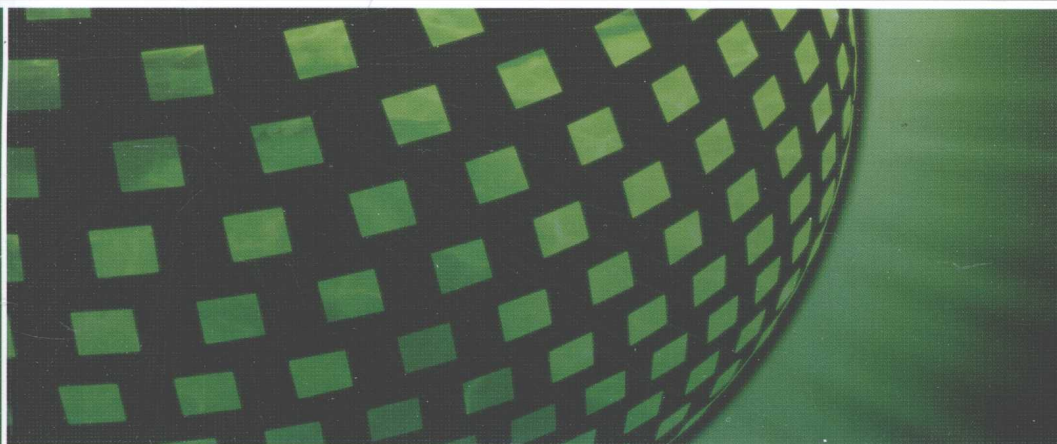


高职高专电类专业基础课规划教材

DIANZI JISHU JICHU JI SHIJIAN



电子技术基础及实践

王锁庭 桂连彬 主 编
王 超 主 审



化学工业出版社

高职高专电类专业基础课规划教材

DIANZI JISHU JICHU JI SHIJIAN



电子技术基础及实践

王锁庭 桂连彬 主 编
王晓莉 丁向荣 副主编
王 超 主 审



化学工业出版社

· 北京 ·

本书内容包括：模拟电子技术、数字电子技术以及电子技术实训等三部分。模拟电子技术包括常用半导体器件、模拟信号的处理与放大电路以及模拟信号的产生与电源电路等；数字电子技术包括数字电子技术基础、数字信号的处理电路以及数字信号的产生与整形电路等。各部分内容均从应用角度进行阐述，注重理论联系实际，通过典型应用实例进行原理分析，强化对学生职业技能的培养与训练。为了便于教师组织教学和学生的学习，每章在开始时有学习要求，明确教学重点和基本要求，对学生的学习也提出学习的目标和方向；结束时小结，便于教学总结和归纳，方便学生的理解和复习。每个章节设定了几个典型的技能训练项目，内容的选择以培养和训练学生的技能为基本要素，明确技能训练的目的，便于培养和提高学生电子技术的实践技能和应用能力。每章还有一定量的习题，学生通过练习，更加加深对知识的理解和掌握。

本书可作为高等职业院校机电类、电子类和计算机类专业电子技术课程的教材，也可作为高等职业院校其他专业、其他类型学校同类课程的教材，还可供工程技术人员学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电子技术基础及实践/王锁庭, 桂连彬主编. —北京: 化学工业出版社, 2010.6

高职高专电类专业基础课规划教材

ISBN 978-7-122-08247-3

I. 电… II. ①王…②桂… III. 电子技术-高等学校: 技术学院-教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 068874 号

责任编辑: 廉 静 刘 哲

文字编辑: 王 洋

责任校对: 蒋 宇

装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市前程装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 17½ 字数 457 千字 2010 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 34.50 元

