

DIANZI JISHU JICHU

电子技术基础

司淑梅 主编

电子技术基础

司淑梅 主编

復旦大學出版社

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础/司淑梅主编. —上海:复旦大学出版社,2009.2
ISBN 978-7-309-06484-1

I. 电… II. 司… III. 电子技术-高等学校:技术学校-教材 IV. TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第017421号

电子技术基础

司淑梅 主编

出版发行 复旦大学出版社 上海市国权路579号 邮编 200433
86-21-65642857(门市零售)
86-21-65100562(团体订购) 86-21-65109143(外埠邮购)
fupnet@fudanpress.com http://www.fudanpress.com

责任编辑 梁玲

出品人 贺圣遂

印刷 上海华文印刷厂

开本 787×1092 1/16

印张 17.5

字数 448千

版次 2009年2月第一版第一次印刷

书号 ISBN 978-7-309-06484-1/T·334

定价 29.00元

如有印装质量问题,请向复旦大学出版社发行部调换。

版权所有 侵权必究

内 容 提 要

本书充分考虑高职教育培养应用型人才的实际需要,一改以往教材的编写模式,按照循序渐进、理论联系实际的原则编写,充分利用实际、实用的电路进行实训,既激发学生的兴趣,又能加深对理论的理解,同时还能提高学生的动手能力。

全书由半导体元件、放大电路基础、负反馈电路与基本运算电路、信号产生电路、直流稳压电源、逻辑代数基础、基本逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲波形的产生与整形、数模与模数转换等 12 章组成。

根据高职高专培养目标的要求以及现代科学技术发展的需要,本书以现代电子技术的基本知识、基本理论为主线,使电子技术的基本理论与各种新技术有机地结合在一起。本书以应用为目的,注重理论联系实际,力求在内容、结构、理论教学与实践教学的衔接方面充分体现高职教育的特点。首先从实际应用出发,用通俗、易懂的语言阐述相关概念和方法,然后用实训项目来加深理解。在内容安排上,将理论知识的讲授、作业与技能训练有机地融为一体。每章都有习题和技能训练,可边讲边练,以充分调动学生学习本课程的主动性和积极性。

本书可作为高职高专电子信息、通信、自动控制等相关专业的电子技术理论课教材,也适合自学和从事电子工作的工程技术人员参考。

前 言

本书充分考虑高职教育培养应用型人才的实际需要,一改以往教材编写模式,按照循序渐进、理论联系实际的原则编写,充分利用实际、实用的电路进行实训,既激发学生的兴趣,又能加深对理论的理解,同时还能提高学生的动手能力。本书可作为高职高专电子信息、通信、自动控制等相关专业的电子技术理论课教材,也适合自学和从事电工电子工作的工程技术人员参考。

根据高职高专培养目标的要求以及现代科学技术发展的需要,本书以现代电子技术的基本知识、基本理论为主线,使电子技术的基本理论与各种新技术有机地结合在一起。本书以应用为目的,注重理论联系实际,力求在内容、结构、理论教学与实践教学的衔接方面充分体现高职教育的特点。首先从实际应用出发,用通俗、易懂的语言阐述相关概念和方法,然后用实训项目来加深理解。在内容安排上,将理论知识的讲授、作业与技能的训练有机地结合融为一体。每章都有习题和技能训练,可边讲边练,以充分调动学生学习本课程的主动性和积极性。

本书共 12 章,前 5 章为模拟电子技术部分。第 1 章为半导体元件,第 2 章为放大电路基础,第 3 章为负反馈电路与基本运算电路,第 4 章为信号产生电路,第 5 章为直流稳压电源。这 5 章都为模拟电子技术的基础章节,是学生必须要掌握的章节。通过这一部分的学习,使学生掌握模拟电子技术的基本概念、基本理论、基本的分析方法及电子电路的实际应用。学生还应该能够对模拟电子技术的基本电路有了掌握,能进行简单电路的调试及检测,能设计出简单的模拟电子电路并进行调试。后 7 章为数字电子技术部分。第 6 章为逻辑代数基础,第 7 章为基本逻辑门电路,第 8 章为组合逻辑电路,第 9 章为触发器,第 10 章为时序逻辑电路,第 11 章为脉冲波形的产生与整形,最后一章为数模和模数转换。其中第 6 章到第 11 章为基础章节,第 12 章可以根据学时的多少自行安排。通过这 7 章的学习,学生可以掌握基本的数字电子知识,应该能够自己设计一些简单、实用的小制作。

