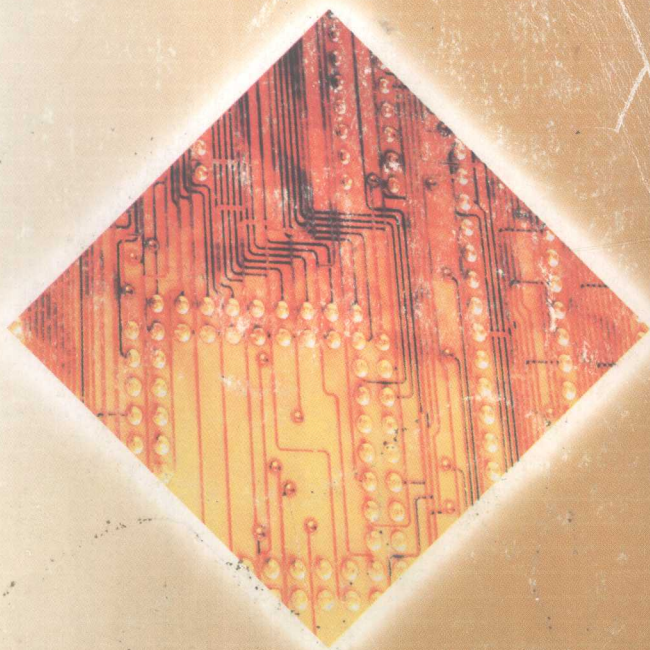




教育科学“十五”国家规划课题研究成果

模拟电子技术基础

胡宴如 耿苏燕 主编

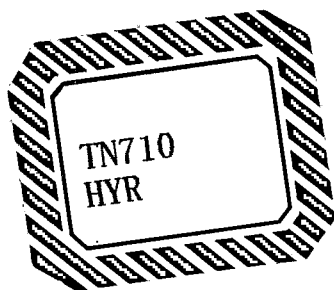


高等教育出版社

教育科学“十五”国家规划课题研究成果

模拟电子技术基础

胡宴如 耿苏燕 主编



高等教育出版社 *Meing 07/8/20*

内容提要

本书是教育科学“十五”国家级规划课题研究成果,为满足高等学校应用型人才培养需要而编写。全书由半导体二极管及其电路分析、半导体三极管及其电路分析、放大电路基础、负反馈放大电路、放大电路的频率响应、模拟集成放大器的线性应用、集成模拟乘法器及其应用、信号发生电路、直流稳压电源等九章和若干附录组成。

本书重点突出,强调应用,加强基本概念、基本理论的分析,加强集成电路应用技术的讨论,注意将理论讲授、课堂讨论、自学、作业等教学环节有机结合,以充分调动学生学习的积极性和主动性。书中每节后都有讨论题,每章后有小结和习题。

本书可作为高等学校电气信息和电子信息类专业“模拟电子技术基础”、“线性电子线路”等课程的教材和教学参考书,也可作为有关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础 / 胡宴如, 耿苏燕主编. —北京:
高等教育出版社, 2004. 7
ISBN 7-04-014549-9

I. 模… II. ①胡…②耿… 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(2004)第 044943 号

责任编辑 韩颖 责任编辑 李葛平 封面设计 于文燕 责任绘图 朱静
版式设计 胡志萍 责任校对 朱惠芳 责任印刷 韩刚

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-82028899

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
印 刷 天津新华印刷一厂

开 本 787×960 1/16
印 张 23.75
字 数 440 000

版 次 2004 年 7 月第 1 版
版 次 2004 年 7 月第 1 次印刷
定 价 26.90 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

郑 重 声 明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》,其为人将承担相应的民事责任和行政责任,构成犯罪的,将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序,保护读者的合法权益,避免读者误用盗版书造成不良后果,我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为,希望及时举报,本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话: (010) 58581897/58581896/58581879

传 真: (010) 82086060

E - mail: dd@hep.com.cn

通信地址: 北京市西城区德外大街 4 号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编: 100011

