

高等学校通用教材

电工电子技术

· 电子部分

DIANCONGDIANZIJIKUJIELEZIBUFEN

聂文滨 张鹤鸣 ◎主 编

危水根 童立君 易 宏 ◎副主编



北京航空航天大学出版社

高等学校通用教材

电工电子技术·电子部分

聂文滨 张鹤鸣 主 编
危水根 童立君 易 宏 副主编

北京航空航天大学出版社

内容简介

全书共8章,内容包括:半导体二极管和三极管、三极管放大电路分析、集成运算放大器、正弦波振荡电路、直流稳压电源、组合逻辑电路、时序逻辑电路和实用电子电路。

本书注重基础性和应用性,理论联系实际,培养学生的实际应用能力。

本教材主要适用于科技学院、高职高专等非电类专业学生,用于普及电子应用基础知识;也可以作为各类本科、大专文科生拓展知识面,加强文理渗透的综合素质课教材。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术·电子部分/聂文滨主编. —北京:
北京航空航天大学出版社,2010.7

ISBN 978-7-5124-0088-7

I. ①电… II. ①聂… III. ①电工技术②电子技术
IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 083799 号

版权所有,侵权必究。

电工电子技术·电子部分

聂文滨 张鹤鸣 主 编

危水根 童立君 易 宏 副主编

责任编辑 金友泉

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317021 传真:(010)82328026

读者信箱:bhpress@263.net 邮购电话:(010)82316936

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787 mm×960 mm 1/16 印张:20.25 字数:454 千字

2010 年 7 月第 1 版 2010 年 7 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 978-7-5124-0088-7 定价:30.00 元

前 言

本书是根据教育部给高等职业教育提出的致力于培养应用型和通用型人才的任务而编写的。书中内容突出了高等职业教育注重实际技术和综合素质培养的特点,培养出视野开阔、动手能力强的通用型和应用型人才。

本书首先介绍半导体二极管和三极管的基础理论,重点对各类基本元器件的外形识别和特性的掌握;然后侧重介绍集成电路芯片在工业生产和日常生活中的实际应用,使学生对当今电子工业界的历史与未来有一个全景式的了解;在宏观上能把握电子技术发展的核心,在微观上能掌握典型电子电路的分析和设计。这样既为有志于从事电子设计的学生学习后续电子专业课程打下坚实基础,也使其他方向发展的学生全面了解并开启当今信息时代技术——电子技术的历史以及典型应用,强化文科与工科之间的渗透,强化非电专业的电子信息化现代化,从而提高自身的综合素质和就业竞争力。

为突出高等职业教育的要求,本书有以下特点:

保证基础性 保证基础理论以够用为度,不过多涉及理论的数学推导,而注重对各种定律定理的特点归纳与总结。

强调与实际电子应用相结合 与实际应用相结合的目的是培养学生分析、解决问题的能力。由此对分立元件电路的介绍有所简化,而重点介绍了中规模集成电路芯片的使用,并用了较大篇幅论述实际应用中常常会碰到的芯片带负载能力和芯片编号的意义。

本书在内容安排上注重:

采用总分总的讲述形式 先介绍普遍适用的规律,再介绍这些规律在不同类型电路中的具体应用;最后,又在前面具体分析而形成的感性认识基础上进行总结。通过演绎思维方式和归纳思维方式的双向互动,加深对知识和技能的掌握。

先讲述单元电路,后讲述复杂电路,从中体现线性电路所具有的整体还原特性。

先一般后特殊,先简单后复杂;循序渐进,利于教学。内容简练、重点突出、层次分明,还特意在每章的开头增加了“本章要点”,有利于学生抓住主要问题,将书读薄。同时,又在每章的各节结束处安排了复习思考题,方便学生对本节的基本概念和重点内容及时进行自我回顾和整理。

参加本书编写的有南昌航空大学聂文滨副教授(第4、6、7、8章),南昌理工学院张鹤鸣副

教授(第2、5章),南昌航空大学危水根副教授(第3章),南昌航空大学童立君老师(第1章),南昌航空大学易宏老师进行了校稿。曾伟同学、黄思琪同学绘制了部分插图。全书由聂文滨副教授负责统稿与定稿。