由于时间仓促,加之水平有限,书中错漏和不妥之处在所难免,敬请读者予以批评指正,以便今后不断改进。

编 者
2008 年 11 月

目 录

第1章 半导体元件	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	2
1.1.3 PN结	3
1.2 二极管及其特性	4
1.2.1 二极管的结构和类型	4
1.2.2 二极管的伏安特性	5
1.2.3 二极管电路分析举例	6
1.2.4 半导体二极管的主要参数	8
1.3 特殊二极管	8
1.3.1 稳压二极管	8
1.3.2 光电二极管	10
1.4 双极型半导体三极管	11
1.4.1 三极管的结构和类型	11
1.4.2 三极管的电流放大作用	12
1.4.3 三极管的特性曲线	13
1.4.4 温度对三极管特性的影响	15
1.4.5 三极管的主要参数	15
1.5 单极型三极管	17
1.5.1 MOS型场效应管	17
1.5.2 结型场效应管	20
1.5.3 场效应管的主要参数及使用注意事项	22
本章小结	23
习题	23
技能训练	25
第2章 放大电路基础	28
2.1 放大电路的基本知识	28
2.1.1 放大电路的组成	28
2.1.2 放大电路的性能指标	29
2.1.3 放大电路的工作原理	30

2.2 三种基本组态放大电路	31
2.2.1 固定偏置式共射极放大电路	31
2.2.2 分压偏置式共射放大电路	37
2.2.3 共集电极电路	39
2.2.4 共基极电路	41
2.2.5 场效应管放大电路	42
2.3 差分放大电路	45
2.3.1 差分放大电路的工作原理	45
2.3.2 具有电流源的差分放大电路	48
2.3.3 差分放大电路的输入、输出方式	49
2.4 互补功率放大电路	50
2.4.1 乙类互补对称功率放大电路	51
2.4.2 甲乙类互补对称功率放大电路	53
2.5 多级放大电路	56
2.5.1 多级放大电路的组成	56
2.5.2 多级放大电路性能指标的估算	57
2.5.3 集成运算放大器的简介	58
本章小结	60
习题	61
技能训练	63
第3章 负反馈电路与基本运算电路	65
3.1 负反馈放大电路的组成及基本类型	65
3.1.1 反馈的基本概念	65
3.1.2 反馈的类型及判别	66
3.2 负反馈对放大电路的影响	70
3.2.1 提高放大倍数的稳定性	70
3.2.2 减小失真和拓展通频带	70
3.2.3 对输入电阻的影响	71
3.2.4 对输出电阻的影响	71
3.3 负反馈电路的估算及基本运算电路	71
3.3.1 放大电路引入负反馈的原则	71
3.3.2 深度负反馈放大电路放大倍数的估算	72
3.3.3 比例运算电路	73
3.3.4 加法、减法电路	75
3.3.5 微、积分电路	76
3.3.6 基本运算电路的应用举例	77
3.3.7 负反馈放大电路的稳定性	79
本章小结	80
习题	81

