

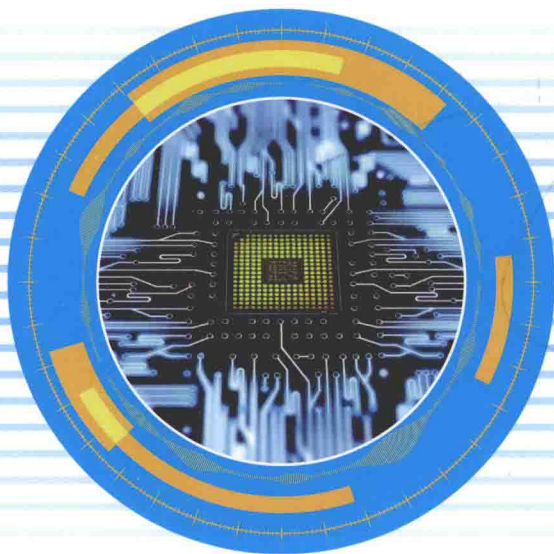
普通高等教育规划教材

BANDAOTI

QIJIAN YUANLI YU JISHU

半导体器件原理与技术

文常保 商世广 李演明◎主 编



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.



普通高等教育规划

Bandaoti Qijian Yuanli yu Jishu 半导体器件原理与技术

文常保 商世广 李演明 主编



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书主要介绍半导体物理基础、二极管、双极型晶体管、MOS 场效应晶体管、无源器件、器件 SPICE 模型、半导体工艺技术、半导体工艺仿真、薄膜制备技术、半导体封装技术和半导体参数测试技术等微电子技术领域的基本内容,这些内容为进一步掌握新型半导体器件和集成电路分析、设计、制造、测试的基本理论和方法奠定了坚实的基础。

本书可作为电子信息类电子科学与技术、微电子科学与工程、集成电路与集成系统、光电信息科学与工程、电子信息工程等专业的本科学生和相关研究生的专业课程教材,也可作为相近专业工程技术人员的自学和参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

半导体器件原理与技术 / 文常保, 商世广, 李演明主编. —北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2016. 9

ISBN 978-7-114-13099-1

I. ①半… II. ①文…②商…③李… III. ①半导体器件—高等学校—教材 IV. ①TN303

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 131822 号

书 名: 半导体器件原理与技术
著 作 者: 文常保 商世广 李演明
责任编辑: 郭 跃
出版发行: 人民交通出版社股份有限公司
地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号
网 址: <http://www.ccpres.com.cn>
销售电话: (010)59757973
总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部
经 销: 各地新华书店
印 刷: 北京市密东印刷有限公司
开 本: 787 × 1092 1/16
印 张: 17.75
字 数: 412 千
版 次: 2016 年 9 月 第 1 版
印 次: 2016 年 9 月 第 1 次印刷
书 号: ISBN 978-7-114-13099-1
定 价: 39.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

半导体技术是当今一个充满活力、前景无限,崭新的边缘学科领域,被誉为现代电子工业的心脏和高科技的原动力。通常认为大规模集成电路是半导体技术的核心,也是整个信息时代的标志,而半导体器件和半导体工艺则是大规模集成电路的基础和关键。目前,我国半导体产业与西方发达国家有着一定的差距,半导体技术的特殊性和重要性决定了该产业不可能通过技术引进,解决技术追赶的难题。编写本书对我国微电子技术专业及电子信息技术相关专业的人才培养具有重要的意义。

本书从系统到相对独立性考虑,在内容的选取和编排上力求重点突出、难点分散。叙述了半导体器件的物理基础、工作原理、基本工艺、封装测试等系列知识。本教材的编写简化了深奥的理论论述,深入浅出、通俗易懂,在对基本原理介绍的基础上,注重对工艺过程、工艺参数的描述以及技术参数测量方法的介绍,并在半导体制造的几大工艺技术章节之后,加入了工艺模拟的内容,弥补了实践课程由于昂贵的设备及过高的实践费用而无法进行实践教学的缺憾。

