

普通高等教育“十三五”规划教材

# 电路和电子技术（下册） （第3版）：电子技术基础

Fundamentals of Electronic Technology

主 编 ○ 郜志峰

副主编 ○ 李燕民 温照方

 北京理工大学出版社  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

普通高等教育“十三五”规划教材

# 电路和电子技术（下册） （第3版）：电子技术基础

部志峰 主 编  
李燕民 温照方 副主编

 **北京理工大学出版社**  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 简 介

本书依据教育部高等学校教学指导委员会最新发布的《“电工学”课程教学基本要求》，根据多年的教学实践经验和教学改革的需求，在第2版的基础上，经过调整、精练、补充、修订而成。

本书涵盖了“电工学”课程中模拟电子技术、数字电子技术两个模块中的全部基本教学内容。全书包含8章内容：半导体器件；交流放大电路；集成运算放大器；电源技术；逻辑代数基础；门电路和组合逻辑电路；触发器和时序逻辑电路；模拟量与数字量的转换。

本书可作为高等学校本科生“电工学”“电工和电子技术”“电路和电子技术”“电工技术与电子技术”“电工电子学”等课程的教材，或供相关专业选用，也可供有关的工程技术人员自学和参考。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目（CIP）数据

电路和电子技术. 下册, 电子技术基础 / 郜志峰主编. —3版. —北京: 北京理工大学出版社, 2019.5

ISBN 978-7-5682-7059-5

I. ①电… II. ①郜… III. ①电路理论-高等学校-教材 ②电子技术-高等学校-教材  
IV. ①TM13 ②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2019）第 092606 号

---

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 18.75

字 数 / 440千字

版 次 / 2019年5月第3版 2019年5月第1次印刷

定 价 / 49.00元

责任编辑 / 陈莉华

文案编辑 / 陈莉华

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

---

图书出现印装质量问题，请拨打售后服务热线，本社负责调换

# 第3版前言

“电工学”课程是高等学校本科非电类专业的一门重要的技术基础课程，涵盖了电气工程和电子信息工程两大学科的最基本内容。随着科学技术的发展，为适应教育改革与发展的需要，中国高等学校电工学研究会《“电工学”课程教学基本要求》进行了修订，并由教育部高等学校教学指导委员会发布。

“电工学”课程的教学内容包括理论教学部分和实践教学部分。理论教学部分包括电路理论、模拟电子技术、数字电子技术、电机与控制四个教学模块。实践教学部分包括电工测量等内容。由于高等学校各专业培养方案不同，其对“电工学”教学内容的要求不尽相同，教学基本要求确定电路理论、模拟电子技术、数字电子技术三个模块为基本教学模块，电机与控制为可选教学模块。每个教学模块中又分为基本内容和可选内容两大部分，供各高等学校根据专业培养方案，选择教学模块和教学内容组织课程，制定各自切实可行的教学大纲。由于历史沿革和各高等学校各专业选择的模块和内容的不同，“电工学”课程又有“电工和电子技术”“电路和电子技术”“电工技术与电子技术”“电工电子学”等不同的课程名称。

《电路和电子技术（下）》（第2版）出版以来，作为“电工学”课程中模拟电子技术、数字电子技术两个模块的基本教材已使用数年，从教学实际效果来看，该书在内容取材和组织上适应高等学校“电工学”课程的教学基本需要。《电路和电子技术（下册）（第3版）：电子技术基础》依据高等学校教学指导委员会最新发布的《“电工学”课程教学基本要求》，根据多年的教学实践经验和教学改革的需求，对教材的内容进行了整合、补充、修订，涵盖了“电工学”课程中模拟电子技术、数字电子技术两个模块中的全部基本内容，以适应高等教育的发展对“电工学”课程的新要求。期望以使课程内容与时俱进，知识面宽，实践性强，突显具有综合性的优势。为高等学校本科非电类的学生提供必要的电气工程和电子信息工程的基本知识，使学生具有分析和解决基本技术问题的能力，建立基本的工程意识，为学生进一步的专业学习和相关的研究、开发起到知识储备和促进作用。

参与本书编写修订的教师：温照方编写了第1、4、8章；李燕民编写了第2、

3、5、6、7章;郜志峰编写了第5章新增内容和本书全部新增习题。本书由郜志峰担任主编,负责全书的统稿。

北京理工大学信息与电子学院教师王勇、傅雄军、高玄怡、叶勤、谢民、马玲、孙林等老师在本书编写过程中,给予了很多支持和帮助,在本书的使用以及与实验教学的有机结合方面,提出了很多建设性意见。在此表示衷心的感谢!

