

电子技术与技能训练

(第2版)

● 主 编 范次猛

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

电子技术与技能训练

(第2版)

主 编 范次猛
副主编 冯美仙 吕 纯
主 审 邵泽强



内 容 简 介

本书是根据最新制定的“工业电子技术基础与技能训练”核心课程标准;参照相关最新国家职业标准及有关行业职业标准规范编写而成的。本书将理论课、实验课和实训课融为一体,主要内容包括:半导体二极管、半导体三极管的基本知识、放大电路基础知识、集成运算放大电路、直流稳压电源、可控整流电路、数字逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲波形的产生与整形、数模转换和模数转换等。每章后面都附有本章小结和思考题与习题,便于自学。

高等院校,现在是高职院校数控技术专业、电气自动化技术专业等机电类专业学生的教学用书,也可作为工程技术人员学习电子技术基础的参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电子技术与技能训练/范次猛主编. —2 版. —北京:北京理工大学出版社,2017.8

ISBN 978-7-5682-4275-2

I. ①电… II. ①范… III. ①电子技术-高等学校-教材 IV. ①TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 209452 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(总编室)

(010)82562903(教材售后服务热线)

(010)68948351(其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 17.5

字 数 / 412 千字

版 次 / 2017 年 8 月第 2 版 2017 年 8 月第 1 次印刷

定 价 / 67.00 元

责任编辑 / 孟雯雯

文案编辑 / 孟雯雯

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

从书编审委员会

主任委员：夏成满 晏仲超

委 员：常松南 陶向东 徐 伟 王稼伟

刘维俭 曹振平 倪依纯 郭明康

朱学明 孟华锋 朱余清 赵太平

孙 杰 王 琳 陆晓东 缪朝东

杨永年 强晏红 赵 杰 吴晓进

曹 峰 刘爱武 何世伟 丁金荣

再版前言

《电子技术与技能训练》自 2012 年 6 月出版以来，得到了全国许多高等院校电工电子技术教师的关怀和支持。

过去的五年多是中国高等教育改革力度大、发展速度快的时期，随着信息化、自动化技术应用水平的不断提高，电子技术与技能训练作为电类专业的通识课程显得越来越重要，电工电子技术的知识与技能已成为多数职业与岗位的能力和技术支撑。

本次教材在修订过程中依据新的课程标准，贯彻了以就业为导向，以能力为本位的思想。以职业能力分析为依据，设定课程培养目标，明显降低理论教学的重心，删除与实际工作关系不大的烦冗计算，以必备的相关基础知识和电子技术在工业中的应用为主线组织教学内容，注重培养学生的应用能力和解决问题的实际工作能力。

这次教材再版基本保持原有教材的体例结构，对教材内容进行了一定幅度的修改，其变动的情况如下：

1. 对每一章节都重新进行了精细化的组织和整理，力求语言简练，通俗易懂。2. 保留第 1 版的特色，栏目丰富、模式新颖。修订时进一步优化栏目，有助于激发学生学习兴趣；同时将“活动”贯穿于教学的始终，通过实际项目来培养学生的技能，通过项目训练内容培养学生的综合能力。

全书由范次猛老师任主编，并参与了本书第 6、7、8、9 章的修订，冯美仙老师参与了本书 1、2、3、4 章的修订，蔡敏老师参与了本书 1、2 章的修订，蒋珂老师参与了本书第 6、8 章的修订，董涛老师参与了本书第 3、7 章的修订，毕兴会老师参与了本书第 5 章的修订，罗亚老师参与了本书第 4 章的修订，全书的技能训练项目由吕纯老师参与修订。