技能训练	85
第4章 信号产生电路	86
4.1 正弦波振荡电路	86
4.1.1 正弦波振荡电路的工作原理	86
4.1.2 RC 正弦波振荡电路	87
4.1.3 LC 振荡电路	90
4.1.4 石英晶体振荡电路	94
4.2 非正弦信号发生器	95
4.2.1 电压比较器	95
4.2.2 矩形波发生器	98
4.2.3 三角波发生器	99
4.2.4 锯齿波发生器	100
4.2.5 8038 集成函数发生器	100
本章小结	102
习题	103
技能训练	105
第5章 直流稳压电源	106
5.1 单相整流滤波电路	106
5.1.1 单相整流电路	106
5.1.2 滤波电路	108
5.2 线性集成稳压器	111
5.2.1 串联型稳压电路	111
5.2.2 三端固定电压式集成稳压器	112
5.2.3 三端可调输出集成稳压器	114
5.3 开关集成稳压电源	114
本章小结	116
习题	116
技能训练	117
第6章 逻辑代数基础	120
6.1 概述	120
6.1.1 信号与电路	120
6.1.2 数字电路的分类及特点	120
6.2 数制及数制之间的相互转换	121
6.2.1 数制	121
6.2.2 各种进制之间的相互转换	122
6.3 码制和常用代码	124
6.3.1 二—十进制码(BCD 码)	124

6.3.2 可靠性编码	125
6.4 逻辑代数	127
6.4.1 基本逻辑运算	127
6.4.2 复合逻辑运算	128
6.4.3 逻辑函数的表示方法	129
6.5 逻辑代数的基本定律和规则	130
6.5.1 逻辑代数的基本公式	130
6.5.2 逻辑代数的基本定律	131
6.5.3 逻辑代数的三个重要规则	132
6.6 逻辑函数的公式化简法	132
6.6.1 函数的几种表示形式	132
6.6.2 函数的公式化简法	134
6.6.3 公式化简法举例	134
6.7 卡诺图法化简逻辑函数	135
6.7.1 最小项与卡诺图	135
6.7.2 逻辑函数的卡诺图表示法	136
6.7.3 用卡诺图化简逻辑函数	138
6.7.4 具有无关项逻辑函数的化简	140
本章小结	141
习题	141
第7章 基本逻辑门电路	144
7.1 基本逻辑门电路	144
7.1.1 与门电路	144
7.1.2 或门电路	145
7.1.3 非门电路	146
7.2 TTL 集成逻辑门电路	146
7.2.1 TTL 与非门电路	147
7.2.2 其他 TTL 门电路	148
7.2.3 TTL 系列集成电路及使用注意事项	151
7.3 CMOS 门电路	152
7.3.1 CMOS 集成门电路	152
7.3.2 CMOS 数字电路的特点及使用注意事项	154
本章小结	154
习题	155
第8章 组合逻辑电路	157
8.1 逻辑电路的分析和设计方法	157
8.1.1 组合逻辑电路概述	157
8.1.2 逻辑电路的一般分析方法	157

8.1.3 组合逻辑电路的设计方法	159
8.2 编码器	160
8.2.1 二进制编码器	160
8.2.2 二进制优先编码器	161
8.2.3 二—十进制编码器	163
8.2.4 二—十进制优先编码器	163
8.3 译码器	164
8.3.1 二进制译码器	164
8.3.2 二—十进制译码器(BCD 译码器)	167
8.3.3 显示译码器	167
8.3.4 用译码器实现组合逻辑函数	170
8.4 数据选择器	171
8.4.1 4 选 1 数据选择器	172
8.4.2 集成数据选择器	172
8.4.3 用数据选择器实现逻辑函数	173
8.5 数据分配器	175
8.6 加法和数值比较器	176
8.6.1 加法器	176
8.6.2 串行进位加法器	177
8.6.3 数值比较器	178
8.7 组合电路中的竞争冒险	180
8.7.1 竞争冒险产生的原因	180
8.7.2 竞争冒险的消除	180
本章小结	181
习题	181
技能训练	183
第 9 章 触发器	185
9.1 概述	185
9.2 触发器的基本形式	185
9.3 同步触发器	187
9.3.1 同步 RS 触发器	188
9.3.2 同步 JK 触发器	189
9.3.3 同步 D 触发器	191
9.4 主从触发器	192
9.4.1 主从 RS 触发器	192
9.4.2 主从 JK 触发器	193
9.5 边沿触发器	195
9.5.1 边沿 D 触发器	196
9.5.2 边沿 JK 触发器	197