此外,编者还专门为本书制作了配套的多媒体演示稿件(ppt),免费提供给大家参考与使用。

由于作者水平有限,加之时间比较仓促,误漏之处在所难免,请广大师生和其他读者批评指正。

编 者
2010年3月

目 录

第 1 章 半导体二极管和三极管	1
本章要点	1
1.1 半导体的基础知识	1
1.1.1 本征半导体	1
1.1.2 杂质半导体	3
1.1.3 复习思考题	4
1.2 PN 结	4
1.2.1 PN 结的形成	4
1.2.2 PN 结的单向导电性	5
1.2.3 复习思考题	6
1.3 半导体二极管	7
1.3.1 基本结构	7
1.3.2 伏安特性	7
1.3.3 主要参数	8
1.3.4 主要应用	9
1.3.5 特殊二极管	10
1.3.6 复习思考题	12
1.4 半导体三极管	12
1.4.1 基本结构	12
1.4.2 电流分配与放大原理	13
1.4.3 三极管的特性曲线	15
1.4.4 三极管的主要参数	16
1.4.5 复习思考题	17
1.5 绝缘栅型场效应管	17
1.5.1 N 沟道增强型 MOS 管	18
1.5.2 N 沟道耗尽型 MOS 管	19
1.5.3 P 沟道 MOS 管	20
1.5.4 P 沟道 MOS 管	21
1.5.5 复习思考题	22
习 题	22

第2章 三极管放大电路分析	25
本章要点	25
2.1 三极管放大电路基本概念	25
2.1.1 放大作用的本质与对电路要求	25
2.1.2 放大电路的主要技术指标	26
2.1.3 三极管在放大电路中的三种组态形式	27
2.1.4 复习思考题	27
2.2 共发射极放大电路分析	28
2.2.1 共发射极基本放大电路的组成	28
2.2.2 放大电路的直流通路(静态)分析	29
2.2.3 放大电路的动态分析	31
2.2.4 复习思考题	37
2.3 影响放大质量的几个因素	38
2.3.1 非线性失真	38
2.3.2 静态工作点的稳定电路	39
2.3.3 放大电路的频率特性与频率失真	40
2.3.4 复习思考题	42
2.4 共集电极电路	42
2.4.1 电路接法特点	42
2.4.2 静态分析	42
2.4.3 动态分析	42
2.4.4 共集电极电路的主要用途	45
2.4.5 复习思考题	45
2.5 功率放大电路	45
2.5.1 功率放大器的特点与要求	45
2.5.2 功放电路的分类和选择	46
2.5.3 互补对称功率放大电路	47
2.5.4 集成功率放大器	51
2.5.5 复习思考题	54
2.6 多级放大电路	54
2.6.1 多级放大电路的基本概念	55
2.6.2 多级放大电路的分析方法	56
2.6.3 复习思考题	57
2.7 差动放大电路	57

2.7.1 差动放大器抑制零点漂移原理	57
2.7.2 长尾式差动放大器电路分析	58
2.7.3 复习思考题	60
习 题	61
第3章 集成运算放大器	68
本章要点	68
3.1 集成运算放大器简介	68
3.1.1 集成运放的组成	68
3.1.2 集成运放的主要参数	69
3.1.3 集成运放的电压传输特性	70
3.1.4 理想运放的特点	70
3.1.5 复习思考题	71
3.2 负反馈放大器	71
3.2.1 反馈的基本概念	71
3.2.2 反馈放大器的类型及其判别	72
3.2.3 负反馈对放大器性能的影响	77
3.2.4 复习思考题	80
3.3 集成运算放大器的应用	80
3.3.1 基本运算电路	80
3.3.2 电压比较器	85
3.3.3 集成运放的应用实例	86
习 题	86
第4章 正弦波振荡电路	90
本章要点	90
4.1 工作原理	90
4.1.1 自激振荡	90
4.1.2 自激振荡的条件	92
4.1.3 复习思考题	93
4.2 RC 正弦波振荡电路	93
4.2.1 RC 串并联振荡电路	93
4.2.2 RC 移相式振荡电路	95
4.2.3 复习思考题	96
4.3 LC 正弦波振荡电路	97