本书分为3篇,共计11章。第1篇为半导体物理及器件(第1~6章),主要包括半导体物理基础、二极管、双极型晶体管、MOS场效应晶体管、无源器件、器件SPICE模型;重点介绍了半导体材料的能带形成和导电机理,常用半导体器件的基本结构、工作原理、直流和交流特性以及开关特性等;同时,构建出常用半导体器件的SPICE模型。第2篇为半导体制造工艺(第7~9章),主要包括半导体工艺技术、半导体工艺仿真、薄膜制备技术;重点介绍了氧化、光刻、刻蚀和掺杂等主要工艺流程,尤其是工艺仿真部分,可取代或部分取代昂贵、费时的工艺实验;薄膜制备部分介绍了薄膜的物理制备技术和化学制备技术。第3篇为半导体器件封装及测试(第10~11章),主要包括半导体封装技术和半导体参数测试技术;重点介绍了半导体器件封装的工艺、材料和类型以及半导体器件的物理参数和电学性能测试原理与方法。

本书的第1、2、3、11章由长安大学文常保编写,第4、7、8、9章由西安邮电大学商世广编写,第5、6、10章由长安大学李演明编写。参加编写、绘图和资料收集的同志还有高丽红、马跃、杨晓冰、姚世朋和牡丹等。

本书建议学时为48~64学时,可根据具体情况由老师任意选择或相互组合使用。

在本书的编写过程中,我们参阅了许多资料和文献,在此对所参考资料和文献的作者表示诚挚地感谢,此外,我们还引用了互联网上的最新技术报道和进展,在此向这些作者和机构也一并表示衷心的感谢,并对无法一一注明来源深表歉意。对于共享资料没有标明出处,以及对某些资料进行加工、修改后引用到本书的,我们在此郑重声明,其著作权属于原作者,并在此向贡献者表示诚挚的感谢。

限于作者水平有限,书中难免存在疏漏或错误之处,恳请广大读者批评指正。

编 者
2016年4月

CONTENTS 目 录

第 1 篇 半导体物理及器件

第 1 章 半导体物理基础	3
1.1 半导体材料	3
1.2 半导体的结构	5
1.3 半导体的缺陷	7
1.4 半导体的能带	9
1.5 费米能级	12
1.6 半导体的载流子浓度	13
1.7 半导体的载流子运动	16
习题	19
参考文献	20
第 2 章 二极管	21
2.1 二极管的基本结构	21
2.2 pn 结的形成及杂质分布	22
2.3 平衡 pn 结	23
2.4 二极管的偏压特性	29
2.5 二极管直流特性的影响因素	31
2.6 二极管的击穿特性	33
2.7 二极管的开关特性	34
习题	36
参考文献	36
第 3 章 双极型晶体管	37
3.1 双极型晶体管概述	37
3.2 双极型晶体管的基本结构	38
3.3 双极型晶体管的放大作用	40

3.4 双极型晶体管的特性曲线	45
3.5 反向电流及击穿电压特性	48
3.6 基极电阻	52
3.7 双极型晶体管的开关特性	54
习题	55
参考文献	56
第4章 MOS 场效应晶体管	58
4.1 MOS 场效应晶体管的基本结构、工作原理和分类	58
4.2 MOS 场效应晶体管的阈值电压	61
4.3 MOS 场效应晶体管的直流特性	64
4.4 MOS 场效应晶体管的小信号参数和频率特性	70
4.5 MOS 场效应晶体管的二级效应	75
4.6 MOS 场效应晶体管的开关特性	81
习题	83
参考文献	84
第5章 无源器件	85
5.1 概述	85
5.2 嵌入式无源器件	86
5.3 集成无源器件	86
5.4 集成电阻	88
5.5 集成式电容	95
5.6 集成式电感	99
习题	102
参考文献	102
第6章 器件 SPICE 模型	103
6.1 SPICE 器件模型概述	103
6.2 二极管 SPICE 模型	105
6.3 双极型晶体管的 SPICE 模型	108
6.4 MOS 场效应晶体管 SPICE 模型	115
6.5 无源器件 SPICE 模型	121
习题	123
参考文献	124

