

21世纪高等学校精品规划教材

电子技术

主 编 周 俊 王 川

副主编 李艳玲 李文华

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

21 世纪高等学校精品规划教材

电 子 技 术

主 编 周 俊 王 川

副主编 李艳玲 李文华

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

内 容 简 介

本书全面地介绍了电子技术的基础知识,通俗易懂,实例丰富。全书共分为11章,内容包括半导体二极管和三极管、基本放大电路、集成运算放大器与负反馈、正弦波振荡电路、直流稳压电源、晶闸管及其应用、数字电路基础与门电路、组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路、555定时器及其应用、数/模和模/数转换器。每小节有思考题,每章有练习题。

本书可供高等学校电气自动化类、机电一体化类、计算机类、机械制造类专业使用,也适用于高职高专其他非电类工程技术专业。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电子技术/周俊,王川主编. —北京:北京理工大学出版社,2010.2
ISBN 978-7-5640-3023-0

I. ①电… II. ①周…②王… III. ①电子技术-高等学校-教材
IV. ①TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第015578号

出版发行/北京理工大学出版社

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/保定市中华美凯印刷有限公司

开 本/787毫米×960毫米 1/16

印 张/17.25

字 数/347千字

版 次/2010年2月第1版 2010年2月第1次印刷

印 数/1~2000册

定 价/35.00元

责任校对/陈玉梅

责任印制/边心超

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

“电子技术”是电气自动化类、机电一体化类、计算机类、机械制造及其自动化类各专业的核心基础课，是学习后续专业课程以及今后从事实际工作必需的基础。

编者在总结十几年教学改革实践经验的基础上，在教学内容的选取与编排方面，充分注意以下几点：

(1) 以培养综合能力为主线，适当降低理论深度，加强实践应用。着眼于职业岗位群需要，以岗位和后续专业课程需要为依据精选内容。

(2) 本教材注意在论述上的深入浅出，对模拟电子技术和数字电子技术中的基本概念、基本理论和基本方法不降低要求，对一些陈旧的、实际应用价值不大的问题予以忽略，降低教学难度。

(3) 以实际应用为出发点，不苛求理论上的系统性和完整性。着眼于电子技术综合应用能力的培养，突出电子元器件的选用、检测和集成电路功能及使用方法的介绍，尽量减少对内部电路的讲解和讨论。

(4) 在内容讲解上力求通俗易懂，应用实例丰富并与实际应用结合紧密，兼顾课堂教学和学生自学要求，便于学生掌握。每章后附有小结和思考题与练习题，便于复习和总结。习题难度适中，有针对性。

本书分为两部分内容。第一部分主要介绍模拟电子技术的基础知识、基本放大电路和电路的分析计算，内容包括基本的半导体元件，交流放大电路，反馈电路、集成运算放大电路，直流稳压电源，振荡电路和晶闸管的应用等。这部分除了介绍基础理论知识、基本的电路功能和电路参数的计算外，还注意培养学生运用所学知识进行简单电路设计、根据参数和手册选用电子元件、正确使用仪表以及初步学会检测和排除电路故障的基本方法。第二部分主要介绍数字电路的基础知识、基本逻辑电路和逻辑电路的功能与应用，内容包括数字电路基础知识、逻辑代数、基本逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路、555 定时器以及数/模和模/数转换器等。这部分注重培养学生运用所学知识进行简单逻辑分析、正确选用集成电路的能力。

本教材第 1, 2, 7, 8 章由周俊编写，第 4、5、6 章由王川编写，第 10、11 章由李艳玲编写，第 9 章及附录由李文华编写，第 3 章由梁吟曦编写。全书由周俊统稿。在编写过程中得到了刘华东、蔡红斌等老师的鼎力相助，对书稿进行了认真的审阅，并提出了许多宝贵的修改意见，在此表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，真诚欢迎各位专家、同行、读者批评指正。
(另附建议教学学时分配表，各教学班可根据学时多少予以调整)。

