

# 电子技术及应用

(模拟部分)

易培林 主编

DIANZI JISHU JI YINGYONG

全国电子信息类  
职业教育实训系列教材

DI

东南大学出版社

全国电子信息类职业教育实训系列教材

# 电子技术及应用

(模拟部分)

主 编 易培林  
参 编 王卫萍 王颜华 韩 鹏  
主 审 郑应光 董平山

东南大学出版社

## 内 容 提 要

本书分2篇:第一篇为基础理论教学,内容包括:晶体二极管和整流电路;晶体三极管和场效应管;低频小信号放大电路;负反馈放大器;集成运算放大器及应用;正弦波放大器;低频功率放大器;直流稳压电源。第二篇为实验,内容包括:常用仪器仪表的使用;二极管伏安特性测试;三极管伏安特性测试;单极小信号放大器;负反馈放大器;差动放大器;集成运算放大器;直流稳压电源。

本书取材新颖,表述简练,通俗易懂,充分体现职业教育的特点,突出“简、实、新”的编写方针。在实训、实验教学方面,结合基础理论教学增加工程应用小知识,每章末都配有相应理论考核和实训内容及配套实验等。本书可作为职业教育电子信息类、电子技术类专业基础教材,也可供从事教学的教师和工程技术人员做参考书或培训教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

电子技术及应用(模拟部分)/易培林主编. —南京:东南大学出版社,2003.7

ISBN 7-81089-246-0

I. 电… II. 易… III. ① 电子技术-专业学校-教材  
② 模拟电路-专业学校-教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 044985 号

东南大学出版社出版发行

(南京四牌楼2号 邮编 210096)

出版人:宋增民

江苏省新华书店经销 扬中市印刷有限公司印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:13.5 字数:330千字

2003年7月第1版 2003年7月第1次印刷

印数:1-4000册 定价:22.00元

(凡因印装质量问题,可直接向发行科调换。电话:025-3795801)

# 出版说明

全国电子信息类职业教育实训教材建设研讨会于2002年12月12日在辽宁省本溪市电子工业学校召开,历时4天。

与会代表通过了“全国电子信息类职业教育实训教材编委会组建意见”,成立了“全国电子信息类职业教育实训教材编委会”,确定出版首批“电子信息类职业教育实训系列教材”。

目前的职业教育教材还留有大量理论教育的影子,教育观念和培养模式相对滞后,片面强调知识灌输,教学活动与生产和生活实际联系不紧密,特别是对知识应用、创新精神和实践能力的培养重视不够,即使有职业教育教学改革愿望的学校,苦于没有合适的教材,也无法实现教学体制改革。为了更好地深化职业教育改革,满足广大职业技术教育院校教材建设的需求,编委会将首先从职业教育实训教材建设着手,利用3年的时间,出版一批高质量的职业教育实训教材。

与会代表认真地讨论了首批预选编写的教材,提出了教材的编写要求:立足当前学生现状,面向用人单位(市场),打破条条框框,少一些理论,多一些技能教育。采取逆向思维的方式编写,即从市场需要什么技能来决定学生需要什么知识结构,并由此决定编写什么教材。虽然第一批教材是个尝试,不一定能按要求编写出真正意义上的实训教材,但我们要求编写人员为此努力。要有创新思想,因为职业教育本来就是在探索中,教材建设也是任重而道远的事,需要老师们不断地探索,把自己最新的思想和教学实践体现在教材中。

参加教材编写的单位有:

山东信息职业技术学院	南京信息职业技术学院
福建省电子工业学校	长沙电子工业学校
扬州电子信息学校	山西省电子工业学校
河南信息工程学校	北京市电子工业学校
大连电子工业学校	锦州铁路运输学校
黑龙江省电子工业学校	新疆机械电子职业技术学院
本溪财贸学校	山西省邮电学校
宜昌市职业技术学院	山西省工程职业技术学院
四川省电子工业学校	哈尔滨机电工程学校
本溪市电子工业学校	

