

21世纪高职高专规划教材 电子信息基础系列

蔡大华 主编  
陈鸣山 审

# 模拟电子技术基础

清华大学出版社



21世纪高职高专规划教材 **电子信息基础系列**

# 模拟电子技术基础

蔡大华 主编

陈鸣山 审

清华大学出版社  
北京

## 内容简介

本书从高职高专学校培养应用型技术人才这一总目标出发,以应用为目的,以必需、够用为度。全书共8章,内容包括常用半导体器件、放大电路、放大电路中的负反馈、集成运算放大器及其应用、低频功率放大电路、正弦波信号振荡电路、直流稳压电源、模拟电子电路的读图。各章附有本章内容小结,并提出本章应掌握的实验技能要求。例题和习题的内容力求以实际应用电路为主,避免繁杂的理论推导和计算,做到保证基础、适当提高。

本书是高职高专教材,可供电气、电子、信息及其他相近专业模拟电子技术课程的教学用书,也可作为电子技术工程人员或大专院校师生的电子技术基础的参考书。与本书配套的教材《数字电子技术基础》也将同时出版。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。  
版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础/蔡大华主编. —北京:清华大学出版社, 2008.5

21世纪高职高专规划教材. 电子信息基础系列

ISBN 978-7-302-16789-1

I. 模… II. 蔡… III. 模拟电路—电子技术—高等学校:技术学校—教材  
IV. TN710

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第004135号

责任编辑:田梅

责任校对:袁芳

责任印制:何莘

出版发行:清华大学出版社

地址:北京清华大学学研大厦A座

<http://www.tup.com.cn>

邮编:100084

社总机:010-62770175

邮购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印装者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经销:全国新华书店

开本:185×230 印张:11.5 字数:233千字

版次:2008年5月第1版 印次:2008年5月第1次印刷

印数:1~4000

定价:19.00元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177转3103 产品编号:020327-01

# 出版说明

高职高专教育是我国高等教育的重要组成部分,担负着为国家培养并输送生产、建设、管理、服务第一线高素质技术应用型人才的重任。

进入 21 世纪后,高职高专教育的改革和发展呈现出前所未有的发展势头,学生规模已占我国高等教育的半壁江山,成为我国高等教育的一支重要的生力军;办学理念上,“以就业为导向”成为高等职业教育改革与发展的主旋律。近两年来,教育部召开了三次产学研交流会,并启动四个专业的“国家技能型紧缺人才培养项目”,同时成立了 35 所示范性软件职业技术学院,进行两年制教学改革试点。这些举措都表明国家正在推动高职高专教育进行深层次的重大改革,向培养生产、服务第一线真正需要的应用型人才的方向发展。

为了顺应当前我国高职高专教育的发展形势,配合高职高专院校的教学改革和教材建设,进一步提高我国高职高专教育教材质量,在教育部的指导下,清华大学出版社组织出版了“21 世纪高职高专规划教材”。

为推动规划教材的建设,清华大学出版社组织并成立了“高职高专教育教材编审委员会”,旨在对清华版的全国性高职高专教材及教材选题进行评审,并向清华大学出版社推荐各院校办学特色鲜明、内容质量优秀的教材选题。教材选题由个人或各院校推荐,经编审委员会认真评审,最后由清华大学出版社出版。编审委员会的成员皆来源于教改成效大、办学特色鲜明、师资实力强的高职高专院校、普通高校以及著名企业,教材的编写者和审定者都是从事高职高专教育第一线的骨干教师和专家。

编审委员会根据教育部最新文件和政策,规划教材体系,比如部分专业的两年制教材;“以就业为导向”;以“专业技能体系”为主,突出人才培养的实践性、应用性的原则,重新组织系列课程的教材结构,整合课程体系;按照教育部制定的“高职高专教育基础课程教学基本要求”,教材的基础理论以“必要、够用”为度,突出基础理论的应用和实践技能的培养。

本套规划教材的编写原则如下:

