

非晶态半导体 材料及其应用

钟伯强
蒋幼梅
程继健

编著

华东化工学院出版社

非晶态半导体材料 及其应用

钟伯强
蒋幼梅 编著
程继健

华东化工学院出版社

内 容 提 要

非晶态半导体是一门新兴的、边缘性的学科。本书侧重从学术理论基础和最新成就角度,并结合作者自己的工作,论述非晶态半导体材料的结构模型、电子能态理论缺陷模型及其性质,还介绍了非晶态材料在各领域中的应用。

本书共分9章。第1章为绪论,第2、3、4章阐述非晶态半导体的结构、电子态与缺陷,第5章阐述非晶态半导体的特性,第6、7章介绍硫系半导体玻璃与非晶硅氢半导体的性质和制备,第8、9章介绍非晶态半导体的应用和太阳电池。

本书可供从事非晶态半导体材料研究、生产和应用的科技人员阅读参考,也可供无机材料专业、半导体材料专业的本科生和研究生参考。

责任编辑 朱祖萱

责任校对 潘乃琦 金慧娟

非晶态半导体材料及其应用

Feijingtai Bandaoti Cailliao jiqi Yingyong

钟伯强 蒋幼梅 程继健 编著

华东化工学院出版社出版

(上海市梅陇路130号)

新华书店上海发行所发行

上海崇江外文印刷厂排版

上海群众印刷厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张 7.625 字数 205 千字

1991年3月第1版 1991年3月第1次印刷

印数 1-4500 册

ISBN 7-5628-0128-2/TU·1

定价 5.80 元

序 言

在材料科学领域中,从结构的角度的可以划分晶态材料与非晶态材料两大类。前者具有周期性的、有规则的原子排列,而后者则呈远程无序、近程有序的原子排列。X射线衍射等研究方法与技术的应用,使晶态材料的结构可以被精确地揭示,因此,在相当长的一段时期内,晶态材料比非晶态材料发展迅速。在近二十年中,新型非晶态材料的开发十分活跃,相应地在理论上也有了迅速进展,因而在材料科学中已有与晶态(包括多晶与单晶)材料并驾齐驱的趋势。例如,作为半导体材料除了单晶硅与多晶硅外,非晶硅也脱颖而出。

由于不少非晶态材料具有优异的性能,正在取代部分传统的晶态材料。由于非晶态材料的结构、组成与性质间的关系一般比晶态材料复杂,因而吸引了众多的物理、化学、材料学科的研究工作者,对蕴藏着巨大科学发展前景与应用潜力的非晶态材料进行探索。对近几年来国际学术会议的内容和动向进行分析,可以看到,开拓非晶态新材料,已成为 90 年代、甚至下一世纪发展初、高级技术值得注意的方向。

严格地说,非晶态材料不仅包括无机玻璃(氧化物、卤化物、硫系玻璃等),也包括元素玻璃、玻璃态金属、有机玻璃等。从结构上说,非晶态与玻璃态的含义无实质上的区别。因此,非晶态材料可以理解为玻璃材料。由于非晶态材料这一名词较能说明这类固体材料的结构特征,因而物理学家愈来愈多地应用“非晶态材料”。

当今对非晶态材料结构的研究已进入到一个应用各种近代实验手段深入探索的阶段,力争在结构的不同层次上取得新的研究成果,而不是急于提出新的、完整的结构理论。在非晶态材料结构的描述中,无序性仍占有重要位置。当然,这种无序性的强调并不意味着排斥结构的局部有序性。国际上对非晶态材料结构长期探索的结果中比较一致的意见是,非晶态固体结构可以在三个不同