编 者

附：

建议教学学时分配表

序号	课题名称	理论学时	实训学时	建议实训项目
1	常用半导体元件	8	2	1. 常用半导体器件参数的测试 2. 基本放大电路性能测试 3. 多级放大电路性能测试 4. ※功率放大器及其应用 5. 差分放大器及其应用 6. 负反馈放大器及其应用 7. 集成运算放大器性能测试 8. 用集成逻辑门设计组合逻辑电路 9. 触发器功能测试及应用 10. 计数器功能测试及其应用 11. 555 定时器的应用 12. ※D/A 和 A/D 转换器的应用
2	基本放大电路	14	4	
3	集成运算放大器与负反馈	10	6	
4	正弦波振荡电路※	4		
5	直流稳压电源	4		
6	晶闸管及其应用※	4		
7	数字电路基础与门电路	10		
8	组合逻辑电路	8	2	
9	触发器与时序逻辑电路	8	4	
10	555 定时器及其应用	2	2	
11	数/模和模/数转换器	4		
合 计		76	20	

注：标有“※”记号的内容，教师可以根据不同专业的需求或学时的多少予以取舍。

目 录

第 1 章 常用半导体元件	1
1.1 半导体基础知识	1
1.1.1 本征半导体	1
1.1.2 P 型半导体和 N 型半导体	2
1.1.3 PN 结及特性	3
1.2 半导体二极管	5
1.2.1 二极管的结构	5
1.2.2 二极管的伏安特性	6
1.2.3 二极管的主要参数	7
1.3 特殊二极管	8
1.3.1 稳压二极管	8
1.3.2 发光二极管与光电二极管	9
1.4 半导体三极管	10
1.4.1 晶体三极管的基本结构	10
1.4.2 晶体三极管的工作原理	11
1.4.3 晶体三极管的特性曲线	12
1.4.4 晶体三极管的主要参数	14
1.5 半导体使用基础知识	15
1.5.1 二极管的检测与应用	15
1.5.2 三极管的测试与应用	17
1.6 场效应管简介	18
1.6.1 绝缘栅型场效应管	19
1.6.2 场效应管的主要参数和使用注意事项	22
本章小结	25
习题	25
第 2 章 基本放大电路	29
2.1 放大电路的基本知识	29
2.1.1 基本放大电路的组成	29
2.1.2 各元件的作用	30

2.2 放大电路的工作状态分析	30
2.2.1 静态分析	31
2.2.2 动态分析	33
2.2.3 失真现象分析	34
2.3 静态工作点的稳定	35
2.3.1 温度对静态工作点的影响	36
2.3.2 分压式偏置放大电路	36
2.4 放大电路的微变等效电路分析法	38
2.4.1 晶体管的微变等效电路	38
2.4.2 电压放大倍数的计算	39
2.4.3 放大电路输入电阻和输出电阻的计算	40
2.5 射极输出器	42
2.5.1 电路的组成和静态工作点	42
2.5.2 动态性能分析	43
2.5.3 射极输出器的用途	45
2.6 阻容耦合多级放大电路	46
2.6.1 放大电路耦合方式	46
2.6.2 阻容耦合放大电路的分析	47
2.7 功率放大电路	51
2.7.1 功率放大器的特点和分类	51
2.7.2 互补对称功率放大电路	52
2.7.3 集成功率放大电路	54
2.8 放大电路的调整与测试方法（小技能）	55
2.8.1 通电前的检查	55
2.8.2 通电调试	56
2.8.3 故障排除	58
本章小结	59
习题	59
第3章 集成运算放大器与负反馈	65
3.1 概述	65
3.2 差分放大电路	65
3.2.1 直接耦合方式	65
3.2.2 差分放大电路	66
3.3 集成运算放大器	70