4.3.1	变压器反馈式 LC 正弦波振荡电路	97
4.3.2	三点式 LC 正弦波振荡电路	99
4.3.3	复习思考题	101
4.4	石英晶体正弦波振荡电路	101
4.4.1	石英晶体	101
4.4.2	振荡电路	103
4.4.3	复习思考题	104
习 题		104
第 5 章	直流稳压电源	106
本章要点		106
5.1	整流电路	107
5.1.1	单相桥式整流电路	107
5.1.2	三相整流电路	108
5.1.3	复习思考题	112
5.2	滤波电路	112
5.2.1	电容滤波电路	112
5.2.2	电感滤波电路	114
5.2.3	复式滤波电路	115
5.2.4	复习思考题	117
5.3	稳压电路	117
5.3.1	稳压管稳压电路	118
5.3.2	串联型稳压电路	119
5.3.3	三端集成稳压器	121
5.3.4	开关型直流稳压电路	127
5.3.5	复习思考题	130
习 题		131
第 6 章	组合逻辑电路	136
本章要点		136
6.1	从模拟电路到数字电路	136
6.1.1	模拟信号与模拟电路	136
6.1.2	数字信号与数字电路	137
6.1.3	模拟电路与数字电路的比较	138
6.1.4	复习思考题	139

6.2 数制与码制	139
6.2.1 常用数制	139
6.2.2 数制的转换	141
6.2.3 常用码制	143
6.2.4 二进制码的传送	146
6.2.5 复习思考题	146
6.3 逻辑代数	146
6.3.1 逻辑函数的表示方法	147
6.3.2 基本逻辑运算关系	147
6.3.3 复合逻辑运算关系	150
6.3.4 逻辑代数的基本公式	153
6.3.5 逻辑代数的基本定理	155
6.3.6 卡诺图化简法	155
6.3.7 复习思考题	158
6.4 门电路	159
6.4.1 晶体管的开关电路	159
6.4.2 分立元件门电路	162
6.4.3 集成门电路	165
6.4.4 集成门电路芯片的正确使用	174
6.4.5 复习思考题	177
6.5 组合逻辑电路的分析和设计	177
6.5.1 分析和设计的基本步骤	178
6.5.2 常用的组合逻辑电路芯片	181
6.5.3 复习思考题	208
习 题	208
第7章 时序逻辑电路	212
本章要点	212
7.1 双稳态触发器	212
7.1.1 基本 RS 触发器	213
7.1.2 可控 RS 触发器	216
7.1.3 主从 JK 触发器	218
7.1.4 D 触发器	223
7.1.5 T 触发器和 T' 触发器	227
7.1.6 触发器的转换	228

7.1.7 复习思考题	230
7.2 时序逻辑电路的分析与设计	230
7.2.1 寄存器	231
7.2.2 计数器	239
7.2.3 复习思考题	252
7.3 单稳态触发器和无稳态触发器	252
7.3.1 555 定时器	253
7.3.2 555 定时器搭建的单稳态触发器	255
7.3.3 555 定时器搭建的无稳态触发器	258
7.3.4 复习思考题	260
7.4 存储器	260
7.4.1 概 述	261
7.4.2 随机存取存储器 RAM	262
7.4.3 只读存储器 ROM	265
7.4.4 复习思考题	267
习 题	267
第 8 章 实用电子电路	275
本章要点	275
8.1 嵌入式电子测控系统	275
8.1.1 模数转换器 ADC	276
8.1.2 数模转换器 DAC	281
8.1.3 复习思考题	284
8.2 模拟电路的典型应用	284
8.2.1 供电电路	284
8.2.2 信号放大电路	288
8.2.3 振荡信号发生电路	292
8.2.4 控制电路	297
8.2.5 复习思考题	301
8.3 数字电路的典型应用	301
8.3.1 测量控制电路	302
8.3.2 振荡信号发生电路	307
8.3.3 复习思考题	309
习 题	310
参考文献	311