- (1) 根据岗位群设置教材系列,并成立系列教材编审委员会;
- (2) 由编审委员会规划教材、评审教材;
- (3) 重点课程进行立体化建设,突出案例式教学体系,加强实训教材的出版,完善教学服务体系;
- (4) 教材编写者由具有丰富教学经验和多年实践经验的教师共同组成,建立“双师

型”编者体系。

本套规划教材涵盖了公共基础课、计算机、电子信息、机械、经济管理以及服务等大类的主要课程,包括专业基础课和专业主干课。目前已经规划的教材系列名称如下:

#### • 公共基础课

公共基础课系列

#### • 计算机类

计算机基础教育系列

计算机专业基础系列

计算机应用系列

网络专业系列

软件专业系列

电子商务专业系列

#### • 电子信息类

电子信息基础系列

微电子技术系列

通信技术系列

电气、自动化、应用电子技术系列

#### • 机械类

机械基础系列

机械设计与制造专业系列

数控技术系列

模具设计与制造系列

#### • 经济管理类

经济管理基础系列

市场营销系列

财务会计系列

企业管理系列

物流管理系列

财政金融系列

国际商务系列

#### • 服务类

艺术设计系列

本套规划教材的系列名称根据学科基础和岗位群方向设置,为各高职高专院校提供“自助餐”形式的教材。各院校在选择课程需要的教材时,专业课程可以根据岗位群选择系列;专业基础课程可以根据学科方向选择各类的基础课系列。例如,数控技术方向的专业课程可以在“数控技术系列”选择;数控技术专业需要的基础课程,属于计算机类课程的可以在“计算机基础教育系列”和“计算机应用系列”选择,属于机械类课程的可以在“机械基础系列”选择,属于电子信息类课程的可以在“电子信息基础系列”选择。依此类推。

为方便教师授课和学生学习,清华大学出版社正在建设本套教材的教学服务体系。本套教材先期选择重点课程和专业主干课程,进行立体化教材建设;加强多媒体教学课件或电子教案、素材库、学习盘、学习指导书等形式的制作和出版,开发网络课程。学校在选用教材时,可通过邮件或电话与我们联系获取相关服务,并通过与各院校的密切交流,使其日臻完善。

高职高专教育正处于新一轮改革时期,从专业设置、课程体系建设到教材编写,依然是新课题。希望各高职高专院校在教学实践中积极提出意见和建议,并向我们推荐优秀选题。反馈意见请发送到 E-mail: gzgz@tup.tsinghua.edu.cn。清华大学出版社将对已出版的教材不断地修订、完善,提高教材质量,完善教材服务体系,为我国的高职高专教育出版优秀的高质量的教材。

高职高专教育教材编审委员会

# 前 言

模拟电子技术基础

本教材是 21 世纪高职高专教改项目成果教材,根据高职高专教育《模拟电子技术基础课程教学基本要求》编写而成。

编写本书的指导思想如下。

1. 由于电子技术发展日新月异,内容繁多,而教学时数有限,因此本书在保证基本概念、基本原理和基本分析方法的前提下,力求精选内容,减少分立元件的内容,加强集成运算放大器、集成功率放大器、集成稳压电源的内容和应用,贯彻分立为集成服务的原则。而对于集成内部电路的分析不做过多的介绍。

2. 增强实用性。在编写过程中力图做到理论联系实际,学以致用。淡化公式推导,重在教学生学会元器件、电子电路在实际中的应用和掌握基本分析工具、基本分析方法。元器件重在外特性、引脚识别、使用注意事项等知识。

3. 教材编写中,注意融入教学方法。教材加强了对基本概念的阐述,但坚持以定性为主,避免了过于理性的、严格的演义。讲元件、器件时着重突出其外部特性和正确选用,讲电路时着重突出其功能和应用。力求做到由浅入深、由易到难,循序渐进,符合教学规律。

4. 习题和例题丰富,着眼于分析和应用,不过分强调解析能力。同时加强了电子电路读图教学,以期培养学生的工程适应能力。

5. 教材力求语言通顺、文字流畅、图文并茂、可读性强,以利于学生自学。

本书由南京工业职业技术学院蔡大华老师担任主编,并负责编写第 1、3、4、5、8 章;严明良老师编写了第 7 章;刘颖老师、王元老师编写了第 2 章;王丹老师编写了第 6 章;李从宏老师编写了附录仿真软件;张琪老师、倪英老师参加了本教材的绘图工作。