由于编者学识和水平有限，书中难免存在缺点和错误，恳请同行和使用本书的广大读者批评指正。

编 者

第 1 章 半导体的基本知识	1
1.1 半导体及 PN 结	2
1.1.1 半导体的基本特性	2
1.1.2 本征半导体	3
1.1.3 杂质半导体	4
1.1.4 PN 结及其单向导电性	6
1.2 半导体二极管	7
1.2.1 二极管的结构	7
1.2.2 二极管的类型	9
1.2.3 二极管的单向导电性	13
1.2.4 二极管的伏安特性	14
1.2.5 二极管的主要参数	15
1.3 二极管基本电路及其应用	15
1.3.1 整流应用	16
1.3.2 钳位应用	16
1.3.3 限幅应用	16
1.3.4 稳压应用	17
1.3.5 开关应用	17
1.4 技能训练：二极管的判别与检测	17
本章小结	21
思考题和习题	22
第 2 章 半导体三极管及放大电路基础	24
2.1 半导体三极管	24
2.1.1 半导体三极管的结构、类型及符号	24
2.1.2 三极管的特性曲线、主要参数	27
2.1.3 认识三极管家族	31
2.2 场效应半导体三极管	32
2.2.1 结型场效应管	33
2.2.2 绝缘栅型场效应管（MOS 管）	34

目 录 >>>

2.2.3 场效应管和三极管的比较	36
2.3 技能训练：三极管的判别与检测	36
2.4 基本交流电压放大电路	38
2.4.1 三极管的三种状态	39
2.4.2 基本共射放大电路的特点	40
2.4.3 放大电路的分析	41
2.5 分压式偏置放大电路	46
2.5.1 影响静态工作点稳定的因素	46
2.5.2 分压式偏置放大电路	47
2.6 阻容耦合放大电路	50
2.6.1 多级放大电路的组成框图	50
2.6.2 阻容耦合多级放大电路	50
2.6.3 频率响应和通频带的概念	51
2.7 共集电极放大电路	52
2.7.1 静态分析	52
2.7.2 动态分析	53
2.8 技能训练：三极管放大器的安装与调试	54
2.9 功率放大电路	63
2.9.1 认识功率放大器	63
2.9.2 功率放大器的应用	65
2.9.3 集成功率放大电路 LM386	67
2.10 放大电路中的负反馈	69
2.10.1 反馈的基本概念	69
2.10.2 反馈的类型和判别方法	70
2.10.3 负反馈对放大电路性能的影响	72
2.11 技能训练：集成功率放大器的安装与调试	74
本章小结	76
思考题和习题	77

第 3 章 集成运算放大电路	81
3.1 差动放大电路	81
3.1.1 零点漂移	81
3.1.2 差动放大电路	82
3.2 集成运算放大电路简介	85
3.2.1 认识集成电路	85
3.2.2 集成运算放大器	86
3.2.3 理想运算放大器	88
3.2.4 常见集成运放的引脚功能及芯片介绍	90
3.3 集成运算放大器的基本运算电路	91
3.3.1 反相比例运算电路	91
3.3.2 同相比例运算电路	92
3.3.3 差动比例（减法）运算电路	93
3.3.4 加法运算电路（加法器）	94
3.4 集成运算放大电路中的负反馈	95
3.4.1 并联电压负反馈	95
3.4.2 电压串联负反馈	96
3.4.3 电流串联负反馈	96
3.4.4 电流并联负反馈	96
3.5 集成运算放大器的应用	97
3.5.1 积分和微分运算电路	97
3.5.2 电压比较器	98
3.5.3 正弦波振荡器	100
3.6 技能训练：集成运算放大器的使用与测试	101
本章小结	104
思考题和习题	105
第 4 章 直流稳压电源	108
4.1 整流电路	109
4.1.1 认识整流电路	109

目 录 >>>

4.1.2 单相半波整流电路	110
4.1.3 单相桥式整流电路	112
4.2 滤波电路	116
4.2.1 认识滤波电路	117
4.2.2 电容滤波电路	118
4.2.3 电感滤波电路	120
4.3 硅稳压管并联型稳压电路	121
4.3.1 稳压二极管	121
4.3.2 硅稳压管并联型稳压电路	122
4.4 串联型晶体管稳压电路	125
4.5 技能训练：串联型可调稳压电源的安装与调试	127
4.6 集成稳压电源	131
4.6.1 三端固定集成稳压器	132
4.6.2 三端可调集成稳压器	134
4.7 技能训练：三端集成稳压电源的组装与调试	136
本章小结	138
思考题和习题	139
第5章 可控整流电路	141
5.1 晶闸管	141
5.1.1 晶闸管的外形与符号	141
5.1.2 晶闸管的结构及导电特性	142
5.1.3 晶闸管的伏安特性	143
5.1.4 晶闸管的主要参数	143
5.2 单相可控整流电路	144
5.2.1 单相半波可控整流电路	144
5.2.2 单相桥式可控整流电路	145
5.3 单结晶体管及触发电路	147
5.3.1 单结晶体管	147
5.3.2 单结晶体管触发电路	148