层次上进行研究: (1) $5\sim 7\text{\AA}$ ^①大小,称为“短程”,一般应用衍射法、光谱法、波谱技术等加以确定; (2) $20\sim 50\text{\AA}$,称为“长程”,大致相当于玻璃分相时最小的区域,一般可以用X射线或中子小角散射法、电镜等手段加以研究; (3) 介于上述两个层次间,称为“中程”,大致为 $7\sim 20\text{\AA}$,目前拥有的研究方法,相对来说很难进行深入的探讨,这种中程结构正是非晶态材料结构的重要组成部分,也是最有争议的结构层次。可以预期,只有中程结构有了突破性进展以后,才能最终对非晶态材料结构有较全面的理解。这种中程结构实质上相应于玻璃结构中称为“成分起伏”、“微不均匀结构”等的大小区域,人们对这些概念的理解也是比较笼统的。

值得一提的是,在新型非晶态材料开发和应用的同时,非晶态材料科学也有了相应的发展。举例来说,金属玻璃在非晶态材料研究中所占的地位已相当重要。由于发现不少性质上的特殊性,金属玻璃结构的研究一直受到人们的重视。目前在这类非晶态材料结构的研究中,思路愈来愈开阔,引入了“拓扑抑制”、“动力抑制”等观念以阐述非晶态固体结构的形成。数年前,由快速冷却的 Al_3Mn 合金应用电镜所摄得的布拉格图像上,人们观察到了五次或十次对称性。为解释这种现象,提出存在“似晶”(quasi-crystals)。这种“似晶”具有定向有序,但不具有线有序,因而也属于一种非周期性结构。通过对金属玻璃结构的研究,进一步清楚阐明晶体、似晶、玻璃与液体间的关系,预期对非晶态材料结构的认识会作出有益的贡献。

非晶态材料研究的另一个热点是非氧化物玻璃,主要是硫系玻璃与卤化物玻璃。这些玻璃的结构不同于传统的氧化物玻璃,譬如在配位数、配位多面体的相互连接方式等方面的研究结果表明,目前存在的玻璃结构理论还无法予以充分解释。

非晶态元素(硅、锗、砷、硒等)构成非晶态材料中重要的一族。这类非晶态材料往往掺杂并用特定的制备技术形成非晶态薄膜,目前研究较多的是非晶态半导体薄膜,其中最引人注目的是非

① $1\text{\AA}=10^{-10}\text{m}=10\text{nm}$

晶硅，预期将有光辉的发展前景，它的理论研究与应用正方兴未艾。

综上所述，可以自然地得到结论，非晶态材料科学是现代材料科学的重要组成部分，也是固体物理与化学的前沿。同时，在国际上，非晶态材料科学方面的专著纷纷问世，总结了当前这个领域中的最新研究成果、制备技术、材料应用等，其中也包括非晶态半导体方面的专著。近十多年来，我国也有一些非晶态材料方面的专著，但迄今在非晶态半导体方面的专著尚付阙如。有鉴于此，编者在三年前着手编写本书，着重于阐述非晶态半导体的结构模型、电子态理论、结构缺陷与杂质、特性、应用等。由于编者水平有限，加上非晶态半导体的发展迅速，对国内外在这个领域的最新研究成果、制备技术、实际应用等方面掌握不全面，因而本书中一些重要内容没有涉及，如非晶态氧化物半导体等。同时，各章节的阐述篇幅也可能不够平衡，书中也难免会有些错误。我们希望本书读者、行家阅后提出宝贵意见，待今后有机会再版时加以补充、修改，我们在此预致谢意。

在本书编写和出版过程中，得到了华东化工学院出版社的大力协助、校友的热烈支持；此外，陶氏化学公司也对本书的出版给予了必要的资助，我们在此一并表示深挚的谢意。

编 者

目 录

1. 绪论	1
1.1 什么是非晶态半导体	1
1.2 非晶态半导体研究的历史进程	6
1.3 本书的安排	10
参考文献	10
2. 结构与分类	12
2.1 远程无序和近程有序	12
2.2 玻璃和非晶态	16
2.3 非晶态的分类	20
参考文献	25
3. 结构分析和电子态	27
3.1 研究结构的实验手段和获得的结果	27
3.2 有关结构的理论模型	30
3.3 电子态密度——价带和导带	37
3.4 带隙与 Weave-Thorpe 模型	40
3.5 拓扑学上的杂乱效应	42
3.6 局域电子及其有关性质	45
3.7 非晶态半导体的特殊问题	49
参考文献	52
4. 结构缺陷与杂质	53
4.1 从化学键的观点看结构缺陷和杂质	53
4.2 有关缺陷的实验背景和 Anderson 假说	56
4.3 Street-Mott 模型	58
4.4 基于简单化学键理论的缺陷模型	62
4.5 有关缺陷的最新理论	67
4.6 硅氢中的氢和氟的作用	68
4.7 杂质原子的结合方式及其作用	69