第2篇 半导体制造工艺

第7章 半导体工艺技术	127
7.1 衬底清洗	128
7.2 氧化技术	129
7.3 图形加工技术	138
7.4 掺杂技术	146
习题	154
参考文献	154
第8章 半导体工艺仿真	155
8.1 ATHENA 概述	155
8.2 n 沟道 MOS 场效应晶体管仿真	157
8.3 光刻工艺仿真	175
习题	182
参考文献	183
第9章 薄膜制备技术	184
9.1 物理制备技术	184
9.2 化学制备技术	200
习题	211
参考文献	211

第3篇 半导体器件封装及测试

第10章 半导体封装技术	215
10.1 封装技术概述	215
10.2 封装功能和作用	216
10.3 封装工艺	218
10.4 封装材料	222
10.5 封装类型	225
10.6 其他封装技术	230
习题	233
参考文献	234

第 11 章 半导体参数测试技术	235
11.1 半导体电阻率测试	235
11.2 半导体的导电类型测试及影响因素	240
11.3 氧化膜厚度测试	243
11.4 结深测试	245
11.5 外延层杂质浓度测试	246
11.6 非平衡少数载流子寿命的测试	248
11.7 双极型晶体管参数测试	249
11.8 MOS 场效应晶体管参数测试	257
习题	261
参考文献	262

附 录

附录 A 主要半导体材料及其特性	265
附录 B 双极型晶体管的模型参数	266
附录 C MOS 器件的 SPICE Level 1、2、3 的模型参数	268
附录 D 物理常数	270
附录 E 国际单位制	271
附录 F 主要参数符号表	272

第 1 篇 半导体物理及器件

第 1 章 半导体物理基础

第 2 章 二极管

第 3 章 双极型晶体管

第 4 章 MOS 场效应晶体管

第 5 章 无源器件

第 6 章 器件 SPICE 模型

第 1 章 半导体物理基础

半导体材料是电导率在 10^{-8} 到 10^3 之间,介于绝缘体和导体之间的固态物质,如锗、硅、硒、硼、碲、锑等。其电导率与温度、光照、电磁场等外界因素,以及半导体材料中掺杂浓度和种类有着密切关系。因此,作为半导体器件的载体,半导体材料的特性对物理器件的性能有着重要的影响。本章将介绍半导体材料的晶体结构、缺陷、能带、费米能级和载流子等特性。

1.1 半导体材料

固态物质是大自然中最常见的一种物质。根据不同的分类方法,固态物质可以划分为不同类别的物质。按照构成物质的晶体状态分类,固态物质可以被分为单晶、多晶、非晶态材料;按照构成物质的化学组分分类,固态物质可以被分为金属、非金属、高分子、复合材料和高分子复合材料;按照构成物质的材料尺度分类,固态物质可以被分为零维、一维、二维及三维材料;按照固态物质的应用领域分类,固态物质可以被分为电子材料、电工材料、光学材料、感光材料、信息材料、能源材料、宇航材料和生物材料等。

在电子器件与材料领域,依据固态物质导电特性的不同对其进行分类,则是一种最常用的分类方法。根据电导率的不同,固态材料通常被分为绝缘体、半导体和导体材料。如图 1-1 所示。