5.3.3 单晶体管的保护	148
5.4 技能训练：晶闸管触发电路安装与调试	149
本章小结	151
思考题和习题	151
第6章 数字逻辑电路	152
6.1 数字电路概述	152
6.1.1 数字信号与模拟信号	153
6.1.2 数字电路的特点	153
6.1.3 数字电路的分类	154
6.1.4 数字电路的应用	154
6.1.5 脉冲信号	155
6.2 数制	156
6.2.1 十进制数	156
6.2.2 二进制数	156
6.2.3 八进制数	157
6.2.4 十六进制数	157
6.2.5 不同进制数之间的相互转换	158
6.2.6 BCD 编码	159
6.3 开关元件	160
6.3.1 二极管的开关作用	161
6.3.2 三极管的开关作用	161
6.4 基本逻辑门电路	162
6.4.1 基本逻辑关系	162
6.4.2 门电路	166
6.5 组合逻辑电路	175
6.5.1 逻辑代数	175
6.5.2 逻辑函数的化简	177
6.5.3 组合逻辑电路的分析	181
6.5.4 组合逻辑电路的设计	183

目 录 >>>

6.6 技能训练：三人表决器的制作	184
6.7 编码器	188
6.7.1 编码器的基本知识	188
6.7.2 集成编码器的产品简介	191
6.8 译码器	192
6.8.1 译码器的基本知识	192
6.8.2 集成译码器的产品简介	198
6.9 技能训练：抢答器电路安装与调试	199
本章小结	203
思考题和习题	204
第7章 时序逻辑电路	208
7.1 RS 触发器	208
7.1.1 基本 RS 触发器	209
7.1.2 同步 RS 触发器	213
7.2 时钟触发器	214
7.2.1 主从 JK 触发器	215
7.2.2 边沿 JK 触发器	216
7.2.3 JK 触发器的应用	217
7.3 D 触发器	218
7.3.1 同步 D 触发器	218
7.3.2 边沿 D 触发器	219
7.3.3 D 触发器的应用	220
7.4 寄存器	221
7.4.1 数码寄存器	221
7.4.2 移位寄存器	222
7.4.3 寄存器的应用	223
7.5 计数器	224
7.5.1 异步二进制加法计数器	224
7.5.2 同步十进制计数器	225

7.5.3 集成计数器的应用	226
7.6 技能训练：脉冲数显电路安装与调试	229
本章小结	235
思考题和习题	236
第8章 脉冲波形的产生与整形	239
8.1 单稳态触发器	239
8.1.1 用集成门电路构成的单稳态触发器	240
8.1.2 集成单稳态触发器	241
8.1.3 单稳态触发器的应用	243
8.2 施密特触发器	245
8.2.1 CMOS 门组成的施密特触发器	245
8.2.2 集成施密特触发器	246
8.2.3 施密特触发器的应用举例	246
8.3 时基电路的应用	247
8.3.1 555 时基电路	248
8.3.2 555 时基电路的应用	250
8.4 技能训练：555 构成的叮咚门铃电路安装与调试	252
本章小结	254
思考题和习题	255
第9章 数模转换和模数转换	257
9.1 数模转换电路	257
9.1.1 D/A 转换电路的基本知识	258
9.1.2 集成数模转换器的应用	259
9.2 模数转换电路	261
9.2.1 A/D 转换电路的基本知识	261
9.2.2 集成模数转换器的应用	264
9.3 技能训练：数模转换与模数转换集成电路的使用	266
本章小结	269
思考题和习题	269
参考文献	270