版权所有 违者必究

前言

FOREWORD

随着科学技术的迅猛发展,以计算机技术、现代控制技术、电子技术和通信技术为代表的新技术正在迅速渗透到各个日常生活领域,作为新技术的基础,电子技术的教育越来越受到全社会的关注和重视。我国的高等职业教育的根本任务是培养适合我国现代化建设和经济发展的高技能人才,所以,高等职业教育在对电气自动化技术、工业仪表自动化技术、生产过程自动化技术、应用电子技术、机电一体化技术、数控技术、计算机应用技术等高等技术应用型相关专业人才的培养过程中,应使学生掌握电子技术的基本知识和基本技能。一方面重视对学生进行电子技术的基本理论和基本知识的传授,另一方面要加大对学生进行电子技术的实际技能训练,使他们获得工程技术人员所必需的电子技术工艺和实践的基本知识与技能,这已成为必不可少的教学环节,为在今后的生产实践中灵活地应用电子技术解决实际问题打下良好的理论和实践基础。为适应我国高等职业教育的发展,满足高等职业技术教育的需要,根据多年的教学经验、积累和收集的资料整理汇编,并查阅和参考了许多相关的书籍和资料,在化学工业出版社的统一组织下,编写了本教材,可作为高等职业院校、高等专科学校、成人高校、民办高校及本科院校举办的二级职业技术学院的相关专业的教学用书,也适用于五年制高职相关专业,并可作为相关社会从业人员的业务参考书及培训用书。

本书内容包括:模拟电子技术、数字电子技术以及电子技术实训等三部分。模拟电子技术包括常用半导体器件、模拟信号的处理与放大电路以及模拟信号的产生与电源电路等,数字电子技术包括数字电子技术基础、数字信号的处理电路以及数字信号的产生与整形电路等。各部分内容均从应用角度进行阐述,注重理论联系实际,通过典型应用实例进行原理分析,强化对学生职业技能的培养与训练。为了便于教师组织教学和学生的学习,每章在开始时有学习要求,明确教学重点和基本要求,对学生的学习也提出学习的目标和方向;结束时有小结,便于教学总结和归纳,方便学生的理解和复习。每个章节设定了几个典型的技能训练项目,内容的选择以培养和训练学生的技能为基本要素,明确技能训练的目的,便于培养和提高学生的电子技术的实践技能和应用能力。每章还有一定的习题,学生通过练习,更加加深对知识的理解和掌握。

本书具有以下特色。

① 编排方式新颖,共分为三篇,分为模拟、数字以及实训三部分。模拟部分以半导体器件、信号处理放大、信号产生与电源为主线;数字部分以基础、信号处理、信号产生与整形为主线;实训部分包括模拟实训、数字实训两部分。

② 集理论、实验、实训、技能训练与应用能力培养为一体,理论部分包括技能训练,实训部分中又涵盖相关的理论知识,实现电子技术的理论讲授和技能训练有机统一。

③ 保证基础,加强应用,突出能力,突出实际、实用、实践的原则,贯彻重概念、重结论的指导思想,注重内容的典型性、针对性,加强理论联系实际。

④ 从应用的角度,介绍经典电子电路的工作原理与工程实用方法,使教材具有实用性,符合高职高专学生毕业后的工作需求。

⑤ 讲述深入浅出,将知识点与能力点紧密结合,注重培养学生的工程应用能力和解决现场实际问题的能力。

本教材按 120~140 课时编写,各学校根据不同的教学课时可以选择重点的章节进行

讲解。

本书由天津石油职业技术学院王锁庭、四川化工职业技术学院桂连彬担任主编并统稿，天津石油职业技术学院王晓莉、淮安信息职业技术学院丁向荣担任副主编。参加编写的有：天津石油职业技术学院王锁庭（第一章）、王晓莉（第二章），四川化工职业技术学院桂连彬（第四、五章）、杨平（第六章），淮安信息职业技术学院丁向荣（第三、八章）、安徽机电职业技术学院陈莉娟（第七章）。淮安信息职业技术学院自动化教研室主任王超副教授担任该书的主审，在百忙中仔细、认真地审阅了全书，提出了许多宝贵意见。在编写过程中，得到了天津石油职业技术学院教务处、科研处以及电子信息系的大力支持和帮助，在此一并真诚致谢。

