

高 职 高 专 教 材

电工电子技术 (电子学)

辜志烽 主编

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术. 电子学 / 辜志烽主编. —北京: 人民邮电出版社, 2006.5
高职高专教材

ISBN 7-115-14348-X

I. 电... II. 辜... III. ①电工技术—高等学校: 技术学校—教材②电子技术—高等学校: 技术学校—教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 024312 号

内 容 提 要

本书是针对普通高职高专院校非电类专业所使用的电工课程教材, 本书系统地介绍了电子技术的基本内容, 重点放在与电子技术有关的基本理论、基本知识和基本技能上, 以及各非电类专业的一般岗位对电子技术的实际需要上。

本书共分为上、下两篇共 13 章。上篇内容为模拟电子技术, 其中第 1 章介绍半导体器件; 第 2 章讲述基本放大电路基础; 第 3 章讲述负反馈放大电路; 第 4 章讲述集成运算放大电路, 第 5 章讲述功率放大电路; 第 6 章讲述正弦振荡电路; 第 7 章讲述直流稳压电源。下篇内容为数字电子技术。第 8 章介绍数字电路基础知识; 第 9 章讲述逻辑门电路; 第 10 章讲述组合逻辑电路; 第 11 章讲述时序逻辑电路; 第 12 章讲述脉冲波形的产生与整形; 第 13 章讲述数/模和模/数转换。在编写上力求通俗易懂、简化数学推导过程、适当增加例题和习题练习, 适当淡化理论, 强调应用。使学生通过学习本课程, 掌握电子技术方面的基本理论和实际应用方法。

本书的特点是系统性强, 内容编排连贯, 突出基本概念、基本原理, 减少不必要的数学推导和计算, 各章均有小结及习题, 可帮助学生加深对相关内容的理解。

本书适用于普通高职高专院校各非电类专业学生学习使用。

高职高专教材

电工电子技术 (电子学)

-
- ◆ 主 编 辜志烽
责任编辑 王晓明
 - ◆ 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>
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 14.5
字数: 343 千字
印数: 1—3 000 册
 - 2006 年 5 月第 1 版
2006 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-14348-X/TN · 2671

定价: 23.00 元

读者服务热线: (010)67129258 印装质量热线: (010)67129223

前 言

为满足全国高职院校非电类专业的教学要求,加快我国应用型人才培养的步伐,人民邮电出版社与天津通信学会高等教育委员会和有关高职院校共同策划、出版了这套《电工电子技术》教材。全套书分电工学、电子学两本,本书为电子学教材。

本教材包括模拟电子技术、数字电子技术两部分内容,这两部分内容大体独立,少数内容又有相互交叉渗透,因此,在教材内容编排上基本做到相互衔接、配合、和谐、统一,以有利于教学的需要,从而体现出适用性。

为把学生培养成为具有一定电子技术知识和能力的高等技术人才,本教材的内容在保证必要的基本概念和基本知识基础上,以定性分析和定量估算为主,突出实用、注重实践,注意培养学生分析问题和解决问题的能力。例如:在学习电子元器件知识的同时,结合器件性能,介绍一些实用的测试或判别方法,并结合一些电路实例,进一步培养学生的综合应用能力。

本教材在每章后面都编写了一些经过认真筛选的习题,以便使学生系统地掌握所学的基础理论知识。

教材中有些内容是在教学基本要求的基础上加深(或加宽)的内容,可根据专业需要和学时数的多少选择使用。

本教材是高职高专院校机电类、非电类相关专业学生必修的专业基础课。通过对本专业的学习,可以掌握必备的电子技术的基本理论、基本分析方法和基本技能,为后续专业课程的学习和今后走上工作岗位打下良好的理论基础

参加本书编写工作的有,模拟电子技术部分:辜志烽(第1、3章)、赵文琴(第2章)、刘艳(第4章)、刘国玲(第5章)、许素玲(第6章)、王晓莉(第7章);数字电子技术部分:魏群(第8、9、10、11章)、翟秀艳(第12、13章)。辜志烽负责全书的统稿工作并担任主编。魏群、赵文琴担任副主编。

南开大学周达明教授、郭君益副教授主审了全书内容。在本书的编写过程中还得到了天津现代职业技术学院王平运副教授的大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,加之时间紧迫,书中难免存在问题或错误,敬请广大师生和读者批评指正。