9.6 不同类型触发器之间的转换	198
9.6.1 将 JK 触发器转换为 RS 、 D 、 T 和 T' 触发器	198
9.6.2 将 D 触发器转换为 JK 、 T 、 T' 触发器	200
本章小结	201
习题	202
技能训练	204
 第 10 章 时序逻辑电路	206
10.1 概述	206
10.2 时序逻辑电路的分析方法	207
10.2.1 同步时序逻辑电路的分析方法	207
10.2.2 异步时序逻辑电路的分析	210
10.3 计数器	211
10.3.1 二进制计数器	212
10.3.2 十进制计数器	216
10.3.3 N 进制计数器	220
10.3.4 计数器容量的扩展	222
10.4 寄存器	223
10.4.1 基本寄存器	223
10.4.2 移位寄存器	224
10.4.3 寄存器的应用	227
10.5 顺序脉冲发生器	229
10.6 同步时序逻辑电路的设计方法	230
本章小结	234
习题	234
技能训练	237
 第 11 章 脉冲波形的产生与整形	239
11.1 多谐振荡器	239
11.1.1 由门电路构成的多谐振荡器	239
11.1.2 多谐振荡器的应用	241
11.2 单稳态触发器	241
11.2.1 微分型单稳态触发器	242
11.2.2 积分型单稳态触发器	242
11.2.3 集成单稳态触发器	243
11.3 施密特触发器	245
11.3.1 由门电路构成的施密特触发器	245
11.3.2 集成施密特触发器及应用	246
11.4 555 定时器及其应用	247
11.4.1 555 定时器的结构及其功能	247

11.4.2 由 555 定时器构成的多谐振荡器	248
11.4.3 由 555 定时器构成的单稳态触发器	249
11.4.4 由 555 定时器构成的施密特触发器	249
本章小结	250
习题	250
技能训练	251
第 12 章 数模与模数转换	253
12.1 D/A 转换器(DAC)	253
12.1.1 二进制权电阻网络 DAC	253
12.1.2 T 型电阻网络 DAC	254
12.1.3 倒 T 型电阻网络 DAC	256
12.1.4 D/A 转换器的主要技术指标	257
12.2 A/D 转换电路	258
12.2.1 转换原理	258
12.2.2 逐次逼近型 ADC	260
本章小结	262
习题	262
参考书目	263

第1章 半导体元件

半导体器件具有体积小、重量轻、使用寿命长、输入功率小和转换效率高等优点,因而在现代电子技术中得到广泛的应用。本章主要介绍了半导体的特点、PN 结的单向导电性,然后介绍了二极管、三极管、场效应管的结构、工作原理、特性及主要参数。

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,用来制造半导体的材料主要是硅(Si)、锗(Ge)和砷化镓(GaAs),其中硅用得最广泛。

1.1.1 本征半导体

纯净的半导体称为本征半导体。在电子器件中,用得最多的材料是硅和锗。硅和锗都是四价元素,最外层原子轨道上具有 4 个电子,称为价电子。每个原子的 4 个价电子不仅受自身原子核的束缚,而且还与周围相邻的 4 个原子的价电子发生联系,形成共用,如图 1.1.1(a)所示。这种结构被称为共价键结构,共价键中的电子将受共价键的束缚。