购书请拨打电话: (010)64014089 64054601 64054588

总 序

为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展需要,满足我国高校从精英教育向大众化教育的重大转移阶段中社会对高校应用型人才培养的各类要求,探索和建立我国高等学校应用型人才培养体系,全国高等学校教学研究中心(以下简称“教研中心”)在承担全国教育科学“十五”国家规划课题——“21世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”研究工作的基础上,组织全国100余所培养应用型人才为主的高等院校,进行其子项目课题——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究与探索,在高等院校应用型人才培养的教学内容、课程体系研究等方面取得了标志性成果,并在高等教育出版社的支持和配合下,推出了一批适应应用型人才培养需要的立体化教材,冠以“教育科学‘十五’国家规划课题研究成果”。

2002年11月,教研中心在南京工程学院组织召开了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题立项研讨会。会议确定由教研中心组织国家级课题立项,为参加立项研究的高等院校搭建高起点的研究平台,整体设计立项研究计划,明确目标。课题立项采用整体规划、分步实施、滚动立项的方式,分期分批启动立项研究计划。为了确保课题立项目标的实现,组建了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题领导小组(亦为高校应用型人才立体化教材建设领导小组)。会后,教研中心组织了首批课题立项申报,有63所高校申报了近450项课题。2003年1月,在黑龙江工程学院进行了项目评审,经过课题领导小组严格的把关,确定了首批9项子课题的牵头学校、主持学校和参加学校。2003年3月至4月,各子课题相继召开了工作会议,交流了各校教学改革的情况和面临的具体问题,确定了项目分工,并全面开始研究工作。计划先集中力量,用两年时间形成一批有关人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系等理论研究成果报告和在做研究报告基础上同步组织建设的反映应用型人才培养特色的立体化系列教材。

与过去立项研究不同的是,“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题研究在审视、选择、消化与吸收多年来已有应用型人才培养探索与实践成果基础上,紧密结合经济全球化时代高校应用型人才培养工作的实际需要,努力实践,大胆创新,采取边研究、边探索、边实践的方式,推进高校应用型本科人才培养工作,突出重点目标,并不断取得标志性的阶段成果。

教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱和基础,作为体现教学内容

和教学方法的知识载体,在当前培养应用型人才中的作用是显而易见的。探索、建设适应新世纪我国高校应用型人才培养体系需要的教材体系已成为当前我国高校教学改革和教材建设工作面临的十分重要的任务。因此,在课题研究过程中,各课题组充分吸收已有的优秀教学改革成果,并和教学实际结合起来,认真讨论和研究教学内容和课程体系的改革,组织一批学术水平较高、教学经验较丰富、实践能力较强的教师,编写出一批以公共基础课和专业、技术基础课为主的有特色、适用性强的教材及相应的教学辅导书、电子教案,以满足高等学校应用型人才培养的需要。

我们相信,随着我国高等教育的发展和高校教学改革的不断深入,特别是随着教育部“高等学校教学质量和教学改革工程”的启动和实施,具有示范性和适应应用型人才培养的精品课程教材必将进一步促进我国高校教学质量的提高。

全国高等学校教学研究中心

2003 年 4 月

前 言

本书是教育科学“十五”国家级规划课题研究成果。随着我国高等教育的迅速发展,为了满足高等学校应用型人才培养需要,在全国高等学校教学研究中心以及高等教育出版社的支持下,根据长期教学改革和实践的经验,我们编写了此书。它适用于本科电气信息和电子信息类专业,作为“模拟电子技术基础”、“线性电子线路”等课程的教材或教学参考书,也可供从事电子技术工作的工程技术人员参考。

模拟电子技术是本科电气信息和电子信息类专业重要的技术基础课,它内容丰富,应用广泛,新技术、新器件发展迅速。考虑到应用型本科人才培养的特点,本书在编写中特别注意以下几点:

(1) 保证基础,突出重点,难点分散,加强基本概念、基本理论和基本分析方法的讨论。

(2) 注重应用,加强理论与工程应用的结合,加强电路的构成与应用方法的介绍,加强集成电路应用技术的介绍。

(3) 注意内容的适度更新,适当引入新器件和新技术。

(4) 力图深入浅出,简单明了,概念清楚,层次分明,利于教学。

本书的第1~4章分别为半导体二极管及其电路分析、半导体三极管及其电路分析、放大电路基础和负反馈放大电路,这些是本课程的基本内容。通过这一部分的教学使学生建立模拟电子技术的基本概念,掌握其基本理论、基本分析方法。在第1章和第2章中加强了二极管和三极管应用电路及其基本分析方法的讨论,使器件与电路的结合更为紧密,并使学生比较容易适应电子电路的基本分析方法,以利读者“入门”。将三种组态放大电路、差分放大电路、互补对称放大电路、多级放大电路及集成运算放大器等合并为第3章,着重于放大电路的基本工作原理、基本特性的分析,尽量精简分立元器件电路的内容,压缩集成器件内部电路的分析,并使集成运算放大器的介绍提前,便于后续各章更多地涉及集成运算放大器的应用。第4章中以集成运算放大器构成的反馈放大电路为主进行反馈概念的分析,突出深度负反馈放大电路的特点,使反馈概念清楚、简明,易于理解。

第5章为放大电路的频率响应。该章从最简单的 RC 电路频率响应入手,介绍放大电路的频率响应,重点对放大电路的高频响应进行分析。为了分散难点,加强应用,将负反馈放大电路的自激与频率补偿也列入该章讨论。通过该章

的教学,使学生了解频率响应的分析方法、半导体器件极间电容对放大电路特性的影响,认识集成运放内部或外部频率补偿电路的作用,理解集成运放高频参数的含义。第6章为模拟集成放大器的线性应用,除了重点介绍通用集成运放的应用外,还介绍了其它多种常用集成放大器和一些新型集成器件的应用。该章附录中还对集成运放应用中的一些实际问题进行了说明。该章内容视专业不同可适当取舍。第7章为集成模拟乘法器及其应用,可作为选学内容,对于开设“非线性电子线路”或“高频电子线路”的专业,本章可以不学。第8章为信号发生电路,主要介绍正弦波和非正弦波振荡电路的工作原理,同时对电压比较器、锁相频率合成技术作适当介绍。第9章为直流稳压电源,主要介绍线性和开关集成稳压器的应用,本章内容可结合实践课来完成。

关于本书符号在这里作一点说明。研究电子电路时,在一定的频率范围内可以忽略管子结电容及电路中电抗元件的影响,而把它作为电阻性电路进行分析。由于在线性电阻性电路中,其输出信号具有与输入信号相同的波形,仅幅度和极性有所变化,因此,为了使电路关系表示更为简洁,不论是直流信号还是交流信号,是正弦信号还是非正弦信号,凡是变化的信号本书均用瞬时值表示。在实际应用中,某些场合必须考虑各种电抗元件对电子电路性能的影响,例如,放大电路中晶体管极间电容和分布电容对其上限频率的影响,耦合电容和旁路电容对其下限频率的影响,在这些场合,输出信号与输入信号之间不仅有幅度的变化,而且还有附加相移的变化,因此,这些电路中的电流、电压均采用相量表示。

本书每节后均编有讨论题,可作为课堂讨论用;部分章后编有应用知识附录,可供课堂讲授,也可布置学生自学。本书课堂教学约60学时,书中打“*”号的内容可视专业不同选学。

本书由胡宴如和耿苏燕共同主编,第3、5、7、8、9章由胡宴如负责,第1、2、4、6章由耿苏燕负责,胡旭峰、马丽祥、李晓明等同志协助主编完成附录、讨论题、习题以及图稿等的编写工作。

本书承蒙教育部电气与电子信息类基础课教学指导委员会委员、南京航空航天大学王成华教授百忙之中认真细致地审阅了全部书稿,提出了许多宝贵意见和建议,在此,谨致以衷心的感谢。

书中错漏和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2004年2月

目 录

第1章 半导体二极管及其电路分析	1
1.1 半导体的基础知识	1
1.1.1 本征半导体	1
1.1.2 杂质半导体	2
1.1.3 PN结及其单向导电性	4
讨论题	7
1.2 半导体二极管及其特性	8
1.2.1 二极管的结构与类型	8
1.2.2 二极管的伏安特性	9
1.2.3 二极管的主要参数	12
讨论题	12
1.3 二极管基本应用电路及其分析方法	13
1.3.1 二极管的理想模型和恒压降模型	13
1.3.2 图解分析法和小信号模型分析法	19
讨论题	24
1.4 特殊二极管	24
1.4.1 稳压二极管	25
1.4.2 发光二极管和光电二极管	27
1.4.3 变容二极管	28
1.4.4 肖特基二极管	30
讨论题	30
本章小结	30
习题	31
附录 二极管使用常识	35
第2章 半导体三极管及其电路分析	39
2.1 双极型半导体三极管	39
2.1.1 三极管的结构	39
2.1.2 三极管的工作原理	41
2.1.3 三极管的伏安特性	44