全国电子信息类职业教育实训教材编委会  
2003年3月

## 前 言

目前,职业教育改革不断深入,教材改革理应先行,如何编出适应当前形势、具有职教特色的教材,无疑是一项紧迫而艰巨的任务。为此,2002年11月在本溪召开了“全国电子信息类实训教材”研讨会议。会议对目前职业教育现状、特别是招生对象变化(普遍存在基础理论知识差)及教材改革的滞后等问题进行了认真热烈的讨论。与会者一致认为急需一套适合目前职业教育并具有实训特色的教材。该教材必须突出对学生基本知识和基本技能的培养,突出“简、实、新”的特点,注重教学内容的直观性和形象化,简单实用。本书就是根据这一精神而编写的。

本书可分为基础理论知识教学和实训、实验教学2大模块。基础理论知识教学方面,注重强调基本概念和基本原理,内容力求简单明了,着重定性分析,使学生容易理解和掌握。在实训、实验教学方面,结合基础理论知识增加工程应用小常识,每章末都配有相应理论考核和实训内容及配套实验等。

全书分2篇:第一篇是基础理论知识教学,共有8章内容。第1章:晶体二极管和整流电路;第2章:晶体三极管和场效应管;第3章:低频小信号放大电路;第4章:负反馈放大器;第5章:集成运算放大器及应用;第6章:正弦波振荡器;第7章:低频功率放大器;第8章:直流稳压电源。第二篇是实验内容,共有8个实验。实验1:常用仪器仪表的使用;实验2:稳压二极管伏安特性曲线测试;实验3:晶体三极管输入、输出特性曲线测试;实验4:单级低频小信号放大器;实验5:负反馈放大器;实验6:差动放大器;实验7:运算放大器的运算电路;实验8:直流稳压电源。

本书由河南信息工程学校高级讲师易培林主编,扬州电子信息学校王卫萍老师、黑龙江省电子工业学校王颜华老师和四川省电子工业学校韩鹏老师参编。其中,第1、2、3、4章由易培林编写,第5、6章由王卫萍编写,第7、8章由王颜华编写;第二篇实验部分由韩鹏(河南信息工程学校罗敬老师参与)编写;易培林负责对全书的文稿和图稿进行统一的修改和统稿。

本书由南京信息职业技术学院副教授郑应光和大连电子工业学校高级讲师董平山主审。郑应光老师和董平山老师认真负责地对全书进行了审阅,提出了许多宝贵意见,在此表示衷心地感谢!

本书编写过程中得到上述各校有关领导和同志们的大力支持,在此表示感谢。由于编者水平有限,书中一定存在不当之处,恳请广大读者批评和指正。

编者  
2003.5

# 目 录

## 第一篇 基础理论教学

<b>1 晶体二极管和整流电路</b> .....	1
* 1.1 半导体的基础知识 .....	1
1.1.1 半导体及其特性 .....	1
1.1.2 半导体的导电性能 .....	2
1.1.3 杂质半导体 .....	3
1.1.4 PN结 .....	5
1.2 晶体二极管 .....	7
1.2.1 晶体二极管的结构与类型 .....	7
1.2.2 二极管的伏安特性 .....	7
1.2.3 二极管器件手册的使用 .....	11
1.2.4 二极管的简易测量 .....	13
1.3 整流电路 .....	13
1.3.1 单相半波整流电路 .....	14
1.3.2 单相桥式整流电路 .....	15
1.4 滤波电路 .....	18
1.4.1 电容滤波器 .....	18
1.4.2 电感滤波器 .....	20
1.4.3 复式滤波器 .....	21
* 1.5 特殊二极管简介 .....	22
1.5.1 稳压管 .....	22
1.5.2 变容二极管 .....	23
1.5.3 发光二极管 .....	24
1.5.4 光电二极管 .....	25
本章小结 .....	26
习题 1 .....	27
基础理论考核 1 .....	28
实训技能考核 1 .....	30
<b>2 晶体三极管和场效应管</b> .....	33
2.1 晶体三极管 .....	33
2.1.1 晶体三极管的结构与分类 .....	33
2.1.2 晶体三极管的偏置和基本连接方式 .....	35
2.1.3 晶体三极管的电流分配和放大作用 .....	36

