



应用型本科规划教材

ANALOG ELECTRONICS TECHNIQUE

模拟电子技术

◆ 主 编 邵世凡

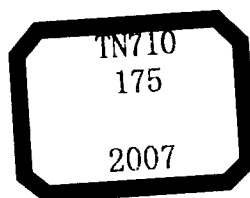
副主编 黄瑞祥 夏哲雷



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

应用型本科规划教材



模拟电子技术

主 编 邵世凡

副主编 黄瑞祥 夏哲雷

浙江大學出版社

内容简介

本书是在中国高等教育发展从“精英教育”阶段向“大众化教育”阶段转型的形势下,为适应不同层次、不同办学特色的学校的教学需要而编写的。在描述方面,本着因材施教的方针,力求做到深入浅出,形象具体,通俗易懂。内容符合电类专业“模拟电子技术”课程教学大纲的要求。主要包括半导体二极管及其基本电路、半导体三极管放大电路基础、场效应管及其放大电路、多级放大电路与差分放大电路、放大电路的频率响应及多级放大电路、反馈放大电路、功率放大电路、运算放大器、振荡电路、直流稳压电源,并附有习题。

本书为电子信息类专业基础平台课程教材。可供应用型本科院校的自动化类、信息电子类、测控技术与仪器、通信工程、计算机科学与技术等电类专业及其他相近专业作为本科生教材,也可作为其他非电类专业和成人教育学生自主学习的教材,以及作为工程技术人员的参考书籍。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术 / 邵世凡主编. —杭州:浙江大学出版社, 2007. 1

应用型本科规划教材

ISBN 978-7-308-04804-0

I. 模... II. 邵... III. 模拟电路—电子技术—高等学校—教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 070642 号

模拟电子技术

邵世凡 主编

丛书策划 樊晓燕

责任编辑 樊晓燕

封面设计 刘依群

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310028)

(E-mail: zupress@mail.hz.zj.cn)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排版 浙江大学出版社电脑排版中心

印刷 德清县第二印刷厂

开本 787mm×1092mm 1/16

印张 19

字数 462 千

版印次 2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月第 1 次印刷

印数 0001—3000

书号 ISBN 978-7-308-04804-0

定价 29.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话(0571)88072522

应用型本科院校信电专业基础平台课规划教材系列

编 委 会

主 任 顾伟康

副主任 王 薇 沈继忠 梁 丰

委 员 (以姓氏笔画为序)

方志刚 古 辉 李 伟

何杞鑫 林雪明 张增年

唐向宏 夏哲雷 钱贤民

蔡伟健

总 序

近年来我国高等教育事业得到了空前的发展,高等院校的招生规模有了很大的扩展,在全国范围内发展了一大批以独立学院为代表的应用型本科院校,这对我国高等教育的持续、健康发展具有重大的意义。

应用型本科院校以着重培养应用型人才为目标,目前,应用型本科院校开设的大多是一些针对性较强、应用特色明确的本科专业,但与此不相适应的是,当前,对于应用型本科院校来说作为知识传承载体的教材建设远远滞后于应用型人才培养的步伐。应用型本科院校所采用的教材大多是直接选用普通高校的那些适用研究型人才培养的教材。这些教材往往过分强调系统性和完整性,偏重基础理论知识,而对应用知识的传授却不足,难以充分体现应用类本科人才的培养特点,无法直接有效地满足应用型本科院校的实际教学需要。对于正在迅速发展的应用型本科院校来说,抓住教材建设这一重要环节,是实现其长期稳步发展的基本保证,也是体现其办学特色的基本措施。

浙江大学出版社认识到,高校教育层次化与多样化的发展趋势对出版社提出了更高的要求,即无论在选题策划,还是在出版模式上都要进一步细化,以满足不同层次的高校的教学需求。应用型本科院校是介于普通本科与高职之间的一个新兴办学群体,它有别于普通的本科教育,但又不能偏离本科生教学的基本要求,因此,教材编写必须围绕本科生所要掌握的基本知识与概念展开。但是,培养应用型与技术型人才又是应用型本科院校的教学宗旨,这就要求教材改革必须淡化学术研究成分,在章节的编排上先易后难,既要低起点,又要有坡度、上水平,更要进一步强化应用能力的培养。