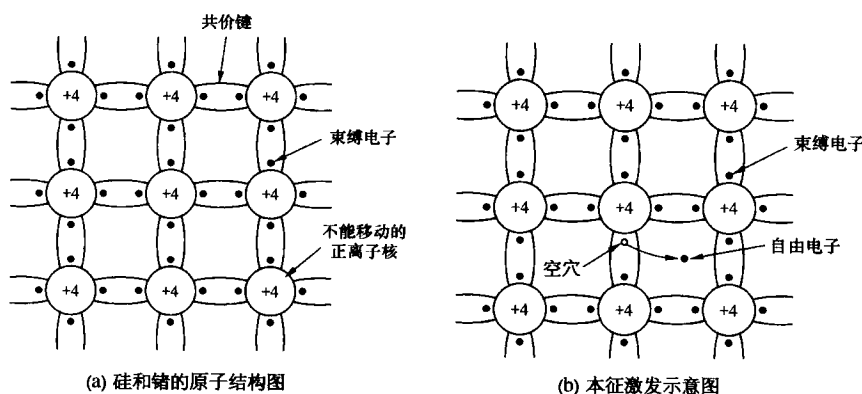


图 1.1.1 硅和锗的原子结构图及本征激发示意

当温度升高或受光照时,少数价电子从外界获得一定的能量而挣脱共价键的束缚,成为自由电子,成为自由电子的价电子将不再受共价键的束缚。价电子成为自由电子以后,同时在原来共价键的相应位置上留下一个空位,这个空位称为空穴,把这种现象称为本征激发,如图 1.1.1(b)所示。本征激发产生的自由电子和空穴是成对出现的,叫做电子—空穴对。

原子失去电子后带正电,可等效地看成是空穴带了正电,它所带的电荷和电子相等。由于出现了空位,邻近的价电子就可以填补到这个空位上,而在这个价电子原来的位置上又留下新

的空位,把这种价电子填补空位的运动可以看成是空穴在运动,其运动方向与电子相反。电子和空穴在运动过程中会相遇重新结合而消失,这种现象称为复合。在一定时候,自由电子和空穴的产生与复合将达到动态平衡状态,这时自由电子和空穴的浓度一定。

可见在半导体中有两种导电的粒子,称为载流子,一种是电子载流子,一种是空穴载流子,这就是半导体和导体只有一种电子载流子的区别。

在电场的作用下,自由电子和空穴将做定向运动,运动方向相反,形成了电子电流和空穴电流,电流方向一致。

1.1.2 杂质半导体

本征半导体的导电能力比较弱,为了提高半导体的导电能力,在本征半导体中掺入微量杂质元素,就可以大大地提高半导体的导电能力。根据掺杂的不同,可分为 N 型半导体和 P 型半导体。

1. N 型半导体

在纯净的半导体硅、锗(以硅为例)中掺入微量五价元素(如磷)后,就可成为 N 型半导体。如图 1.1.2(a) 所示。杂质原子代替了某些硅原子,杂质原子和硅原子结合形成共价键时多余一个价电子,这个多余的价电子在室温的情况下就能成为自由电子,使杂质成为正离子,称为施主离子。可见掺入的杂质磷可以带来自由电子,使自由电子的浓度大大地增加。自由电子浓度的增加使本征激发所产生的空穴复合的机会增大,使空穴的浓度反而减少。在这种半导体中,自由电子数远大于空穴数,导电以电子为主,故此类半导体亦称为电子型半导体。其中自由电子为多数载流子(简称多子),空穴为少数载流子(简称少子)。多子的浓度主要取决于掺杂的多少,少子的浓度主要取决于本征激发。

