



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

21

21 SHIJI GAOZHIGAOZHUAN DIANZI JISHU GUIHUA JIAOCAI  
世纪高职高专电子技术规划教材

# 电子技术与应用

易培林 主编  
易培林 罗敬 周惠玲 编著

- 引入工程实践
- 突出基本概念
- 注重技能训练

免费提供

电子教案  
习题解答

 人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

21世纪高职高专电子技术规划教材

# 电子技术与应用

易培林 主编

易培林 罗 敬 周惠玲 编著

人民邮电出版社

北京

## 图书在版编目 (CIP) 数据

电子技术与应用 / 易培林主编. 易培林, 罗敬, 周惠玲编著. —北京: 人民邮电出版社, 2008.4

21 世纪高职高专电子技术规划教材. 普通高等教育“十一五”国家级规划教材.

ISBN 978-7-115-16602-9

I. 电… II. ①易…②易…③罗…④周… III. 电子技术—高等学校: 技术学校—教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 181241 号

## 内 容 提 要

本书介绍半导体的基本知识及其放大电路的基本概念、分析方法和电路指标计算。全书共 10 章。主要内容包括半导体二极管及基本应用电路, 三极管及基本放大电路, 放大电路的频率响应, 集成运算放大器, 模拟信号运算与处理电路, 反馈放大电路, 信号发生电路, 功率放大电路, 直流稳压电源等。本书每章后面都有思考题与习题、实验与实训, 便于读者巩固所学理论知识, 提高分析问题和解决问题的能力。

本书可作为高职高专院校及应用型本科院校电子、电气、自动化、计算机等有关专业的教材, 也可供自学者、科技人员参考。

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

21 世纪高职高专电子技术规划教材

## 电子技术与应用

- 
- ◆ 主 编 易培林
  - 编 著 易培林 罗 敬 周惠玲
  - 责任编辑 王 平
  - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号  
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
北京通州大中印刷厂印刷  
新华书店总店北京发行所经销
  - ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 13  
字数: 307 千字 2008 年 4 月第 1 版  
印数: 1—3 000 册 2008 年 4 月北京第 1 次印刷

---

ISBN 978-7-115-16602-9/TN

定价: 22.00 元

读者服务热线: (010) 67170985 印装质量热线: (010) 67129223

反盗版热线: (010) 67171154

## 21 世纪高职高专电子技术规划教材

### 编 委 会

主 任 王俊鹏

副 主 任 张惠敏 向 伟

编 委 (以姓氏笔画为序)

朱乃立 阮友德 许恒玉 苏本庆 余本海

李存永 肖 珑 邱寄帆 张新成 林训超

胡修池 胡起宙 赵慧君 曾令琴 韩 丽

程 勇 潘春燕

## 丛书出版前言

遵照教育部提出的以就业为导向, 高职高专教育从专业本位向职业岗位和就业为本转变的指导思想, 人民邮电出版社协同一些高职高专院校和相关企业共同开发了 21 世纪高职高专电子技术规划教材。

随着职业教育在我国的不断深化, 各高职高专院校越来越关注人才培养的模式与专业课程设置, 越来越关心学生将来的就业岗位, 并开始注重培养学生的职业能力。但是我们看到, 高职高专院校所培养的人才与市场上需要的技术应用型人才仍存在差距。那么如何在保证知识体系完整性的同时, 能在教材中体现正在应用的技术、正在发展的技术和前沿的技术成了本套教材探讨的重点, 为此我们在如下几个方面做了努力和尝试。

1. 针对电子类专业基础课程较经典, 及知识点又相对统一、固定的特点, 采取本科老师与高职高专老师合作编写的方式, 借助本科老师在理论方面深厚的功底, 在写作质量上进行把关, 高职高专老师则发挥其熟悉职业教育教学需求的优势把握教材的广度与深度, 力图解决专业基础课程理论与应用相结合的目的。

2. 高职高专教育培养的人才面向生产、管理第一线的技术型人才, 基础课程的教学应以必需、够用为原则, 以掌握概念、强化应用为教学重点, 注重岗位能力的培养。本套教材在保证基本知识点讲解的同时, 掌握“突出基本概念, 注重技能训练, 强调理论联系实际, 加强实践性教学环节”的原则, 在内容安排上避免复杂的数学推导和计算。