为了满足当今社会对信息与电子技术类专业应用型人才的需要,许多应用型本科院校都设置了相关的专业。而这些专业的特点是课程内容较深、难点较多,学生不易掌握,同时,行业发展迅速,新的技术和应用层出不穷。针对这一情况,浙江大学出版社组织了十几所应用型本科院校信息与电子技术类专业的教师共同开展了“应用型本科信电专业教材建设”项目的研究,共同研究目前教材的不适应之处,并探讨如何编写能真正做到“因材施教”、适合应用型本科层次

信电类专业人才培养的系列教材。在此基础上,组建了编委会,确定共同编写“应用型本科院校信电专业基础平台课规划教材系列”。

本专业基础平台课规划教材具有以下特色:

在编写的指导思想上,以“应用类本科”学生为主要授课对象,以培养应用型人才为基本目的,以“实用、适用、够用”为基本原则。“实用”是对本课程涉及的基本原理、基本性质、基本方法要讲全、讲透,概念准确清晰。“适用”是适用于授课对象,即应用型本科层次的学生。“够用”就是以就业为导向,以应用型人才为培养目的,达到理论够用,不追求理论深度和内容的广度。突出实用性、基础性、先进性,强调基本知识,结合实际应用,理论与实践相结合。

在教材的编写上重在基本概念、基本方法的表述。编写内容在保证教材结构体系完整的前提下,注重基本概念,追求过程简明、清晰和准确,重在原理,压缩繁琐的理论推导。做到重点突出、叙述简洁、易教易学。还注意掌握教材的体系和篇幅能符合各学院的计划要求。

在作者的遴选上强调作者应具有应用型本科教学的丰富经验,有较高的学术水平并具有教材编写经验。为了既实现“因材施教”的目的,又保证教材的编写质量,我们组织了两支队伍,一支是了解应用型本科层次的教学特点、就业方向的一线教师队伍,由他们通过研讨决定教材的整体框架、内容选取与案例设计,并完成编写;另一支是由本专业的资深教授组成的专家队伍,负责教材的审稿和把关,以确保教材质量。

相信这套精心策划、认真组织、精心编写和出版的系列教材会得到广大院校的认可,对于应用型本科院校信息与电子技术类专业的教学改革和教材建设起到积极的推动作用。

系列教材编委会主任

顾伟康

2006年7月

前 言

随着我国经济的高速发展,在1999年初,党中央及时制定了“科技兴国”的伟大战略决策,此项重大决策,带动了高等教育发展主导思想的重大变化,教育宏观发展政策由“稳步发展”转为“快速发展”,无论是招生人数还是学校规模都在迅速地扩大。在校大学生由1998年的650万迅速增加到2004年的2100万人。高等教育也由过去的“精英教育”阶段转向“大众教育”阶段转变。受教育的学生对象也发生了很大的变化,受教育的形式也呈现多样性,多元化、社会化投入,多种体制办学的格局。

浙江省从1999年开始,省内的民办本科院校和独立学院等已大量招收本科学生,而且数量逐年增大。同时,各种矛盾和问题也逐渐暴露出来,较为突出的是教材不适宜。现在,大量普通本科院校学生,包括民办院校学生使用的往往是国内一些重点院校的教材,这些教材普遍具有理论性、逻辑性强,难度大的特点,给老师讲授和学生的理解都带来了一定的难度。况且,有些内容对以应用型教育为主的学生也没有必要。

因此,我们觉得有必要编写一套适应当前经济、教育发展需要的应用型本科教材。其对象主要是面向民办高校和独立学院的学生,以适应应用型本科教育发展的需要。

基于以上原因,浙江大学出版社组织了浙江大学城市学院、浙江工业大学之江学院、浙江科技学院、中国计量学院、杭州电子科技大学、浙江万里学院、宁波理工学院、绍兴文理学院、广东茂名学院等9所院校的有丰富教学经验的教师专门为应用型本科学生编写一套适合他们的教材,以达到因材施教的目的。