由于编者水平和能力有限,书中可能存在一些疏漏、错误或不严谨之处,敬请读者批评指正。

编 者

## 第2版前言

《电路和电子技术》第1版经过6年的使用,随着电工和电子技术的发展、理论课学时一再压缩,教材的有些内容已经不能很好地适应现在的教学要求,因此我们对第1版教材进行修订。《电路和电子技术(下)》(第2版)[与《电机与控制》(第2版)配套]仍是为“电工电子技术”课程编写的教材。

《电路和电子技术(下)》(第2版)是按照教育部高等学校教学指导委员会2009年颁布的“电工学”课程教学基本要求,根据多年的教学实践经验和教学改革的需求,在《电路和电子技术》第1版的基础上,经过调整、精练、补充、修订而成。我校的“电工电子技术”课程仍沿用“电路基础—元件—线路—系统”的总体框架,内容和篇幅与第1版基本相同,但力求将一些新器件、新技术反映在新版教材中。在第2版中做了以下几个方面的修订。

① 修订版在原来注重知识体系的基础性上,又进一步加强了应用性,精减了部分比较繁复的理论分析和概念性的叙述。例如,适当简化了分立元件放大电路的分析,删去了交流稳压电源和UPS电源简介,精简了A/D变换器内部电路的分析等。

② 结合本课程的特点,适当增加了一些较新的器件,如发光二极管、光敏二极管、光电隔离器等。增加了电子技术在实际中应用的例子,如利用光电二极管、运算放大器在CD-ROM的激光拾音器中实现光电信号的转换,并增加了仿真例子及结果等。

③ 修订版教材体现了一定的先进性。在原来引入EDA技术的基础上,提高起点,删去早期可编程逻辑器件的介绍,将原书中可编程逻辑器件的开发环境MAX+PLUS II升级,改为Altera公司现在主推的Quartus II。它所提供的开发设计的灵活性和高效性、丰富的图形界面,辅之以完整的、可即时访问的在线文档等,使学生能够轻松、愉快地掌握PLD的设计方法。

④ 注重提高学生学习的自主性。为了使学生更好地使用现在非常流行的Multisim仿真设计软件,以便更深刻地理解和掌握电工电子的基础知识,在本书各章安排的习题后增加了仿真的习题,而且不仅提出了要求,还给出了分析方法的提示。引导学生结合各章内容的特点,由浅入深地了解工作界面、元器件库、常用仪器仪表,并能够逐步掌握瞬态分析、交流分析、参数扫描分析、傅里叶分析等分析方法的应用。

参与本书编写的教师:温照方编写了第1、4、7章;李燕民编写了第2、3、5、6章;姜明编写了第8章。由李燕民担任主编,负责全书的统稿。

本书第1版被评为北京市精品教材。在本书第1版的编写过程中,北京工商大学孙骆生教授、北京理工大学刘蕴陶教授认真审阅了本书,给出了很高的评价,并提出了许多中肯的意见和宝贵的建议,也为我们修订第2版教材提供了很多有

益的启发。电工教研室的庄效桓、吴仲、许建华、高玄怡、叶勤等老师在本书编写过程中,给予了很大帮助,在本书的使用以及与实验教学的有机结合方面,提出了很多建设性意见。在此,一并表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,加之编写时间较短,书中难免存在一些疏漏、错误或不严谨之处,恳请读者批评指正,以便今后加以改进。