作 者

2006年1月

目 录

上篇 模拟电子技术

第 1 章 半导体器件	2
1.1 半导体基本知识	2
1.1.1 半导体的导电特性	2
1.1.2 PN 结及其单向导电特性	5
1.2 半导体二极管	7
1.2.1 半导体二极管的结构和类型	7
1.2.2 半导体二极管的伏安特性	8
1.2.3 二极管的参数及电路应用	9
1.2.4 特殊用途的二极管	11
1.3 半导体三极管	12
1.3.1 三极管的结构与符号	12
1.3.2 三极管中的电流分配和放大电路	13
1.3.3 三极管的伏安特性	15
1.3.4 三极管的主要参数极其简易测试	16
1.4 场效应晶体管简介	17
1.4.1 结型场效应管	17
1.4.2 绝缘栅场效应管	18
1.4.3 场效应管使用的注意事项	19
本章小结	19
习题	20
第 2 章 基本放大电路基础	22
2.1 基本放大电路的组成及工作原理	22
2.1.1 放大电路的组成	22
2.1.2 放大电路的工作原理	23
2.2 放大电路分析	24
2.2.1 直流通路和交流通路	24
2.2.2 近似估算静态工作点	25
2.2.3 用微变等效电路法分析动态性能指标	26
2.2.4 图解分析法	28
2.3 工作点稳定的偏置放大电路	32

2.3.1 影响工作点稳定的主要因素	32
2.3.2 射极偏置电路	33
2.4 多级放大电路	35
2.4.1 多级放大电路的级间耦合方式	35
2.4.2 多级放大电路的计算	36
2.5 直流放大电路	38
2.5.1 前级与后级静态工作点的相互影响	38
2.5.2 零点漂移	40
2.5.3 差动放大电路	41
本章小结	47
习题	48
第3章 负反馈放大电路	52
3.1 反馈的基本概念	52
3.1.1 反馈	52
3.1.2 反馈的分类	53
3.1.3 反馈的判断	55
3.2 负反馈的四种基本方式	56
3.2.1 电流串联负反馈	56
3.2.2 电流并联负反馈	57
3.2.3 电压并联负反馈	57
3.2.4 电压串联负反馈	58
3.3 负反馈对放大电路的影响	59
3.3.1 提高放大倍数的稳定性	59
3.3.2 使非线性失真减小	60
3.3.3 改变输入电阻和输出电阻	61
本章小结	62
习题	63
第4章 集成运算放大电路	65
4.1 集成运算放大器的结构与性能特点	65
4.1.1 集成运算放大器的结构	65
4.1.2 集成运算放大器的性能特点	66
4.2 差分放大电路	67
4.2.1 直接耦合方式	67
4.2.2 差分放大电路	68
4.3 反相放大器 and 同相放大器	72
4.3.1 反相放大器	73
4.3.2 同相放大器	73

4.4 集成运算放大器的使用	74
4.4.1 集成运算放大器的封装结构	74
4.4.2 集成运算放大器的主要参数	75
4.4.3 集成运算放大器的使用和保护	77
本章小结	78
习题	79
第5章 功率放大电路	81
5.1 功率放大电路的基本概念	81
5.1.1 功率放大电路的特点和要求	81
5.1.2 功率放大电路的分类	82
5.2 功率放大电路	83
5.2.1 乙类互补功率放大电路	83
5.2.2 甲乙类互补功率放大电路	85
5.2.3 复合互补对称放大电路	86
5.2.4 集成功率放大电路	87
本章小结	88
习题	89
第6章 正弦振荡电路	91
6.1 正弦振荡电路的基本知识	91
6.1.1 自激振荡的条件	91
6.1.2 正弦振荡电路的组成	92
6.2 LC 正弦波振荡电路	92
6.2.1 变压器反馈式振荡电路	92
6.2.2 三点式振荡电路	94
6.3 石英晶体正弦振荡电路简介	97
本章小结	99
习题	100
第7章 直流稳压电源	101
7.1 整流电路	101
7.1.1 单相半波整流电路	101
7.1.2 单相全波整流电路	103
7.2 滤波电路	106
7.2.1 电容滤波电路	107
7.2.2 电感滤波电路	108
7.2.3 复式滤波电路	109
7.3 稳压电路	109