第 1 章 半导体的基本知识



任务导入

半导体器件是在 20 世纪 50 年代初发展起来的电子器件,由于具有体积小、质量轻、使用寿命长、输入功率小、功率转换效率高等突出优点,已广泛应用于家电、汽车、计算机及工业控制技术等众多领域,被人们视为现代电子技术的基础。对从事电子技术的工程技术人员来讲,只有认识和掌握了作为电子线路核心元件的各种半导体器件的结构、性能、工作原理和应用特点,才能深入分析电子电路的工作原理,正确选择和合理使用各种半导体器件。

某实用电子线路板如图 1-1 所示,上面除了集成电路外,还包含大量的二极管、三极管等半导体器件。为了正确和有效地使用这些常用半导体器件,必须对这些器件的结构原理及其外引线表现出来的电压、电流关系及其性能等有一个基本的认识,因此有必要了解和掌握一定的半导体基本知识。

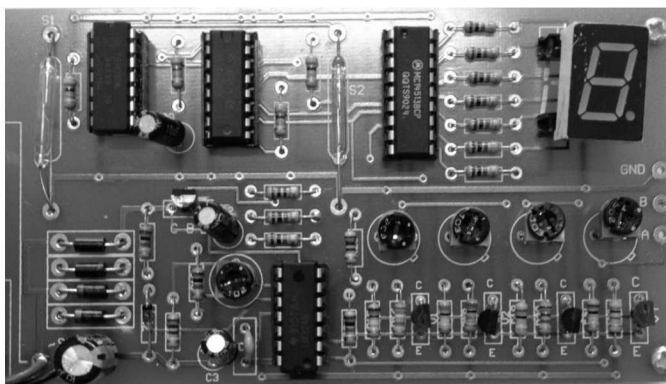


图 1-1 实物图

通过本章的学习,了解本征半导体、杂质半导体及 PN 结的基本概念;了解二极管的基本结构、伏安特性及主要参数;理解二极管的单向导电性;学会常用电子仪器的使用方法,能用万用表判断二极管的好坏和极性,会正确选用二极管;掌握二极管的主要应用;了解稳压管、光电二极管、发光二极管的工作机理及应用。

1.1 半导体及 PN 结



学习目标

1. 了解半导体的基本特性。
2. 了解本征半导体、杂质半导体及 PN 结的基本概念。
3. 掌握 PN 结的单向导电性。

半导体器件是 20 世纪中期开始发展起来的,具有体积小、质量轻、使用寿命长、可靠性高、输入功率小和功率转换效率高等优点,在现代电子技术中得到了广泛的应用。

1.1.1 半导体的基本特性

在自然界中存在着许多不同的物质,根据其导电性能的不同大体可分为导体、绝缘体和半导体三大类。通常将很容易导电、电阻率小于 $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 的物质,称为导体,例如铜、铝、银等金属材料;将很难导电、电阻率大于 $10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 的物质,称为绝缘体,例如塑料、橡胶、陶瓷等材料;将导电能力介于导体和绝缘体之间、电阻率在 $10^{-4} \sim 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 范围内的物质,称为半导体。常用的半导体材料是硅(Si)和锗(Ge)。

用半导体材料制作电子元器件,不是因为它的导电能力介于导体和绝缘体之间,而是由于其导电能力会随着温度、光照的变化或掺入杂质的多少发生显著的变化,这就是半导体不同于导体的特殊性质。半导体材料具有如下特性。

1. 热敏性

所谓热敏性就是半导体的导电能力随着温度的升高而迅速增加的特性。半导体的电阻率对温度的变化十分敏感。例如纯净的锗从 20°C 升高到 30°C 时,它的电阻率几乎减小为原来的 $1/2$;而一般的金属导体的电阻率则变化较小,比如铜,当温度同样升高 10°C 时,它的电阻率几乎不变。利用半导体的热敏性可以制成热敏电阻及其他热敏元器件,常用于自动控制电路中。