2.1.4 三极管的主要参数	46
讨论题	48
2.2 三极管基本应用电路及其分析方法	49
2.2.1 三极管直流电路的分析	49
2.2.2 三极管放大电路及其分析方法	51
2.2.3 三极管开关电路	60
讨论题	61
2.3 单极型半导体三极管及其电路分析	61
2.3.1 MOS 场效应管的结构、工作原理及伏安特性	62
2.3.2 结型场效应管的结构、工作原理及伏安特性	69
2.3.3 场效应管的主要参数	74
2.3.4 场效应管基本应用电路及其分析方法	76
讨论题	79
本章小结	79
习题	81
附录 三极管使用常识	86
第3章 放大电路基础	91
3.1 放大电路的基本知识	91
3.1.1 放大电路的组成	91
3.1.2 放大电路的主要性能指标	92
讨论题	96
3.2 三种基本组态放大电路	96
3.2.1 共发射极放大电路	96
3.2.2 共集电极放大电路	102
3.2.3 共基极放大电路	105
3.2.4 场效应管放大电路	107
讨论题	111
3.3 差分放大电路	111
3.3.1 差分放大电路的工作原理	111
3.3.2 电流源与具有电流源的差分放大电路	116
3.3.3 差分放大电路的输入、输出方式	123
讨论题	128
3.4 互补对称功率放大电路	128
3.4.1 放大电路的工作状态	128

3.4.2 乙类双电源互补对称功率放大电路	129
3.4.3 甲乙类互补对称功率放大电路	133
3.4.4 单电源互补对称功率放大电路	136
讨论题	137
3.5 多级放大电路	138
3.5.1 多级放大电路的组成及耦合方式	138
3.5.2 多级放大电路性能指标的估算	140
3.5.3 集成运算放大器及其基本应用电路	142
讨论题	146
本章小结	147
习题	148
第4章 负反馈放大电路	158
4.1 负反馈放大电路的组成及基本类型	158
4.1.1 反馈放大电路的组成及基本关系式	158
4.1.2 负反馈放大电路的基本类型	160
4.1.3 负反馈放大电路的分析	162
讨论题	168
4.2 负反馈对放大电路性能的影响	168
4.2.1 提高放大倍数的稳定性	168
4.2.2 扩展通频带	169
4.2.3 减小非线性失真	170
4.2.4 改变输入电阻和输出电阻	171
讨论题	172
4.3 负反馈放大电路应用中的几个问题	173
4.3.1 放大电路引入负反馈的一般原则	173
4.3.2 深度负反馈放大电路的特点及性能估算	173
4.3.3 负反馈放大电路的稳定性	178
讨论题	179
本章小结	179
习题	180
第5章 放大电路的频率响应	185
5.1 简单RC低通和高通电路的频率响应	185
5.1.1 RC低通电路的频率响应	185

5.1.2 RC 高通电路的频率响应	188
讨论题	189
5.2 三极管放大电路的频率响应	189
5.2.1 半导体三极管的高频特性	189
5.2.2 单管共发射极放大电路的频率响应	191
5.2.3 多级放大电路的频率响应	198
讨论题	200
5.3 负反馈放大电路的自激与频率补偿	200
5.3.1 负反馈放大电路的自激振荡条件	200
5.3.2 负反馈放大电路稳定性的判断	201
5.3.3 集成运算放大器的频率补偿	203
5.3.4 集成运算放大器的高频参数	205
讨论题	207
本章小结	207
习题	208
第 6 章 模拟集成放大器的线性应用	211
6.1 基本运算电路	211
6.1.1 比例运算电路	211
6.1.2 加减运算电路	213
6.1.3 微分与积分运算电路	216
讨论题	218
6.2 集成运算放大器构成的交流放大电路	218
6.2.1 反相交流放大电路	219
6.2.2 同相交流放大电路	221
6.2.3 交流电压跟随器与汇集放大电路	222
讨论题	223
6.3 有源滤波电路	224
6.3.1 有源低通滤波电路	224
6.3.2 有源高通滤波电路	227
6.3.3 有源带通滤波电路	228
6.3.4 有源带阻滤波电路	229
讨论题	230
*6.4 电子系统预处理放大电路	230
6.4.1 仪用放大器	230