7.3.1 硅稳压管稳压电路	110
7.3.2 串联型稳压电路	111
7.3.3 集成稳压电路	113
本章小结	116
习题	117

下篇 数字电子技术

第 8 章 数字电路基础知识	122
8.1 数值与编码	122
8.1.1 数制及数制转换	122
8.1.2 编码	124
8.2 逻辑代数	125
8.2.1 逻辑代数及基本运算	125
8.2.2 逻辑函数的公式化简法	128
8.2.3 逻辑函数的卡诺图化简法	131
本章小结	136
习题	136
第 9 章 逻辑门电路	138
9.1 半导体器件的开关特性	138
9.1.1 二极管的开关特性	138
9.1.2 三极管的开关特性	139
9.2 基本逻辑门电路	140
9.2.1 分立元件构成的门电路	141
9.2.2 复合逻辑门电路	143
9.3 集成门电路	144
9.3.1 TTL 集成门电路	144
9.3.2 CMOS 集成门电路	147
9.3.3 TTL 和 CMOS 集成电路使用注意事项	149
本章小结	150
习题	150
第 10 章 组合逻辑电路	153
10.1 组合逻辑电路的分析与设计	153
10.1.1 组合逻辑电路的分析	153
10.1.2 组合逻辑电路的设计	154
10.2 常用组合逻辑电路	156
10.2.1 加法器与数值比较器	156

10.2.2	编码器与译码器	161
10.2.3	数据选择器和数据分配器	167
10.3	组合逻辑电路中的竞争冒险	170
10.3.1	竞争冒险的概念及产生的原因	170
10.3.2	竞争冒险的识别及消除方法	170
本章小结		171
习题		171
第 11 章	时序逻辑电路	174
11.1	触发器	174
11.1.1	基本 RS 触发器	174
11.1.2	时钟触发器	176
11.1.3	主从触发器	179
11.1.4	维持阻塞 D 触发器	182
11.1.5	边沿 JK 触发器	183
11.1.6	触发器间的相互转换	184
11.2	计数器	185
11.2.1	异步计数器	185
11.2.2	同步计数器	189
11.3	寄存器	191
11.3.1	基本寄存器	191
11.3.2	移位寄存器	192
本章小结		193
习题		194
第 12 章	脉冲波形的产生与整形	197
12.1	多谐振荡器	197
12.1.1	与非门多谐振荡器	197
12.1.2	环形多谐振荡器	198
12.1.3	石英晶体多谐振荡器	199
12.2	单稳态触发器	200
12.2.1	微分型单稳态触发器	200
12.2.2	集成单稳态触发器	201
12.2.3	集成单稳态触发器的应用	203
12.3	施密特触发器	203
12.3.1	与非门组成的施密特触发器	204
12.3.2	集成施密特触发器	205
12.3.3	集成施密特触发器的应用	205
12.4	555 定时器	206

12.4.1	电路组成	206
12.4.2	工作原理	207
12.4.3	555 定时器的应用	208
本章小结		210
习题		210
第 13 章 数/模和模/数转换		212
13.1	数/模转换器 DAC	212
13.1.1	T 型电阻网络 DAC	212
13.1.2	倒 T 型电阻网络 DAC	214
13.2	模/数转换器 ADC	215
13.2.1	模/数转换的基本原理	215
13.2.2	并行比较型 ADC	216
13.2.3	逐位比较型 ADC	218
本章小结		218
习题		218

上 篇

模拟电子技术

第 1 章 半导体器件

1.1 半导体基本知识

1.1.1 半导体的导电特性

1. 半导体的一般概念

在自然界中，存在着很多不同的物质，用其导电能力来衡量，可以分为三类：一类是导电能力较强的物质叫导体，其电阻率 $\rho < 10^{-4} \Omega \cdot \text{m}$ 。金属一般都是导体，如银、铜、铝等。另一类是几乎不能导电的物质叫绝缘体，其电阻率为 $\rho > 10^{10} \Omega \cdot \text{m}$ ，如橡皮、塑料、陶瓷等。此外，还有一些物质，它们的导电能力介于导体和绝缘体之间，我们称它们为半导体，如锗、硅、硒、砷化镓及一些金属的氧化物或硫化物。

那么为什么物质有这种导电能力上的差别呢？根本原因在于不同物质其内部特性不同。物质内部运载电荷的粒子——载流子的多少是决定物质导电能力的一个重要因素。

我们知道，物质由分子组成，分子由原子组成。原子由一个带正电的原子核和若干个带负电的电子组成。电子分层排列，内层电子受原子核的引力较大，最外层的电子受原子核的引力较小，称为价电子。所有电子围绕原子核作不停的旋转运动，好像宇宙中行星围绕太阳运转一样。

在金属导体中，原子核对价电子的束缚很弱，有大量的价电子能挣脱原子核的束缚成为自由电子。它们在外电场的作用下，作定向运动，形成电流。所以金属的导电性能良好。在金属导体内，仅有一种载流子，即自由电子。必须注意，电流的方向与自由电子的运动方向相反。