参考文献.....	75
5 非晶态半导体特性	77
5.1 光吸收	78
5.2 光致发光	85
5.3 光电导	92
5.4 弥散型传输	96
5.5 直流电导	99
5.6 交流电导	106
5.7 Hall 效应	108
5.8 热电势	111
参考文献	113
6 硫系玻璃半导体的性质和制造	115
6.1 不可逆的结构变化	115
6.2 可逆的结构变化(光致结构变化)	118
参考文献	126
7 非晶硅氢的制备和它的性质	128
7.1 制备方法	128
7.2 生长过程中的等离子化学	131
7.3 薄膜生长过程的控制	137
7.4 硅氢及其特性	139
7.5 结构缺陷和带隙态	143
7.6 价电子的控制	148
参考文献	152
8 非晶态半导体的应用	154
8.1 电开关、存储器	156
8.2 光存储器	159
8.3 非晶传感器	163
8.4 摄像器	169
8.5 静电复印用的感光鼓	176
8.6 薄膜晶体管和集成电路	181

参考文献	189
9 太阳电池	191
9.1 单晶硅太阳电池与非晶硅太阳电池的比较	192
9.2 非晶硅太阳电池制造技术	202
9.3 进一步提高效率的途径	207
9.4 批量生产大面积低成本太阳电池的技术	222
9.5 太阳电池的稳定性	228
参考文献	232

1 绪 论

无论从基础研究还是从应用研究考虑,非晶半导体都是一个重要的有发展前途的研究领域。但对此问题的认识也是有一个过程的。本章主要论述什么是非晶态半导体及对其研究的历史等问题。

1.1 什么是非晶态半导体

非晶体(non-crystalline solids)是指不形成结晶的固体。也就是不具有规则性、周期性、对称性等晶体特征的固体。道格拉斯等人指出,非晶体是这样一类物质,它们中的原子虽然也像晶体和液体中的原子那样相互靠近,但原子的排列并不像晶体那样有规则,只不过具有像液体那样的近程有序;然而,它们又不像液体那样会流动,却像晶体那样能够保持自己的形状。所以说凡是原子在空间排列近程有序的凝聚态物质统称为非晶体。很多人常称这类固体为无定形体(Amorphous solids)。当然,这里指的无定形体仅限于固体范围内的非晶态物质。

非晶态材料一般包括非晶态的各种金属、合金、半导体、超导体及化合物,它们往往比同类晶态材料具有更为优异的物理性质和化学性质。因此,近年来受到各国学者的重视,得到了广泛开发和应用。

众所周知,物质的半导性质基本上有两大类:

一类是本征半导体,这类半导体有一定的禁带宽度,当它受到外界能量的激发,价电子就有可能从价带跃迁到导带,而在价带留下空穴,因为在导带中获得了自由电子,在价带中产生了空穴,所以增加了电导。应该指出,本征半导体在导电时,电子和空穴是同

时进行移动的。

另一类是杂质半导体,杂质在其中形成施主能级或受主能级,导电时电流的传输有两种可能:一种主要靠电子输运,称作电子型(n型)半导体,另一种主要靠空穴输运,称作空穴型(p型)半导体。

现有的半导体绝大多数是由晶体材料制成的,然而,并不是只有晶体材料才具备半导性质,很多非晶态材料同样具备优良的半导性能,通常把这种具备半导特性的非晶态材料称作非晶态半导体。至今研究最多的非晶态半导体材料主要有两类:

一类是硫系非晶态半导体,在这类半导体中含有很大比例的硫系元素(如S、Se、Te等),它们往往是以玻璃态的形式出现。硫系元素的价电子是 s^2p^4 它们以二配位形式与本身或其它元素键合,Te元素本身键合通常形成多晶体,Se、S两元素本身键合,由于冷却条件的不同,可形成非晶体也可形成多晶体,其中原子以链或环两种形式联接,如图1-1所示。

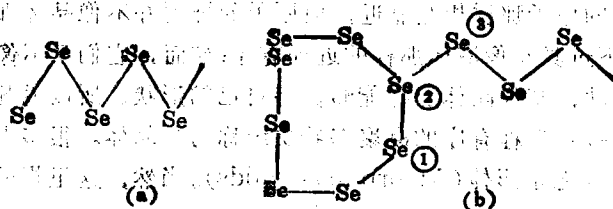


图 1-1 硒的环、链结构

(a) 硒链;

(b) 硒八环。

由图1-1可见,原子以二配位联接、键角的转移自由度较大,如果第三个原子排列不同,就会构成链或八环两种不同的结构,由于链与链之间是以范德华力连接的,所以玻璃的刚性较弱。硫系化合物玻璃的组成通常用组分间的原子比来表示。比较容易在热、光、电的作用下从一种结构转变到另一种结构。

硫系元素有六个价电子,在四个p电子中只用两个p电子成键,还有两个非成键p电子。由于玻璃晶格畸变降低的能量大于电子间的库仑斥力,具有负相关能,所以硫系玻璃有很多一配位的带

电悬挂键(charged dangling bond)和三配位的带电原子。

表 1-1 主要硫系非晶态半导体的组成及其物性

组成(%)	透光范围 μm	折射率 (n)	$\Delta n/\Delta T$ (对 5 微米) $10^4 \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$	软化点 $^\circ\text{C}$	热膨胀系数 $10^{-6} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$	硬度 g (显微硬度)	杨氏模量 10^9PSi
$\text{Si}_{25}\text{As}_{25}\text{Te}_{50}$	2~9	2.93	+110	317	13	167	—
$\text{Ge}_{10}\text{As}_{20}\text{Te}_{70}$	2~20	3.55	—	178	18	111	—
$\text{Si}_{15}\text{Ge}_{10}\text{As}_{25}\text{Te}_{50}$	2~12.5	3.06	+169	320	10	179	—
$\text{Ge}_{30}\text{P}_{10}\text{S}_{60}$	2~8	2.15	—	520	15	185	—
$\text{Ge}_{40}\text{S}_{60}$	0.9~12	2.30	—	420	14	179	—
$\text{Ge}_{28}\text{Sb}_{12}\text{Se}_{60}$	1~15	2.62	+80	326	15	150	4.2
$\text{Ge}_{33}\text{As}_{12}\text{Se}_{55}$	1~16	2.49	—	474	—	171	4.5
$\text{As}_{50}\text{S}_{20}\text{Se}_{30}$	1~13	2.53	—	218	20	121	2.1
$\text{As}_{50}\text{S}_{20}\text{Se}_{20}\text{Te}_{10}$	1~13	2.51	—	195	27	94	1.5
$\text{As}_{35}\text{S}_{10}\text{Se}_{35}\text{Te}_{20}$	1~12	2.70	—	176	25	196	2.5
$\text{As}_{38-7}\text{S}_{61-3}$	1~15	2.79	—	202	19	114	2.5
$\text{As}_8\text{Se}_{22}$	1~19	2.46	—	70	34	—	—
$\text{As}_{40}\text{S}_{60}(\text{As}_2\text{S}_3)$	1~11	2.41	—	210	25	109	2.3