2. 光敏性

所谓光敏性就是半导体的导电能力随光照的变化有显著改变的特性。某种硫化铜薄膜在暗处的电阻为几十兆欧姆,受光照后,电阻可以下降到几十千欧姆,只有原来的 1% 。自动控制中用的光电二极管和光敏电阻,就是利用光敏特性制成的。而金属导体在阳光下或在暗处其电阻率一般没有什么变化。

3. 杂敏性

所谓杂敏性就是半导体的导电能力因掺入适量的杂质而发生很大变化的特性。在半导体硅中,只要掺入亿分之一的硼,电阻率就会下降到原来的几万分之一。利用这一特性,可以制造出不同性能、不同用途的半导体器件。而金属导体即使掺入千分之一的杂质,对其电阻率也几乎没有什么影响。利用半导体的杂敏性,可以制造出二极管、三极管、场效应管和集成电路

等半导体元器件。

半导体之所以具有上述特性,根本原因在于其特殊的原子结构和导电机理。

1.1.2 本征半导体

本征半导体是指完全纯净的、具有晶体结构(即原子排列按一定规律排得非常整齐)的半导体,如常用半导体材料硅(Si)和锗(Ge)。在常温下,其导电能力很弱;在环境温度升高或有光照时,其导电能力随之增强。

常用的半导体有硅、锗等,在硅的原子结构中,硅原子有 14 个电子,分成三层围绕着原子核旋转。最外一层有 4 个电子,最外层的电子称作价电子,因此硅元素称为 4 价元素。锗元素有 32 个电子,最外层也有 4 个电子,锗也是 4 价元素。图 1-1-1(a)和图 1-1-1(b)分别是硅和锗元素的原子结构图。

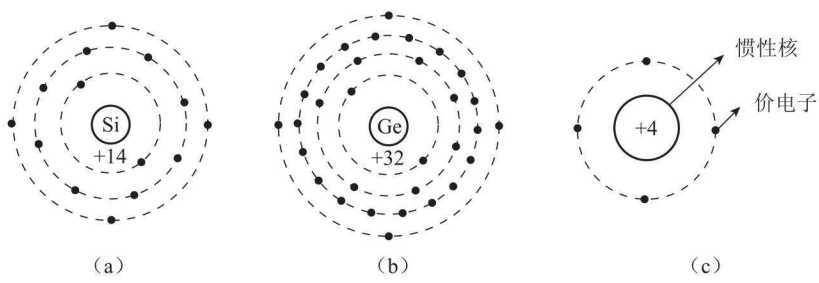


图 1-1-1 硅和锗原子结构的平面示意图
(a)硅(Si)原子;(b)锗(Ge)原子;(c)原子结构简化

硅或锗经过高度提纯和拉单晶处理而制成的半导体称为本征半导体,即本征半导体是完全纯净的具有单晶结构(即原子排列按一定规律排得非常整齐)的半导体,本征半导体又称为晶体。

为了画图方便,无论硅或锗都采用图 1-1-1(c)的简化模型,图中标有+4 的圆圈代表内层电子和原子核的电量之和,将惰性核最外层电子称为价电子。

在热力学温度 $T=0\text{ K}$ ($-273\text{ }^{\circ}\text{C}$) 无外部激发能量时,每个价电子都处于最低能态,价电子没有能力脱离共价键的束缚。没有能够自由移动的带电粒子,这时的本征半导体被认为是绝缘体。

我们知道,任何原子最外层只有 4 个电子的结构是不稳定的,最外层的电子要达到 8 个才稳定。因此在硅或锗晶体的结构中,每一个原子都有与相邻的 4 个原子结合时,把相邻原子中的 4 个价电子作为自己最外层的电子,以达到最外层 8 个电子的稳定结构的倾向。因此每个硅与锗原子的价电子是它自身原子和与它相邻的原子共有的,每一个原子的一个价电子与相邻原子的一个价电子组成一对价电子对,这一对价电子把两个相邻的原子结合在一起。原子的这种结构称为共价键结构。图 1-1-2 画出了原子间的共价键结构。