在绝缘体中，原子核对价电子束缚很强，价电子不容易挣脱原子核的束缚成为自由电子，因而绝缘体的导电性能很差。

在半导体中，原子结构比较特殊，原子核对价电子的束缚比导体强，比绝缘体弱。因此，半导体既非良导体，又非绝缘体。那么，半导体为什么会引起人们很大兴趣呢？原因并不在于它的导电能力介于导体和绝缘体之间，而在于它具有独特的性质。

2. 半导体的特点

(1) 半导体的导电能力随温度升高而迅速增强。与金属导体相比，主要有两个区别：第一，半导体电阻率的温度系数是负的，而金属是正的，即当温度升高时，半导体的电阻率会迅速减小，而金属的电阻率却会增大。第二，半导体电阻率随温度的变化很大，而金属的电阻率变化则要小得多。例如，纯净的硅，温度每升高 10°C ，电阻率约减少一半，而金属铜，即便温度上升 100°C ，电阻率的增加还不到一半。

(2) 半导体的导电能力随所含的微量杂质而发生显著变化。例如, 纯净的硅在室温下的电阻率为 $2.14 \times 10^4 \Omega \cdot \text{m}$, 如果在硅中掺入百万分之一的杂质原子 (例如磷原子), 其电阻率将下降到 $0.2 \Omega \cdot \text{m}$, 几乎只有原来的万分之一。

(3) 半导体的导电能力随光照而发生显著变化。例如, 一个沉积的绝缘基板上的硫化镉薄膜其电阻率为几十兆欧。当光照后, 电阻率可下降到只有几十千欧, 只有原来的几百分之一。实际上, 硫化镉薄膜就是一个光敏电阻。此外, 半导体的导电能力还随电场、磁场的作用而改变。

为了说明上述特性, 这就需要我们深入到半导体的内部去了解它的特性结构以及导电原理。

3. 本征半导体和杂质半导体

(1) 本征半导体

不含杂质且具有完美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, 即在其原子结构模型的最外层轨道上各有四个价电子, 下面以硅晶体为例来说明半导体的导电特性。

在相邻的两个原子的一对最外层电子成为共用电子, 这样的组合称为共价键结构。本征半导体在温度 $T = 0\text{K}$ (热力学温度零度) 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, 这个过程称为激发。显然自由电子是本征半导体中可以参与导电的一种带电粒子, 叫作载流子。

价电子脱离共价键成为自由电子后, 在原来的位置上就留下一个空位成为空穴。由于失去价电子 (即空穴) 的原子带正电, 它将吸引邻近原子的价电子来填补这个空穴, 因而邻近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所填补, 又产生一个新的空穴, 如此下去, 就好像是带正电的空穴在一步步移动。实际上空穴是不动的, 移动的只是价电子, 于是空穴就被看作带正电的载流子, 所带电量与电子相等, 但符号相反。空穴运动相当于正电荷的运动。在没有外电场作用时, 自由电子和空穴的运动都是无规则的, 半导体中并不产生电流。

但有外电场作用时, 带负电的自由电子将逆着电场方向进行定向运动, 形成电子电流; 带正电的空穴则顺着电场方向进行定向运动 (实际上是共价键中的价电子在运动), 形成空穴电流。两部分电流方向相同, 总电流为电子电流与空穴电流之和。由此可见, 半导体中具有自由电子和空穴两种载流子, 因而存在电子导电和空穴导电两种方式, 这是半导体导电方式的最大特点, 也是在导电原理上和金属导电方式的本质区别。半导体中载流子数量的多少是衡量其导电能力的主要标志。当然由于自由电子和空穴总是成对产生的 (称为自由电子—空穴对), 因而本征半导体仍是中性的。

半导体的导电能力的大小决定于载流子数目的多少, 而载流子的数目有与温度、光照程度和掺入杂质浓度有关, 因此半导体的导电能力受温度、光照和掺入杂质等的影响。在本征半导体中, 受激后自由电子和空穴总是成对产生的。同时, 自由电子在运动中如果和空穴相