3. 专业课程引入工程实例, 强化培养职业能力。让学生了解在实际工作中利用单片机和 PLC 做项目的流程, 并通过一系列小的实例逐步让学生产生学习兴趣, 并了解开发过程, 最后通过一个大的完整案例对学生进行综合培训, 从而达到对职业能力的培养。

以上这些仅是高职高专教材出版的初步。如何配合学校做好为国家培养人才的工作, 出版高质量的教材将是我们不断追求和奋斗的目标。

我们衷心希望, 关注高等职业教育的广大读者能对本套教材的不当之处给予批评指正, 提出修改意见, 同时也热切盼望从事高等职业教育的老师、企业专家和我们联系, 共同探讨相关专业的教学方案和教材编写等问题。来信请发至 [zhaohuijun@ptpress.com.cn](mailto:zhaohuijun@ptpress.com.cn)。

21 世纪高职高专电子技术规划教材编委会

2005 年 8 月

## 编者的话

---

本教材为适应当前职业教育改革的形势，充分考虑到目前的职业教育特点和高职生源参差不齐的状况，突出对学生基本知识和基本技能的培养，突出“简、实、新”的编写特色，简单实用，体现了职业教育的特点。

本教材分为知识教学和实验教学两大模块。第1篇是知识教学模块，共7章内容。第1章：半导体二极管；第2章：半导体三极管和场效应管；第3章：低频小信号放大电路；第4章：负反馈放大电路；第5章：集成运算放大器及应用；第6章：低频功率放大器；第7章：直流稳压电源。第2篇是实验教学模块，共8个实验。实验一：常用仪器仪表的使用；实验二：稳压二极管伏安特性曲线测试；实验三：三极管的输入、输出特性曲线测试；实验四：单级低频小信号放大器；实验五：负反馈放大电路；实验六：差动放大电路；实验七：运算放大器的运算电路；实验八：直流稳压电源。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，化繁为简，使学生容易理解和掌握；技能教学方面，结合知识教学增加应用小知识，每章末都配有相应理论和实训内容及配套实验。通过搭接与调试电路、排除故障、验证结果等实践过程，达到学以致用效果。

本书由易培林主编，第1篇：知识教学模块由易培林编著。第二篇：实验部分由罗敬、周惠玲编写。本书编写过程中得到王卫萍、王雁华、李伟等老师大力帮助，在此表示感谢！本教材配有课件，由易森完成课件制作，在课件制作过程中得到田涛老师的帮助，在此表示感谢。

本书编写过程中得到河南职业技术学院、河南信息工程学校有关领导和同志的大力支持，再次表示感谢。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

2007年8月

# 目 录

## 第1篇 知识教学模块

<b>第1章 半导体二极管</b> .....	1
1.1 半导体的基本知识 .....	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 半导体二极管 .....	6
1.2.1 半导体二极管的结构与类型 .....	6
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 .....	10
1.2.4 二极管的简易测量 .....	12
*1.3 特殊二极管简介 .....	13
1.3.1 稳压二极管 .....	13
1.3.2 变容二极管 .....	15
1.3.3 发光二极管 .....	16
1.3.4 光电二极管 .....	16
本章小结 .....	18
知识考核一 .....	18
技能考核一 .....	20
<b>第2章 半导体三极管和场效应管</b> .....	22
2.1 半导体三极管 .....	22
2.1.1 三极管的结构与分类 .....	22
2.1.2 三极管的工作电压和基本连接方式 .....	24
2.1.3 三极管的电流分配和放大作用 .....	25
2.1.4 三极管的伏安特性曲线 .....	27
2.1.5 三极管的简易测试 .....	30
2.1.6 三极管手册的使用 .....	31
2.2 场效应管 .....	33
2.2.1 结型场效应管 .....	33
2.2.2 绝缘栅场效应管 .....	35
2.2.3 场效应管的主要参数和特点 .....	38