2.1.4 晶体三极管的伏安特性和主要参数 .....	38
2.1.5 晶体三极管的简易测试 .....	40
2.1.6 晶体三极管手册的使用 .....	42
2.2 场效应管 .....	44
2.2.1 结型场效应管 .....	44
2.2.2 绝缘栅场效应管 .....	46
2.2.3 场效应管的主要参数和特点 .....	49
本章小结 .....	50
习题2 .....	50
基础理论考核2 .....	52
实训技能考核2 .....	53
<b>3 低频小信号放大电路</b> .....	<b>55</b>
3.1 放大电路的基本概念 .....	55
3.1.1 概述 .....	55
3.1.2 放大电路的主要性能指标 .....	56
3.2 单级低频小信号放大器 .....	58
3.2.1 基本放大电路的组成 .....	58
3.2.2 放大器的静态工作及放大原理 .....	60
3.3 放大电路的分析方法 .....	63
3.3.1 放大电路分析的步骤 .....	63
3.3.2 图解法 .....	63
3.3.3 估算法 .....	67
3.3.4 等效电路法 .....	69
3.4 放大器的偏置电路 .....	70
3.4.1 固定偏置电路 .....	70
3.4.2 分压式偏置电路 .....	70
3.5 共集电极放大电路与共基极放大电路 .....	73
3.5.1 共集电极放大电路 .....	73
3.5.2 共基极放大电路 .....	74
3.5.3 放大电路3种基本组态的比较 .....	75
3.6 场效应管放大电路 .....	76
3.6.1 场效应管放大电路的构成及元件的作用 .....	76
3.6.2 场效应管放大电路的分析 .....	77
3.6.3 场效应管放大器与晶体管放大器的比较 .....	78
3.7 多级放大器 .....	78
3.7.1 多级放大器的级间耦合方式 .....	79
3.7.2 二级阻容耦合放大器的电压放大倍数 .....	80
3.7.3 阻容耦合放大电路的频率特性 .....	81
本章小结 .....	83
习题3 .....	83

基础理论考核 3 .....	85
实训技能考核 3 .....	87
<b>4 负反馈放大电路</b> .....	<b>90</b>
4.1 反馈的基本概念.....	90
4.1.1 反馈放大电路的组成 .....	90
4.1.2 反馈的分类 .....	91
4.1.3 负反馈放大器增益的一般表达式 .....	92
4.2 负反馈对放大器性能的影响.....	93
4.2.1 负反馈使放大倍数下降 .....	93
4.2.2 负反馈可以提高放大倍数的稳定性 .....	94
4.2.3 负反馈可以减小非线性失真 .....	94
4.2.4 负反馈可以展宽通频带 .....	95
4.2.5 负反馈可以改变输入电阻和输出电阻 .....	95
4.3 负反馈放大电路分析.....	96
4.3.1 反馈类型的判别方法 .....	96
4.3.2 负反馈的 4 种类型及特点.....	97
4.3.3 深度负反馈放大倍数的估算 .....	102
* 4.4 负反馈放大器的自激及其消除 .....	103
4.4.1 自激的概念.....	103
4.4.2 自激产生的原因和防止 .....	103
本章小结.....	104
习题 4 .....	104
基础理论考核 4 .....	106
实训技能考核 4 .....	108
<b>5 集成运算放大器</b> .....	<b>111</b>
5.1 直接耦合放大器 .....	111
5.1.1 直接耦合放大器的 2 个特殊问题 .....	111
5.1.2 直接耦合放大器的级间电位调节电路 .....	112
5.1.3 差动放大器 .....	114
5.1.4 恒流源电路简述 .....	119
5.2 集成运算放大器 .....	120
5.2.1 集成运算放大器的外形和符号 .....	121
5.2.2 集成运算放大器的放大倍数和主要参数 .....	122
5.2.3 集成运算放大器的理想化 .....	123
5.3 集成运算放大器的应用 .....	124
5.3.1 基本运算放大电路.....	124
5.3.2 加法、减法、积分和微分等运算电路.....	127
5.3.3 集成运算放大器的使用常识 .....	129
5.3.4 波形变换、振荡电路 .....	131