这本《模拟电子技术》就是这一套规划教材之一。本书在编写的过程中,力求能够将复杂的问题讲得简单化,繁杂的问题讲得条理化,抽象的问题讲得形象化。每章都在开头处给出本章提要 and 基本要求。以便学生能够迅速了解和抓住学习的重点。书中力求遵循循序渐进的思想,讲清楚每一种管子的特点和每一种电路的特点,以及与前面讲过的管子和电路有哪些区别、在哪方面克服了前面电路的哪些问题,还有哪些问题没有克服,有待于产生新的器件或设计新

的电路来克服。体现出“需要是科学发展的动力”的科学发​​展规律。

编写本教材的主要目的是为应用型本科学生编一本深入浅出的好教材。教材注重对学生思维能力的培养,掌握正确的分析问题的方法,而不是掌握一些“死”知识。这是因为,当今,无论知识内容还是知识结构都在迅速地发生着变化。因此,正确的思维方式和分析问题的能力培养变得尤为重要。

本书由浙江科技学院的邵世凡、浙江大学城市学院的黄瑞祥、江皓、中国计量学院的夏哲雷、浙江工业大学之江学院的郑利君、宁波理工学院的杨慧梅等共同编写。全书由邵世凡担任主编,黄瑞祥与夏哲雷担任副主编。

教材共 10 章。邵世凡负责编写第 2 章和第 6 章;黄瑞祥负责编写第 1 章和第 3 章;江皓负责编写第 4 章和第 8 章;夏哲雷负责编写第 5 章;郑利君负责编写第 7 章和第 10 章;杨慧梅负责编写第 9 章。

浙江大学信电系的童乃文先生反复认真审阅了全书,提出了许多宝贵意见,在此我们表示衷心感谢。

由于时间仓促,难免有疏漏,不足之处,敬请批评指正。

编 者

2006 年 11 月 20 日

目 录

第 1 章 半导体二极管及其基本电路	1
1.1 半导体基础知识	1
1.1.1 本征半导体	1
1.1.2 杂质半导体	3
1.1.3 两种导电机理——扩散和漂移	6
1.2 PN 结的形成和特性	8
1.2.1 PN 结的形成	8
1.2.2 PN 结的单向导电性	10
1.2.3 PN 结的反向击穿	13
1.2.4 PN 结的电容特性	15
1.3 半导体二极管的结构及指标参数	16
1.3.1 半导体二极管的结构	16
1.3.2 二极管的主要指标参数	17
1.3.3 半导体器件型号命名方法	18
1.4 二极管电路的分析方法与应用	19
1.4.1 二极管模型	19
1.4.2 二极管电路的分析方法	22
1.4.3 二极管应用电路	26
1.5 特殊二极管	30
1.5.1 肖特基二极管	30
1.5.2 光电子器件	31
第 2 章 半导体三极管放大电路基础	39
2.1 三极管工作原理	39
2.1.1 三极管的结构与符号	39
2.1.2 三极管放大的工作原理	40
2.1.3 三极管的输入、输出特性	42
2.1.4 工作状态与工作区及电压和电流的特点	45

2.1.5	三极管的主要参数	46
2.2	共射极放大电路	48
2.2.1	单管共射放大电路	48
2.2.2	单管共射放大电路的工作原理分析	49
2.2.3	单管共射放大电路中的两条通路分析	51
2.3	图解法	55
2.3.1	静态分析($v_i=0$)	55
2.3.2	动态分析	58
2.4	微变等效电路法	63
2.4.1	三极管的微变等效电路	64
2.4.2	放大电路的微变等效电路	65
2.4.3	图解法与微变等效电路法之比较	67
2.5	工作点稳定的放大电路	68
2.5.1	放大电路的一般要求	68
2.5.2	温度对工作点的影响	69
2.5.3	工作点稳定电路的工作原理	69
2.5.4	工作点稳定电路静态与动态分析	70
2.6	共集电极放大电路与共基极放大电路	72
2.6.1	共集电极放大电路	72
2.6.2	共基极放大电路	76
2.6.3	三种基本组态放大电路的比较	78
第3章	场效应管及其放大电路	84
3.1	MOS 场效应管及其特性	84
3.1.1	增强型 MOSFET(EMOSFET)	84
3.1.2	耗尽型 MOSFET(DMOSFET)	91
3.1.3	四种 MOSFET 的比较	93
3.1.4	小信号等效电路模型	93
3.2	结型场效应管及其特性	95
3.2.1	工作原理	96
3.2.2	伏安特性	97
3.2.3	JFET 的小信号模型	98
3.3	场效应管放大电路中的偏置	99
3.3.1	直流状态下的场效应管电路	99
3.3.2	分立元件场效应管放大器的偏置	100
3.3.3	集成电路中场效应管放大器的偏置	101
3.4	场效应管放大电路分析	103
3.4.1	FET 放大电路的三种基本组态	103
3.4.2	共源放大电路	103