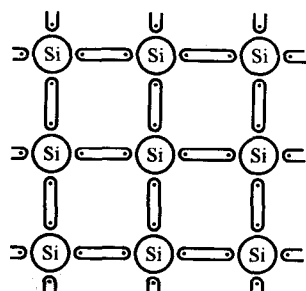


图 1-1 所示为硅晶体结构示意图

遇，可以放出多余的能量而填补这个空穴，二者同时消失，这种现象称为复合。在一定温度下，激发和复合达到动态平衡，于是半导体中的载流子便维持一定的数目。在温度接近热力学温度零度 ($T=0\text{K}$ 即 -273.15°C) 时，不能产生电子—空穴对，半导体不能导电。在室温 (25°C) 时，只有极少量的价电子挣脱共价键的束缚，产生的电子—空穴对数量很少，因此导电能力很低。当温度升高或受光照时，有更多的共价键中的价电子挣脱束缚产生的电子—空穴对的数量就多，半导体的导电能力便显著增强，这就是半导体的导电性具有热敏性和光电性的原因。下面重点讨论掺入杂质对半导体导电能力的影响。

(2) 杂质半导体

人们在纯净的半导体中掺入微量杂质元素，使半导体的导电性能大大增强，这种半导体称为杂质半导体。根据掺入杂质性质的不同，杂质半导体可分为 P 型半导体（空穴型半导体）和 N 型半导体（电子型半导体）两大类。

① P 型半导体

在硅（或锗）晶体内掺入微量的三价元素硼（B）或铟（In）、铝（Al），就会多出许多空穴。这是因为硅原子有四个价电子，而硼原子只有三个价电子，它与周围硅原子相联系时缺少一个价电子就形成一个空位，附近共价键中的电子很容易来填补，如图 1-2 所示。硼原子获得了一个价电子后成为不能移动的正离子，同时产生一个空穴，但在产生空穴的同时，并不会产生新的自由电子，这与纯净的半导体不同。在这类半导体中，每个硼原子能提供一个空穴。因而空穴数目显著增多。当然由于热激发，原来硅晶体本身会产生少量的电子—空穴对，有少数自由电子，但空穴的浓度比自由电子的浓度大得多，这类半导体主要靠空穴导电，叫 P 型半导体。在 P 型半导体中，空穴是多数载流子，自由电子是少数载流子，同时还有不能移动的正离子，如图 1-2 所示。在外电场作用下，P 型半导体中电流主要是空穴电流。

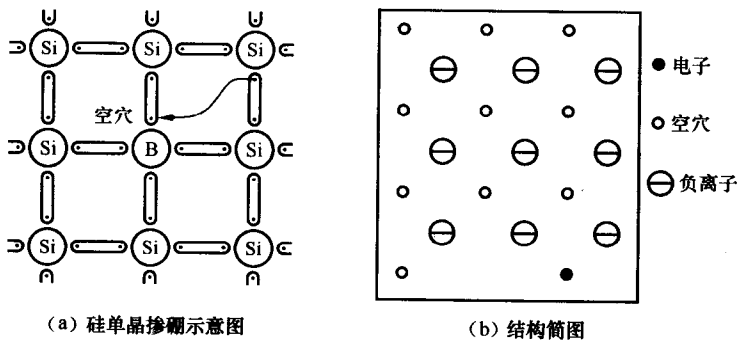


图 1-2 P 型半导体结构示意图

② N 型半导体

在硅（或锗）晶体内掺入微量的五价元素磷（P）或锑（Sb）、砷（As），就会多出许多电子来导电。这是因为磷原子有五个价电子，除其中四个价电子与硅原子相联系外，尚多出一个价电子，这个价电子受磷原子的束缚很弱，很容易成为自由电子，如图 1-3 所示。磷原子失去一个价电子后成为不能移动的正离子，但在产生自由电子的同时，也不会产生新的空穴。在这类半导体中每个磷原子能提供一个自由电子，因而自由电子的数目显著增多。同样由于热激发，硅原子本身会产生少量的电子—空穴对，有少数空穴，但自由电子的浓度比空