本章小结	134
习题 5	134
基础理论考核 5	137
实训技能考核 5	139
<b>* 6 正弦波振荡器</b>	141
6.1 振荡器的基本原理	141
6.1.1 概述	141
6.1.2 振荡器的工作原理	141
6.2 几种形式的正弦波振荡器	143
6.2.1 RC 振荡器	143
6.2.2 LC 振荡器	145
6.2.3 石英晶体振荡器	149
本章小结	151
习题 6	152
基础理论考核 6	153
实训技能考核 6	154
<b>7 低频功率放大器</b>	156
7.1 概述	156
7.1.1 低频功率放大器的基本要求	156
7.1.2 低频功率放大器的分类	157
7.2 单管功率放大电路	158
7.2.1 电路组成及工作原理	158
7.2.2 输出功率及效率	159
7.3 互补对称乙类功率放大电路	160
7.3.1 乙类推挽功率放大器	160
7.3.2 甲乙类推挽功率放大器	162
7.3.3 单电源乙类功率放大器	163
7.3.4 复合管乙类功率放大器	165
<b>* 7.4 集成功率放大器简介</b>	166
7.4.1 LM386 集成功率放大器	167
7.4.2 TDA2030 集成功率放大器	168
本章小结	169
习题 7	169
基础理论考核 7	170
实训技能考核 7	172
<b>8 直流稳压电源</b>	174
8.1 概述	174
8.2 稳压管稳压电路	175
8.2.1 电路组成和工作原理	175

8.2.2 参数选择 .....	176
8.2.3 主要性能指标 .....	176
8.3 三极管串联型稳压电路 .....	177
8.3.1 简单串联型三极管稳压电路 .....	177
8.3.2 具有放大环节的串联型稳压电路 .....	177
8.4 集成稳压器 .....	179
8.4.1 固定式三端集成稳压器 .....	179
8.4.2 可调式三端集成稳压器 .....	181
本章小结 .....	182
习题 8 .....	182
基础理论考核 8 .....	183
实训技能考核 8 .....	184

## 第二篇:实践教学(实验部分)

实验 1 常用仪器仪表的使用 .....	186
实验 2 稳压二极管伏安特性的测试 .....	188
实验 3 晶体三极管输入、输出特性的测试 .....	189
实验 4 单级低频小信号放大器 .....	190
实验 5 负反馈放大电路 .....	192
实验 6 差动放大电路 .....	193
实验 7 运算放大器的运算电路 .....	195
实验 8 直流稳压电源 .....	197
附录 I 半导体器件型号命名方法 .....	200
附录 II 半导体集成电路型号命名方法 .....	202
附录 III 部分集成运算放大器技术指标 .....	203
参考文献 .....	204

# 第一篇：基础理论教学

## 1 晶体二极管和整流电路

### ★ 本章要求

#### 一、基础理论知识

- (1) 了解半导体导电性及特点。
- (2) 初步掌握 PN 结的基本特性,了解它的非线性的实质。
- (3) 熟悉二极管外形和电路符号、基本特性和主要参数。
- (4) 了解整流和滤波电路基本组成、工作原理等并能进行简单的计算。
- (5) 了解特殊功能的二极管及应用。

#### 二、实训技能知识

- (1) 会使用万用表测量二极管的极性和判断它的好坏。
- (2) 能组装桥式整流电容滤波电路。
- (3) 能排除简单的电路故障的能力。

### 1.1 半导体的基础知识

#### 1.1.1 半导体及其特性

##### 1) 什么是半导体

物质按导电能力的强弱分为导体、绝缘体和半导体 3 大类。导电能力很强的物质称为导体,如铜、铝等金属;导电能力很弱的物质称为绝缘体,如塑料、玻璃等;导电能力介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体。常用的半导体材料是硅(Si)和锗(Ge),其中硅的使用最为广泛。

##### 2) 半导体的独特性能

半导体之所以得到广泛的应用,是因为它具有以下 3 大特性:

##### (1) 掺杂特性

在纯净的半导体(通常称本征半导体)中掺入极其微量的杂质元素,则它的导电能力将大大增强。利用掺杂半导体可以制造出晶体二极管、晶体三极管、场效应管、晶闸管和集成电路等半导体器件。

## (2) 热敏特性

温度升高,将使半导体的导电能力大大增强。例如,硅在  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  时的导电能力要比一般室温时增加几千倍。利用半导体对温度十分敏感的特性,可以制造自动控制中常用的热敏电阻及其他热敏元件。