3.4.3 共栅放大电路	105
3.4.4 共漏放大电路	106
3.4.5 有源电阻	107
第4章 多级放大电路与差分放大电路	114
4.1 多级放大电路的一般结构及耦合方式	114
4.1.1 多级放大电路的一般结构	114
4.1.2 多级放大电路的级间耦合方式	115
4.2 多级阻容耦合放大电路的分析	117
4.3 直接耦合式放大电路	118
4.3.1 静态工作点的计算	118
4.3.2 级间电位配置	119
4.3.3 温漂的现象	120
4.4 差分放大电路	120
4.4.1 基本差分电路	121
4.4.2 长尾式差分电路	123
4.4.3 长尾式差分电路的工作原理分析	125
4.4.4 差分放大电路的四种接法的分析与比较	129
4.5 恒流源差分放大电路与电流源	134
4.5.1 恒流源差分放大电路	134
4.5.2 镜像电流源电路	135
4.5.3 改进型镜像电流源	136
4.5.4 微电源电路	138
4.5.5 比例电流源电路	139
4.6 集成运算放大器及读图方法	140
4.6.1 集成运算放大器	140
4.6.2 集成运算放大电路的读图	141
第5章 放大电路的频率响应	148
5.1 频率响应概念	148
5.1.1 幅频特性和相频特性	148
5.1.2 频率失真	149
5.2 频率响应的分析方法	149
5.2.1 低通电路及其频率特性的波特图	150
5.2.2 高通电路及其频率特性的波特图	151
5.3 单管共射放大电路的频率响应	152
5.3.1 中频段等效电路	153
5.3.2 低频段频率响应	153
5.3.3 高频段频率响应	154

5.4 多级放大电路的频率响应	161
第6章 反馈放大电路	165
6.1 反馈的基本概念与分类	165
6.1.1 反馈的基本概念	165
6.1.2 反馈的几种基本类型	166
6.2 反馈的分析与判断方法	168
6.2.1 反馈的分析	168
6.2.2 反馈的判断方法	169
6.2.3 反馈的效果判断	170
6.3 负反馈放大电路的结构框图和增益的一般表达式	172
6.3.1 负反馈放大电路的结构框图	172
6.3.2 负反馈放大电路的一般表达式	172
6.3.3 几个重要的概念与说明	173
6.4 负反馈放大电路的放大倍数计算	177
6.4.1 框图算法	177
6.4.2 深度负反馈方法	179
6.5 负反馈的引入对放大电路性能的影响	180
6.5.1 负反馈提高了放大电路增益的稳定性	180
6.5.2 输入电阻和输出电阻得到改善	181
6.5.3 负反馈展宽了放大电路的频带宽度	183
6.5.4 负反馈减小了放大电路的非线性失真	184
第7章 功率放大电路	190
7.1 概 述	190
7.1.1 功率放大电路的主要特点	190
7.1.2 功率放大电路的工作状态与效率的关系	192
7.2 小功率放大器	193
7.2.1 单管小功率放大器	193
7.2.2 推挽功率放大器	195
7.3 互补对称功率放大电路	198
7.3.1 双电源互补对称电路(OCL 电路)	199
7.3.2 单电源互补对称功率放大器(OTL)	201
7.3.3 甲乙类互补对称功率放大器	202
7.3.4 复合管互补对称功率放大器	204
7.3.5 实际功率放大电路举例	204
7.4 集成功率放大器	205
7.4.1 集成功率放大器概述	205
7.4.2 集成功放应用简介	205

