效应	(155)
3-3-1 非晶态半导体掺杂中的基本问题	(155)
3-3-2 a-Si:H 材料的掺杂	(157)
3-3-3 掺杂方法	(159)
参考文献	(163)
第四章 非晶态半导体的电学性质和光学性质	(169)
4-1 直流电导	(169)
4-1-1 扩展态电导	(170)

4-1-2	尾部定域态跳跃电导	(173)
4-1-3	费米能级附近的跳跃电导	(176)
4-1-4	费米能级附近的变程跳跃电导	(176)
4-1-5	直流电导对温度的依赖关系	(178)
4-2	漂移迁移率	(179)
4-3	温差电动势率	(184)
4-4	光电导	(190)
4-4-1	基本概念	(190)
4-4-2	室温下的光电导	(192)
4-4-3	光电导对温度的依赖关系	(194)
4-4-4	掺杂对光电导的影响	(196)
4-4-5	量子效率及原生对复合	(198)
4-5	光吸收	(201)
4-5-1	基本吸收带	(202)
4-5-2	吸收边	(205)
4-6	振动模的光吸收和喇曼散射	(217)
4-6-1	非晶态半导体原子振动模的一般概念	(218)
4-6-2	理想化非晶态半导体的原子振动模式密度	(219)
4-6-3	非晶态半导体的局域振动模	(222)
参考文献		(226)
第五章 非晶态半导体的制备方法及器件物理		(232)
5-1	非晶态半导体材料的制备	(233)
5-1-1	液相冷凝法	(233)
5-1-2	真空蒸发法	(234)
5-1-3	溅射法	(236)
5-1-4	化学汽相沉积(CVD)法	(237)
5-1-5	辉光放电(GD)法	(240)
5-2	非晶态硅太阳能电池	(246)
5-2-1	太阳能电池的基本原理	(246)
5-2-2	非晶态硅太阳能电池的特点	(251)
5-2-3	非晶态硅 $p^+ - i - n^+$ 结中的内建电场	(254)

5-2-4	几个物理参量的讨论	(257)
5-2-5	研究趋向与前景	(260)
5-3	光导型成像器件	(263)
5-3-1	非晶态半导体薄膜材料的电荷保持性及光放电	(264)
5-3-2	静电成象器件	(266)
5-4	非晶态半导体的其他应用	(267)
5-4-1	a-Si:H 薄膜集成电路	(267)
5-4-2	大面积平面显示	(269)
5-4-3	信息存储器件	(271)
5-4-4	光学信息存储器件	(272)

参考文献	(274)
------------	---------

第六章 非晶态金属电阻输运特性

(280)

6-1	引言	(280)
6-2	非晶态金属的电阻率及其温度关系	(282)
6-3	非晶态结构无序对电阻输运特性的影响	(291)
6-3-1	结构无序导致的非晶态金属电子能带结构的特点	(291)
6-3-2	结构无序导致的非晶态金属声子的特点	(292)
6-3-3	结构无序使Kondo效应与强磁场共存	(292)
6-3-4	结构无序与非晶态电子结构性散射	(293)
6-4	推广的Ziman理论	(295)
6-4-1	非晶态和液态金属电阻率特性的相似性	(295)
6-4-2	液态金属Ziman理论及其推广	(298)
6-4-3	非晶态结构因子的温度依赖性的影响	(303)
6-4-4	电子准动量不守恒的影响	(307)
6-4-5	电子-声子动力学模型	(308)
6-5	Kondo(近藤)效应	(309)
6-5-1	Kondo现象	(309)
6-5-2	Kondo理论	(311)
6-5-3	非晶态金属的Kondo效应	(318)
6-6	类Kondo效应	(319)

6-6-1 非晶态金属的类Kondo现象	(319)
6-6-2 非晶态金属微观磁性的涨落	(321)
6-6-3 强磁性非晶态金属的低温电阻	(325)
6-7 相干交换散射模型	(326)
参考文献	(333)
第七章 非晶态金属的自发磁化	(339)
7-1 非晶态金属的自发磁化与温度的关系	(341)
7-2 非晶态金属的自发磁化理论	(345)
7-2-1 Heisenberg 交换作用模型和分子场理论	(346)
7-2-2 Handrich 平均场理论	(347)
7-2-3 类金属元素的影响	(353)
7-2-4 居里温度附近的磁性	(357)
7-3 低温磁性	(359)
7-3-1 Bloch $T^{3/2}$ 定律	(360)
7-3-2 自旋波色散关系	(361)
7-3-3 非晶态金属的低温磁性	(361)
7-4 非晶态金属磁性的其他理论	(367)
7-4-1 RKKY型交换作用	(368)
7-4-2 双能级模型对Handrich理论的改进	(370)
参考文献	(373)
第八章 非晶态金属的磁矩	(375)
8-1 非晶态T-M合金的磁矩	(376)
8-2 用能带模型对非晶态磁性的讨论	(380)
8-2-1 硬带模型和电荷转移理论	(381)
8-2-2 电荷转移理论的质疑	(383)
8-3 分子轨道理论和非晶态金属磁矩	(385)
8-3-1 分子轨道理论计算磁矩的结果	(386)
8-3-2 B、P原子与Fe、Ni 原子的成键倾向	(389)
8-3-3 分子轨道理论与T-M合金磁矩	(391)
参考文献	(396)
第九章 局域晶场效应与非晶态金属磁性	(398)