编 者

# 第1版前言

《电路和电子技术》分为上、下两册，是按照教育部（前国家教育委员会）1995年颁发的高等工业学校“电工技术（电工学Ⅰ）”和“电子技术（电工学Ⅱ）”两门课程的教学基本要求，根据作者多年的教学实践经验编写的。

“电工和电子技术”课程是面向高等工科大学本科生非电类专业开设的电类技术基础课。根据目前高等学校对学生进行全面素质教育的要求，这门课程的改革势在必行且至关重要。几年来，我们对“电工和电子技术”课程内容、体系、方法及手段进行了改革与实践，并取得了一定的成效。通过多年来的教学实践，尤其是近几年的教学改革和探索，我们按照新的课程体系，编写了《电路和电子技术》（与《电机与控制》配套），作为“电工和电子技术”课程的教材。

“电工和电子技术”课程的总体框架是：电路基础—元件—线路—系统。《电路和电子技术》教材在实现以上教学思想方面做了一些尝试，本教材的特点是：

① 打破了原“电工和电子技术”课程中电路、电子、电机与控制相对独立的格局，加强了电路、电子、电机与控制的内在联系，并突出了系统性。改变了通常将“电工和电子技术”课程分为“电工技术”和“电子技术”两大部分的做法，将电路基础部分的内容适当压缩，电子技术部分的内容提前，以便在电机和控制部分之后，能够增加系统的知识。我们将电工电子技术的新发展引入教学，如 CPLD 等新技术的基础知识，这是编写本套教材的宗旨。

② “电工和电子技术”课程的新体系体现了一定的基础性和先进性。使学生通过本课程的学习，能够具有较为宽厚的基础理论和基础知识，具有可持续发展和创新的能力。为此，我们在《电路和电子技术》教材中强调了课程内容的基础性，以“元件—线路—系统”为脉络，集中给出基本电子元件及特性，在介绍基本单元电路的基础上，适当给出一些应用实例。以培养学生对新技术的浓厚兴趣，引导他们积极主动地学习。

③ 新体系的课程内容注重培养学生分析问题和解决问题的能力、综合运用所学知识的能力以及工程实践能力。《电路和电子技术》教材中加入了元器件的选择和性能比较，并举出一些较为综合的系统实例，帮助学生了解电工技术和电子技术在工程实际中的应用。并注意将经典的电路及电子的基础理论与电子技术的最新发展相结合，用 EDA 的设计方法去设计组合逻辑电路和时序逻辑电路等。在第 12 章“PLD 技术及其应用”中，介绍了工程设计软件，使非电类学生具有一定的电子线路的设计能力。

④ 在选材和文字叙述上力求符合学生的认知规律，由浅入深、由简单到复杂、由基础知识到应用举例。本书配有丰富的例题和习题，并在书后给出了部分习题的参考答案。

《电路和电子技术》由北京理工大学信息科学技术学院的部分教师编写,其中,张振玲编写了第1、2章;郇志峰编写了第3章、第4章4.1~4.3节;王勇编写了4.4节,温照方编写了第5、8、11章;李燕民编写了6、7、9、10章;姜明编写了第12章。由李燕民担任主编,负责全书的统稿。

北京理工大学庄效桓副教授对本书进行了认真的、逐字逐句的审阅,并提出了许多宝贵的意见和建议。此外,北京理工大学信息学院电工教研室的各位老师在本书编写过程中,也给予了很大的帮助。在此,一并表示衷心的感谢!