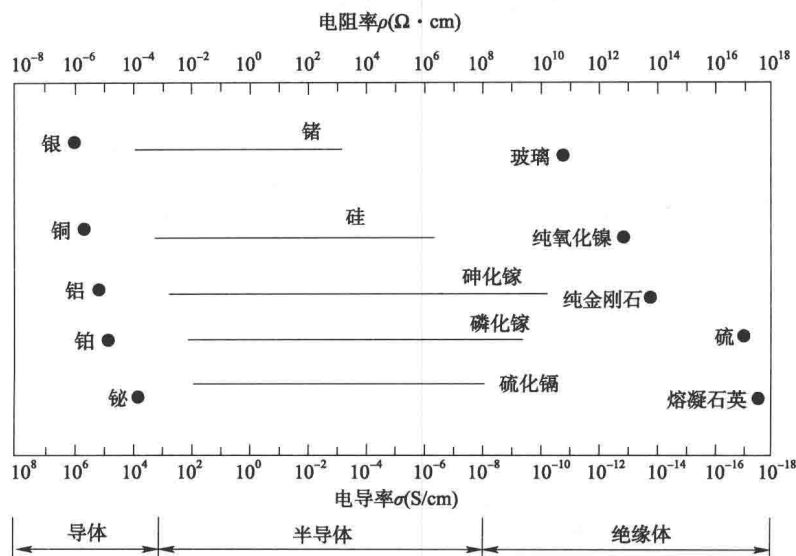


图 1-1 电导率与固态物质分类之间的关系

从图 1-1 中可看到绝缘物质的电导率主要分布在 10^{-18} 到 10^{-8} 之间,如石英、玻璃、硫等固态物质都分布在这个区间;导体物质的电导率一般大于 10^3 ,如铁、铝、铜、银、金等金属都处于这个区间;而电导率在 10^{-8} 到 10^3 之间,介于绝缘体和导体之间的固态物质,则是这里主要研究的固态物质——半导体材料,如锗、硅、硒、硼、碲、锑等。半导体材料的电导率与温度、光照、电磁场等外界因素,以及半导体材料中所掺杂的杂质原子的浓度和种类有着密切关系,也正是因为其具有这些特点,半导体材料在电子领域有着重要和广泛的应用。

半导体材料及其特性的研究,可以追溯到 19 世纪 30 年代,英国巴拉迪最先发现硫化银的电阻随着温度变化,并且变化情况不同于一般的金属。一般情况下,金属的电阻随温度升高而增加,但巴拉迪发现硫化银材料的电阻是随着温度的上升而降低的,这也是半导体的热敏特性和负电阻率温度特性首次被发现。1839 年法国的贝克莱尔发现半导体和电解质接触形成的结,在光照下会产生电压,这就是后来人们熟知的光生伏特效应(或者光伏特性),也是半导体材料的第三个特性——光敏特性的首次发现。1874 年,德国的布劳恩观察到某些硫化物的电导与所加电场的方向有关,即它的导电有方向性,在它两端加一个正向电压,它是导通的;如果把电压极性反过来,它就不导电,这就是半导体的整流效应,也是半导体的第四个特性。同年,舒斯特又发现了铜与氧化铜的整流效应。半导体这个名词大概是在 1911 年才首次被考尼白格和维斯使用,而半导体材料的热敏特性、负电阻率温度特性、光敏特性、整流特性、掺杂特性等几个主要特性,一直到 1947 年 12 月才由贝尔实验室测试和总结完成。

经过两个多世纪的努力,目前已经有众多的元素半导体和化合物半导体材料被发现和应用。表 1-1 给出了元素周期表中的一部分元素半导体,元素半导体由单一种类的原子组成,如硅(Si)和锗(Ge),可以在第Ⅳ族中找到。然而,大部分的半导体是由两种或多种元素组成的化合物半导体。例如,砷化镓(GaAs)为Ⅲ-V 族化合物半导体,由位于第四行的镓(Ga)和砷(As)组合而成。

与半导体材料相关的部分元素周期表 表 1-1

族 周期	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	V	Ⅵ
2		B 硼	C 碳	N 氮	
3	Mg 镁	Al 铝	Si 硅	P 磷	S 硫
4	Zn 锌	Ga 镓	Ge 锗	As 砷	Se 硒
5	Cd 镉	In 铟	Sn 锡	Sb 锑	Te 碲
6	Hg 汞		Pb 铅		