第 1 章 半导体二极管和三极管

本章要点

- 半导体及 PN 结的特性；
- 二极管的伏安特性及应用；
- 特殊二极管；
- 三极管的伏安特性及应用；
- 场效应管。

电子技术发展到今天这样先进的水平,首先要归功于半导体材料的发现以及半导体制造工艺的日益完备。无论是制造单个的半导体器件,还是制造大规模集成电路,都需要用半导体材料作为芯片。

半导体器件是近代电子学的重要组成部分,是组成各种电子电路的基础。本章从讨论半导体的基础知识出发,主要介绍二极管、三极管及场效应管的基本结构、工作原理、特性和主要参数等。

1.1 半导体的基础知识

导电能力介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体。如锗、硅、砷化镓和一些硫化物、氧化物等都是半导体。

很多半导体的导电能力在不同条件下会有很大的差别。例如：

(1) 有些半导体对温度和光的反应特别灵敏,当温度升高或有光照时,它的导电能力会显著增加。利用这种特性可以制成半导体热敏元件或光敏元件。

(2) 特别是,如果在纯净的半导体中掺入适量的微量杂质后,其导电能力就可增加几十倍乃至几百万倍。利用这种特性就制成了各种不同用途的半导体器件,如二极管、三极管、场效应管及晶闸管等。

1.1.1 本征半导体

本征半导体就是完全纯净的、结构完整的半导体晶体。硅和锗是四价元素,如图 1.1 所示,它的原子最外层轨道上有 4 个价电子。半导体的导电性能与价电子密切相关。

原子在其最外层具有 8 个电子时就能处于较为稳定的状态。将硅或锗材料经过高纯度提

炼,去掉杂质形成单晶体后,所有原子便整齐排列,如图 1.2 所示。半导体材料都具有这种晶体结构。

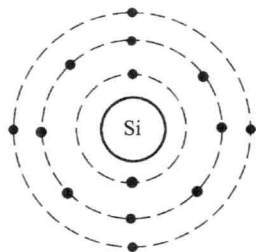


图 1.1 硅原子结构示意图

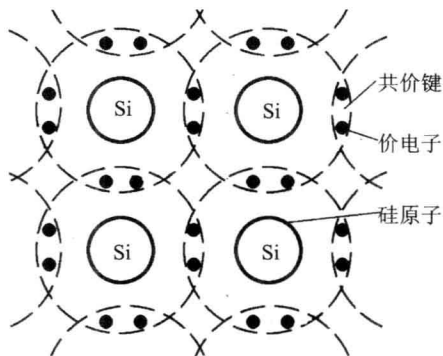


图 1.2 硅单晶中共价键结构示意图

本征半导体硅或锗的晶体结构中,由于原子间的距离很近,价电子不仅受自身原子核的束缚,而且还受相邻原子核的吸引,使得一个价电子为相邻的原子核所共有。这种相邻原子共有一对价电子,靠共有价电子对实现的结构,叫共价键结构。

在热力学温度零度时,价电子没有能力摆脱共价键的束缚,晶体中没有自由电子,半导体就和绝缘体一样,不能导电。但是,半导体共价键中的价电子并不像绝缘体中的电子被束缚得那样紧。在常温(300 K)(摄氏 26.85℃)下,由于热激发,会使少数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,而在共价键中留下一个空位,这个空位叫做空穴。由于空穴的存在,相邻共价键中的价电子很容易填补到空穴中来,因此存在一种价电子填补空穴的运动,如图 1.3 所示。