9-1 非晶态稀土合金的磁结构	(399)
9-1-1 共线磁结构	(399)
9-1-2 非共线磁结构	(401)
9-1-3 局域晶场效应与非晶态磁性	(403)
9-1-4 非晶态R-T合金的居里点	(406)
9-2 非晶态稀土合金磁性	(407)
9-2-1 Y-T非晶态合金磁性	(407)
9-2-2 R-N非晶态合金磁性	(410)
9-2-3 非晶态重稀土合金磁性	(410)
9-2-4 非晶态轻稀土合金磁性	(413)
9-3 磁化强度与温度关系的讨论	(420)
参考文献	(425)
第十章 非晶态金属的微结构和磁畴	(427)
10-1 引言	(427)
10-2 几何微结构、内部形状效应和磁弹耦合效应	(430)
10-3 化学微结构、指向有序各向异性和交换各向异性	(438)
10-4 非晶态金属的磁各向异性	(446)
10-5 非晶态金属磁畴	(448)
10-5-1 概述	(448)
10-5-2 非晶态金属畴壁	(449)
10-5-3 非晶态金属磁畴形态	(453)
10-5-4 散磁性非晶态金属的磁畴	(458)
参考文献	(460)
第十一章 非晶态金属的技术磁化理论	(464)
11-1 非晶态金属的技术磁化特点	(464)
11-2 非晶态金属的低场磁化曲线	(470)
11-3 非晶态金属的矫顽力机制	(477)
11-3-1 磁各向异性梯度钉扎效应	(480)
11-3-2 表面形貌的钉扎效应	(485)
11-3-3 磁后效钉扎效应	(487)
11-3-4 热处理对矫顽力的影响	(489)

11-4 高矫顽力非晶态金属	(490)
11-5 非晶态金属动态磁特性	(498)
11-5-1 交流磁滞回线和畴壁的动态响应	(499)
11-5-2 非晶态金属的磁损耗	(502)
参考文献	(513)
第十二章 非晶态的形成及非晶态合金的制备	(517)
12-1 非晶态合金的制备方法概述	(517)
12-2 结晶动力学	(520)
12-2-1 均匀成核	(521)
12-2-2 复相起伏和成核率	(525)
12-2-3 生长率	(527)
12-3 非晶态的形成条件	(528)
12-3-1 成核率很小	(529)
12-3-2 结晶比例很小	(533)
12-4 形成非晶态的临界冷却速率	(535)
12-4-1 连续冷却转变CCT图	(536)
12-4-2 非均匀成核及成核的暂态效应对形成非晶态的临界 冷却速率的影响	(538)
12-4-3 形成非晶态的临界冷却速率	(541)
12-5 制备工艺中的一些物理过程	(542)
12-5-1 工艺过程与冷却速率	(542)
12-5-2 冷却类型与冷却速率	(543)
12-5-3 薄带的品质与一些工艺参数	(545)
参考文献	(548)
第十三章 非晶薄膜的制备原理	(550)
13-1 薄膜沉积的物理过程概述	(551)
13-1-1 成核	(551)
13-1-2 生长过程	(552)
13-2 汽相沉积动力学	(553)
13-2-1 成核理论	(553)
13-2-2 生长动力学	(555)

13-3 非晶态薄膜的沉积	(556)
13-3-1 理论处理	(556)
13-3-2 形成非晶态薄膜的一些条件	(560)
13-4 真空蒸镀法沉积非晶薄膜	(562)
13-4-1 加热方法	(563)
13-4-2 薄膜厚度	(564)
13-4-3 多元系薄膜的蒸镀	(567)
13-5 真空溅射法	(568)
13-5-1 溅射率	(568)
13-5-2 几种主要的溅射方法	(570)