在 20 世纪 50 年代双极型晶体管出现之前,半导体器件仅被用作光电二极管、整流器等双端口器件,而锗是主要的半导体材料。然而,由于锗的高漏电流特性,使其在半导体器件应用中受到了很大的局限。此外,锗的氧化物(GeO_2)是水溶性物质,不适合于电子器件的制造。20 世纪 60 年代,硅成为一种切实可行的替代品,现在则几乎取代了锗成为半导体制

造的主流材料。这主要因为:一方面,使用硅材料制备的半导体器件具有非常低的漏电流;另一方面,硅材料的氧化物二氧化硅是一种优良的绝缘材料。此外,硅是极为常见的一种元素,在地壳中是第二丰富的元素(25.7%),仅次于第一位的氧(49.4%)。而且,硅材料的提取成本要远低于目前发现的其他半导体材料。因此,从器件制造成本的角度考虑,硅成为周期表中被研究得最多的元素之一,也使得硅技术成为目前最先进的半导体技术。

除硅、锗等元素半导体材料外,还有一类化合物半导体或复合半导体材料。这类半导体材料是由化合物构成的,它们通常由两种或两种以上的元素组成。常见的二元化合物半导体有,由Ⅲ族元素 Al、Ga、In 和 V 族元素 N、P、As、Sb 元素组成的 GaAs、GaN、InAs 等Ⅲ-V 族元素半导体;Ⅱ族元素 Zn、Cd、Hg 和 VI 族元素 S、Se、Te 组成的 ZnS、CdS、CdSe 等Ⅱ-VI 族元素化合物半导体;Si 元素与 C 元素组成的 SiC 等Ⅳ-Ⅳ 族化合物半导体;V 族元素 As、Sb 元素与 VI 族元素 S、Se、Te 组成的 AsSe₃、AsTe₃、AsS₃、SbS₃ 等 V-VI 族元素半导体化合物;Ⅳ族元素 Ge、Pb、Sn 元素与 VI 族元素 S、Se、Te 组成的 GeSe、SnTe、GeS、TbS 等Ⅳ-VI 族元素化合物半导体;还有像 ZnO、CuO₂、SnO₂ 等金属氧化物。此外,还有三元化合物,如砷化镓(GaInAs),甚至四元化合物,如磷化铝镓(GaAlInP)。这些化合物半导体有着硅所没有的一些电学以及光学特性,像砷化镓(GaAs)具有可供光电应用的直接带隙能带结构,以及产生微波的谷间载流子输运和高迁移率等独特特性。附录 A 是一些主要的半导体材料及其特性。

1.2 半导体的结构

晶体是一种结晶状态的固体,其原子或分子在空间按一定规律周期重复地排列,具有三维空间的周期性,这种周期性规律是晶体结构最基本的特征。虽然,晶体在宏观上表现出各种不同的特性,但其结构的周期性使它们都具有一些共同的特性,可以概括为长程有序、均匀性、各向异性、对称性、自限性、解理性、最小内能和晶面角守恒性等特性。

长程有序性是指整体性的有序现象。在晶体中,每一种质点都存在周期重复现象,即将周期重复的质点用线连起来,会形成周期重复的平行四边形网格,在三维中则是周期重复的空间格子。这种在图形中贯彻始终的规律称为长程规律或长程有序。例如在一个单晶体的范围内,质点的有序分布延伸到整个晶格的全部,即从整个晶体范围来看,质点的分布都是有序的。

均匀性是指晶体在它的各个不同部分上表现出相同性质的特性,也是晶体内部粒子规则排列的反映。由于晶体内部粒子具有周期性的规则排列,其中粒子性质和排列方式应该是和其他部分相同的,从而由此决定的各项宏观性质也应该是相同的。