由于我们的水平和能力有限,加之编写时间较为仓促,书中难免存在一些疏漏和错误之处,恳请读者批评指正,以便今后加以改进。

编者

# 目 录

## CONTENTS

第 1 章 半导体器件	001
1.1 半导体的基础知识	001
1.1.1 本征半导体	001
1.1.2 杂质半导体	002
1.1.3 PN 结	003
1.2 半导体二极管	004
1.2.1 半导体二极管的基本结构	004
1.2.2 半导体二极管的伏安特性	004
1.2.3 半导体二极管的主要参数	006
1.2.4 半导体二极管的主要应用	006
1.2.5 特殊二极管	012
1.3 硅稳压二极管	013
1.3.1 硅稳压二极管的伏安特性	013
1.3.2 硅稳压二极管的主要参数	013
1.3.3 硅稳压二极管稳压电路	014
1.4 半导体三极管	015
1.4.1 半导体三极管的结构、分类和符号	015
1.4.2 半导体三极管的工作状态	016
1.4.3 半导体三极管的特性曲线	017
1.4.4 半导体三极管的主要参数	020
1.4.5 温度对半导体三极管参数的影响	020
1.4.6 半导体三极管的微变等效电路	020
1.5 绝缘栅型场效应管	022
1.5.1 绝缘栅型场效应管的基本结构	022
1.5.2 绝缘栅型场效应管的工作原理	024
1.5.3 绝缘栅型场效应管的特性曲线	025
1.5.4 绝缘栅型场效应管的微变等效电路	026
1.5.5 绝缘栅型场效应管的主要参数	026
1.5.6 绝缘栅型场效应管的主要特点	027

1.6 电力半导体器件	027
1.6.1 晶闸管的结构、工作原理及参数	027
1.6.2 晶闸管的应用	029
1.6.3 晶闸管的触发电路	034
1.6.4 绝缘栅型双极晶体管	037
习题	038
<b>第2章 交流放大电路</b>	<b>049</b>
2.1 共发射极放大电路	049
2.1.1 放大电路的概念	049
2.1.2 基本放大电路的工作原理	050
2.1.3 基本放大电路的静态分析	051
2.1.4 基本放大电路的动态分析	053
2.2 静态工作点稳定的放大电路	059
2.2.1 温度变化对静态工作点的影响	059
2.2.2 分压式偏置电路	059
2.2.3 静态分析	060
2.2.4 动态分析	061
2.3 共集电极放大电路	063
2.3.1 静态分析	063
2.3.2 动态分析	063
2.3.3 特点及应用	065
2.4 多级放大电路	065
2.4.1 多级放大电路的级间耦合方式	066
2.4.2 阻容耦合放大电路的分析	067
2.4.3 阻容耦合放大电路的频率特性	068
2.5 差动放大电路	069
2.5.1 直接耦合放大电路的零点漂移	070
2.5.2 差动放大电路的组成和工作原理	071
2.5.3 差动放大电路的输入输出方式	072
2.6 功率放大电路	076
2.6.1 功率放大电路的概念	076
2.6.2 互补对称功率放大电路	077
2.6.3 集成功率放大器	080
2.7 场效应管放大电路	081
2.7.1 静态分析	081
2.7.2 动态分析	081
习题	084
<b>第3章 集成运算放大器</b>	<b>093</b>
3.1 集成运放的结构、特性和分析依据	093

3.1.1	集成运放的结构和参数	093
3.1.2	集成运放的理想化模型	095
3.1.3	集成运放的电压传输特性和分析依据	096
3.2	运放在模拟运算方面的应用	098
3.2.1	比例运算电路	098
3.2.2	模拟运算电路	103
3.2.3	非理想运算放大器运算电路的分析	108
3.3	放大电路中的负反馈	110
3.3.1	反馈的基本概念	110
3.3.2	负反馈的4种典型组态	111
3.3.3	反馈类型的判别	115
3.3.4	负反馈对放大电路性能的影响	118
3.4	运放在信号处理方面的应用	121
3.4.1	有源滤波器	122
3.4.2	电压比较器	125
3.5	信号产生电路	129
3.5.1	正弦波振荡电路	129
3.5.2	方波发生器	134
3.5.3	三角波发生器	136
3.5.4	锯齿波发生器	137
3.5.5	函数发生器简介	138
	习题	140
<b>第4章</b>	<b>电源技术</b>	<b>153</b>
4.1	电源技术的基本内容	153
4.1.1	电源技术概述	153
4.1.2	直流稳压电源和交流稳压电源	154
4.2	直流稳压电源	154
4.2.1	直流稳压电源的主要指标及种类	154
4.2.2	串联式线性稳压电源	155
4.2.3	集成稳压器	157
4.2.4	如何选择使用集成稳压器	159
4.3	开关型稳压电源	160
4.3.1	开关型稳压电源的基本特点	160
4.3.2	开关型稳压电源的典型电路	161
4.4	逆变电路	165
4.4.1	逆变的概念	165
4.4.2	电压型逆变电路	166
4.4.3	电流型逆变电路	167
4.4.4	PWM 逆变电路	168