参考文献	(577)
------------	---------

第十四章 非晶态固体的结构缺陷	(580)
-----------------------	---------

14-1 非晶态、无序体系及短程有序	(581)
14-1-1 非晶态物质与无序体系	(581)
14-1-2 非晶态结构的主要特征	(584)
14-1-3 非晶态固体内的原子短程序	(587)
14-2 非晶态固体内的局域结构参数	(590)
14-2-1 RDF描述局域结构涨落的局限	(591)
14-2-2 局域结构参数的定义	(592)
14-2-3 局域结构参数的统计分布与关联	(599)
14-3 非晶态固体的结构缺陷	(609)
14-3-1 定义	(609)
14-3-2 原子团参数的计算机模拟	(610)
14-4 非晶态固体结构的Voronoi多面体统计	(621)
14-4-1 Voronoi多面体统计学	(622)
14-4-2 局域结构参数与Voronoi多面体的关联	(624)
14-5 宏观自由体积与结构缺陷	(628)
14-5-1 自由体积	(628)
14-5-2 自由体积与流体静态应力 P 的关联	(629)
14-6 非晶态固体的弹性应力	(631)
14-6-1 类点缺陷所感生的短程应力场	(631)
14-6-2 与 $1/r^2$ 成正比的短程应力场	(632)

14-6-3 长程应力场	(632)
参考文献	(635)
第十五章 非晶态固体的结构弛豫	(638)
15-1 各类物理量的弛豫现象	(639)
15-1-1 体积 V	(639)
15-1-2 比热 C_p 及焓 H	(640)
15-1-3 居里温度 T_c	(643)
15-1-4 磁后效	(658)
15-1-5 电阻率	(654)
15-1-6 粘滞系数与扩散系数	(661)
15-2 可逆与不可逆的结构弛豫	(664)
15-2-1 缺陷运动与结构弛豫	(664)
15-2-2 不可逆结构弛豫与可逆结构弛豫	(665)
15-2-3 径向分布函数与非晶态固体的结构弛豫	(667)
15-2-4 玻璃转变温度的估计	(671)
15-3 自由体积与位形熵模型	(672)
15-3-1 自由体积模型	(672)
15-3-2 位形熵模型	(673)
15-4 结构弛豫谱与玻璃转变新模型	(674)
15-4-1 结构弛豫谱	(674)
15-4-2 结构弛豫谱的视激活能	(676)
15-4-3 玻璃转变的一种新模型	(677)
15-5 结构弛豫动力学	(680)
15-5-1 激活能谱模型的基本概念	(681)
15-5-2 ‘ln τ ’ 动力学过程	(686)
15-5-3 可逆性现象	(686)
15-5-4 Cross-over 效应	(689)
参考文献	(691)
第十六章 非晶态形成和稳定性的热力学基础和	
微观机制	(695)
16-1 玻璃转变	(695)

16-1-1	非晶态是非平衡的亚稳态	(695)
16-1-2	玻璃转变温度 T_g	(696)
16-2	非晶态形成的热力学及结构因素	(698)
16-2-1	合金效应	(698)
16-2-2	原子的相互作用	(699)
16-2-3	尺度效应	(700)
16-2-4	位形熵 S_c 和原子的势垒 Δg	(701)
16-2-5	化学键能	(708)
16-3	非晶态合金的稳定性	(709)
16-3-1	非晶态合金的寿命	(710)
16-3-2	结晶激活能与稳定性的关系	(710)
16-3-3	组分对稳定性的影响	(712)
16-3-4	近自由电子气模型与稳定性	(713)
16-3-5	非晶态结构对稳定性的影响	(716)
16-3-6	结构稳定性	(719)
参考文献		(724)

绪 论

“非晶态固体”一词是指原子在空间排布无长程序(通俗地说,即没有晶格结构)的固体。目前可以分为四大类:1)传统的玻璃,2)非晶态金属(包括合金,又称金属玻璃),3)非晶态半导体,4)高分子聚合物。本书要讨论的“非晶态物理”的内容,指的是第二和第三类材料及其物理问题。

非晶态的金属和半导体与晶态的金属和半导体之间本质的差别在于,晶体具有平移对称性(即长程序),而非晶体则只有短程序(无平移对称性)。在非晶态固体中,由于化学键合作用的影响,在10—20 Å 范围内,原子分布有一定的配位关系,原子间距离和成键的键角等都有一定特征,但没有晶态那样严格,因而存在短程序。

正因为非晶态金属和半导体具有短程序,它具有许多与晶态材料非常相似的物理、化学性质,但由于不具有晶格结构,而显示出特有的优异性能,所以引起了科学、技术和工业等各方面人士的注目,并被公认为是一种新型的金属和半导体材料。

一、非晶态金属和半导体中原子的空间分布(习惯上简称为非晶态材料的结构)的研究工作非常重要,并且是一项基本研究任务。因为要想深入和全面了解非晶态材料的基本特性及其来源,以及在实际上提高材料的性能,或是在理论上对这些材料进行分析等等。都必须了解材料中原子分布的特点。目前非晶态半导体方面的理论工作已有相当成效,原因在于人们对非晶硅的结构(配位、键长和键角)的特点了解得较为清楚。但对非晶态金属结构的了解,相对于前者是不够清楚的。因此,要着手进行基本研究,困难就要大些:一方面是非晶态金属结构的研究困难较