各向异性是指晶体的性质因观测方向的不同表现出有所差异的现象。这是由于晶体结构中,各个方向上内部质点的性质和排列方式的不同而引起的。如钽酸锂晶体在不同的切向上,其温度系数、声同步速度、机电耦合常数都不相同。

对称性是指晶体在某些特定方向上具有相同的性质。如果在某几个特定的方向上,质点的性质和排列方式完全相同,晶体的性质也必然相同。这种相同性质在不同方向和位置上有规律地重复出现的现象就称为对称性。晶体的理想外形和晶体内部结构都具有特定的对称性。

自限性是晶体具有自发地形成封闭的几何多面体外形,并以此占有空间范围的性质。由于晶体在生长过程中自发地形成晶面,晶面相交形成晶棱,晶棱汇聚成顶点,从而形成具有多面体的外形把它们自身封闭起来,与周围的介质分开。对应的晶面之间的夹角始终不会受外界对其的影响而发生改变。

解理性是指晶体常有沿某一个、几个晶面或者晶向劈裂,形成光滑平面的性质,劈裂的晶面称为解理面。产生解理性的原因是由于这些晶面间的间距比较大,晶面间的相互作用力比较弱。

最小内能性,根据最小势能原理,能量越小越稳定,晶体的晶胞结构规整,排列有序,分子之间作用力均衡,所以最稳定,晶体内能也最小。

晶面角守恒性是指同一类型的晶体在同一温度和压强下晶面的数目、大小、形状可能有很大差别,但对应晶面之间的夹角是恒定的,这是晶面角守恒定律。晶体本身的大小和形状,不反映晶体品种的特征,而外形晶面之间的夹角才是晶体品种特征的反映。另外,由于晶体热膨胀的各向异性,晶面角将随温度而变。

半导体单晶材料和其他固态晶体一样,也是由大量原子周期性重复排列而成,每个原子又包含原子核和许多电子。硅、锗等半导体晶体在化学元素周期表中都属于第Ⅳ族元素,该类原子的最外层都具有四个价电子。在这类半导体材料中,硅、锗原子依靠共价键形成晶体,由于它们的晶格结构与碳原子构成的金刚石的晶格结构一样,也称为金刚石晶体结构如图 1-2 所示。

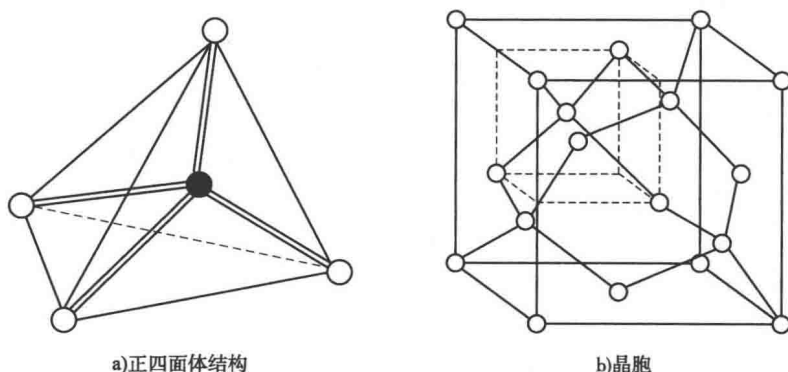


图 1-2 金刚石晶体结构

碳原子构成的金刚石晶体的主要特点是各个原子周围都具有四个最邻近的原子,组成一个如图 1-2a) 所示的正四面体结构。这四个原子分别处于正四面体的顶角上,每一顶角上的原子各贡献一个价电子与正四面体内部的原子共有,共有的电子在两个原子之间形成较大的电子云密度,通过它们对原子核的引力把两个原子结合在一起,这就是共价键。这样单个原子总共可以形成四个共价键,可以与相邻的四个原子形成共价键,构成正四面体分布的结构,即金刚石结构。晶体中一个原子周围最邻近的原子数目称为配位数,金刚石晶体中碳原子的配位数为 4,这是由共价键的饱和性所决定的。