另一类非晶态半导体,如非晶硅(a-Si)、非晶锗(a-Ge)以及Ⅲ~V族化合物非晶态半导体,如a-GaP、a-GaAs、a-InP、a-GaSb等,由硅烷 SiH_4 辉光放电分解得到的含氢非晶硅薄膜(a-Si:H)也属此类。在理论上已证实,非晶硅原子中最外层的两个s态电子及两个p态电子形成 sp^2 杂化轨道后,与周围原子形成四面体键,键间的空间角为 109.5° 。纯非晶硅氢(a-Si:H)的正常键结构是 T_4^0 ,T表示四面体结构的元素,下标4表示四配位的共价键,上标0表示电中性。 $\text{T}_3^{\cdot}$ 是氢化非晶硅中的悬挂键。 T_3^+ 是 $\text{T}_3^{\cdot}$ 释放电子后的电离施主态, T_3^- 是 $\text{T}_3^{\cdot}$ 接受电子后的电离受主态, $\text{T}_3^{\cdot}$ 在接受电子后退出杂化。1978年Adler用紧束缚法算出 $\text{T}_3^{\cdot}$ 的缺陷态存在于带隙中,包括较低的满态和较高的空态。在热平衡时,关于

两态之间的能量差（有效相关能）是正还是负的问题，目前在国际上还存有争议。对于掺杂 a-Si:H, Spear 等人指出：控制掺杂浓度可以在很大范围内改变费米能级的位置，从而能控制这些材料的导电性能。上述非晶态半导体中的缺陷，缺陷态以及这些缺陷态的存在，对材料的光学性质和电学性质究竟会带来哪些影响，将在以后各章节中加以讨论。在表 1-2 中，列出了 a-Si:H 的物理特性，此外，目前还发现了如 GeO_2 、 BaO 、 SiO_2 、 TiO_2 、 SnO_2 和 Ta_2O_5 等多种氧化物非晶半导体，以及 III 族元素和 V 族元素半导体 a-B 和 a-As 等。

表 1-2 a-Si:H 的物理特性

材 料 参 数	典 型 值
暗电导率	$3 \times 10^{-9} \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$
光电导率(AM-1, 100mW/cm ²)	$1 \times 10^{-3} \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$
电导激活能	0.76eV
光学能隙	1.7~1.8eV
光学能隙的温度系数	$2.7 \times 10^{-4} \text{eV} \cdot \text{K}^{-1}$
电子迁移率	$0.5 \sim 1.0 \text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
空穴迁移率	$1 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10^{-3} \text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
载流子扩散长度	$> 1.0 \mu\text{m}$
电子亲和能	3.93eV
折射率	3.43
密度	$2.2 \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$
自旋密度	$> 1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$
氢含量	18at. %
晶化温度	675°C

与晶态相比，非晶态半导体材料的制备是比较容易的，制备的

方法通常包括熔融冷却法和气相沉积法。前者先把材料加热至熔化的液体状态,然后淬冷,使晶体来不及进行成核生长而获得非晶态,为了获得非晶态不同的材料,对淬冷速度有不同的要求。但是像非晶硅这样的四面体配位的非晶态半导体,不能采用熔融冷却法制备,而只能用气相沉积法等,只要衬底温度相当低,就能得到非晶态结构的薄膜材料。

如上所述,非晶态半导体由于它的结构特殊性,而且它的很多物理性质诸如电导、光学常数,二次电子发射等等都是随着结构的变化而变化,以及有些系统的成分可以进行大幅度地调节,所以能得到各种特性的非晶态半导体,它们除了对可见光具有较高灵敏度的光电转换特性以外,还具有热敏效应,透红外线,电阻值非线性变化以及具有开关记忆等特性。非晶态半导体的另一特点是耐辐照能力强,当外界有强的射线辐照时,不会受到影响,因此,它又为应用于宇宙空间的材料提供了新的前景。