## (3) 光敏特性

对半导体施加光线照射时,光照越强,导电能力越强。利用半导体的光敏特性,可以制成光敏元件,如光敏电阻、光电二极管、光电三极管等,从而实现路灯、航标灯的自动控制或制成火灾报警装置、光电控制开关等。

# 1.1.2 半导体的导电性能

半导体具有上述的独特性能是和它本身的导电机理分不开的。

## 1) 本征半导体

天然的半导体材料会有多种杂质,经过提纯(去除杂质)、拉单晶等工艺后,形成纯净的不含杂质的半导体,称为本征半导体,简称为半导体。

## 2) 本征半导体晶体结构

常用的半导体材料硅和锗都是 4 价元素。在原子结构中,最外层轨道有 4 个价电子,为了便于讨论,通常采用图 1.1.1 所示简化模型结构。

内层电子与原子核看成是一个整体,带 4 个正电荷,通常称为惯性核,它与外层 4 个电子(带 4 个负电荷)相互中和,故整个原子显中性,对外不带电。图中,  $(+4)$  表示惯性核所具有的电荷量。

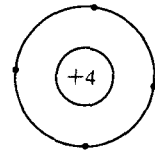


图 1.1.1 硅和锗的原子结构简化模型

大量的半导体原子集合到一起形成一种晶体结构,各原子间呈现有序的排列,相邻原子是以共价键的形式结合起来。在绝对温度为零度( $0\text{ K}$ , 相当于  $-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ )时,由于每个价电子都被共价键束缚,所以不能自由移动。这时,本征半导体是不导电的,相当于绝缘体。如图 1.1.2 所示。

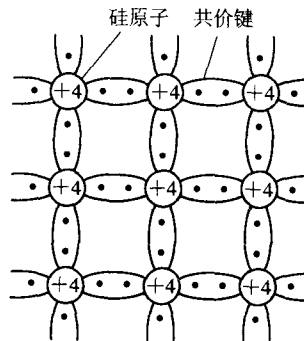


图 1.1.2 硅或锗晶体中共价键结构示意图

## 3) 本征激发

半导体的导电性能主要与本征激发有关。在本征半导体中,价电子从外界获取能量(如温度升高、光照等),挣脱共价键束缚成为自由电子,同时在原来的位置留下“空穴”。这一现象称

为本征激发。

本征激发的结果是在半导体中产生“电子-空穴”对,如图 1.1.3 所示。电子带负电荷,空穴带正电荷,统称为载流子。在电场力的作用下,电子逆着电场方向定向运动形成电子电流,“空穴”顺着电场方向定向运动(其实是价电子填补空穴的运动)形成空穴电流,如图 1.1.4 所示。因此半导体中的电流是电子电流和空穴电流的总和,而导电性能的强弱取决于半导体中的载流子的浓度大小。

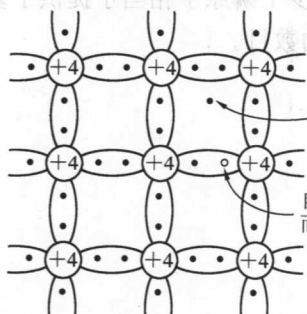


图 1.1.3 本征激发产生电子-空穴对示意图

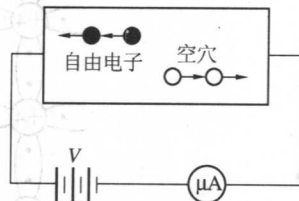


图 1.1.4 半导体中的 2 种载流子导电示意图

在本征半导体中,载流子的浓度与温度和光照有关。由半导体理论可知,温度每增加  $10^{\circ}\text{C}$ ,本征激发产生的载流子浓度就增大 1 倍。光照越强,载流子浓度越高,导电能力越强。这就是半导体为什么具有热敏特性和光敏特性的原因。