限于编者的学术水平和实践经验，书中不足之处在所难免，恳切希望广大读者批评指正。

编 者

2010 年 1 月

第一篇 模拟电子技术

第一章 常用半导体器件	1
第一节 半导体二极管	1
一、半导体的基本知识	1
二、半导体二极管	4
三、二极管的导电特性	5
四、二极管的主要参数及选用	6
五、二极管的型号及命名方法	7
六、二极管的简易测试	8
技能训练一 半导体二极管的识别与检测	9
技能训练二 搭接测试二极管特性的电路	9
〔想一想，做一做〕	10
第二节 半导体三极管	10
一、三极管的结构和符号	10
二、三极管的电流放大作用	11
三、三极管的伏安特性	13
四、三极管的主要参数	14
五、三极管的检测	15
技能训练三 半导体三极管的识别与检测	17
技能训练四 搭接测试三极管特性的电路	17
〔想一想，做一做〕	18
第三节 场效应晶体管	18
一、结型场效应管	18
二、绝缘栅型场效应管	20
三、场效应管的主要参数及使用注意事项	21
技能训练五 场效应晶体管的识别与检测	22
技能训练六 搭接测试场效应晶体管特性的电路	23
〔想一想，做一做〕	24
第四节 单结晶体管	24
一、单结晶体管的外形、符号及结构	24
二、单结晶体管的伏安特性	25
三、单结晶体管的使用常识	26
技能训练七 单结晶体管的识别与检测	26
技能训练八 搭接自励振荡电路	27
〔想一想，做一做〕	27
第五节 晶闸管	28

一、晶闸管结构和特点	28
二、晶闸管工作原理	28
三、晶闸管的伏安特性及型号、参数的含义	30
四、单向晶闸管的简易检测	31
五、双向晶闸管	31
技能训练九 晶闸管的识别与检测	32
技能训练十 搭接测试晶闸管导电特性的电路	33
[想一想, 做一做]	33
第六节 集成运算放大器	33
一、集成运算放大器的理想化条件及理想集成运算放大器的特点	34
二、集成运放的组成及其符号	35
三、集成运算放大器的主要参数	36
技能训练十一 集成运算放大器的识别与端子辨别	36
[想一想, 做一做]	37
第七节 集成稳压器	37
一、三端固定式集成稳压器	37
二、三端可调式集成稳压器	39
三、三端集成稳压器的使用注意事项	40
技能训练十二 集成稳压器的识别与管脚辨别	41
技能训练十三 搭接三端可调式稳压器电路	41
[想一想, 做一做]	43
本章小结	43
思考练习题	43
第二章 模拟信号的处理与放大电路	46
第一节 共射极放大电路	46
一、基本放大电路的组成	46
二、静态工作点的设置	47
三、放大电路的性能指标	49
四、放大电路的分析方法	50
五、分压偏置式放大电路	53
技能训练一 固定偏置共射极放大电路	54
技能训练二 分压偏置共射极放大电路	55
[想一想, 做一做]	57
第二节 共基极放大电路	57
一、电路组成	57
二、工作原理	57
技能训练三 共基极放大电路	58
[想一想, 做一做]	59
第三节 共集电极放大电路	59
一、电路组成	59
二、射极输出器的特点	60
三、射极输出器的应用	61

技能训练四 共集电极放大电路	61
[想一想, 做一做]	63
第四节 多级电压放大电路	63
一、多级放大器的级间耦合方式	63
二、多级放大电路的性能指标估算	64
三、放大电路的频率特性	65
技能训练五 阻容耦合多级电压放大电路	66
技能训练六 变压器耦合多级电压放大电路	67
[想一想, 做一做]	68
第五节 各种反馈的放大电路	68
一、反馈的基本概念	68
二、反馈类型的判别	69
三、负反馈对放大器性能的影响	71
四、深度负反馈放大电路	73
技能训练七 电压串联负反馈放大电路	75
技能训练八 电流串联负反馈放大电路	76
[想一想, 做一做]	78
第六节 差动放大电路	78
一、直接耦合放大电路及其零点漂移现象	78
二、差动放大电路的组成及工作原理	80
三、差动放大电路的接法	82
技能训练九 基本的差动放大电路	83
技能训练十 具有恒流源的差动放大电路	85
[想一想, 做一做]	86
第七节 功率放大电路	86
一、功率放大器的特点和分类	87
二、乙类互补对称功率放大电路 (OCL 电路)	87
三、单电源互补对称功率放大电路 (OTL 电路)	89
四、复合互补对称功率放大电路	89
五、电路举例	90
技能训练十一 OTL 功率放大电路	91
技能训练十二 OCL 功率放大电路	92
[想一想, 做一做]	93
第八节 集成运放的线性应用	93
一、概述	93
二、基本运算电路	94
技能训练十三 同相、反相比例运算电路	98
技能训练十四 反相比例加法与减法运算电路	99
[想一想, 做一做]	99
第九节 集成运放的非线性应用	100
一、单门限电压比较器	100
二、滞回电压比较器	101
技能训练十五 单门限电压比较电路	102