穴的浓度大得多,这类半导体主要靠电子导电,叫N型半导体。在N型半导体中,自由电子是多数载流子,空穴是少数载流子。

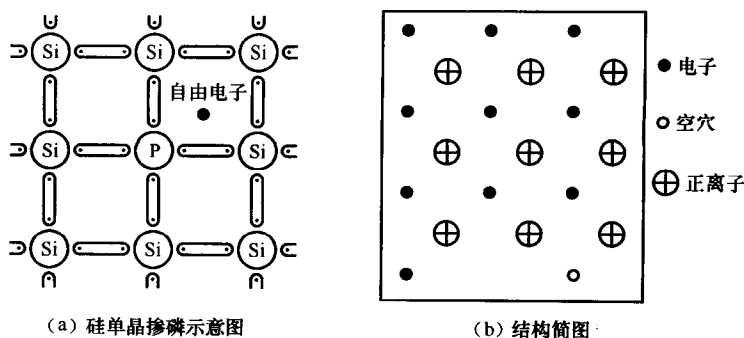


图 1-3 N 型半导体结构示意图

1.1.2 PN 结及其单向导电特性

1. PN 结的形成

PN 结的形成与载流子的扩散运动和漂移运动有着密切联系。所谓扩散运动,是指由浓度高的地方自发地向周围浓度低的地方运动。自然界中存在着许多扩散现象。例如,我们能嗅到各种气味,就是气体微粒扩散的结果。在半导体中,空穴和电子是能运动的粒子,在一定条件下,也会产生扩散。所谓漂移运动,是指载流子在电场力作用下发生的定向运动。

(1) 多数载流子的扩散运动

我们知道,P型半导体空穴浓度高,电子浓度低,而N型半导体电子浓度高,空穴浓度低。当P型和N型半导体结合后,在它们交界处,空穴要从浓度高的P区向浓度低的N区扩散;由于P区的空穴和N区的电子是它们各自的多数载流子,所以这是多数载流子的扩散。如图1-4(a)所示。

由于空穴和电子都是带电的,扩散的结果破坏了P区和N区中原来的电中性状态。在交界处,P区一侧的空穴跑到N区,与N区的电子复合,留下了杂质负离子,形成一个带负电的薄层A;N区一侧的电子跑到P区,与P区的空穴复合,留下了杂质正离子,形成一个带正电的薄层B。这些正、负离子通常称为空间电荷,它们不能自由移动,因此并不参与导电,而是在P区和N区的交界处形成空间电荷区,如图1-4(b)所示。扩散越强,空间电荷区越宽。因为A层带负电,B层带正电,所以在空间电荷区内产生一个电场,这个电场不是外加电压形成的,而是由内部多数载流子扩散形成的,故称为内电场,其方向从B指向A。

(2) 少数载流子的漂移运动

当内电场建成后,载流子在电场中将受到电场力的作用,我们根据电场方向及空穴、电子的带电极性不难看出,P区的多数载流子空穴向N区扩散进入空间电荷区时,将受到电场力作用。同样,N区的多数载流子电子向P区扩散时,也会受到电场力的阻挡。因此,空间电荷区又可看作是一个阻挡层,对两边多数载流子的扩散有阻挡作用。另一方面,这个内电场将使P区的电子向N区漂移,N区的空穴向P区漂移,内电场越强,漂移运动就越强。对

同一种载流子来说, 漂移运动与扩散运动的方向相反, 如图 1-4 (c) 所示。

由于从 P 区漂移到 N 区的电子补充了原来交界面上 N 区电核区失去的电子, 而从 N 区漂移到 P 区的空穴补充了原来交界面上 P 区所失去的空穴, 这就使空间电荷减少。因此, 漂移运动的结果是使空间电荷区变窄, 其作用正好与扩散运动相反。

(3) 动态平衡形成 PN 结

由上面分析可见, 扩散运动和漂移运动是互相联系又互相矛盾的。开始时多数载流子的扩散占优势, 随着扩散的进行, 使空间电荷区加宽, 内电场增强, 少数载流子的漂移增强, 使扩散减弱; 而漂移使空间电核区变窄, 内电场减弱, 却使扩散又容易进行。最后当漂移运动和扩散运动达到动态平衡时, 即扩散越过空间电核区的载流子数量和漂移越过空间电荷区载流子数量相等, 空间电核区宽度内电场强度都不再改变, 呈现很高的电阻率, 此时的空间电核区就是 PN 结。如图 1-4 (d) 所示。由于 PN 结内存着内电场, 因此在 PN 结两边就有电位差, 一般用硅材料制成的 PN 结约为 0.5V, 用锗材料制成的 PN 结约为 0.2V。电位降落的方向和内电场方向相同。