7.5 功率放大器实际应用电路	208
第8章 运算放大器的应用	215
8.1 理想运算放大器	215
8.1.1 理想运算放大器及其表示符号	215
8.1.2 虚短和虚断	216
8.2 基本运算放大电路	217
8.2.1 反相比例放大电路	217
8.2.2 同相比例放大电路	218
8.2.3 电压跟随电路	219
8.3 基本运算电路	220
8.3.1 加法电路	220
8.3.2 减法电路	222
8.3.3 积分电路	224
8.3.4 微分电路	226
8.3.5 对数运算电路	226
8.3.6 指数运算电路	227
8.4 比较器	227
8.4.1 过零比较器	228
8.4.2 单限电压比较器	229
8.4.3 迟滞比较器	230
8.4.4 窗口比较器	234
8.5 滤波电路	234
8.5.1 滤波电路及幅频特性	234
8.5.2 一阶有源滤波电路	236
8.5.3 简单的二阶有源低通滤波电路	237
8.5.4 典型的二阶有源低通滤波电路	239
8.5.5 高通滤波电路	240
第9章 振荡电路	246
9.1 正弦波振荡电路	246
9.1.1 正弦波振荡电路的工作原理和条件	246
9.1.2 RC 正弦波振荡电路	248
9.1.3 LC 正弦波振荡电路	251
9.1.4 石英晶体正弦波振荡电路	255
9.2 非正弦波振荡电路	257
9.2.1 方波产生电路	257
9.2.2 三角波产生电路	259
9.2.3 锯齿波产生电路	260

9.3 集成函数发生器简介	261
第10章 直流稳压电源	268
10.1 概 述	268
10.2 整流电路	269
10.2.1 单相半波整流电路	269
10.2.2 单相桥式整流电路	270
10.3 滤波电路	273
10.3.1 电容滤波电路	273
10.3.2 电感滤波电路	274
10.3.3 LC 滤波电路	275
10.3.4 Π 型滤波电路	275
10.4 倍压整流电路	276
10.4.1 二倍压整流电路	276
10.4.2 三倍压和四倍压电路	276
10.5 线性稳压电路	277
10.5.1 简单的硅稳压管稳压电路	278
10.5.2 串联型三极管稳压电路	280
10.5.3 提高稳压性能的措施和保护电路	281
10.5.4 三端集成稳压器	282
10.6 开关式稳压电路	284
10.6.1 开关电源的控制方式	284
10.6.2 开关式稳压电路的工作原理及应用电路	285
10.6.3 脉宽调制式开关电源的基本原理及应用电路	286
参考文献	290

第 1 章 半导体二极管及其基本电路

【本章提要】 本章主要介绍了本征半导体、杂质半导体以及由它们组成的 PN 结。分析了 PN 结具有的单向导电性、非线性伏安特性,以及由 PN 结制成的各种二极管。最后,还重点介绍了含有二极管这一非线性器件电路的几种线性化模型和分析方法,以及典型应用电路。

【本章重点】 掌握二极管的单向导电特性、非线性特性、温度补偿特性及导通后的钳位特性。了解 P-N 结电容效应。重点掌握两个概念:

1. 二极管为非线性器件,所以,含有半导体二极管的电路也为非线性电路,线性电路的分析方法不能直接应用。

2. 半导体二极管的导通是有条件的,因此,在用等效电路模型法分析含有半导体二极管的电路时,应首先判定二极管是否符合导通所需的条件,然后,再根据具体情况,有针对性地选用等效电路模型进行替代,化非线性电路为线性电路。

1.1 半导体基础知识

现代电子器件多数是由性能介于导体与绝缘体之间的半导体(Semiconductor)材料制成的,半导体的电阻率一般在 $10^{-3} \sim 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ 范围内,在自然界中属于半导体的物质很多,用来制造半导体器件的材料主要有硅(Si)、锗(Ge)、砷化镓(GaAs)等。其中硅是目前最常用的一种半导体材料,也是当前制作集成电路的主要材料;而砷化镓主要用来制作高频高速器件。