技能训练十六 滞回电压比较器·····	102
[想一想, 做一做] ·····	103
本章小结·····	104
思考练习题·····	105
第三章 模拟信号的产生与电源电路 ·····	110
第一节 正弦波振荡器·····	110
一、正弦波振荡电路的基础知识·····	110
二、RC 正弦波振荡电路 ·····	111
三、LC 正弦波振荡电路 ·····	113
四、晶体振荡电路·····	115
五、非正弦信号发生器·····	117
技能训练一 RC 桥式振荡电路 ·····	118
技能训练二 电感反馈式 LC 振荡电路 ·····	118
[想一想, 做一做] ·····	120
第二节 直流稳压电源·····	120
一、整流电路·····	120
二、滤波电路·····	122
三、稳压电路·····	123
四、开关型稳压电源·····	125
技能训练三 串联型稳压电路·····	127
[想一想, 做一做] ·····	128
本章小结·····	128
思考练习题·····	128

第二篇 数字电子技术

第四章 数字电子技术基础 ·····	130
第一节 概述·····	130
一、数字电路的特点·····	130
二、模拟信号与数字信号的区别·····	130
[想一想, 做一做] ·····	131
第二节 数制与编码·····	131
一、数制的概念·····	131
二、不同数制之间的转换·····	132
三、编码·····	133
[想一想, 做一做] ·····	134
第三节 逻辑代数·····	134
一、逻辑代数的基本运算·····	135
二、逻辑代数的复合运算·····	136
三、逻辑变量与逻辑函数·····	138
[想一想, 做一做] ·····	147
本章小结·····	147
思考练习题·····	148

第五章 数字信号处理电路	150
第一节 逻辑门电路	150
一、概述	150
二、TTL 集成门电路	150
三、CMOS 集成门电路	156
四、集成门电路的应用	158
技能训练一 74LS00 逻辑功能测试	159
技能训练二 CC4001 逻辑功能测试	160
[想一想, 做一做]	161
第二节 组合逻辑电路	161
一、组合逻辑电路概述	161
二、组合逻辑电路的分析和设计方法	162
三、编码器	164
四、译码器	167
五、数据选择器和数据分配器	171
六、加法器和数值比较器	174
七、组合逻辑电路中的竞争与冒险现象	177
技能训练三 三人表决器电路	178
技能训练四 用数据选择器实现逻辑函数	179
[想一想, 做一做]	179
第三节 触发器	179
一、概述	179
二、基本 RS 触发器	180
三、触发器各种触发方式的实现	182
四、各种逻辑功能的触发器	183
五、集成触发器使用的特殊问题	186
六、触发器的相互转换	187
技能训练五 集成触发器的端子识别与功能测试	187
技能训练六 彩灯控制电路	189
[想一想, 做一做]	190
第四节 时序逻辑电路	190
一、概述	190
二、时序逻辑电路的分析方法及应用举例	191
三、计数器	194
四、寄存器	202
技能训练七 十进制计数器	205
技能训练八 循环彩灯	206
[想一想, 做一做]	207
本章小结	207
思考练习题	208
第六章 数字信号的产生与整形电路	211
第一节 概述	211