3.3.1 集成运算放大器的组成及符号	71
3.3.2 主要参数	71
3.4 负反馈放大器	73
3.4.1 负反馈的基本概念	73
3.4.2 负反馈对放大电路性能的影响	75
3.4.3 深度负反馈的分析	79
3.5 基本运算电路	82
3.5.1 概述	82
3.5.2 基本运算电路	82
3.6 运算放大器的选用及使用注意事项	87
3.6.1 集成运算放大器的识读	87
3.6.2 集成运算放大器的分类	88
3.6.3 集成运算放大器的命名方法	89
3.6.4 集成运算放大器的选择	89
本章小结	90
习题	91
第4章 正弦波振荡电路	96
4.1 正弦波振荡电路的基础知识	96
4.1.1 自激振荡现象	96
4.1.2 自激振荡形成的条件	96
4.1.3 正弦波振荡的形成过程	97
4.1.4 振荡电路的组成	97
4.2 RC 正弦波振荡电路	98
4.2.1 RC 串并联选频电路的选频特性	98
4.2.2 桥式 RC 振荡电路	100
4.2.3 RC 移相式振荡电路	100
4.3* LC 正弦波振荡电路	101
4.3.1 变压器反馈式振荡电路	101
4.3.2 三点式振荡电路	103
4.3.3 应用举例	104
4.4* 石英晶体正弦波振荡电路	105
4.4.1 石英晶体的谐振特性与等效电路	105
4.4.2 石英晶体振荡电路	106
本章小结	107

习题	108
第5章 直流线性稳压电源	113
5.1 整流电路	114
5.1.1 单相半波整流电路	114
5.1.2 单相桥式整流电路	115
5.1.3 常用整流组合元件	116
5.2 滤波电路	117
5.2.1 电容滤波	117
5.2.2 电感滤波电路	118
5.2.3 其他形式的滤波电路	118
5.3 稳压电路	119
5.3.1 硅稳压管稳压电路	120
5.3.2 串联型稳压电路	121
5.4 集成稳压电源	123
5.4.1 集成稳压器的特点及类型	123
5.4.2 集成稳压器的应用	124
5.4.3 集成稳压器的选择及注意事项	127
本章小结	128
习题	128
第6章* 晶闸管及其应用	130
6.1 晶闸管	130
6.1.1 晶闸管	130
6.1.2 其他类型的晶闸管	133
6.2 晶闸管可控整流电路	134
6.2.1 单相半波可控整流电路	134
6.2.2 单相半控桥式整流电路	136
6.3 单晶体管触发电路	137
6.3.1 单结晶体管	137
6.3.2 单结晶体管自激振荡电路	138
6.3.3 单结晶体管触发电路	139
6.4 晶闸管逆变电路	140
6.4.1 逆变电路的基本工作原理	140
6.4.2 晶闸管逆变电路举例	140
6.5 晶闸管电路的应用	141



6.5.1 晶闸管调光、调温电源	141
6.5.2 过电压自动断电保护电路	142
6.6 晶闸管的保护	143
本章小结	145
习题	145
第7章 数字电路基础与门电路	146
7.1 数字电路基本知识	146
7.1.1 数字信号与数字电路	146
7.1.2 数字电路的主要特点	146
7.1.3 数制及码制	146
7.2 分立元件门电路及基本逻辑关系	150
7.2.1 与门电路及与逻辑关系	150
7.2.2 或门电路及或逻辑关系	151
7.2.3 非门电路及非逻辑关系	152
7.3 逻辑代数	154
7.3.1 逻辑代数基础	154
7.3.2 逻辑函数的化简与变换	156
7.4 集成逻辑门电路	158
7.4.1 TTL 集成门电路	158
7.4.2 CMOS 集成门电路	167
7.5 集成逻辑门电路的应用	168
7.5.1 TTL 电路和 CMOS 电路的接口	168
7.5.2 TTL 和 CMOS 电路的外接负载	170
7.5.3 集成逻辑门电路的使用	171
本章小结	171
习题	172
第8章 组合逻辑电路	176
8.1 组合逻辑电路的分析和设计	176
8.1.1 组合逻辑电路的分析	176
8.1.2 组合逻辑电路的设计	178
8.2 常用组合集成逻辑电路	180
8.2.1 加法器	180
8.2.2 编码器	182
8.2.3 译码器	185