Si 和 Ge 原子的电子结构与碳原子的类似,晶体结构也与金刚石晶体类似,都是共价键晶体,并且它们的原子都具有正四面体分布的形式,即构成金刚石晶体结构。硅晶体的结晶学原胞如图 1-2b) 所示,它是立方对称的晶胞。这种晶胞可以看作是两个面心立方晶胞沿着

立方体的空间对角线互相位移了四分之一的空间对角线长度套构而成。每个硅原子和邻近的四个原子以共价键结合,组成一个正四面体,而且每个硅原子都可以看成是位于正四面体的中心,每两个相邻原子间的距离为 0.256nm 。硅原子在晶胞中排列的情况是八个原子位于立方体的八个顶角上,六个原子位于六个面中心上,晶胞内部有四个原子。立方体顶角和面心上的原子与这四个原子周围情况不同,所以它是由相同原子构成的复式晶格。

由Ⅲ族元素 Al、Ga、In 和 V 族元素 N、P、As、Sb 组成的 GaAs、GaN、InAs 等Ⅲ-V 族半导体材料,与单元素半导体材料不同,它们由两类不同的原子构成,而且都具有典型的闪锌矿型结构。如图 1-3a) 所示为闪锌矿型结构的晶胞,它是由两类原子各自组成的面心立方晶格,沿空间对角线彼此位移四分之一的空间对角线长度套构而成。每个原子被另一种的四个原子所包围。如果顶角上和面心上的原子是Ⅲ族 Ga 原子,则晶胞内部四个原子就是 V 族 N 原子,所构成的就是Ⅲ-V 族半导体材料 GaN 晶胞。这类闪锌矿型结构晶胞顶角上的八个原子和面心上的六个原子是与周围晶胞共有的,可以认为共有四个原子属于该晶胞,因而每一个晶胞中有四个Ⅲ族原子和四个 V 族原子,共八个原子。闪锌矿型结构中两种离子的配位数为 4:4,两种离子各自按照面心立方密堆排列。

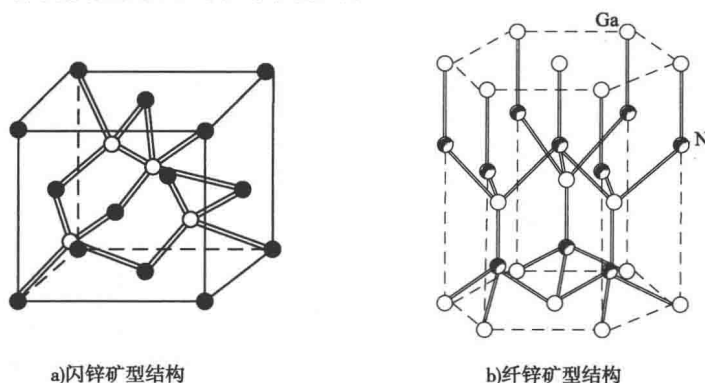


图 1-3 闪锌矿和纤锌矿型结构

元素周期表中Ⅱ族元素 Zn、Cd、Hg 和Ⅵ族元素 S、Se、Te 组成的化合物,除 HgSe、HgTe 是半金属外其他都是半导体材料,这些半导体化合物大部分都具有闪锌矿型结构,但是其中有些也可能具有纤锌矿型结构,如图 1-3b) 所示。

纤锌矿型结构和闪锌矿型结构非常类似,也由正四面体结构构成,但不是具有立方对称性,而是具有六方对称性。图 1-3b) 是纤锌矿型结构的晶胞结构,它是由两种类型的原子各自组成的六方排列的双原子层堆积而成,(001) 面规则地按照顺序叠加堆积,从而构成了纤锌矿型结构。纤锌矿型晶格中两种离子的配位数为 4:4,两种离子各自按照六方密堆排列,两者沿空间对角线方向互相移动四分之一对角线长度套构而成,互为四面体的体心,各自只占有其中二分之一体心。化合物半导体材料 ZnS、AlN、BeO、ZnO 都属于这类结构,它们都具有较大程度的共价特性,这也是高电价低配位数多面体的共同特性。