6.4.2 程控增益放大器	233
6.4.3 跨导型放大器	236
6.4.4 隔离放大器	237
讨论题	239
6.5 集成高速宽带放大器	239
6.5.1 实现途径	239
6.5.2 电流反馈集成运放	242
6.5.3 集成高速宽带放大器举例	245
讨论题	246
6.6 集成功率放大器及其应用	246
6.6.1 LM386 及其应用	247
6.6.2 CD4100 及其应用	250
6.6.3 TDA1521 及其应用	251
讨论题	252
本章小结	252
习题	253
附录 集成运算放大器使用知识	259
第7章 集成模拟乘法器及其应用	267
7.1 集成模拟乘法器	267
7.1.1 集成模拟乘法器的基本特性	267
7.1.2 变跨导模拟乘法器	268
7.1.3 模拟乘法器的应用	270
讨论题	272
*7.2 模拟乘法器调幅与解调电路	272
7.2.1 振幅调制电路	272
7.2.2 振幅检波电路	277
讨论题	279
*7.3 模拟乘法器鉴相与鉴频电路	279
7.3.1 调频原理	279
7.3.2 鉴相与鉴频电路	280
讨论题	282
本章小结	282
习题	283

第 8 章 信号发生电路	285
8.1 正弦波振荡电路	285
8.1.1 正弦波振荡电路的工作原理	285
8.1.2 RC 振荡电路	287
8.1.3 LC 振荡电路	291
8.1.4 振荡电路的频率稳定和振幅稳定	296
8.1.5 石英晶体振荡电路	297
讨论题	300
8.2 电压比较器	300
8.2.1 单限电压比较器	301
8.2.2 迟滞比较器	302
8.2.3 窗口比较器	305
8.2.4 集成电压比较器	306
讨论题	308
8.3 非正弦波发生电路	308
8.3.1 方波发生电路	309
8.3.2 三角波和锯齿波发生电路	310
8.3.3 压控振荡器	313
讨论题	317
8.4 锁相频率合成电路	317
8.4.1 锁相环路	317
8.4.2 锁相频率合成器	319
讨论题	320
本章小结	320
习题	321
附录 信号发生电路的调整与测试	326
第 9 章 直流稳压电源	330
9.1 单相整流滤波电路	330
9.1.1 单相整流电路	330
9.1.2 滤波电路	333
讨论题	337
9.2 线性集成稳压器	337
9.2.1 稳压电路的主要技术指标	338
9.2.2 串联型稳压电路的工作原理	339

9.2.3 三端固定输出集成稳压器	340
9.2.4 三端可调输出集成稳压器	344
讨论题	347
9.3 开关集成稳压电源	347
9.3.1 概述	347
9.3.2 开关稳压电源的基本工作原理	348
9.3.3 集成开关稳压器及其应用	351
讨论题	354
本章小结	355
习题	355
 部分习题答案	 359
参考文献	365

第1章 半导体二极管及其电路分析

引言 半导体二极管是最简单的半导体器件,它由一个 PN 结构成,其主要特性是单向导电性。利用二极管可以构成整流电路、限幅电路、门电路、低电压稳压电路等多种应用电路。为了帮助理解半导体器件的工作原理和特性,本章首先介绍半导体的基本知识和 PN 结的单向导电性;然后重点介绍普通二极管的主要特性,并结合实例介绍二极管的基本应用电路及其分析方法;最后,简要介绍几种特殊二极管。

1.1 半导体的基础知识

导电能力介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体。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)和砷化镓(GaAs)等,其中单晶结构的硅是目前最常用的半导体材料。所谓单晶,是指晶格排列完全一致的晶体,而晶体是指由原子、离子或分子按照一定的空间次序排列而形成的具有规则外形的固体。硅和锗半导体都是晶体,因此,半导体管也常称为晶体管。