习题	170
<b>第5章 逻辑代数基础</b>	<b>174</b>
5.1 逻辑关系	174
5.1.1 基本逻辑关系	174
5.1.2 复合逻辑关系	175
5.2 逻辑函数的表示和化简	176
5.2.1 逻辑代数的基本定律和运算规则	176
5.2.2 逻辑函数的表示方法	179
5.2.3 逻辑函数的化简	180
习题	189
<b>第6章 门电路和组合逻辑电路</b>	<b>194</b>
6.1 门电路	194
6.1.1 分立元件门电路	194
6.1.2 TTL 集成门电路	196
6.1.3 CMOS 门电路	203
6.2 组合逻辑电路的分析与设计	205
6.2.1 组合逻辑电路的分析	206
6.2.2 组合逻辑电路的设计	207
6.3 常用的集成组合逻辑电路	209
6.3.1 加法器	210
6.3.2 编码器	212
6.3.3 译码器	213
6.3.4 数值比较器	218
6.3.5 数据选择器	219
习题	222
<b>第7章 触发器和时序逻辑电路</b>	<b>228</b>
7.1 双稳态触发器	228
7.1.1 基本RS 触发器	228
7.1.2 同步RS 触发器	230
7.1.3 JK 触发器	232
7.1.4 D 触发器	234
7.1.5 T 触发器和 T' 触发器	235
7.1.6 集成触发器及触发器逻辑功能的转换	236
7.2 寄存器	238
7.2.1 数码寄存器	238
7.2.2 移位寄存器	239
7.3 计数器	241
7.3.1 二进制计数器	242
7.3.2 十进制加法计数器	245

7.3.3 任意进制计数器	247
7.3.4 中规模集成计数器	248
7.4 单稳态触发器	254
7.4.1 555 定时器的组成和功能	254
7.4.2 由 555 定时器构成的单稳态触发器	256
7.4.3 集成单稳态触发器	258
7.4.4 单稳态触发器的应用举例	260
7.5 多谐振荡器	260
7.5.1 由 555 定时器构成的多谐振荡器	260
7.5.2 石英晶体多谐振荡器	262
7.6 施密特触发器	263
7.7 数字电路应用举例	265
习题	267
<b>第 8 章 模拟量与数字量的转换</b>	<b>276</b>
8.1 数模转换器 (DAC)	276
8.1.1 数模转换器的转换原理	276
8.1.2 数模转换器的主要参数	278
8.1.3 集成数模转换器	278
8.2 模数转换器 (ADC)	280
8.2.1 模数转换器的转换原理	280
8.2.2 模数转换器的主要参数	281
8.2.3 集成模数转换器	282
8.3 采样保持电路	283
8.3.1 采样保持原理	283
8.3.2 采样保持电路	284
8.3.3 采样定理	285
习题	285
参考文献	286

# 第 1 章

## 半导体器件

在电子电路中，半导体二极管、三极管、场效应管、电力半导体器件是应用最为广泛的半导体器件，掌握这些半导体器件的特性和电路模型是学习电子电路的基础。本章将介绍半导体的基础知识，即半导体二极管、三极管、场效应管和电力半导体器件的基本结构及工作原理、特性和主要参数，并重点介绍二极管的应用。

### 1.1 半导体的基础知识

#### 1.1.1 本征半导体

导电能力介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体。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和锗。硅和锗都是四价元素，将硅或锗提纯，形成单晶体后，晶体内部的原子基本上整齐排列，即其最外层的四个价电子都与邻近的原子形成共价键结构，具有这种结构的晶体称为本征半导体，如图 1.1 所示。