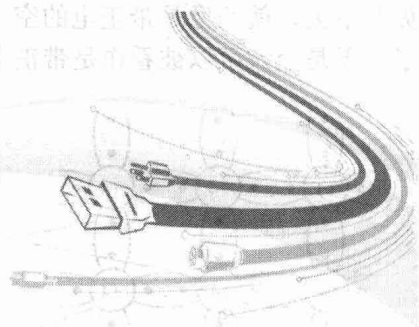
8.3 组合逻辑电路中的竞争与冒险现象	192
8.3.1 竞争与冒险	192
8.3.2 竞争与冒险的识别	193
8.3.3 消除竞争与冒险的方法	193
本章小结	194
习题	194
第9章 触发器和时序逻辑电路	197
9.1 双稳态触发器	197
9.1.1 RS 触发器	197
9.1.2 JK 触发器	200
9.1.3 D 触发器	202
9.1.4 触发器的相互转换	203
9.2 寄存器	204
9.2.1 数码寄存器	204
9.2.2 移位寄存器	206
9.3 计数器	209
9.3.1 二进制加法计数器	210
9.3.2 十进制加法计数器	215
本章小结	221
习题	221
第10章 555 定时器及其应用	225
10.1 555 定时器结构及原理	225
10.2 555 定时器的应用	227
10.2.1 用 555 定时器组成多谐振荡器	227
10.2.2 用 555 定时器组成单稳态触发器	228
本章小结	230
习题	231
第11章 数/模和模/数转换器	233
11.1 数/模转换器	233
11.1.1 T 形电阻网络 D/A 转换器	233
11.1.2 集成数/模转换器及其应用	234
11.1.3 DAC 的主要指标	236
11.2 模/数转换器	237
11.2.1 模/数转换的基本原理	237



11.2.2 逐次逼近型模/数转换器	238
11.2.3 集成模/数转换器及其应用	239
11.2.4 ADC 的主要指标	241
本章小结	241
习题	242
附录	243
附录一 半导体器件型号命名方法（国家标准 GB 249—1974）	243
附录二 常用半导体器件的参数	245
附录三 集成电路型号命名（原部颁标准）	250
附录四 半导体集成电路型号命名方法（国家标准 GB 3430—1982）	251
附录五 部分国标集成电路的品种、型号和引脚图	255
附录六 几种集成运算放大器和 TTL 电路的主要参数	258
附录七 常用电路图形符号新旧标准对照表	260
参考文献	263

第 1 章

常用半导体元件



1.1 半导体基础知识

导电能力介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体。在自然界中属于半导体的物质有很多，常用来制造半导体的材料主要是硅（Si）、锗（Ge）和砷化镓（GaAs）等。半导体器件由于其体积小、重量轻、耗电少、效率高、寿命长、工作可靠、价格低廉等优点，目前在很多科学领域获得了极为广泛的应用，并且日益深入，同时在人们的生产活动和日常生活中也发挥着巨大的作用。

1.1.1 本征半导体

不含杂质且具有完整晶体结构的半导体称为本征半导体。最常用的本征半导体是锗和硅晶体，它们都是四价元素，在其原子结构模型的最外层轨道上各有四个价电子。在单晶结构中，由于原子排列的有序性，价电子为相邻的原子所共有，形成了如图 1-1 所示的共价键结构，图中的+4 表示四价元素原子核和内层电子所具有的净电荷。本征半导体在温度 $T=0\text{ K}$ （热力学温度）且没有其他外部能量作用时，其共价键中的价电子被束缚得很紧，不能成为自由电子，这时的半导体不导电，在导电性能上相当于绝缘体。但是，当半导体的温度升高或给半导体施加能量（如光照）时，就会使共价键中的某些价电子获得足够的能量而挣脱共价键的束缚，成为自由电子，同时在共价键中留下一个空位，这个现象称为本征激发，如图 1-2 所示，自由电子是本征半导体中可以参与导电的一种带电粒子，叫做载流子。

价电子脱离共价键成为自由电子后，在原来的位子上就会形成一个空位，称为空穴。在本征半导体中，自由电子和空穴是成对出现的。原子失去价电子后带正电，可等效看成带正电的空穴。空穴很容易吸引邻近共价键中的价电子来填补这个空穴，因而使这个邻近的原子也因失去价电子而产生新的空穴。这个空穴又会被其他价电子填补，又产生一个新的空穴，