本章小结 .....	39
知识考核二 .....	40
技能考核二 .....	43
<b>第3章 低频小信号放大电路 .....</b>	<b>45</b>
3.1 放大电路的基本概念 .....	45
3.1.1 放大电路概述 .....	45
3.1.2 放大电路的主要性能指标 .....	46
3.2 单级低频小信号放大器 .....	48
3.2.1 基本放大电路的组成 .....	49
3.2.2 放大器的静态工作点及放大原理 .....	50
3.3 放大电路的分析方法 .....	53
3.3.1 图解法 .....	54
3.3.2 估算法 .....	57
3.3.3 等效电路法 .....	60
3.4 放大器的偏置电路 .....	61
3.4.1 固定偏置电路 .....	61
3.4.2 分压式偏置放大电路 .....	61
3.5 共集电极放大电路与共基极放大电路 .....	64
3.5.1 共集电极电路 .....	64
3.5.2 共基极电路 .....	66
3.5.3 放大电路3种基本组态的比较 .....	67
3.6 场效应管放大电路 .....	67
3.6.1 电路构成及元件作用 .....	67
3.6.2 场效应管放大电路的分析 .....	68
3.6.3 场效应管放大器与三极管放大器的比较 .....	70
3.7 多级放大器 .....	70
3.7.1 多级放大器的级间耦合方式 .....	71
3.7.2 两极阻容耦合放大器的电压放大倍数 .....	72
3.7.3 阻容耦合放大电路的频率特性 .....	73
本章小结 .....	75
知识考核三 .....	76
技能考核三 .....	80
<b>第4章 负反馈放大电路 .....</b>	<b>83</b>
4.1 反馈的基本概念 .....	83
4.1.1 反馈放大电路的组成 .....	83
4.1.2 反馈的分类 .....	84
4.1.3 负反馈放大器增益的一般表达式 .....	85



4.2	负反馈对放大器性能的影响	86
4.2.1	负反馈使放大倍数下降	86
4.2.2	负反馈可以提高放大倍数的稳定性	87
4.2.3	负反馈可以减小非线性失真	88
4.2.4	负反馈可以展宽通频带	88
4.2.5	负反馈可以改变放大器的输入输出电阻	89
4.3	负反馈放大电路分析	89
4.3.1	反馈类型的判别方法	89
4.3.2	负反馈的4种类型及特点	90
4.3.3	深度负反馈放大倍数的估算	96
* 4.4	负反馈放大器的自激及消除	97
4.4.1	自激的概念	97
4.4.2	自激产生的原因和解决方法	97
	本章小结	98
	知识考核四	98
	技能考核四	101
<b>第5章</b>	<b>集成运算放大器及应用</b>	<b>104</b>
5.1	直接耦合放大器	104
5.1.1	直接耦合放大器的两个特殊问题	104
5.1.2	直接耦合放大器的级间电位调节电路	106
5.1.3	差动放大器	108
5.1.4	恒流源电路简述	112
5.2	集成运算放大器	114
5.2.1	集成运算放大器的外形和符号	114
5.2.2	集成运算放大器的放大倍数和主要参数	116
5.2.3	集成运算放大器的理想化	117
5.3	集成运算放大器的应用	118
5.3.1	基本运算放大电路	118
5.3.2	加法、减法、积分、微分等运算电路	120
5.3.3	集成运放的使用常识	123
5.3.4	波形变换、振荡电路	125
	本章小结	128
	知识考核五	128
	技能考核五	133
<b>第6章</b>	<b>低频功率放大器</b>	<b>134</b>
6.1	概述	134
6.1.1	低频功率放大器的基本要求	134