常温下，在本征半导体内，共价键中大多数价电子不能摆脱共价键的束缚，只有极少数的价电子从外界获得足够的能量，摆脱共价键的束缚而成为自由电子。这样该电子就会在它原来的位置上留下一个空位，称为空穴，如图 1.2 所示。失去电子的原子显正电，空穴是由原子失去了带负电的价电子后形成的，所以可认为空穴带正电，且所带电量与电子相等。

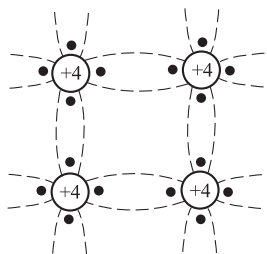


图 1.1 硅（或锗）的共价键结构

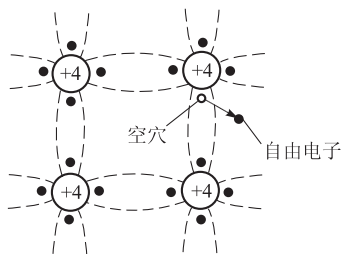


图 1.2 自由电子和空穴的形成

在一定的外界条件下，有空穴的原子能吸引相邻原子中的价电子来填补这个空穴，从而使相邻原子的共价键中出现一个空穴，如此下去，好像空穴在移动。但空穴运动方向与价电子运动方向相反。

显然，本征半导体有两种粒子参与导电（金属导体只有电子），即自由电子和空穴。它们

都是运载电荷的粒子, 称它们为载流子。空穴与电子是成对出现的。如果半导体的自由电子填补了空穴, 这样电子和空穴就成对消失, 这个过程称为复合。

本征半导体的载流子数目很少, 其导电能力很低, 通常用掺入杂质的方法提高导电性。

### 1.1.2 杂质半导体

在本征半导体中掺入少量的杂质就形成了杂质半导体, 根据掺入杂质的不同, 杂质半导体分为两大类, 即 N 型半导体和 P 型半导体。

#### 1. N 型半导体

在硅 (或锗) 的晶体中掺入少量的五价磷 (或砷) 元素, 这使某些位置上的硅原子被磷原子所取代, 但整个晶体的结构不变。磷原子有五个价电子, 在它以四个价电子与周围相邻的硅原子组成共价键后, 还多余一个价电子, 如图 1.3 所示。这个价电子不受共价键的束缚, 很容易成为自由电子, 失去一个价电子的磷原子成为带正电的离子。

掺入五价磷元素的半导体, 其自由电子数目远大于空穴的数目。使得载流子中自由电子占多数, 空穴占少数, 这种杂质半导体称为 N 型半导体, 如图 1.4 所示。

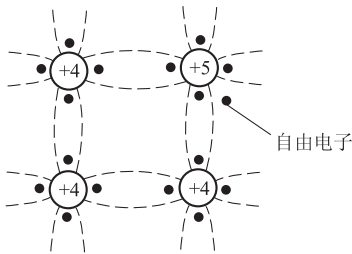


图 1.3 硅晶体中掺磷元素

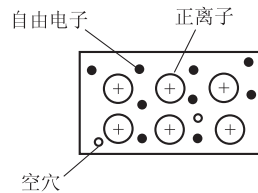


图 1.4 N 型半导体

#### 2. P 型半导体

在硅 (或锗) 的晶体中掺入少量的三价硼 (或镉) 元素, 这使某些位置上的硅原子被三价硼原子所取代, 但整个晶体的结构不变。硼原子只有三个价电子, 在它以三个价电子与周围相邻的硅原子组成共价键后, 而留下一个空位, 如图 1.5 所示。若相邻的价电子填补了这个空位, 硼原子会因为接受一个电子而成为负离子, 而相邻原子中就出现了一个空穴。

掺入三价硼元素的半导体中, 每个硼原子都能提供一个空穴, 其空穴数目远大于自由电子数目。使得载流子中空穴占多数, 自由电子占少数, 这种杂质半导体称为 P 型半导体, 如图 1.6 所示。