在本书编写过程中始终得到清华大学出版社和许多老师的指导和帮助,在此谨向他们以及所有为本书的编写、出版给予支持和帮助的同志表示诚挚的感谢。

由于编写者的学识和水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请试用的学校、老师和学生批评指正。

编 者

2008 年 2 月

# 本书常用符号说明

模拟电子技术基础

- A 增益、放大倍数  
 $A_u$  电压增益  
 $A_i$  电流增益  
 $A_{ud}$  差模电压增益  
 $A_{uc}$  共模电压增益  
 $A_{od}$  开环电压增益  
 $A_{of}$  闭环电压增益  
BW 频带宽度(通频带)  
 $C_e$  发射极的旁路电容  
 $C_{be}$  基极-发射极电容  
 $C_{bc}$  基极-集电极电容  
 $C_f$  反馈电容  
 $C(c)$  三极管的集电极  
 $D(d)$  场效应管的漏极  
 $D$  占空比  
 $E(e)$  三极管的发射极  
 $F$  反馈系数  
 $f$  频率  
 $f_L$  放大器下限频率  
 $f_H$  放大器上限频率  
 $f_T$  三极管的特征频率  
 $f_a$  三极管的共基极截止频率  
 $f_\beta$  三极管共射截止频率  
 $G(g)$  场效应管的栅极  
 $g_m$  低频跨导  
GND 地  
 $I(i)$  电流  
 $I_{CBO}$  发射极开路 c-b 间反向饱和电流  
 $I_{CEO}$  基极开路 c-e 间反向饱和电流  
 $i_i$  交流输入电流  
 $I_i$  交流输入电流的有效值  
 $i_o$  交流输出电流  
 $I_o$  交流输出电流的有效值  
 $I_L$  负载电流  
 $I_{IB}$  输入偏置电流  
 $I_{IO}$  输入失调电流  
 $I_F$  整流电流  
 $I_R$  反向电流  
 $I_{ZM}$  稳压管最大稳定电流  
 $K_{CMR}$  共模抑制比  
 $P_o$  输出功率  
 $P_{om}$  最大输出功率  
 $P_c$  集电极耗散功率  
 $P_{CM}$  集电极最大允许功率  
 $R_L$  负载电阻  
 $r_{be}$  共射接法 b-e 间的微变电阻  
 $r_z$  稳压管动态电阻  
 $R_i$  放大电路交流输入电阻  
 $R_o$  放大电路交流输出电阻  
 $R_f$  反馈电阻

- $S_r$  稳压系数  
 $U(u)$  电压  
 $U_F$  二极管导通正向电压  
 $U_s, u_s$  交流信号源电压  
 $U_i, u_i$  交流输入电压  
 $U_o$  交流输出电压  
 $U_{o(AV)}$  直流输出电压平均值  
 $u_{id}$  差模输入电压  
 $u_{ic}$  共模输入电压  
 $U_T$  温度的电压当量  
 $U_{REF}$  参考电压  
 $U_{th}$  死区电压或开启电压  
 $U_{GS(th)}$  增强型场效应管的开启电压  
 $U_{GS(off)}$  结型或耗尽型场效应管的夹断电压  
 $U_{BEQ}$  三极管发射结静态偏置电压  
 $U_{CEQ}$  三极管集电极-发射极静态电压  
 $u_{CE}$  包含交、直流成分的三极管集电极-发射极电压  
 $U_{RM}$  二极管最高反向工作电压  
 $U_{(BR)CBO}$  发射极开路时集电极-基极反向击穿电压  
 $U_{(BR)CEO}$  基极开路时集电极-发射极反向击穿电压  
 $U_{CE(sat)}$  三极管的饱和压降  
 $U_Z$  稳压管稳压值  
 $V_{CC}$  接三极管的集电极电源  
 $V_{EE}$  接三极管的发射极电源  
 $V_{BB}$  接三极管的基极电源  
 $V_{DD}$  接场效应管的漏极电源  
 $X_i$  一般输入量  
 $X_{id}$  净输入量  
 $X_f$  一般反馈量  
 $X_o$  一般输出量  
 $\alpha$  三极管共基极法的电流放大系数  
 $\beta$  三极管共射接法的电流放大系数  
 $\eta$  效率  
 $\gamma$  纹波系数