如此下去，就好像是带正电的空穴在移动一样。实际上空穴是没有移动的，移动的只是价电子。于是空穴可以被看作是带正电的载流子。

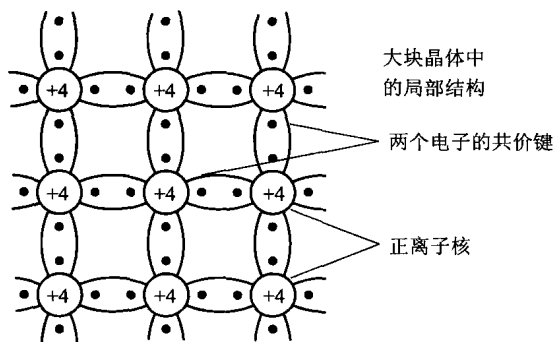


图 1-1 硅和锗的共价键结构

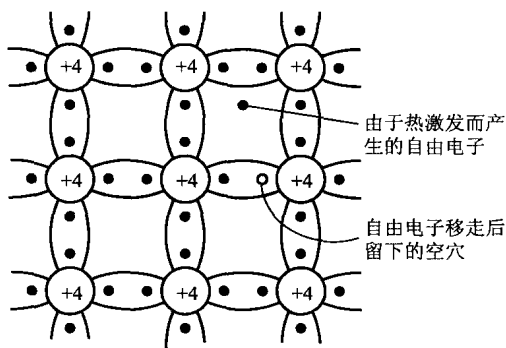


图 1-2 本征激发产生电子空穴对示意图

自由电子和空穴在运动中相遇时会重新结合而成对消失，这种现象称为复合。温度一定时自由电子和空穴的产生与复合将达到动态平衡，这时自由电子和空穴的浓度一定。

在有外电场作用时，带负电的自由电子将逆着电场方向定向运动，形成电子电流；带正电的空穴会顺着电场方向作定向运动（实际上是共价键中的价电子在运动），形成空穴电流，这种运动称为漂移。由此可见，半导体中具有自由电子和空穴两种载流子，因而存在两种载流子导电的方式。

1.1.2 P 型半导体和 N 型半导体

半导体的导电能力取决于载流子的数目，而载流子数目又与温度、光照程度和掺入杂质浓度等有关。为了提高半导体的导电能力，可在本征半导体中掺入适量杂质元素，如磷、硼、砷、铟等，成为杂质半导体。根据掺入杂质性质的不同，可分为 N 型半导体和 P 型半导体两大类。

在四价的硅（或锗）中掺入少量的硼（或镓等其他三价元素），则在晶体某些位置上的硅原子将被硼取代，而硼原子只能提供三个价电子，它与相邻的四个硅原子构成共价键时，必有一个共价键因缺少一个电子而出现空穴，室温下这个空穴极容易被邻近共价键中的价电子所填补，使硼离子成为负离子，称为空间电荷，如图 1-3 所示。掺入三价元素将使半导体中的空穴数量大为增加。这种以空穴导电为主的半导体，称为 P 型半导体，其中空穴为多数载流子，自由电子为少数载流子。

在四价的硅（或锗）晶体中掺入少量的磷（或其他五价元素），则磷原子将取代某些位置上的四价硅原子。磷原子与周围的硅原子形成共价键时余出一个价电子，这个多余的价电子



在室温下就能挣脱原子核的束缚成为自由电子,磷原子则因失去了一个电子变成了正离子(空间电荷)如图 1-4 所示。磷杂质的含量虽然很低,但由此而产生的自由电子数量却比本征半导体激发所产生的电子-空穴对数量大得多。这种以自由电子为主的杂质半导体就称为 N 型半导体,其中的自由电子为多数载流子,空穴为少数载流子。