在常温下,由于本征激发产生的电子空穴对数目很少(有限),载流子浓度很低,所以导电性很弱。故本征半导体不能直接用来制作管子。

## 工程应用小知识

### 半导体为什么具有奇妙的导电特性

★ 半导体的奇妙导电特性与其原子最外层的价电子有关。半导体材料硅有 4 个价电子,每个硅原子和它相邻的 4 个硅原子通过共价键结合起来,形成一种晶体结构。

★ 半导体受热或受光照射时,部分价电子获得足够的能量,得以挣脱共价键的束缚而成为自由电子,自由电子逸出的空位就形成空穴。自由电子带负电荷,空穴带正电荷,统称为载流子,它们在电场的作用下能定向移动形成电流。温度升高和光照加强,半导体的价电子就接受更多的能量,有更多的价电子成为自由电子,并产生同等数量的空穴,半导体的导电性随之增强,这就是半导体具有热敏特性的原因。在本征半导体中掺入杂质元素,也会产生很多载流子参加导电,其原因将在下面分析。

### 1.1.3 杂质半导体

在本征半导体中掺入微量的特定杂质,其导电能力将大大提高(可提高几十万倍以上),称

之为杂质半导体。根据掺入杂质性质的不同,杂质半导体可分为 N 型半导体和 P 型半导体 2 大类。

### 1) N 型半导体

在本征半导体中掺入微量的 5 价元素,可以形成 N 型半导体。例如,在本征硅中掺入微量的 5 价元素磷,某些硅原子的位置被磷原子取代。磷是 5 价元素,它用 4 个价电子与相邻的 4 个硅原子组成共价键后,还剩余 1 个电子,这个电子不受共价键束缚,在常温下(27 °C)能摆脱磷原子的束缚成为自由电子,如图 1.1.5 所示。这样,掺入多少个磷原子相当于提供了多少个自由电子,使自由电子的数目大大超过本征激发产生的空穴的数目。

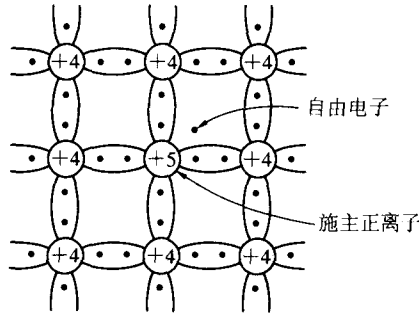


图 1.1.5 N 型半导体的共价键结构图

由于这种杂质半导体主要靠自由电子进行导电,所以称为电子型半导体,简称 N 型半导体。

在 N 型半导体中,多数载流子(简称多子)是电子,少数载流子(简称少子)是空穴。

N 型半导体是中性体,本身并不带电,当掺入的磷原子提供了一个自由电子后,变成不能移动的正离子,用“ $\oplus$ ”来表示。N 型半导体的结构示意图如图 1.1.6 所示。

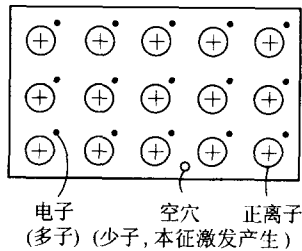


图 1.1.6 N 型半导体的平面结构示意图

### 2) P 型半导体

在本征半导体中掺入微量的 3 价元素,可以形成 P 型半导体。例如,在本征硅中掺入微量的 3 价元素硼。由于硼原子只有 3 个价电子,当它与相邻的 4 个硅原子组成共价键时,必然缺少 1 个价电子,形成 1 个空位。在常温下(27 °C),相邻共价键上的硅原子的价电子,会来填补这个空位,使硼原子成为不能移动的负离子(用“ $\ominus$ ”表示),而相邻硅原子的共价键上因缺少 1 个电子形成了空穴。如图 1.1.7 所示。这样,掺入多少硼原子,就相当于提供了多少个空穴,使空穴的数目大大增加,远远超过了自由电子的数目。