# 目 录

模拟电子技术基础

第 1 章 半导体器件	1
1.1 半导体的基础知识	1
1.1.1 半导体的特性	1
1.1.2 本征半导体	1
1.1.3 杂质半导体	3
1.1.4 PN 结及导电特性	3
1.2 半导体二极管	5
1.2.1 二极管的结构及符号	5
1.2.2 二极管的伏安特性	5
1.2.3 二极管的主要参数	7
1.2.4 特殊用途二极管	7
1.3 半导体三极管	10
1.3.1 三极管的结构及符号	10
1.3.2 三极管的电流分配关系	11
1.3.3 三极管的伏安特性	13
1.3.4 三极管的主要参数	14
1.4 场效应管	16
1.4.1 JFET 的结构及原理	16
1.4.2 JFET 的特性曲线	17
1.4.3 MOSFET 的结构及原理	19
本章小结	23
本章能力模块	24
习题	25

<b>第 2 章 放大电路</b> .....	28
2.1 共射放大电路 .....	28
2.1.1 共射基本放大电路的组成 .....	28
2.1.2 放大电路中各电量的表示方法 .....	29
2.2 放大电路的分析 .....	31
2.2.1 放大电路的静态分析 .....	31
2.2.2 放大电路的动态分析 .....	33
2.3 静态工作点的稳定电路 .....	37
2.3.1 温度对静态工作点的影响 .....	37
2.3.2 分压式偏置电路 .....	38
2.4 共集电极放大电路和共基极放大电路 .....	41
2.4.1 共集电极放大电路 .....	41
2.4.2 共基极放大电路 .....	43
2.5 多级放大电路 .....	45
2.5.1 多级放大电路的耦合方式 .....	46
2.5.2 多级放大电路的分析 .....	47
2.5.3 直接耦合放大电路存在的问题 .....	49
2.5.4 差动放大电路 .....	50
2.5.5 多级放大电路的频率特性 .....	57
2.6 场效应管放大电路 .....	59
2.6.1 场效应管的偏置电路 .....	59
2.6.2 场效应管的动态分析 .....	60
本章小结 .....	63
本章能力模块 .....	64
习题 .....	65
<b>第 3 章 放大电路中的负反馈</b> .....	68
3.1 反馈 .....	68
3.1.1 反馈的基本概念 .....	68
3.1.2 反馈电路的类型 .....	71
3.2 负反馈对放大器性能的影响 .....	73
3.2.1 负反馈对电路的影响 .....	73

3.2.2 深度负反馈的分析 .....	76
I 本章小结 .....	78
本章能力模块 .....	78
习题 .....	79
<b>第4章 集成运算放大器及其应用</b> .....	<b>83</b>
4.1 集成运算放大器简介 .....	83
4.1.1 集成电路的分类与封装 .....	83
4.1.2 集成运算放大器及其基本组成 .....	83
4.1.3 集成运算放大器的主要性能指标 .....	85
4.1.4 集成运放的理想模型 .....	86
4.2 集成运算放大器的应用 .....	87
4.2.1 基本运算电路 .....	87
4.2.2 集成运算放大器的线性应用 .....	90
4.2.3 集成运算放大器的非线性应用 .....	92
4.2.4 集成运算放大器在使用中的注意点 .....	95
本章小结 .....	96
本章能力模块 .....	97
习题 .....	97
<b>第5章 低频功率放大电路</b> .....	<b>101</b>
5.1 功率放大器的特点及分类 .....	101
5.1.1 功率放大电路的特点 .....	101
5.1.2 功率放大电路的分类 .....	102
5.2 互补对称功率放大电路 .....	102
5.2.1 OCL乙类互补对称功率放大电路 .....	102
5.2.2 甲乙类互补对称功率放大电路 .....	106
5.2.3 准互补功率放大电路 .....	107
5.3 集成功率放大器 .....	109
5.3.1 LM386 集成功率放大器主要指标 .....	109
5.3.2 LM386 应用电路 .....	111
5.3.3 TDA2030 专用集成功率放大器 .....	111