说明:不论是 P 型半导体还是 N 型半导体均呈电中性。

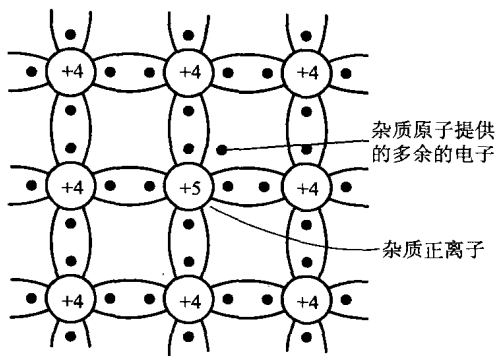


图 1-3 P 型半导体

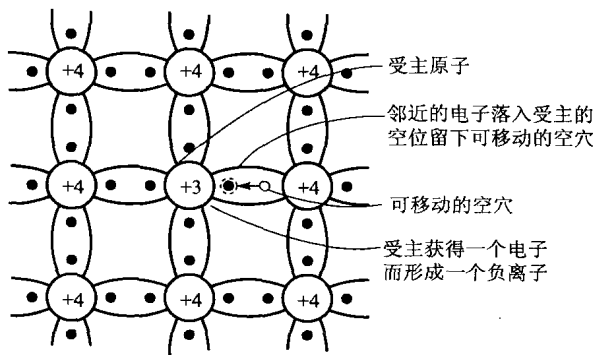


图 1-4 N 型半导体

1.1.3 PN 结及特性

1. PN 结的形成

单一的 P 型或 N 型半导体,还不能直接制成半导体器件。只有将这两种类型的半导体以某种方式结合在一起,才能制成各种具有不同特性的半导体器件。

利用掺杂工艺,使一块本征半导体的一边形成 P 型半导体,另一边形成 N 型半导体。在 P 型和 N 型的交界处,由于载流子浓度的差别, N 区的自由电子必然会向 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(空间电荷), N 区一侧因失去自由电子而留下不能移动的正离子(空间电荷)。于是在 P 区和 N 区的交界面上产生一个空间电荷区,形成一个电场,称为内电场。电场的方向是由正电荷指向负电荷,即由 N 区指向 P 区,如图 1-5 所示。

内电场会产生两个作用:一方面阻碍多数载流子的扩散运动;另一方面促使两个区靠近交界面处的少数载流子越过空间电荷区进入另一侧,称为少数载流子的漂移运动。显然,多数载流子的扩散运动和少数载流子的漂移运动方向是相反的。当扩散运动和漂移运动达到平衡时,空间电荷区的宽度便基本稳定下来。这个空间电荷区便称为 PN 结。PN 结的内电场的电位差约为零点几伏,宽度一般为几微米到几十微米。