1.1.1 本征半导体

纯净的半导体称为本征半导体。纯净的硅和锗都是四价元素,其原子的最外层轨道上有四个电子(称为价电子),因此可用图 1.1.1(a)所示的简化模型表示其原子结构,图中的“+4”代表四价元素原子核和内层电子所具有的净电荷,外圈上的 4 个黑点表示 4 个价电子。在本征硅(或锗)半导体中,原子形成有序的排列,价电子为相邻的原子所共有,这种结构称为共价键。每个原子都和相邻的 4 个原子相结合组成 4 对共价键,如图 1.1.1(b)所示。共价键中的价电子将受到共价键的束缚,在绝对零度且无光照时,价电子不能摆脱共价键的束缚,这时的本征半导体不能导电。

在室温或光照下,少数价电子能够获得足够的能量摆脱共价键的束缚成为自由电子,同时在共价键中留下一个空位,如图 1.1.1(b)所示,这种现象称为本征激发,这个空位称为空穴。本征激发将成对地产生自由电子和空穴。原子失去价电子后将带正电,可等效地看成是因为有了带正电的空穴。空穴很容易吸引邻近共价键中的价电子去填补,使空位发生转移,这种价电子填补空位的运动

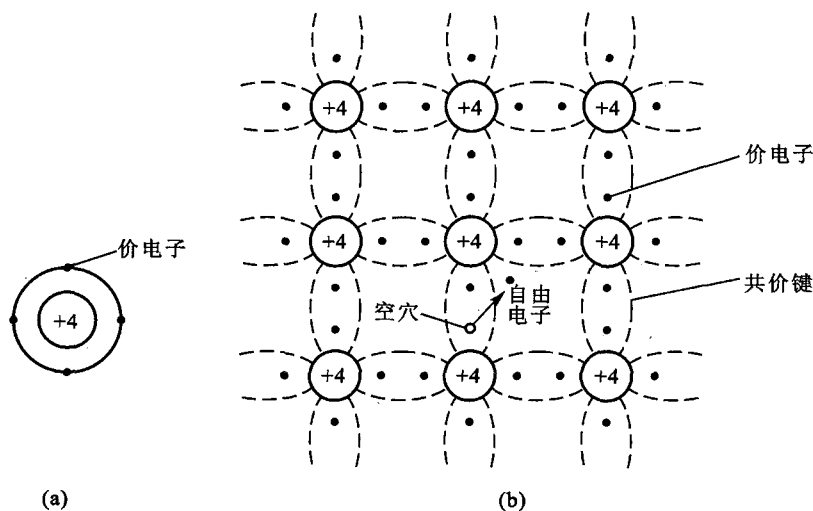


图 1.1.1 硅(或锗)的原子结构模型和晶格结构示意图

(a) 原子结构模型 (b) 晶格结构示意图

可以看成空穴在运动,但其运动方向与价电子运动方向相反,因此,空穴是带正电的运动粒子。自由电子和空穴在运动中相遇时会重新结合而成对消失,这种现象称为复合。温度一定时,自由电子和空穴的产生与复合将达到动态平衡,这时自由电子-空穴对的浓度一定。当有电场作用时,自由电子和空穴将作定向运动形成电流,这种运动称为漂移,所形成的电流叫做漂移电流,而自由电子和空穴则称为载流子。在常温下,本征半导体的载流子浓度很低,因此导电能力很弱。

1.1.2 杂质半导体

采用一定的工艺在本征半导体中掺入微量杂质元素后,可大大改善半导体的导电性能。掺杂后的半导体称为杂质半导体。按掺入杂质的不同有 N 型半导体和 P 型半导体两类。

在四价的硅(或锗)中掺入五价元素(如磷、砷、锑等)后,杂质原子将替代晶格中某些四价元素原子的位置,如图 1.1.2(a)所示。杂质原子与周围的四价元素原子相结合组成共价键时多余一个价电子,这个多余的价电子在室温下很容易挣脱原子核的束缚成为自由电子,掺入多少杂质原子就能电离产生多少个自由电子,因而自由电子的浓度大大增加。杂质原子在电离产生自由电子的同时,并不产生空穴,而是因供出一个价电子而变成杂质正离子,称之为施主离子,所掺入的杂质称为施主杂质。

在这种杂质半导体中,既存在因杂质原子电离而成对产生的自由电子和杂