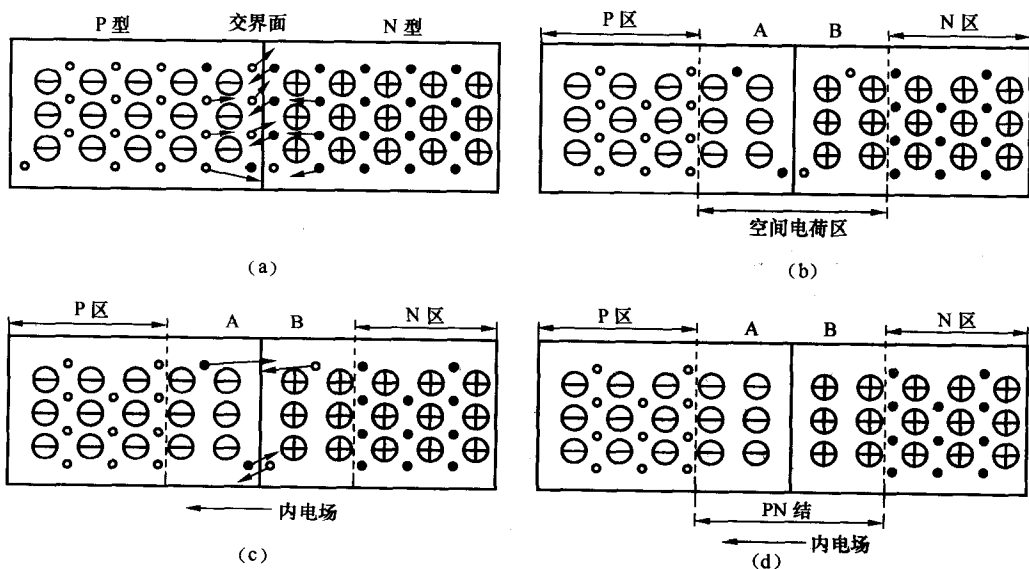


图 1-4 PN 结形成示意图

2. PN 结的单向导电性

在 PN 结两端外加不同极性的电压, 将破坏原来的平和状态, 呈现单向导电特性。

电源的正极接 P 区, 负极接 N 区, 叫作加“正向电压”或“正向偏置”, 如图 1-5 所示。这时外加电场方向与内电场 E_i 方向相反, 外电场将 P 区和 N 区的多数载流子推向 PN 结, 把结内的正负离子中和一部分, 使空间电荷减少, PN 结变窄, 内电场减弱, 从而破坏了原来的平衡状态, 使扩散运动超过漂移运动, 通过 PN 结的电流主要是扩散电流, 它在外电路形成一个流入 P 区的电流 I_F , 称为正向电流。

电源的正极接 N 区, 负极接 P 区, 叫作加“反向电压”或“反向偏置”, 如图 1-6 所示。反偏时, 外加电场 E_R 与内电场的 E_i 方向相同, 外电场将 N 区和 P 区的多数载流子拉向电极方向, 使正、负离子暴露更多, 空间电荷区变宽, 内电场增强。这时漂移运动超过扩散运动,

通过PN结的电流主要是漂移电流，它表现为从外电路流进N区的反向电流 I_R 。反向电流是由少数载流子的漂移运动形成的，当温度不变时，少数载流子的浓度不变，反向电流在一定范围内将不随外加电场 E 的大小而变化，所以常把反向电流称为反向饱和电流，用 I_R 表示。由于少数载流子浓度很低， I_R 近似为零，可以认为PN结方向偏置时截止。

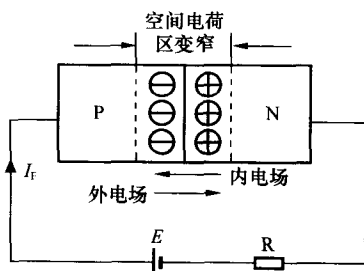


图 1-5 PN 结外加正向电压

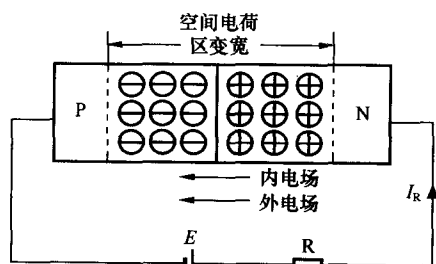


图 1-6 PN 结外加反向电压

综上所述，PN结加正向电压时，呈现较小的正向电阻，形成较大的正向电流，PN结处于导通状态；PN结加反向电压时，呈现很大的反向电阻，流过很小的反向电流，PN结近于截止状态，这种只允许一个方向电流通过的特性称为单向导电性。

1.2 半导体二极管

一个PN结加上相应的引线，然后用塑料、玻璃或铁皮等材料做外壳封装就成为最简单的二极管。

1.2.1 半导体二极管的结构和类型

1. 半导体二极管的结构

图 1-7 为半导体二极管的结构和符号。接在二极管P区的引出线称为二极管的正极，接在N区的引出线称为二极管的负极。如图 1-6 所示，其中箭头方向表示正向电流的方向，正向电流从二极管正极流入，负极流出。