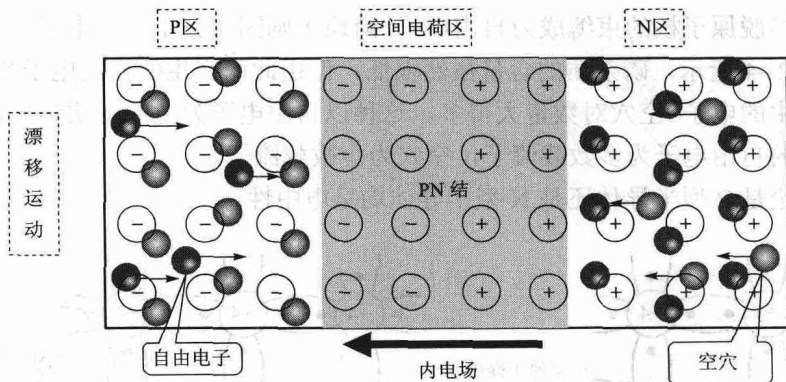


图 1-5 PN 结及其内电场

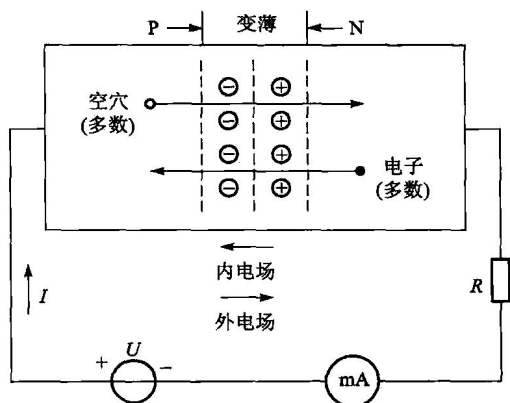


图 1-6 PN 结加正向电压

利于两区多数载流子向对方扩散，形成正向电流，此时PN处于正向导通状态。

(2) PN 结反向偏置

给PN结加以反向偏置电压，即N区接电位高端，P区接电位低端，此时PN结反向偏置（简称反偏），如图1-7所示。

PN结反偏时，外电场与内电场方向一致，因而加强的内电场使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很微弱的电流，称为反向电流。

2. PN 结的单向导电性

在PN结的两端外加电压，称为结PN结的偏置电压。

(1) PN 结正向偏置

给PN结加正向偏置电压，即P区接电位高端、N区接电位低端，此时称PN结为正向偏置（简称正偏），如图1-6所示。

PN结正偏时，外电场与PN结产生的内电场方向相反，削弱了内电场，使PN结变薄，有

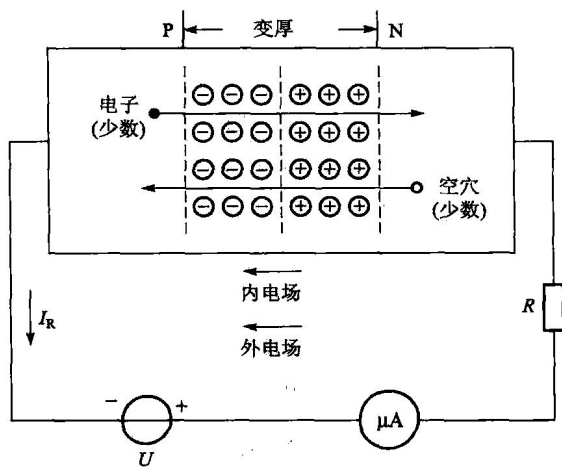


图 1-7 PN 结加反向电压



由于少数载流子浓度很低,所以反向电流很小,一般为微安级,相对于正向电流可以忽略不计。反向电流几乎不随外加电压而变化,故又称为反向饱和电流。此时 PN 结呈现很大的电阻,称为截止。

综上所述,PN 结正偏时导通,呈现很小的电阻,形成较大的正向电流;反偏时截止,呈现很大的电阻,反向电流近似为零。因此,PN 结具有单向导电性。

思考题

- 1.1.1 什么是本征半导体、P 型半导体和 N 型半导体? 它们在导电性能上各有什么特点?
- 1.1.2 什么叫扩散运动? 什么叫漂移运动?
- 1.1.3 PN 结具有什么特点? 简要分析一下 PN 结正偏导电的原理?

1.2 半导体二极管

1.2.1 二极管的结构

1. 结构和符号

半导体二极管的主要构成部分就是一个 PN 结。在一个 PN 结两端接上相应的电极引线,外面用金属(或玻璃、塑料)管壳封装起来,就构成了一个半导体二极管。由 P 区引出来的电极为正极(或阳极),由 N 区引出来的电极为负极(或阴极)。半导体二极管的结构和符号如图 1-8 所示。

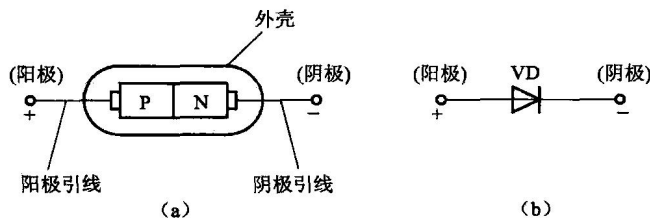


图 1-8 二极管的结构和符号

(a) 结构示意图; (b) 符号

2. 类型

- (1) 按材料分,有硅二极管、锗二极管和砷化镓二极管等。
- (2) 按结构分,根据 PN 结面积大小,有点接触型和面接触型二极管。
- (3) 按用途分,有整流、稳压、开关、发光、光电和变容等二极管。
- (4) 按功率分,有大功率、中功率和小功率等二极管。