在用化学键观点对缺陷结构进行分析时,人们常用 C_1^+ 、 C_1^- 、 C_1^- 分别代表缺陷态上没有电子、占有一个电子和占有两个电子的状态。所谓硫系元素悬挂键的电子,实际上就是非成键的 p 轨道电子,也就是说当硫系元素存在悬挂键时,只有单重共价键中的一个 p 电子处于成键态,另外三个 p 电子是处于非成键态。同时,有人认为硫系元素还有形成三重共价键态的,即三个 p 电子处于成键态,一个 p 电子处于反成键态,由于三重键态比单重键态的能量更低,所以更容易在硫系非晶体中出现。显然,如失去反键态上的电子,对能量将更为有利。这就是 C_1^+ 结构,由于负相关能,单重键上获得一个电子,即是 C_1^- 结构。 C_1^+ 、 C_1^- 表示了能量最低的缺陷状态,称为换价对

(Valence Alternation pair) 简称 VAP, 常出现在硫系玻璃长链的交点,如图 1-2 所示。图中 A、B 原子之间存在缺陷,若缺陷

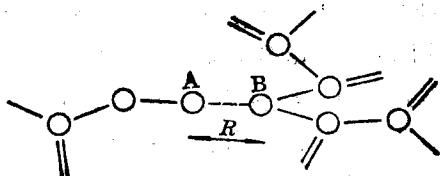


图 1-2 换价对示意图

为负电状态, A、B 之间存在有四个电子, 它们分别占据两个非成键的轨道, 这时 B 原子为正常的共价结合 C_2^0 状态, A 原子则处于单重键 C_1 状态, A 原子表现为长链的一个端点。若 A、B 之间缺陷处于正电状态, 则存在两个电子, 它们在 A、B 之间形成共价键, 这时 A 原子为正常的共价结合 C_2^0 状态, 而 B 原子处于三重键 C_3^+ 状态。A、B 原子之间从孤对状态变换成成键状态, 键能的变化, 就是晶格畸变能。硫系非晶态半导体材料的光电效应是它的一个基本性质, 静电复印、摄像靶、阵列二极管等等全是应用其光电导性质, 因而光电效应就成为鉴定材料的一个基本参数。主要硫系非晶态半导体的组成及物性见表 1-1。

1.2 非晶态半导体研究的历史进程

提到半导体材料, 人们很自然地就会想起单晶硅、锗、砷化镓等, 这是由于人们对单晶特别是硅和锗的半导体特性认识得比较早, 并且用它们制作了一系列电子器件。晶态固体是以组成其固体的原子呈周期性规则排列为基本特征的, 由于这种长程周期性带来了数学表达上的简化, 所以在量子力学诞生后就对晶态固体中的许多物理现象有了深入的认识, 也正因为固体量子理论的最初发展基于长程有序性, 而半导体的存在是直接与此相关的, 所以长期以来, 人们以为非晶态固体不可能是半导体。直至 1950 年才开始进行非晶态半导体的研究工作, 当时 Weimer 发表了题为“无定形 Se 的光电导”的论文。文中指出: 过去认为无定形材料中不具有光电导性是错误的。1955 年苏联半导体之父 A. F. Ioffe 的学生 B. T. Kholomiets 发现硫系玻璃的半导体特性, 采用 Tl_2Se 及 As_2Se_3 制得了 $Tl-As-Se$ 三元系玻璃态结构固溶体, 其后又有一些科学工作者进行了这项研究工作, 但都未能突破。一直到 1968 年美国的 Ovshinsky 用硫系玻璃薄膜制作开关器件的专利公布以后, 才引起人们对非晶态半导体的重视。Ovshinsky 在硫系玻璃中发现了两种开关现象, 一种开关现象叫做存储开关,

当外加电压除去以后,导通态仍然保持着,只有再加上一个强脉冲电流,才能恢复到截止态。第二种叫做阈值开关,对硫系玻璃所加的电压超过阈值时,玻璃的电导可以增加 100 万倍,关于产生这种开关现象的原因究竟是热效应还是电子效应,曾经有过一番热烈的争论。1974 年 M. P. Shaw 等和 S. Balmicins 等的一些实验表明,这种开关现象的原因由电子效应引起的可能性较大,例如开关过程可以在不到 10^{-8} 秒的时间内完成,因为在这样短的时间内难以对材料产生有效的加热。经过这些年来的改进与提高,目前有的器件已开关 10^{14} 次还未曾失效。与此同时, G. C. Vezzoli 等曾在观察非晶态半导体导通时发现了荧光现象,这种荧光现象是在冷物质中的电子激发产生的,说明非晶态半导体开关时是冷过程。Perterson 等利用硫系玻璃薄膜为发射极制成了三极管,这一事实很显然地说明硫系玻璃薄膜可以发射电子。