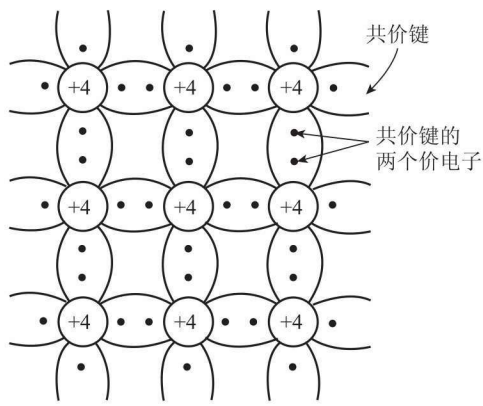


图 1-1-2 晶体的共价键结构图

当价电子在外部能量(如温度升高、光照)作用下,一部分价电子脱离共价键的束缚成为自由电子,这一过程叫本征激发。自由电子是带负电荷量的粒子,它是本征半导体中的一种载流子。在外电场作用下,自由电子将逆着电场方向运动形成电流。载流子的这种运动叫漂移,所形成的电流叫漂移电流。价电子脱离共价键的束缚成为自由电子后,在原来的共价键中便留下一个空位,这个空位叫空穴。空穴很容易被邻近共价键中跳过来的价电子填补上,于是在邻近共价键中又出现新的空穴,这个空穴再被别处共价键中的价电子来填补;这样,在半导体中出现了价电子填补空穴的运动。在外部能量的作用下,填补空穴的价电子做定向移动也形成漂移电流。但这种价电子的填补运动是由于空穴的产生引起的,而且始终是在原子的共价键之间进行的,它不同于自由电子在晶体中的自由运动。同时,价电子填补空穴的运动无论在形式上还是在效果上都相当于空穴在与价电子运动相反的方向上运动。为了区分电子的这两种不同的运动,把后一种运动叫做空穴运动,空穴被看做带正电荷的带电粒子,称它为**空穴载流子**。图 1-1-3 所示是半导体中的两种载流子。

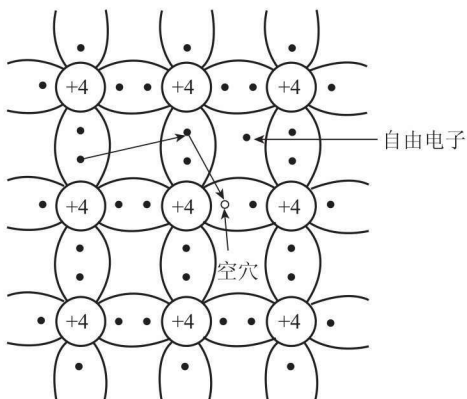


图 1-1-3 半导体中的两种载流子

综上所述,本征半导体中存在两种载流子:带负电荷的自由电子和带正电荷的空穴。它们是成对出现的,也叫**电子空穴对**。由于两者电荷量相等,极性相反,所以本征半导体是电中性的。本征半导体在外界的作用下,电子形成电子电流,空穴形成空穴电流,虽然两种载流子的运动方向相反,但因为它们所带的电荷极性也相反,所以两种电流的实际方向是相同的,它们的和就是半导体中的电流。

另外需要指出的是,价电子在热运动中获得能量产生了电子空穴对,这种物理现象称为**激发**;同时自由电子在运动中与空穴相遇,使电子、空穴对消失,这种现象称为**复合**。在一定温度下,载流子的产生过程和复合过程是相对平衡的,载流子的浓度是一定的。本征半导体中载流子的浓度,除了与半导体材料本身的性质有关以外,还与温度有关。而且随着温度的升高,基本上呈指数规律增加。因此,半导体载流子浓度对温度十分敏感。

1.1.3 杂质半导体

本征半导体的电阻率比较大,载流子浓度又小,且对温度变化敏感,因此它的用途很有限。在本征半导体中,人为地掺入少量其他元素(称杂质),可以使半导体的导电性能发生显著的变化。利用这一特性,可以制成各种性能不同的半导体器件,这样使得它的用途大大增加。掺入杂质的本征半导体叫**杂质半导体**。根据掺入杂质性质的不同,可分为两种:电子型半导体和空穴型半导体。载流子以电子为主的半导体叫**电子型半导体**,因为电子带负电,取英文单词“负”(Negative)的第一个字母“N”,所以电子型半导体又称为**N型半导体**。载流子以空穴为主的半导体叫**空穴型半导体**。取英文单词“正”(Positive)的第一个字母“P”,空穴型半导体又称为**P型半导体**。下面以硅材料为例进行讨论。