1.3 半导体的缺陷

在理想、完整的半导体晶体结构中,原子按一定的次序严格地排列在空间中周期性、有

规则的格点上。然而,在实际的半导体晶体结构中,由于晶体的形成条件、原子的热运动及其他条件的影响,原子的排列不可能那样地完整和规则,所以,往往会存在偏离了理想晶体结构的情况。这些就是晶体中的缺陷,它破坏了半导体晶体的理想性和完整性。

半导体晶体缺陷有的是在晶体生长过程中,由于温度、压力、介质组分浓度等变化而引起的;有的则是在晶体形成后,由于质点的热运动或受应力作用而产生的。它们可以在晶格内迁移,甚至消失;同时又可能有新的缺陷产生。晶体缺陷的存在对晶体的物理、化学、机械特性都会产生明显的影响。某些点缺陷适量地存在可以增强半导体材料的导电性和发光材料的发光性,起到有益的作用,而位错等缺陷的存在,会使材料容易断裂,其抗拉强度降低至几乎没有晶格缺陷晶体的几十分之一。

半导体材料的缺陷一般分为点缺陷、线缺陷和面缺陷三种。

1.3.1 点缺陷

点缺陷,这种晶格缺陷一般只涉及大约一个原子大小的范围,主要有空位、填隙、替位三种情况,如图 1-4 所示。晶格格点位置上缺失正常应有的质点而造成的缺陷,称为空位缺陷。由于额外的质点填充到晶格空隙内而产生的缺陷称为填隙缺陷,这类质点的半径很小。替位缺陷是由杂质成分的质点替代了晶格中固有位置的质点而引起的缺陷,两类质点的半径相差不大。

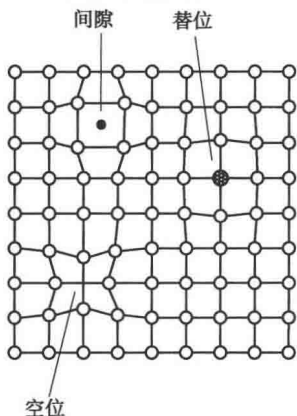


图 1-4 点缺陷

1.3.2 线缺陷

线缺陷主要是指晶格中的位错。这一现象在 1934 年由泰勒发现,直到 1950 年才被实验所证实。具有位错的晶体结构,可看成是局部晶格沿一定的原子面发生了晶格的滑移,滑移不贯穿整个晶格,其到晶格内部即终止,在滑移部分和未滑移部分的分界处造成质点的错乱排列,该交界线称为位错线。位错的存在对晶体的力学性质、机械特性等各种物理性质都有很大影响。

依据位错线与滑移方向,位错可分为刃位错、螺旋位错、混合位错三种基本情况,如图 1-5 所示。位错线与滑移方向垂直的位错,称为刃位错,也称为棱位错。位错线与滑移方向平行的位错,则称为螺旋位错。刃位错恰似在滑移面一侧的晶格中额外多了半个插入的原子面,后者在位错线处终止。螺旋位错在相对滑移的两部分晶格间产生一个台阶,但此台阶到位错线处即告终止,整个面并未完全错断,致使原来相互平行的一组面连成了恰似由单个面所构成的螺旋面。

1.3.3 面缺陷

面缺陷是一种沿着半导体晶格内或晶粒间的某个面两侧大约几个原子间距范围内出现的晶格缺陷。主要包括堆垛层错以及晶体内和晶体间的各种界面,如小角晶界、畴界壁、双晶界面及晶粒间界等,如图 1-6 所示。其中,堆垛层错是指沿晶格内某一平面,质点发生错误堆垛的现象。如一系列平行的原子面,原来按一定的顺序成周期性重复地逐层堆垛,如果