但是,非晶态半导体中的势场并不呈现周期性,而是以无规则的随机起伏存在着,本征波函数不具有布洛赫波函数形式,描述晶体势场周期性的量子数也并不存在,那么非晶态半导体中的可激发电子是如何形成、如何运动的呢?这就势必迫使人们在研究非晶态半导体材料的同时要进行导电机理的研究。有关近代非晶态固体理论的重要工作可以追溯到 1958 年,当时, P. W. Anderson 发表了一篇题为“某些无规则点阵中不存在扩散”的论文,该文的原意是讨论杂质电导的,在文章中, Anderson 第一次指出:如果当材料的无序程度足够大,那么在导带里的电子就不可能在整个固体里自由运动,于是可能形成这样一种结果,即这时能带里的所有电子都处于陷阱状态,也就是所谓局域态,产生半导体效应。当时这篇文章的发表并没有引起人们的注意,但后来却成为非晶态固体理论的基础。1967 年, Mott 根据 Anderson 局域态的想法,设想出一个非晶态半导体的能带模型。1969 年 Cohen、Fritzsche、Ovshinsky 等又采用上述文章的内容来讨论非晶态半导体中的电子状态,提出了所谓 Mott-CFO 模型,从而解释了非晶态半导体的一些性质和现象。此外,苏联学者 Kolomiets 根据实验结果又

提出了非晶态固体中存在带隙的预言。1960年，苏联学者 Ioffe 及 Regel 在一篇题为“非晶态、无定形及液态电子半导体”的论文中，提出了一个重要论点：决定固体的基本电子特性和决定它们属于金属还是半导体或绝缘体的主要因素是构成固体的原子的近程序（最近配位数）。根据这一论点，对于不存在远程序的体系，仅从化学键理论出发，也可得出存在能带和带隙的结论。这对于了解半导体的电子特性是十分重要的。

近十余年来，在非晶态半导体材料中，还发现了不少有实用价值的物理现象。许多非晶态半导体材料在红外区是透明的，而且它们的电导随温度变化的情况，也类似于晶态材料本征电导的规律。这些现象表明，在非晶态半导体中也像晶态固体一样存在着导带和价带，但是，由于无序性的影响，导带和价带有带尾，存在着局域态以及迁移率边缘。在导带的迁移率边缘和价带的迁移率边缘之间的区域称为迁移率隙，就材料的电导性质而言，迁移率隙起着与带隙相似的作用。迁移率隙中的局域态带尾，随着材料无序性的增大而增大，还可能发生价带的局域态带尾和导带的局域态带尾的交叠，结果出现在费米能级上的能态密度有一定的值，当电子从一个局域态转移到另一个局域态以降低整个体系的能量时，电荷就会重新分布，出现一个高密度的正电荷和负电荷陷阱。这种陷阱减少了载流子的寿命和迁移率，本书将要介绍的硫系玻璃就是这种情况。

当今非晶态半导体引起了人们新的注意，其原因还在于：

(1) 能源危机促使人们寻找新的能源，而任何国家都有太阳能。

(2) 太阳能最干净，不会污染环境。

众所周知，太阳是个取之不尽用之不竭的无污染的清洁能源，如何利用太阳能来造福于人类，人们动过不少脑筋，也想了许多办法。上个世纪，人类虽然已经制造出由光能直接转变成电能的太阳能电池，但这种太阳能电池的转换效率太低，只能在实验室里用作光电测量元件，根本谈不上实用价值。于1954年，已有人研制出用单