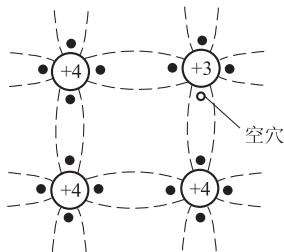


图 1.5 硅晶体中掺硼元素

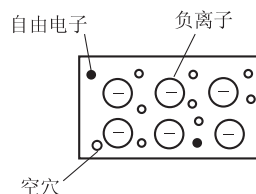


图 1.6 P 型半导体

### 1.1.3 PN 结

#### 1. PN 结的形成

用特殊的制造工艺在一块本征半导体中分别掺入五价元素和三价元素，形成 P 型半导体和 N 型半导体，如图 1.7 所示。

由于在两种半导体内的自由电子浓度和空穴浓度不同，根据扩散原理，N 型半导体内的多数载流子——自由电子向 P 型半导体内扩散，P 型半导体中的多数载流子——空穴也要向 N 型半导体内扩散。扩散到 P 型半导体的自由电子与空穴复合，扩散到 N 型半导体的空穴与自由电子复合。这样在它们的交界面及附近，由于 N 型半导体内自由电子的减少，而出现带正电的正离子。自由电子进入 P 型半导体后与空穴复合，而出现了带负电的负离子，从而形成了空间电荷区。随着扩散及复合的不断进行，正负离子数量不断增加，在 P 型半导体与 N 型半导体交界面处的电荷逐渐增多，加宽了空间电荷区，如图 1.8 所示，空间电荷区又称为 PN 结。

空间电荷区的出现在两种半导体交界面处形成了内电场，内电场的方向是从正离子指向负离子，如图 1.8 所示。内电场阻碍 N 型半导体内自由电子向 P 型半导体内扩散，但会使 P 型半导体内的少数载流子——自由电子更加容易地漂移到 N 型半导体。随着内电场的增强，漂移与扩散的自由电子相等，达到了动态平衡，这时半导体内空间电荷区的宽度不再增加。空间电荷区有正负离子，在这个区域内几乎不存在自由电子和空穴。

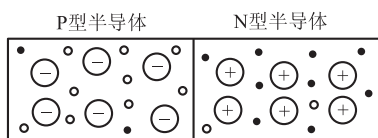


图 1.7 P 型半导体和 N 型半导体

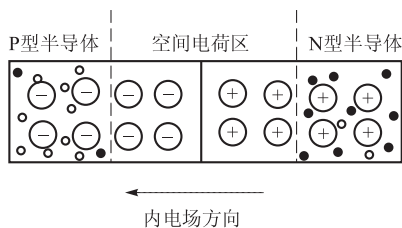


图 1.8 空间电荷区 (PN 结)

#### 2. PN 结的单向导电性

空间电荷区即 PN 结在没有外界电场作用时，通过 PN 结的净载流子数为零。若在 P 型半导体与 N 型半导体两端施加不同极性的电压，PN 结所表现出的特性完全不同。PN 结具有单向导电性。

##### (1) 对 PN 结外加正向电压

将电源正极接 P 型半导体，电源负极接 N 型半导体，由此产生一个与内电场方向相反的外电场，如图 1.9 所示，图中的  $R$  为限流电阻。这个外电场使空间电荷区变窄，削弱了内电场，从而使多数载流子的扩散大于少数载流子的漂移，且多数载流子不断通过 PN 结，形成了较大的正向电流  $I_F$ ，并由电源来补充 P 型半导体内的空穴和 N 型半导体中的自由电子，形成了连续电流。使 PN 结变窄，形成较大正向电流的外

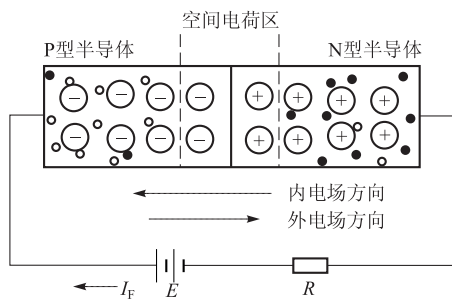


图 1.9 加正向电压