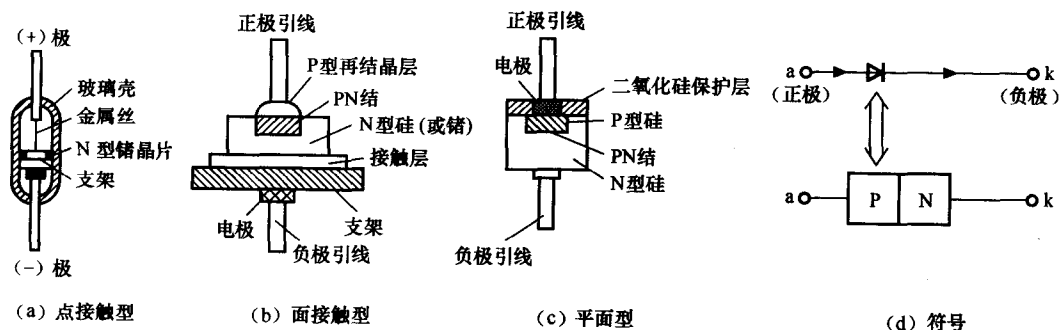


图 1-7 二极管的结构类型及符号

2. 分类

(1) 根据不同的制造工艺, 二极管的内部结构大致分为点接触型、面接触型和平面型三种以适应不同用途的需要。

① 点接触型: PN 结的面积小, 因而不能通过较大的电流, 但结电容小, 可用于高频检波及小电流高速开关电路。

② 面接触型: PN 结的面积大, 故允许通过较大的电流, 但结电容大, 只用于低频及整流电路。

③ 平面型: 用特殊工艺制成, 结面积较大时, 可以通过很大的电流, 用作大功率整流管。结面积较小时, 结电容小, 适用于高频率或高整流开关管及数字电路。

(2) 依据制作材料分类, 二极管主要有锗二极管和硅二极管。

① 锗二极管: 内部多为点接触型, 允许的工作温度较低, 只能在 100°C 以下工作。

② 硅二极管: 内部多为面接触型或平面型, 允许的工作温度较高, 有的高达 $150\sim 200^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 依据用途分类, 电工设备中较常用的二极管有四类:

① 普通二极管: 如 2AP 等系列, 用于设备型号检测、取样、小电流整流等。

② 整流二极管: 如 2CZ、2DZ 等系列, 广泛使用在各种电源设备中做不同功率的整流。

③ 开关二极管: 如 2AK、2CK 等系列, 用于数字电路和控制电路中。

④ 稳压二极管: 如 2CW、2DW 等系列, 用在各种稳压电源和晶闸管电路中。

1.2.2 半导体二极管的伏安特性

既然二极管内部是一个 PN 结, 因此它具有 PN 结的特性, 实际二极管伏安特性如图 1-8 所示。

1. 正向特性

当二极管承受正向电压很低时, 还不足以克服 PN 结内电场对多数载流子运动的阻挡作用, 这一区段二极管正向电流 I_F 很小, 称为死区。通常, 硅材料二极管的死区电压约为 0.5V , 锗材料二极管的死区电压约为 0.2V 。

当正向电压超过死区电压值时, 外电场抵消了内电场, 正向电流 I_F 随外加电压的增加而明显增大, 二极管正向电阻变得很小。当二极管完全导通后, 正向压降基本维持不变, 称为二极管正向导通压降 U_F , 一般硅管 U_F 为 0.7V , 锗管的 U_F 为 0.3V , 以上是二极管的正向特性。

2. 反向特性

当二极管承受反向电压时, 外电场与内电场方向一致, 只有少数载流子的漂移运动, 形成漏电流 I_R 极小, 一般硅管的 I_R 为几微安以下, 锗管 I_R 较大, 几十到几百微安。这种特性称为截止特性。

当反向电压增大到某一数值时, 反向电流将随反向电压增加急剧增大, 这种现象称二极管反向击穿, 击穿时对应的电压称为反向击穿电压。普通二极管发生反向击穿后, 造成二极管永久性损坏, 失去单向导电性。以上是二极管反向特性。

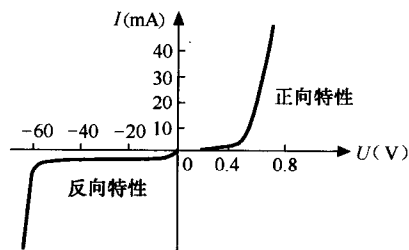


图 1-8 二极管的伏安特性曲线