一、脉冲波形的的主要参数	211
二、脉冲波形的获取方式	211
[想一想, 做一做]	212
第二节 555 定时器	212
一、555 定时器分类	212
二、555 定时器的电路组成	212
三、555 定时器的功能及特点	213
技能训练一 555 定时器的识别与测试	213
[想一想, 做一做]	214
第三节 单稳态触发器	214
一、集成单稳态触发器	214
二、由 555 定时器构成的单稳态触发器	216
三、单稳态触发器的应用	217
技能训练二 集成单稳态触发器的测试	218
技能训练三 555 定时器构成的单稳态触发器的测试	219
[想一想, 做一做]	219
第四节 施密特触发器	219
一、施密特触发器的功能及特点	219
二、集成施密特触发器	220
三、由 555 定时器构成的施密特触发器	220
四、施密特触发器的应用	221
技能训练四 集成施密特触发器的测试	222
技能训练五 555 定时器构成的施密特触发器的测试	222
[想一想, 做一做]	223
第五节 多谐振荡器	223
一、由 555 定时器构成的多谐振荡器	223
二、石英晶体多谐振荡器	224
技能训练六 由 555 定时器构成的多谐振荡器的测试	225
技能训练七 石英晶体多谐振荡器的测试	226
[想一想, 做一做]	226
本章小结	226
思考练习题	226

第三篇 电子技术实训

第七章 模拟电子技术实训	229
第一节 可调输出集成直流稳压电源的装调	229
一、电路结构和原理	229
二、器件选择	230
三、装配调试和检测	231
四、故障判断和维修	232
五、方法总结和技巧	232
[想一想, 做一做]	232
第二节 声、光控定时电子开关的装调	232

一、电路结构和原理	232
二、器件选择	233
三、装配调试和检测	233
四、故障判断和维修	233
五、方法总结和技巧	234
[想一想, 做一做]	234
第三节 扩音机的装调	234
一、电路结构和原理	234
二、器件选择	234
三、装配调试和检测	236
四、故障判断和维修	236
五、方法总结和技巧	236
[想一想, 做一做]	236
第四节 超外差收音机的装调	237
一、电路结构和原理	237
二、器件选择	240
三、装配调试和检测	241
四、故障判断和维修	243
五、方法总结和技巧	245
[想一想, 做一做]	245
本章小结	245
第八章 数字电子技术实训	246
第一节 计数译码显示电路的装调	246
一、电路结构和原理	246
二、器件选择	246
三、装配调试和检测	249
四、故障判断和维修	249
五、总结方法和技巧	249
[想一想, 做一做]	249
第二节 多路竞赛抢答器的装调	249
一、电路结构和原理	250
二、器件选择	250
三、装配调试和检测	253
四、故障判断和维修	253
[想一想, 做一做]	253
第三节 交通信号控制系统的装调	254
一、电路结构和原理	254
二、器件选择	255
三、装配调试和检测	258
四、故障判断和维修	258
五、总结方法和技巧	258
[想一想, 做一做]	258

第四节 数字时钟的装调.....	259
一、电路结构和原理.....	259
二、器件选择.....	259
三、装配调试和检测.....	265
四、故障判断和维修.....	265
五、方法总结和技巧.....	265
[想一想, 做一做]	265
本章小结.....	265
参考文献	266

第一篇 模拟电子技术

第一章 常用半导体器件



学习要求

1. 了解半导体的特点、类型及导电方式。
2. 掌握半导体二极管结构、符号、单向导电性、主要参数及识别、检测方法。
3. 掌握三极管的结构、符号、电流放大作用，输入输出特性曲线、主要参数及识别、检测方法。
4. 掌握场效应管结构、符号、电流放大作用，特性曲线、主要参数及管脚识别。
5. 掌握单结晶体管结构、符号、作用原理、特性曲线及管脚识别、检测方法。
6. 掌握晶闸管结构、符号、作用原理、特性曲线及管脚识别、检测方法。
7. 掌握集成运算放大器结构、符号、作用、特性曲线及识别与引脚辨别。
8. 掌握集成稳压器符号、特性及其识别与引脚辨别。