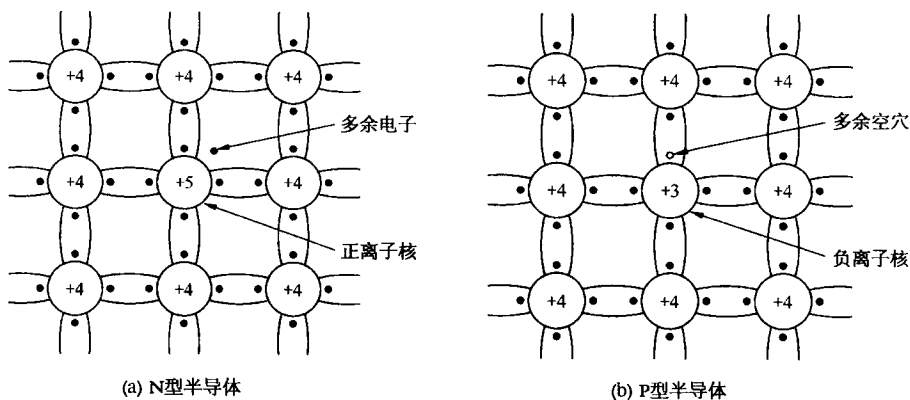


图 1.1.2 杂质半导体的示意图

2. P 型半导体

在纯净的半导体硅、锗中掺入微量三价元素(如硼)。如图 1.1.2(b) 所示。硼原子只有 3 个价电子,它与周围硅原子组成共价键时因缺少一个电子而产生一个空位,这个空位极易被邻近的价电子填补而产生一个空穴,使杂质成为负离子,称为受主离子。可见掺入的杂质硼可带来空穴,使半导体中空穴数大于自由电子数,导电以空穴为主,故此类半导体亦称为空穴型半导体。其中空穴为多数载流子(简称多子),自由电子为少数载流子(简称少子)。

需要注意的是,杂质离子虽然带电荷,但它是被固定在某些结点上的而不能移动,故它不

是载流子,不参与导电。杂质半导体中虽然有一种载流子占大多数,但是就整个半导体而言仍呈电中性。

1.1.3 PN 结

1. PN 结的形成

通过特殊的工艺,在一块半导体基片的一边形成N型半导体,一边形成P型半导体。由于在界面处半导体类型不同,存在着电子和空穴的浓度差,使得载流子从浓度高的地方向浓度低的地方定向运动,把这种运动称为扩散运动。如图1.1.3(a)所示。这样就会使P区的空穴向N区扩散,N区的电子向P区扩散,在扩散的过程中电子和空穴复合而消失,结果在界面处形成了不能移动的正负杂质离子构成的空间电荷区,同时建立了内建电场,内电场方向由N区指向P区。如图1.1.3(b)所示。

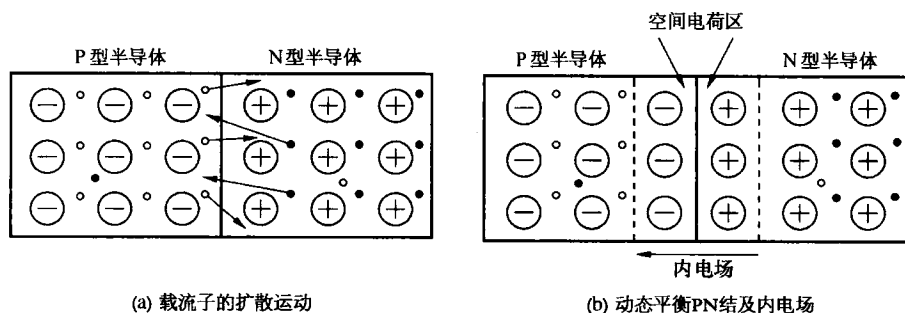


图 1.1.3 PN 结的形成

内电场有两个作用:一是阻碍多子的扩散作用,另一个是帮助界面处的少子在内电场的作用下产生定向运动,称之为漂移运动。起始时内电场较小,扩散运动较强,漂移运动较弱,随着扩散的进行,空间电荷区增宽,内电场增大,使扩散运动变弱,漂移运动变强,最后扩散运动和漂移运动达到一种动态平衡状态。这时的空间电荷区宽度一定,内电场一定,形成了所谓的PN结。

PN结内电场的电位称为内建电位差,又叫接触电位,用 U_b 表示。一般硅材料的 U_b 为0.5~0.7V,锗材料的 U_b 为0.2~0.3V。

2. PN 结的单向导电性

给PN结的P区接高电位、N区接低电位时,称之为加正向电压,简称正偏,反之使N区接高电位、P区接低电位,称之为反偏。

(1) PN 结正偏时。

当PN结正偏时,如图1.1.4(a)所示,这时内电场与外电场方向相反。当外电场大于内电场的时候,外电场抵消内电场使空间电荷区变窄,内电场减弱,利于多子的扩散运动,更加阻碍少子的漂移运动。这时形成多子的扩散电流,称之为正向电流 I_F 。外加电场越大,正向电流越大,PN结电阻越小。正向电流为多子的扩散电流,其数值比较大。为了限制正向电流,一般电路中要接限流电阻 R 。