6.1.2	低频功率放大器的分类	135
6.2	单管功率放大电路	136
6.2.1	电路组成及工作原理	136
6.2.2	输出功率及效率	137
6.3	互补对称乙类功率放大电路	139
6.3.1	乙类推挽功率放大器	139
6.3.2	甲乙类推挽功率放大器	141
6.3.3	单电源乙类功放 (OTL)	141
6.3.4	复合管乙类功放	144
6.4	集成功率放大器简介	146
6.4.1	LM386 集成功率放大器	146
6.4.2	TDA2030 集成功放的典型应用	147
	本章小结	148
	知识考核六	149
	技能考核六	151
<b>第7章</b>	<b>直流稳压电源</b>	<b>153</b>
7.1	概述	153
7.2	整流电路	154
7.2.1	单相半波整流电路	154
7.2.2	单相桥式整流电路	156
7.3	滤波电路	159
7.3.1	电容滤波器	159
7.3.2	电感滤波器	161
7.3.3	复式滤波器	162
7.4	稳压管稳压电路	163
7.4.1	电路组成和工作原理	163
7.4.2	参数的选择	164
7.4.3	稳压电路的主要性能指标	164
7.5	三极管串联型稳压电路	165
7.5.1	简单串联型三极管稳压电路	165
7.5.2	具有放大环节的串联型稳压电路	166
7.6	集成稳压器	168
7.6.1	三端固定集成稳压器	168
7.6.2	可调式三端集成稳压器	169
	本章小结	170
	知识考核七	171
	技能考核七	174

## 第2篇 实验教学模块

实验一 常用仪器仪表的使用 .....	176
实验二 稳压二极管伏安特性曲线测试 .....	178
实验三 三极管输入、输出特性曲线的测试 .....	179
实验四 单级低频小信号放大器 .....	180
实验五 负反馈放大电路 .....	182
实验六 差分放大电路 .....	183
实验七 运算放大器的运算电路 .....	185
实验八 直流稳压电源 .....	188
附录1 半导体器件型号命名方法 .....	190
附录2 半导体集成电路型号命名方法 .....	192
附录3 部分集成运算放大器技术指标 .....	194
参考文献 .....	195

# 第 1 篇 知识教学模块

## 第 1 章 半导体二极管

### 学习目标

#### 1. 基础理论知识

- (1) 了解半导体导电性及特点。
- (2) 初步掌握 PN 结的基本特性及非线性的实质。
- (3) 熟悉二极管的外形、电路符号、伏安特性和主要参数。
- (4) 了解特殊功能的二极管及应用。

#### 2. 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) 会连接电路测二极管的伏安特性。
- (3) 具有排除简单电路故障的能力。

### 1.1 半导体的基本知识

#### 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可分为导体、绝缘体和半导体三大类，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），其中硅用得最为广泛。

##### 2. 半导体的独特性能

半导体之所以得到广泛的应用，是因为它具有以下三大特性。

###### (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半导体二极管、半导体三极管、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℃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四价元素。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 所示的简化模型结构。

原子是中性的，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，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。

大量的半导体原子集合到一起是一种晶体结构。各原子间形成有序的排列，相邻原子是以共价键的形式结合起来的。在绝对温度为零度（0K，相当于-273.15℃）时，由于每个价电子（共价键中的电子）都被共价键束缚，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 1.2 所示。

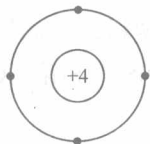


图 1.1 硅和锗的原子结构简化模型

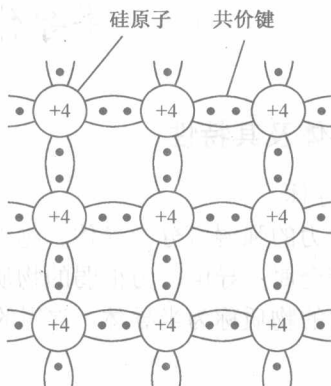


图 1.2 本征半导体的晶体结构示意图

3. 本征激发

半导体的导电性能主要与本征激发有关。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 1.3 所示。电子带负电,空穴带正电,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(其实是价电子填补运动)形成空穴电流,如图 1.4 所示,半导体中的电流是电子流和空穴流的总和。而导电性能的强弱取决于半导体中的载流子的浓度大小。