1.1.1 本征半导体

我们知道,原子是由带正电荷的原子核和分层围绕原子核运动的电子组成的,其中处于最外层的电子称为价电子(Valence Electron),物质的许多物理和化学性质都与原子的价电子有关。硅和锗的原子结构模型分别如图 1-1-1(a)和(b)所示。它们都有四个价电子,同属于四价元素。为了简化起见,常常把内层电子和原子核看成一个整体,称为惯性核,惯性核的周围是价电子。显然,硅和锗的惯性核模型是相同的,它们的惯性核都带有四个正的电子电荷量(用带圆圈的+4 符号表示),如图 1-1-1(c)所示。

1. 本征半导体

本征半导体(Intrinsic Semiconductor)是一种完全纯净的、结构完整的半导体晶体。纯净的硅和锗都是晶体,它们的原子都是有规则地排列着,并通过由价电子组成的共价键

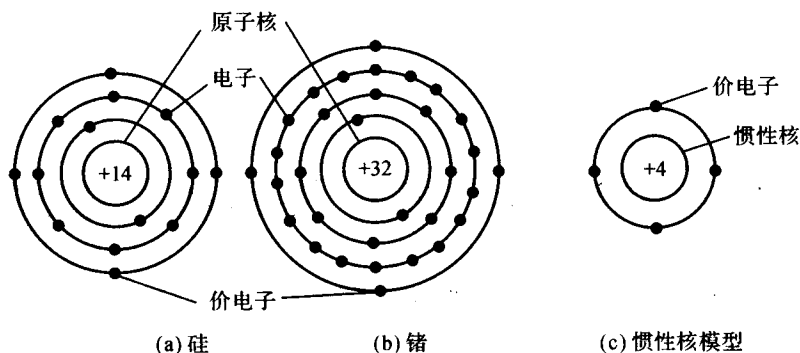


图 1-1-1 硅和锗的原子结构模型

(Covalent Bond)把相邻的原子牢固地联系在一起。共价键就是相邻两个原子中的价电子作为共用电子对而形成的相互作用力。硅和锗中的每个原子均与相邻四个原子构成四个共价键,如图 1-1-2 所示。图中表示的是二维结构,实际上半导体晶体结构是三维的。整块晶体内部晶格排列完全一致的晶体称为单晶。硅和锗的单晶为本征半导体,它们是制造半导体器件的基本材料。

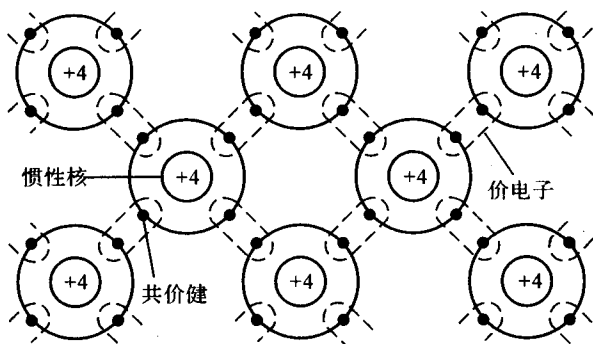


图 1-1-2 硅和锗的共价键结构示意图

2. 本征激发和复合

本征半导体在热力学温度 $T = 0 \text{ K}$ (K 为温度单位,称作开尔文) 和没有外界影响的条件下,其价电子全部束缚在共价键中,不存在自由运动的电子。但当温度升高或受到光线照射时,少量共价键中的价电子从外界获得足够的能量,从而挣脱共价键的束缚而成为自由电子 (Free Electron),这种现象称为本征激发。

当电子挣脱共价键的束缚成为自由电子后,共价键中就留下空位,这个空位叫做空穴 (Hole)。空穴的出现是半导体区别于导体的一个重要特点。由于共价键中出现了空穴,相应原子就带有一个电子电荷量的正电,邻近共价键中的价电子受它的作用很容易跳过来填补这个空穴,这样空穴便转移到邻近的共价键中去;而后出现在新的地方的空穴又被其相邻的价电子填补。这种过程持续下去,就相当于空穴在晶格中移动,如图 1-1-3 所示。由于带负电荷的价电子依次填补空穴的作用与带正电荷的粒子作反方向运动的效果相同,因此在分析时,用空穴的运动来代替共价键中价电子的运动就更加方便。在这里可以把空穴看成是一个带正电的载流子,它所带的电量与电子相等,符号相反。