在外电场的作用下,半导体中有两种形式的电流:自由电子作定向移动所形成的电子电流和仍被原子核束缚的价电子递补空穴所形成的空穴电流。

可见,在本征半导体中存在两种载流子:自由电子和空穴,其极性相反,数量相等;在电场作用下,其运动方向相反,但形成的电流方向相同。

半导体在热或光照等作用下产生电子—空穴对的现象称为本征激发。

在半导体中同时存在电子导电和空穴导电,这是半导体导电的最大特点,也是半导体与金属在导电原理上的本质区别。

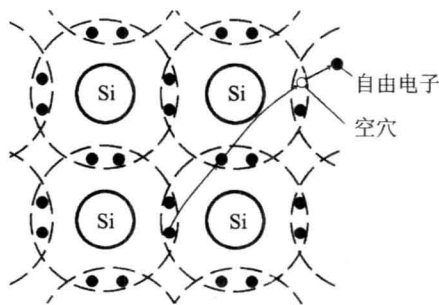


图 1.3 空穴和自由电子的形成

在常温下,本征半导体载流子数目很少,其导电能力很弱。当温度升高或光照时,有更多

共价键中的价电子挣脱束缚,产生电子—空穴对的数目就增多,本征载流子浓度随温度升高按指数关系增加,半导体的导电性能显著增加,这就是半导体的导电性能受温度和光照影响很大的原因,这也是半导体的一个重要特性。

1.1.2 杂质半导体

在本征半导体内掺入微量的其他元素的原子,就会使其导电能力大大提高。这些微量元素的原子称为杂质,常用的杂质为三价和五价元素,如硼、磷等。掺入杂质后形成的半导体称为杂质半导体。根据掺入杂质的不同,杂质半导体有 N 型和 P 型两种。控制掺杂浓度,就可控制载流子浓度,即可控制杂质半导体的导电性能。

1. N 型半导体

在纯净的硅(或锗)晶体中,掺入少量五价元素,如磷、砷等。磷原子的最外层有 5 个价电子。由于掺入的元素数量较少,因此整个晶体结构基本上保持不变,只是某些位置上的硅原子被磷原子替代。磷原子 5 个价电子中的 4 个与硅原子形成共价结构,而多余的一个价电子处共价键之外,很容易挣脱磷原子核的束缚成为自由电子。于是半导体中自由电子的数目明显增加,这种杂质半导体中自由电子浓度大大高于空穴浓度,主要依靠电子导电,故称为电子半导体或 N 型半导体,如图 1.4 所示。自由电子被称为多数载流子(简称多子),空穴被称为少数载流子(简称少子)。

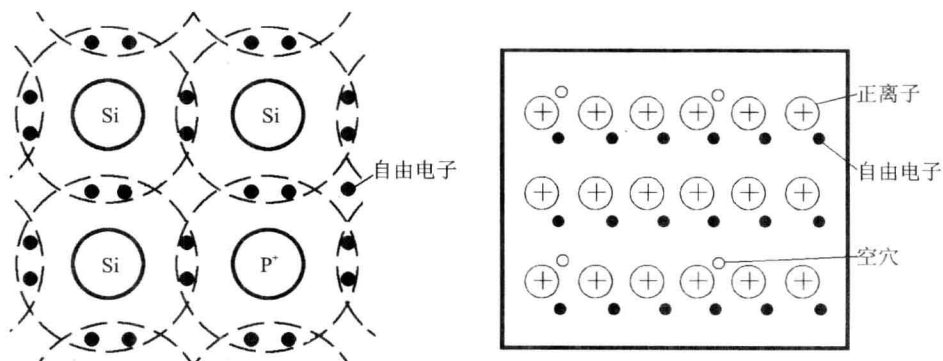


图 1.4 N 型半导体结构示意图

2. P 型半导体

在纯净的硅(或锗)晶体中,掺入少量三价元素,如硼、铝等。硼原子与周围的硅原子形成共价键时,会因缺少一个价电子而在共价键中出现一个空位,这个空位很容易被相邻的价电子填补,而使失去价电子的共价键出现一个空穴。这样在杂质半导体中出现大量空穴。这种杂质半导体中空穴浓度大大高于自由电子浓度,主要依靠空穴导电,故称为空穴半导体或 P 型