本章小结	112
本章能力模块	113
习题	113
<b>第 6 章 正弦波信号振荡电路</b>	<b>116</b>
6.1 正弦波信号振荡电路的基本概念	116
6.1.1 产生自激振荡的条件	116
6.1.2 正弦波振荡电路的组成	117
6.1.3 振荡电路的起振与稳幅	118
6.2 RC 正弦波振荡电路	118
6.3 LC 正弦波振荡电路	122
6.3.1 LC 选频放大电路	122
6.3.2 变压器反馈式 LC 振荡电路	124
6.3.3 电感反馈式、电容反馈式 LC 振荡电路	125
本章小结	128
本章能力模块	128
习题	128
<b>第 7 章 直流稳压电源</b>	<b>132</b>
7.1 直流稳压电源的组成	132
7.1.1 单相整流电路	133
7.1.2 滤波电路	136
7.1.3 稳压电路及稳压电源的性能指标	138
7.2 串联反馈式稳压电路	139
7.2.1 串联反馈式稳压电路的组成及工作原理	139
7.2.2 三端集成稳压器	140
7.3 开关式直流稳压电源	142
7.3.1 开关稳压电源的特点	142
7.3.2 开关电路的工作原理	142
本章小结	145
本章能力模块	146
习题	146

第 8 章 模拟电子电路的读图	149
8.1 电子技术电路读图的一般方法	149
8.2 电子电路读图示例	150
习题	154
附录 A Multisim 2001 仿真软件	157
附录 B 半导体分立器件型号命名方法	165
附录 C 常用半导体分立器件的参数	166
附录 D 半导体集成器件型号命名方法	168
附录 E 常用半导体集成电路的参数和符号	169

## 半导体器件

半导体器件是电子技术的重要组成部分,因其具有体积小、重量轻、使用寿命长以及功耗小等优点而得到广泛应用。本章首先介绍半导体的基本知识,重点讨论常用半导体二极管、三极管及场效管的结构、原理、特性曲线及主要参数。

### 1.1 半导体的基础知识

#### 1.1.1 半导体的特性

导电能力介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体。用于制造半导体元器件的半导体有硅、锗、砷化镓及金属氧化物等,其中尤以硅最为常见。

半导体之所以用来制造半导体器件,是因为它的导电能力在外界因素作用下会发生显著的变化,具有显著的特性。

(1) 热敏特性 温度的变化会使半导体的电导率发生显著的变化,利用半导体的电阻率对温度特别灵敏,可做成各种热敏元件。

(2) 光敏特性 光照可以改变半导体的电导率。在没有光照时,电阻可高达几十兆欧;受光照射时,电阻可降到几十千欧。利用这种特性可制成光电晶体管、光耦合器和光电池等。

(3) 掺杂特性 掺杂可以提高其导电能力,因此可用来制作各种热敏、光敏器件,用于自动控制和自动测量中。若在纯净半导体中掺入微量杂质,其导电性能也可得到显著提高,因此,可以通过掺入不同种类和数量的杂质元素来制成二极管、三极管等各种不同用途的半导体器件。