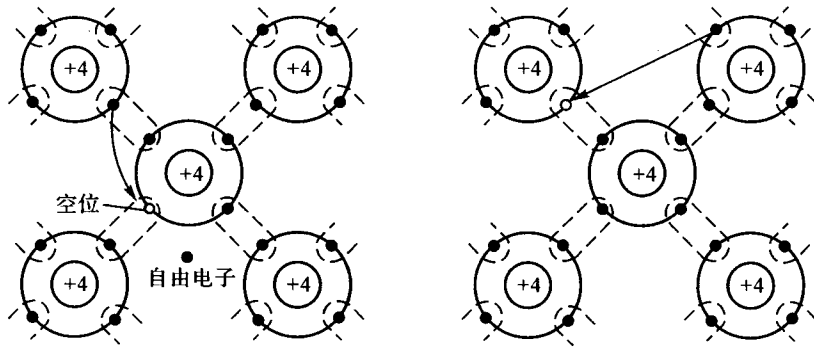


图 1-1-3 空穴在晶格中的移动

由以上可见,半导体借以导电的载流子比导体多了一种空穴,或者说,半导体是依靠自由电子和空穴两种载流子导电的物质。在本征半导体中,自由电子和空穴总是成对出现的。也就是说,有一个自由电子就必定有一个空穴,因此在任何时候,本征半导体中的自由电子和空穴数总是相等的,即

自由电子的数目 = 空穴的数目

所以,本征半导体呈电中性。实际上,在自由电子—空穴对产生过程中还同时存在着复合过程,这就是自由电子在热骚动过程中与空穴相遇而释放能量,形成自由电子—空穴对消失的过程。

3. 热平衡载流子浓度

当温度一定时,上述本征激发和复合在某一热平衡载流子浓度值(即单位体积内的载流子数)上达到动态平衡。可以证明,这个热平衡载流子浓度 n_i (也即自由电子浓度值 n 或空穴浓度值 p ,单位为载流子/ cm^3)为

$$n_i = AT^{3/2}e^{-E_{GO}/2kT} \quad (1-1-1)$$

式中: A 是一个由具体材料决定的常数,对于硅为 $3.88 \times 10^{16} \text{cm}^{-3} \text{K}^{-3/2}$,对于锗为 $1.76 \times 10^{16} \text{cm}^{-3} \text{K}^{-3/2}$; E_{GO} 是 $T = 0 \text{ K}$ (即 -273°C)时的禁带宽度(带隙能量),对于硅为 1.21 eV (电子伏特),对于锗为 0.785 eV ; k 为玻尔兹曼常数, $k = 8.63 \times 10^{-5} \text{ eV/K} = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$, J 为焦耳。

由式(1-1-1)可知, n_i 与温度有关,随温度升高而迅速增大。在室温($T = 300 \text{ K}$)时,可求得硅的 $n_i \approx 1.5 \times 10^{10}$ 载流子/ cm^3 ,锗的 $n_i \approx 2.4 \times 10^{13}$ 载流子/ cm^3 。需要指出的是, n_i 的数值虽然很大,但它仅占原子密度很小的比例。例如:硅单晶的原子密度大约为 $5 \times 10^{22} \text{cm}^{-3}$,因此 n_i 仅为它的3万亿分之一,即在室温下每3万亿个原子中只有一个价电子是被激发的。所以本征半导体的导电能力是很低的,例如本征硅的电阻率约为 $2.2 \times 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ 。

1.1.2 杂质半导体

在本征半导体中掺入微量的杂质,就成为杂质半导体(Doped Semiconductor),就会使半导体的导电性能发生显著的改变。因掺入杂质性质不同,杂质半导体可分为N型(电子型)半导体和P型(空穴型)半导体。