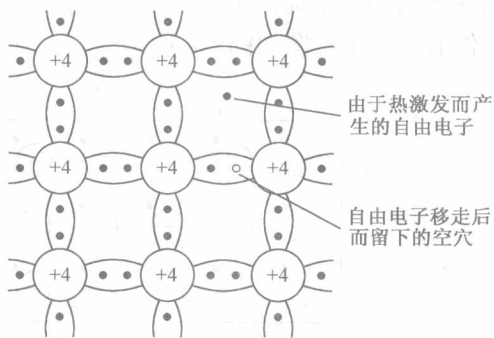


图 1.3 本征激发产生电子空穴对示意图

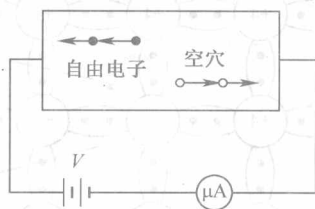


图 1.4 半导体中的两种载流子导电示意图

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增大约一倍;光照越强,载流子浓度越高,导电能力越强。这就是半导体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。

### 应用常识

#### 半导体为什么具有奇妙的导电特性?

(1) 半导体奇妙导电特性是由它特殊的原子结构所决定的,与其原子最外层的价电子有关。半导体材料硅原子有 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,是一种晶体结构。

(2) 半导体受热或受光照射时,会出现本征激发,即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,同时自由电子逸出的空位就形成空穴。温度升高和光照加强时,本征激发加剧,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和光敏特性的原因。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。根据掺入杂质性质不同,杂质半导体可分为 N 型半导体和 P 型半导体两大类。

#### 1. N 型半导体

在本征半导体中掺入微量的五价元素,可以形成 N 型半导体。例如,在本征硅中掺入微

量的五价元素磷，某些硅原子的位置被磷原子取代。磷是五价元素，它用 4 个价电子与相邻 4 个硅原子组成共价键后，还剩余一个电子，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 1.5 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。

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 型半导体是中性的，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 1.6 所示。

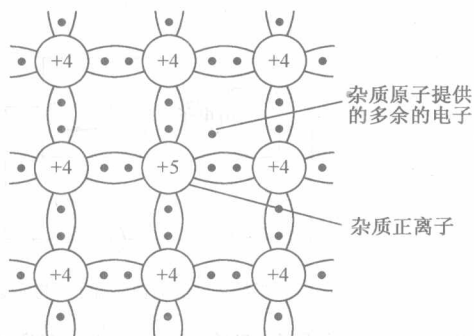


图 1.5 N 型半导体的共价键结构图

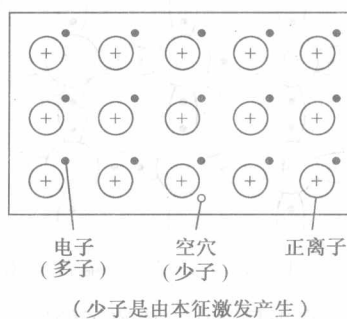


图 1.6 N 型半导体的结构示意图

## 2. P 型半导体

在本征半导体中掺入微量的三价元素，可以形成 P 型半导体。例如，在本征硅中掺入微量的三价元素硼。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，必然缺少一个价电子，形成一个空位。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一个电子形成了空穴，如图 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。