#### 1.1.2 本征半导体

纯净的不含任何杂质、晶体结构排列整齐的半导体称为本征半导体。原子是由带正电的原子核和带负电的核外电子组成的。若把纯净的半导体材料制成单晶体,它们的原

子将有序排列。图 1-1 分别为硅原子核结构和单晶硅的原子排列示意图。

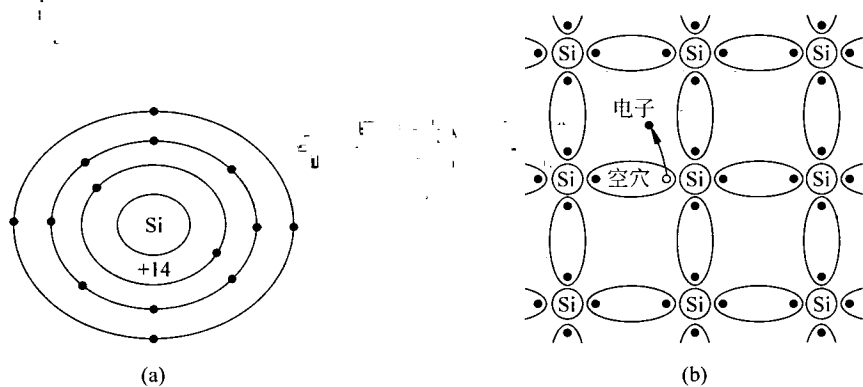


图 1-1 硅原子和共价键结构

在一定温度下,若受光和热的激发,晶体结构中的少数价电子将会挣脱原子核的束缚成为自由电子。在原来共价键的相应位置留下一个空位,这个空位称为空穴,如图 1-1(b)所示。空穴的出现是半导体区别于导体的一个重要特点。显然,自由电子与空穴是成对出现的,所以称其为电子-空穴对。在本征半导体中,自由电子与空穴的数量总是相等的。此时原子失去电子带正电,相当于空穴带正电。与此同时有空穴的原子会吸引相邻原子的价电子来填补空穴,于是形成了新的空穴,并继续吸引新的价电子转移到这个新的空穴上,如图 1-2 所示。如此继续不断,在晶体内则形成了自由电子的运动和空穴的反方向运动。因此,电子和空穴都成为运载电荷的粒子,叫做载流子。本征半导体在外电场作用下,两种载流子的运动方向相反,形成的电流方向相同。

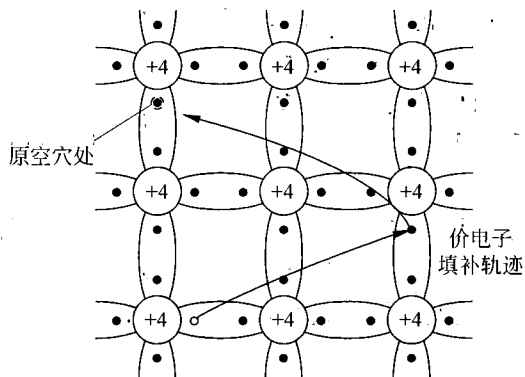


图 1-2 电子与空穴的填补运动

### 1.1.3 杂质半导体

在本征半导体内部,自由电子和空穴总是成对出现的,因此,对外呈电中性。如果在本征半导体中掺入少量的其他元素,就会使半导体的导电能力发生显著的变化。根据掺入杂质的不同,可形成两种不同的杂质半导体,即N型半导体和P型半导体。

#### 1. N型半导体

硅是四价元素,原子核最外层有四个电子。若在单晶硅中掺入五价磷,就可形成N型半导体,如图1-3所示。由于五价的磷原子同相邻的四个硅或锗原子组成共价键时,有一个多余的价电子不能构成共价键,这个价电子就变成了自由电子。在N型半导体中,电子为多数载流子,空穴为少数载流子,导电以自由电子为主,故N型半导体又称电子型半导体。

#### 2. P型半导体

同样,若在纯净半导体硅或锗中掺入少量的三价元素杂质如硼,就可成为P型半导体。硼原子只有三个价电子,它与周围硅原子组成共价键时,因缺少一个电子,在共价键中便产生了一个空穴,如图1-4所示。在P型半导体中,空穴数远大于自由电子数,空穴为多数载流子,自由电子为少数载流子,导电以空穴为主,故P型半导体又称空穴型半导体。