第一节 半导体二极管

一、半导体的基本知识

图 1-1 表示的是由二极管、灯泡、限流电阻，开关及直流电源等组成的简单电路。

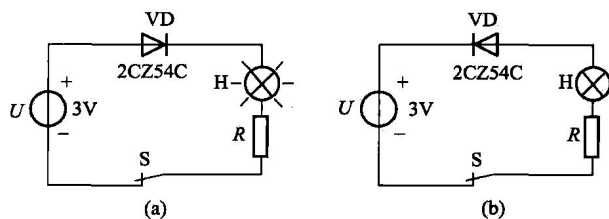


图 1-1 半导体二极管导电性能实验

电路演示如下：按图 1-1(a) 所示闭合开关 S，灯泡发光，说明电路导通；若二极管管脚调换位置，如图 1-1(b) 所示，闭合开关 S，灯泡不发光，说明此时电路不导通。由以上演示结果可知：二极管具有单向导电性，产生这一现象的原因与二极管的内部结构有关。而二极管又是由半导体材料构成的，所以必须首先了解半导体的性能。

1. 半导体的特点

导电能力介于导体与绝缘体之间的物质称为半导体。自然界中不同的物质，由于其原子结构不同，因而导电能力也各不相同。根据导电能力的强弱，可以把物质分成导体、半导体和绝缘体。半导体的导电能力介于导体和绝缘体之间，如硅、锗、砷化镓以及金属氧化物和硫化物等都是常见的用于制造各种半导体器件的半导体材料。

半导体材料主要有以下三个特点。

(1) 热敏性 半导体对温度很敏感，例如纯锗，温度每升高 10°C ，它的电阻率就会减小到原来的一半左右。由于半导体的电阻对温度变化的反应灵敏，而且大都具有负的温度系数，所以人们就把它制成了各种自动控制装置中常用的热敏电阻传感器和能迅速测量物体温度变化的半导体点温计等。

(2) 光敏性 与金属不同，半导体对光和其他射线都很敏感，例如一种硫化镉半导体材料，在没有光照射时，电阻高达几十兆欧，受到光照射时，电阻可降到几十千欧，两者相差上千倍。利用半导体的这种光敏特性可以制成光敏电阻、光电二极管、光电三极管以及太阳能电池等。

(3) 掺杂性 半导体对杂质很敏感，在纯净半导体中掺进微量的某种杂质，对其导电性能影响极大，例如，在纯净硅中掺入百万分之一的硼，可使其导电能力增加几十万倍以上。利用掺杂性可制成不同性能、不同用途的半导体器件，例如二极管、三极管、场效应管等。

2. 半导体的类型及导电方式

(1) 本征半导体 纯净的、不含杂质的半导体称为本征半导体，也称纯净半导体。从原子结构上来看，本征半导体的最外层原子轨道上具有 4 个电子，称为价电子。每个原子的 4 个价电子不仅受自身原子核的束缚，而且还与周围相邻的 4 个原子发生联系，这些价电子一方面围绕自身的原子核运动，另一方面也时常出现在相邻原子所属的轨道上。这样，相邻的原子就被共有的价电子联系在一起，称为共价键结构，原子结构排列成整齐的晶体结构，如图 1-2 所示。因此，由半导体制成的半导体管也称为晶体管。

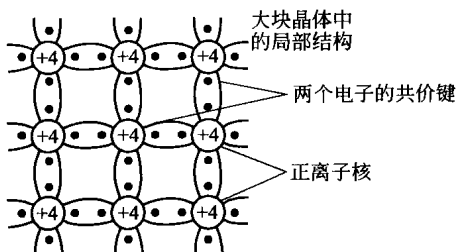


图 1-2 硅和锗的共价键结构

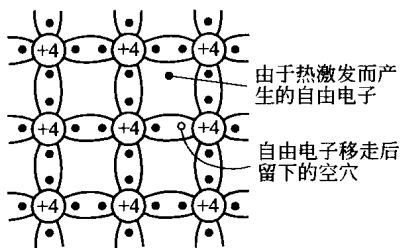


图 1-3 本征激发产生电子空穴对示意图

当温度升高或受光照时，由于半导体共价键中的价电子并不像绝缘体中束缚得那样紧，价电子从外界获得一定的能量，少数价电子会挣脱共价键的束缚，成为自由电子，同时在原来共价键的相应位置上留下一个空位，这个空位称为空穴。自由电子和空穴是成对出现的，所以称它们为电子-空穴对。在本征半导体中，电子与空穴的数量总是相等的。把在热或光的作用下，本征半导体中产生电子-空穴对的现象称为本征激发，又称为热激发。