1. N 型半导体(电子型半导体)

在本征半导体中掺入正 5 价元素(如磷、砷)使每一个 5 价元素取代一个 4 价元素在晶体中的位置,可以形成 N 型半导体。掺入的元素原子有 5 个价电子,其中 4 个与硅原子结合成共价键,余下的一个不在共价键之内,掺入的 5 价元素原子对它的束缚力很小。因此只需较小的能量便可激发而成为自由电子。由于掺入的 5 价元素原子很容易贡献出一个自由电子,故称为“施主杂质”。掺入的 5 价元素原子提供一个电子(成为自由电子)后,它本身因失去电子而成为正离子。

在上述情况下,半导体中除了大量的由掺入的 5 价元素原子提供的自由电子外,还存在由本征激发产生的电子空穴对,它们是少数载流子。这种杂质半导体以自由电子导电为主,因而称为电子型半导体,或 N 型半导体。在 N 型半导体中,由于自由电子是多数,故 N 型半导体中的自由电子称为多数载流子(简称多子),而空穴称为少数载流子(简称少子),如图 1-1-4(a)所示。

2. P 型半导体(空穴型半导体)

当本征半导体中掺入正 3 价杂质元素(如硼、镓)时,3 价元素原子为形成 4 对共价键使结构稳定,常吸引附近半导体原子的价电子,从而产生一个空穴和一个负离子,故这种杂质半导体的多数载流子是空穴,因为空穴带正电,所以称为 P 型半导体,也称为空穴半导体。除了多数载流子空穴外,还存在由本征激发产生的电子空穴对,可形成少数载流子自由电子。由于所掺入的杂质元素原子易于接受相邻的半导体原子的价电子成为负离子,故称为“受主杂质”。在 P 型半导体中,由于空穴是多数,故 P 型半导体中的空穴称为多数载流子(简称多子),而自由电子称为少数载流子(简称少子),如图 1-1-4(b)所示。

P 型半导体和 N 型半导体均属杂质半导体。由于杂质的掺入,使得 N 型半导体和 P 型半导体的导电能力较本征半导体有极大的增强。多数载流子的浓度取决于掺入的杂质元素原子的密度;少数载流子的浓度主要取决于温度;而产生的离子,不能在外电场作用下做漂移运动,不参与导电,不属于载流子。

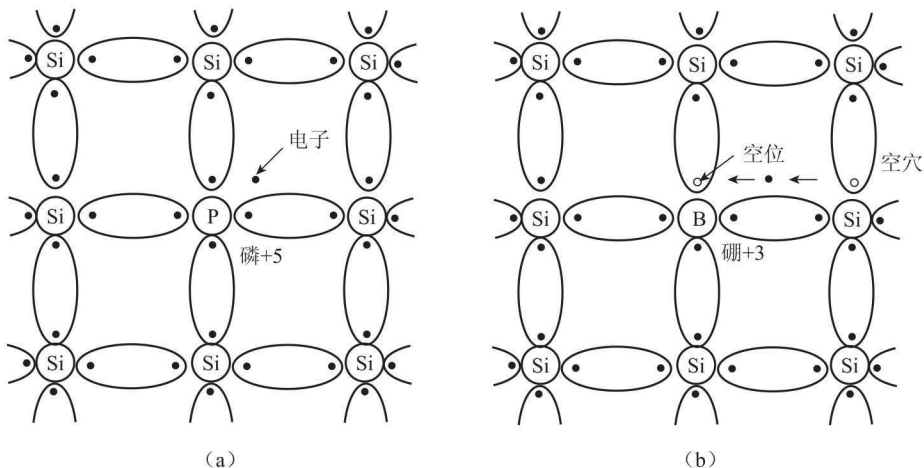


图 1-1-4 杂质半导体

(a)N 型半导体; (b)P 型半导体