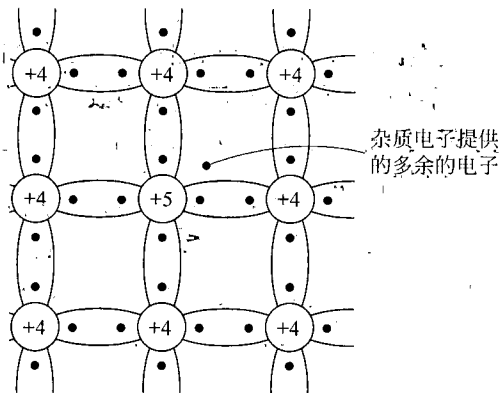


图 1-3 N型半导体

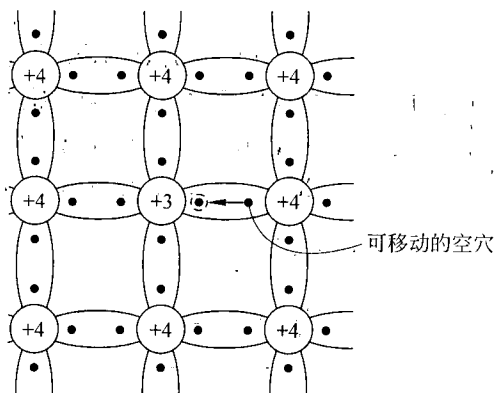


图 1-4 P型半导体

### 1.1.4 PN结及导电特性

#### 1. PN结的形成

在一块本征半导体的晶片上,通过一定的掺杂工艺,可使一边形成P型半导体,而另一边形成N型半导体。在N型和P型半导体交界面的两侧,由于载流子浓度的差别,N



区的电子向 P 区扩散,而 P 区空穴向 N 区扩散,如图 1-5 所示。

P 区一侧因失去空穴而留下不能移动的负离子, N 区一侧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半导体晶体的晶格中,不能自由运动,因此并不参与导电。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,又称耗尽层或 PN 结;并产生内电场,其方向是从 N 区指向 P 区。PN 结是构成各种半导体器件的基本单元。

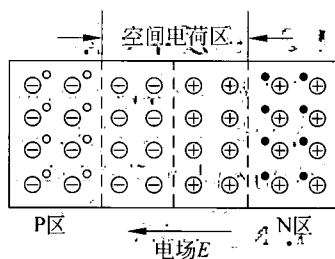


图 1-5 PN 结的形成

## 2. PN 结的单向导电特性

实验证明,PN 结对外不导电。但若在 PN 结两端加不同极性的电压,则将破坏原平衡状态而呈现单向导电性。

### (1) PN 结的正向偏置

在 PN 结两端外加电压,若 P 端接电源正极, N 端接电源负极,则称为正向偏置。由于外加电源产生的外电场其方向与 PN 结产生的内电场的方向相反,削弱了内电场,使 PN 结变薄,因此有利于两区多数载流子向对方扩散,形成正向电流。此时测得正向电流较大,PN 结呈现低电阻,称为 PN 结正向导通,如图 1-6 所示。

### (2) PN 结的反向偏置

如图 1-7 所示,PN 结的 P 端接电源负极, N 端接电源正极,称为反向偏置。由于外加电场的方向与内电场的方向一致,因而加强了内电场,使 PN 结加宽,阻碍了多数载流子的扩散运动。在外电场的作用下,只有少数载流子形成了很小的电流,称为反向电流。此时测得电流近似为零,PN 结呈现高电阻,称为 PN 结反向截止。

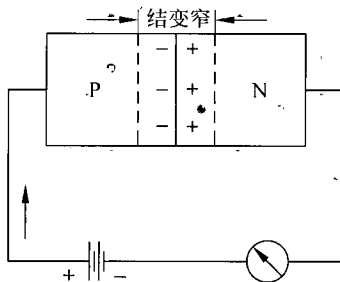


图 1-6 PN 结的正向偏置

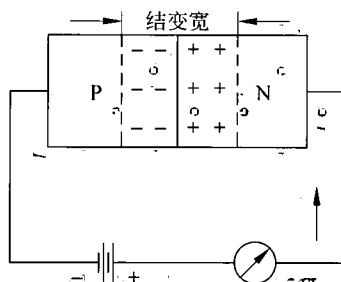


图 1-7 PN 结的反向偏置

应当指出,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。综上所述,PN 结具有单向导电性,即加正向电压时导通,加反向电压时截止。