由于共价键中出现了空位，在外电场或其他能源的作用下，邻近的价电子就可填补到这个空穴上，而在这个价电子原来的位置上又留下新的空位，以后其他价电子又可转移到这个新的空位上，如图 1-3 所示。这种价电子的填补运动称为空穴运动，认为空穴是一种带正电荷的载流子，它所带电荷和电子相等符号相反。由此可见，本征半导体中存在两种载流子：电子和空穴。本征半导体在外电场作用下，两种载流子的运动方向相反而形成的电流方向相

同,如图 1-4 所示。

由于本征半导体中,自由电子和空穴是本征激发产生的,因此自由电子和空穴的数目相等,由此产生的电子电流和空穴电流的大小也相等。

(2) 掺杂半导体 本征半导体中虽然存在两种载流子,但因本征半导体内载流子的浓度很低,所以导电能力差。在本征半导体中,人为有控制地掺入某种微量杂质,即可大大改变它的导电性能,掺入杂质的半导体称作掺杂半导体。按掺入杂质的不同,可获得 N 型和 P 型两种掺杂半导体。

① N 型半导体。在本征半导体硅(或锗)晶体中掺入微量五价元素(如磷、锑、砷等)后,掺入的磷原子取代了某处硅原子的位置,它同相邻的四个硅原子组成共价键时,多出一个电子,这个电子不受共价键的束缚,因此在常温下有足够的能量使它成为自由电子,如图 1-5(a) 所示。这样,掺入杂质的硅半导体就有足够数量的自由电子,且自由电子的浓度远大于空穴的浓度。显然,这种掺杂半导体主要靠电子导电,称为 N 型半导体,也称电子型半导体。

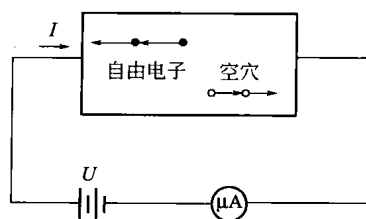


图 1-4 两种载流子在电场中的运动

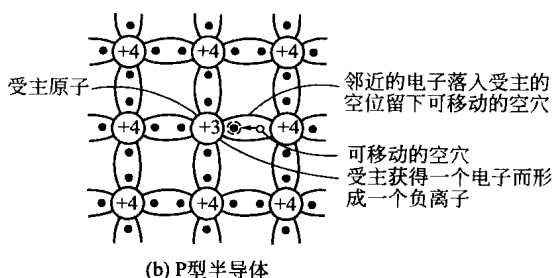
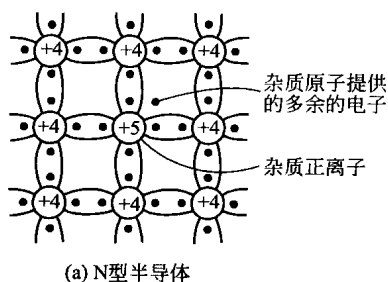
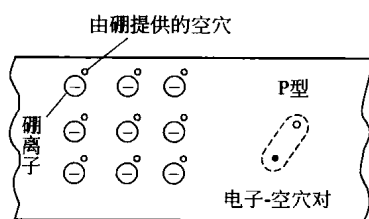
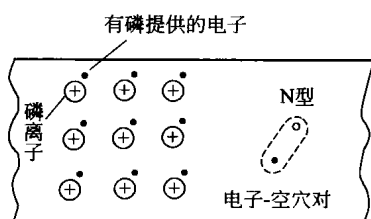


图 1-5 掺杂质后的半导体

由于掺入的五价杂质原子可提供自由电子,故称为施主杂质。每个施主原子给出一个自由电子后都带上一个正电荷,因此杂质原子都变成正离子,它们被固定在晶格中不能移动,也不参与导电,如图 1-6 所示。此外,在 N 型半导体中热运动也会产生少量的电子-空穴对。总之,在 N 型半导体中,不但有数目很多的自由电子,而且也有少量的空穴存在,自由电子是多数载流子,空穴是少数载流子。