在 P 型半导体中，多数载流子是空穴，少数载流子是电子。P 型半导体也是中性的，其结构示意图如图 1.8 所示。

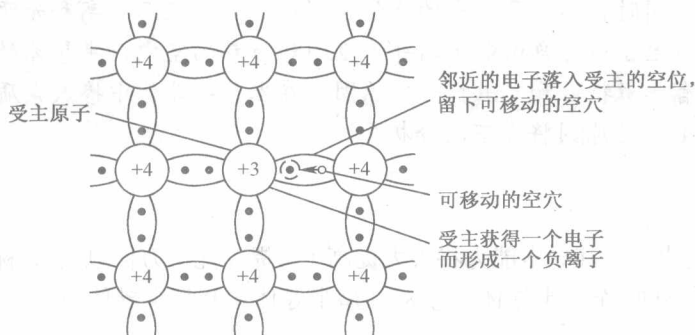


图 1.7 P 型半导体的共价键结构示意图

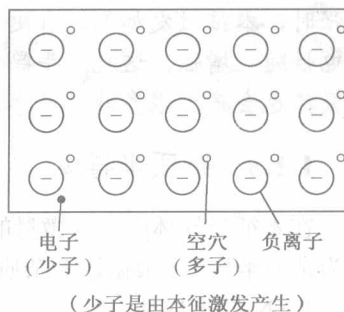


图 1.8 P 型半导体结构示意图

### 1.1.4 PN 结

在一块本征半导体上,利用一定的掺杂工艺,分别掺入三价元素和五价元素,在半导体两边形成P型半导体和N型半导体,在交界面上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,只有学好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,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1.9(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。结果在交界面两边P区留下了带负电的负离子,N区留下了带正电的正离子,形成了空间电荷区,建立了PN结电场。这个电场称为内电场,方向由N区指向P区。它阻碍着多子扩散运动,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,空间电荷区不再变化,这时的空间电荷区称为PN结,如图1.9(b)所示。由于空间电荷区内无载流子,所以也叫耗尽层。

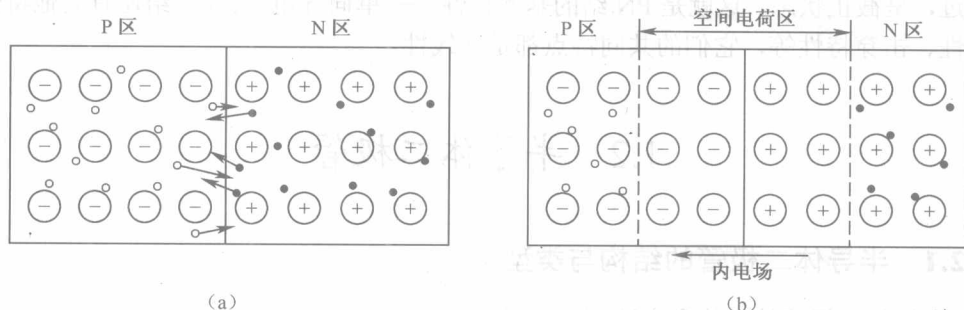


图 1.9 PN 结的形成

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(简称正偏)

PN结正偏时,即外电源的正极接P区,负极接N区,如图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。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(简称反偏)

PN结反偏时,即外电源的正极接N区,负极接P区,如图1.11所示。

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,可近似看成零。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。



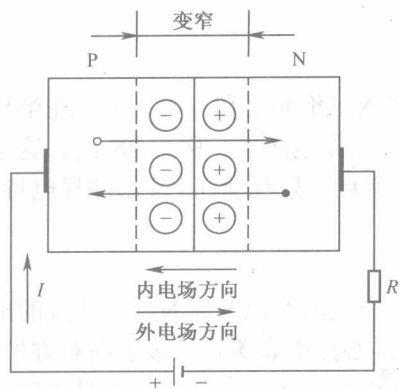


图 1.10 PN 结加正向电压

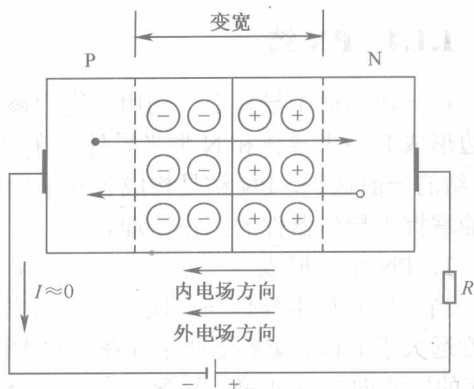


图 1.11 PN 结加反向电压

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，会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 结反向电流增大一倍。

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。

## 1.2 半导体二极管

### 1.2.1 半导体二极管的结构与类型

#### 1. 半导体二极管的结构和电路图形符号

PN 结加上相应的电极引线并用管壳封装起来，构成了半导体二极管，简称二极管或半导体器件。其基本结构如图 1.12 (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。

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，二极管的电路图形符号如图 1.12 (b) 所示，左边代表正极，右边代表负极，而箭头所指方向是正向电流流通的方向，通常用文字符号 VD 代表二极管。



图 1.12 二极管结构与符号

#### 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 1.13