由于这种杂质半导体主要靠空穴进行导电,所以称为空穴型半导体,简称 P 型半导体。

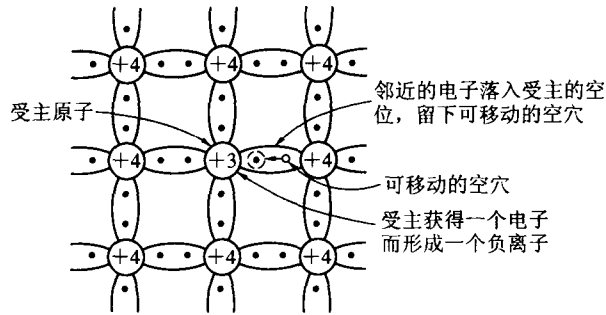


图 1.1.7 P 型半导体的共价键结构示意图

在 P 型半导体中,多数载流子是空穴,少数载流子是电子。P 型半导体也是中性。其结构示意图如图 1.1.8 所示。

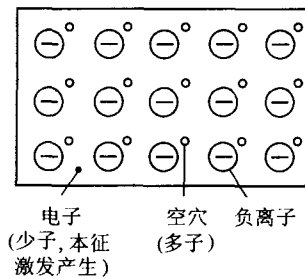


图 1.1.8 P 型半导体平面结构示意图

### 1.1.4 PN 结

在一块本征半导体上,利用一定的掺杂工艺,分别掺入 3 价元素和 5 价元素,在半导体两边形成 P 型半导体和 N 型半导体,交界面形成的特殊导电薄层,称为 PN 结。这是对 PN 结的一般认识。PN 结是构成各种半导体器件的基础。因此,只有掌握 PN 结的导电特性,才能掌握半导体器件的工作原理。

#### 1) PN 结的形成

当一块 P 型半导体与一块 N 型半导体结合时,P 区的空穴浓度远大于 N 区,N 区的电子浓度远大于 P 区,交界面两边存在着很大的载流子浓度差。它必然引起各自的多子向对方扩散,P 区的空穴向 N 区扩散,N 区的电子向 P 区扩散,如图 1.1.9(a)所示,在交界面易出现电子与空穴相遇同时消灭,即出现了复合现象,结果在交界面的 P 区留下了带负电的负离子,N

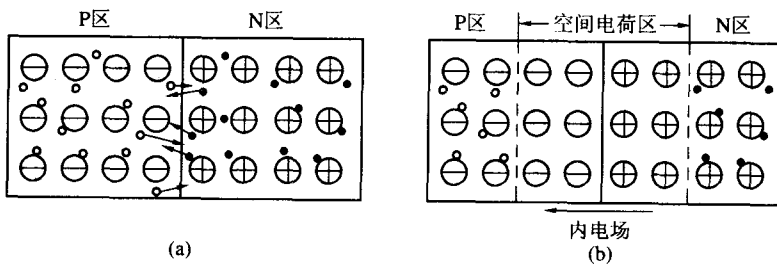


图 1.1.9 PN 结的形成

区留下了带正电的正离子,这些不能移动的带电离子称为空间电荷,而交界面两侧的正负离子组成的区域称为空间电荷区。与此同时,一个由N区指向P区的电场形成了。这个电场称为内电场。它阻止多子扩散运动,有利于少子的漂移运动。当多子扩散运动和少子漂移运动达到动态平衡时,这个空间电荷区不再变化,这时的空间电荷区称为PN结,如图1.1.9(b)所示。由于空间电荷区内无载流子,所以也叫耗尽层。