② P 型半导体。在本征半导体硅(或锗)的晶体内掺入少量三价元素杂质,如硼(或铟、镓等)。因为杂质硼原子最外层只有 3 个价电子,它与周围硅(或锗)原子组成共价键时,因缺少一个电子,于是在晶体中便产生一个空穴。当相邻共价键上的电子受到热源振动或其他激发条件下获得能量时,就有可能填补这个空位,使硼原子成为不能移动的负离子,而原来硅原子的共价键则因缺少了一个电子,形成空穴,如图 1-5(b) 所示。这样,在掺入硼原子的硅半导体中,就具有了数目相当的空穴,空穴的浓度远远大于电子的浓度,这

种半导体主要靠空穴导电，称为 P 型半导体，或空穴型半导体。

掺入的三价杂质原子，因在硅晶体中接受电子，故称受主杂质。受主杂质都变成了负离子，它们被固定在晶格中不能移动，也不参与导电，如图 1-7 所示。此外，在 P 型半导体中还有本征激发的少量的电子-空穴对。总之，在 P 型半导体中，不仅有数目很多的空穴，而且还有少量的自由电子存在，空穴是多数载流子，电子是少数载流子。

必须指出，虽然 N 型半导体中有大量带负电的自由电子，P 型半导体中有大量带正电的空穴，但是由于带有相反极性电荷的杂质离子的平衡作用，无论 N 型半导体还是 P 型半导体，对外表现都是电中性。

总之，无论是本征半导体还是杂质半导体，其参与导电的载流子均包括带负电的电子和带正电的空穴。杂质半导体由于掺入了微量元素，产生的多数载流子的数目远大于本征激发获得的少数载流子，因此杂质半导体的导电能力远远高于纯净半导体，充分体现了半导体的掺杂性。

二、半导体二极管

1. PN 结

单纯的 P 型或 N 型半导体仅仅是导电能力增强了，但还不具备半导体器件所要求的各种特性。如果通过一定的生产工艺，把一块 P 型半导体和一块 N 型半导体结合在一起，则它们的交界处就会形成 PN 结，这是构成各种半导体器件的基础。下面将重点讨论 PN 结的形成及其特性。

2. PN 结的形成

在一块完整的晶片上，通过一定的掺杂工艺，一边形成 P 型半导体，另一边形成 N 型半导体。在 P 型和 N 型半导体交界面两侧，由于载流子浓度的差别，N 区的电子必然向 P 区扩散，而 P 区的空穴要向 N 区扩散，P 区一侧因失去空穴而留下不能移动的负离子，N 区一侧则因失去电子而留下不能移动的正离子，这些离子被固定排列在晶格上，不能自由移动，所以并不参与导电，这样，在交界面两侧形成一个带异性电荷的离子层，称为空间电荷区，并产生内电场，其方向是从 N 区指向 P 区。内电场的建立阻碍了多数载流子的扩散运动，随着内电场的加强，多子的扩散运动逐步减弱，直至停止，使交界面形成一个稳定的特殊的薄层，即 PN 结。因为在空间电荷区内多数载流子已扩散到对方并复合掉了，或者说消耗尽了，因此空间电荷区又称为耗尽层。

3. PN 结的特性

如果在 PN 结加正向电压（也称正向偏置，简称正偏），即 P 区接电源正极，N 区接电源负极，如图 1-8(a) 所示，外加电源产生的外电场的方向与 PN 结产生的内电场方向相反，削弱了内电场，使 PN 结变薄，有利于两区多数载流子向对方扩散，形成正向电流，此时 PN 结处于正向导通状态。正向导通时，外部电源不断向半导体供给电荷，使电流得以维持。

如果给 PN 结加反向电压（也称反向偏置，简称反偏），即 N 区接电源正极，P 区接电源负极，如图 1-8(b) 所示，这时由于外电场与内电场方向一致，因而增强了内电场，使 PN 结变厚、加宽，阻碍了多子的扩散运动。在外电场的作用下，只有少数载流子形成的很微弱的电流，称为反向电流。

应该指出，少数载流子是由于热激发产生的，因而 PN 结的反向电流受温度影响很大，温度升高，反向电流明显增加。

综上所述，PN 结具有单向导电性，在正向电压作用下，电阻很小，PN 结导通，电流可顺利流过；而在反向电压作用下，电阻很大，PN 结截止，阻止电流通过。