半导体,如图 1.5 所示。空穴被称为多数载流子,自由电子被称为少数载流子。

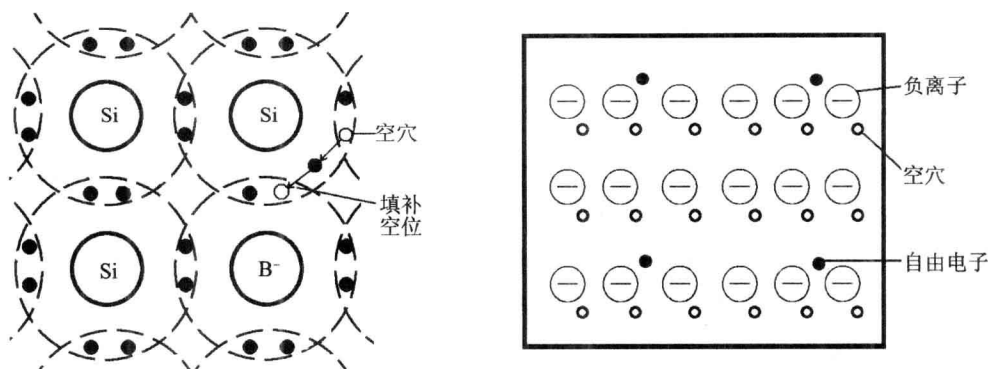


图 1.5 P 型半导体结构示意图

由此可见,在本征半导体中掺入杂质形成杂质半导体后,其导电性能显著增加。由于杂质原子在常温下全部处电离(失去或得到电子而成为正、负离子)状态,所以多子浓度基本上等于杂质原子浓度,与温度无关。少子由本征激发产生,虽然浓度很低,但它对温度非常敏感,直接影响半导体器件的性能。

必须指出的是,不论是 N 型还是 P 型半导体,虽然都是一种载流子占多数,但整个晶体中正负电荷数量相等,呈现电中性。

1.1.3 复习思考题

(1) 电子电流与空穴电流是怎样形成的?

(2) N 型半导体的多数载流子是带负电的自由电子,所以 N 型半导体带负电;P 型半导体的多数载流子是带正电的空穴,所以 P 型半导体带正电。这种说法是否正确?

1.2 PN 结

通常是在一块 N 型(P 型)半导体的局部再掺入浓度较大的三价(五价)杂质,使其变为 P 型(N 型)半导体,那么在两种半导体的交界面附近就形成一个特殊的薄层——PN 结。PN 结是构成各种半导体器件的基础。

1.2.1 PN 结的形成

P 型半导体和 N 型半导体结合在一起时,由于这两种半导体的自由电子浓度和空穴浓度不同,N 型半导体内的多子—自由电子向 P 型半导体内扩散,P 型半导体内的多子—空穴也要向 N 型半导体内扩散,如图 1.6 所示。扩散的结果是在 N 区留下带正电的离子(图中用 $\oplus$ 表

示);而P区留下带负电的离子(图中用 $\ominus$ 表示),在交界面两侧形成一个很薄的空间电荷区,又称为PN结。在这个区域内自由电子和空穴成对复合而消失,或者说它们相互耗尽,没有载流子,因此空间电荷区又可称为耗尽层。

在空间电荷区内,靠N区一侧带正电,靠P区一侧带负电,因此产生一个由N区指向P区的内电场。该内电场一方面阻挡多数载流子的扩散运动,因此空间电荷区又称为阻挡层;另一方面使N区的少数载流子空穴向P区漂移,使P区的少数载流子自由电子向N区漂移。少数载流子在内电场作用下有规则的运动称做漂移运动。

在PN结的形成过程中,刚开始时,以扩散运动为主,随着空间电荷区的加宽和内电场的加强,多数载流子运动逐渐减弱,漂移运动逐渐加强,使空间电荷区变窄。而空间电荷区的变窄,又会对扩散运动产生抑制作用。最终,扩散运动与漂移运动会达到动态平衡。此时,空间电荷区的宽度基本稳定下来,PN结处于动态的稳定状态。空间电荷区虽然带有正负电荷,但在这个区域内不存在自由电子和空穴,因而不能导电,表现出较高的电阻率。