由此可见,PN结的实质是动态平衡时的空间电荷区。

## 2) PN结的特性

PN结具有单向导电性。

### (1) 外加正向电压

PN结外加正向电压,即外电源的正极接P区,负极接N区,如图1.1.10所示。

由于外电场与内电场方向相反,削弱了内电场,破坏了原来的动态平衡,使PN结变窄,多数载流子的扩散运动加剧,形成较大的扩散电流。在外电源作用下,使电流得以维持。

PN结外加正向电压时,有较大的电流通过PN结,此时PN结处于导通状态。导通时,PN结相当于一个较小的电阻。

### (2) 外加反向电压

PN结外加反向电压,即外电源的正极接N区,负极接P区,如图1.1.11所示。

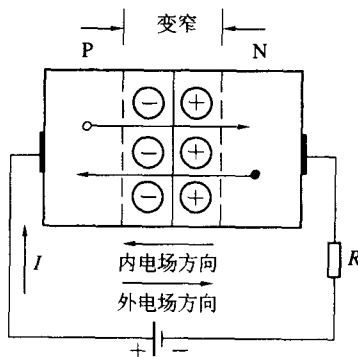


图 1.1.10 PN结加正向电压

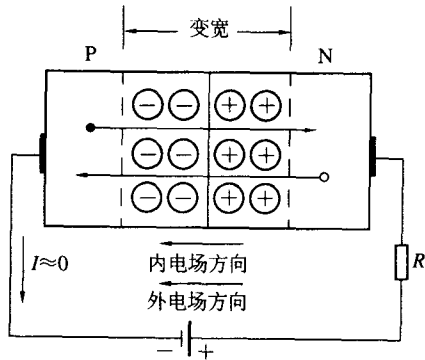


图 1.1.11 PN结加反向电压

由于外电场与内电场方向一致,加强了内电场,同样破坏了原来的动态平衡,使PN结变宽。多数载流子的扩散运动无法进行,少数载流子的漂移运动加剧。因少数载流子的数目很少(是由本征激发产生的),形成的漂移电流也很小,可近似为0。此时PN结处于截止状态,截止时PN结相当于一个很大的电阻。

必须强调:PN结的反向电流是由本征激发产生少数载流子形成的,尽管它很小,但和温度相关,随温度的升高而增大。

由半导体理论得知,温度每增加 $10^{\circ}\text{C}$ ,PN结反向电流增大1倍。

综上所述,PN结外加正向电压时,有较大的电流通过,呈导通状态;外加反向电压时,几乎没有电流通过,呈截止状态。这就是PN结的基本特性——单向导电性。PN结还有其他特



性,如电容特性、击穿特性等,它们的共同特点都是非线性(由于篇幅所限,有意者,可参考其他参考书,这里不再详述。)

## 1.2 晶体二极管

### 1.2.1 晶体二极管的结构与类型

#### 1) 晶体二极管的结构和符号

PN 结加上相应的电极引线并用管壳封装起来,构成了晶体二极管,简称二极管。其基本结构如图 1.2.1(a)所示。P 型区的引出线为二极管的正极,N 型区的引出线为二极管的负极。二极管通常用塑料、玻璃或金属材料作为封装外壳,外壳上印有标记以便区分正负电极。

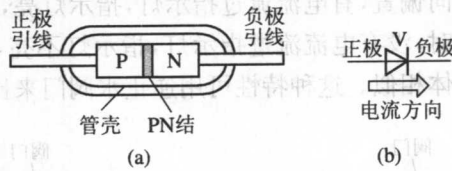


图 1.2.1 二极管结构与符号  
(a) 结构示意图 (b) 电路符号

在电路图中并不需要画出二极管的结构,而是用约定的电路符号和文字符号来表示,二极管的电路符号如图 1.2.1(b)所示,箭头的一边代表正极,另一边代表负极,而箭头所指方向是正向电流流通的方向,通常用文字符号 V 代表二极管。

#### 2) 二极管的类型

常见的用于电视机、收音机、稳压电源等电子产品中的各种不同外形的二极管,如图 1.2.2 所示。二极管的类型很多,按制造二极管的材料分,有硅二极管和锗二极管;按二极管的用途分,有普通二极管、变容二极管、发光二极管、光电二极管等;按制作二极管的工艺分,有点接触型和面接触型 2 类。点接触型二极管的特点是:PN 结面积小,主要适用于高频检波和脉冲数字电路的开关元件。面接触型二极管的特点是:PN 结面积大,主要适用于低频大电流整流。

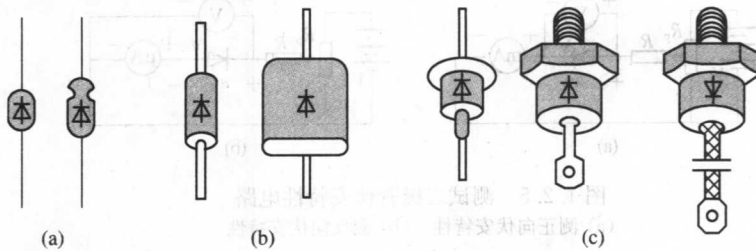


图 1.2.2 常见二极管外形图

(a) 玻璃封装 (b) 塑料封装小功率二极管 (c) 金属封装中、大功率二极管

### 1.2.2 二极管的伏安特性

#### 1) 二极管的单向导电性

为了观察二极管的单向导电性,将二极管串接到由电池和指示灯组成的电路中。按图