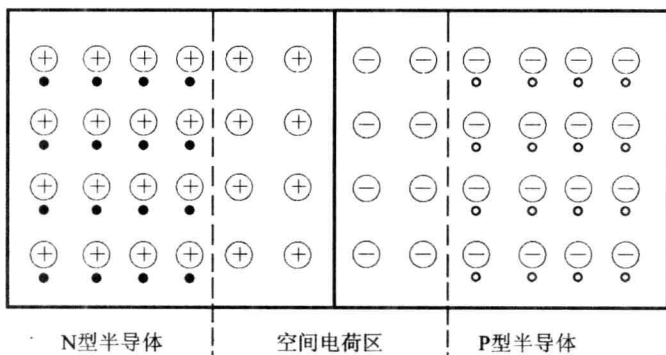


图 1.6 平衡状态下的 PN 结

1.2.2 PN 结的单向导电性

PN 结在没有外界电场作用时,通过 PN 结的净载流子数为零。如果在 PN 结上加电压,必然会破坏原有的动态平衡,使通过 PN 结的电流不为零。

1. PN 结外加正向电压

当 PN 结外加正向电压(简称正偏)时(见图 1.7),即电源的正极接 P 区和负极接 N 区时,外电场与内电场方向相反,削弱了内电场,使空间电荷区变窄,使多数载流子的扩散运动大于少数载流子的漂移运动。P 区的多数载流子空穴和 N 区的多数载流子自由电子在电场的作用下通过 PN 结进入对方,两者形成较大的正向电流。这个电流从电源的正极流入 P 区,经过 PN 结由 N 区流回电源的负极。在一定范围内,所加正向电压越高,正向电流越大。正向电流

达到一定值时,PN 结呈低阻状态,这种情况称为导通。由于 PN 结导通压降只有零点几伏,因此在回路中必须串联电阻 R 以限制回路电流,防止因结电流过大而被损坏。

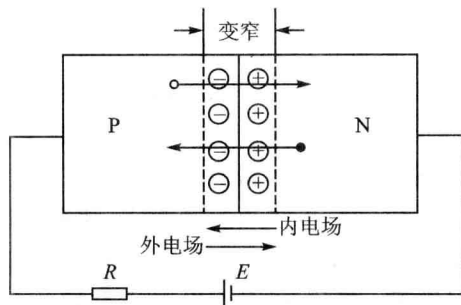


图 1.7 PN 结外加正向电压

2. PN 结外加反向电压

当 PN 结外加反向电压(简称反偏)时(见图 1.8),即电源的正极接 N 区,负极接 P 区时,外电场与内电场方向一致,增强了内电场,使空间电荷区加宽,多数载流子的扩散运动难于进行,但有利于少数载流子的漂移运动。在外电场的作用下,N 区的少数载流子空穴越过 PN 结进入 P 区,P 区的少数载流子自由电子越过 PN 结进入 N 区,形成了漂移电流,这个电流由 N 区流向 P 区,故称为反向电流。由于少数载流子数量很少,因此反向电流很小,PN 结呈高阻状态,这种情况称为截止。由于少数载流子的激发与温度有关,故温度对反向电流影响很大。

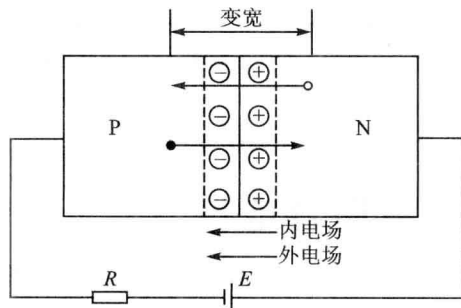


图 1.8 PN 结外加反向电压

综上所述,PN 结加正向电压时处于导通状态,加反向电压时处于截止状态,这就是 PN 结的单向导电性。

1.2.3 复习思考题

(1) PN 结是如何形成的?