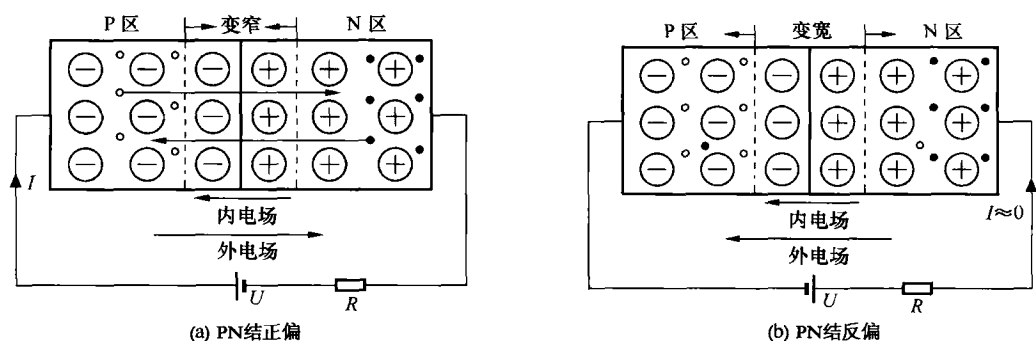


图 1.1.4 PN 结的单向导电性

(2) PN 结反偏时。

当 PN 结反偏时,如图 1.1.4(b)所示,这时外电场与内电场方向相同,使内电场作用增强,空间电荷区变宽。这更加有利于少子的漂移运动,不利于多子的扩散运动。外电场足够大时,扩散运动进行不下去。这时形成少子漂移电流。漂移电流是由少子形成的,少子的浓度是有限的,所以漂移电流数值是恒定的,基本与所加的反向电压的大小无关,称之为反向饱和电流,用 I_R 表示。由于反向电流是少子形成的电流,所以电流很小,即 PN 结电阻很大。

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

1.2 二极管及其特性

1.2.1 二极管的结构和类型

1. 结构符号

从 PN 结的 P 区引出一根电极叫正极(或阳极),从 N 区引出一根电极叫负极(或阴极),然后用外壳封装便形成了二极管。二极管的外形及符号如图 1.2.1 所示。图中箭头的方向表示正向电流的方向,正向电流从二极管的正极流入、负极流出。

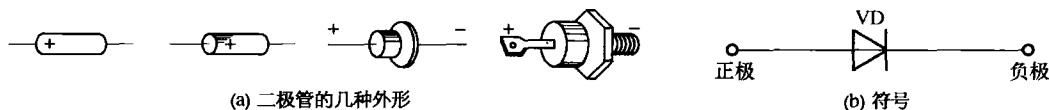


图 1.2.1 二极管的外形及符号

2. 二极管的类型

(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、面接触型等二极管。如图 1.2.2 所示。点接触型的二极管是由一根很细的金属触丝和一块 N 型半导体接触,然后在正方向通过很大的瞬时电流,使触丝和半导体牢固地熔在一起。点接触型的二极管 PN 结面积很小,不能承受大的电流和高的电压,极间电容很小,一般适用于高频电路中。面接触型或者面结型的二极管 PN 面积大,是用合金法或者扩散法做成的,由于结面积大,可承受较高的电压和较大的电流,一般适用于低频电路或者整流电路中。

- (3) 按用途分: 有整流、稳压、开关、发光、光电、变容、阻尼等二极管。
 (4) 按封装形式分: 有塑封及金属封等二极管。
 (5) 按功率分: 有大功率、中功率及小功率等二极管。

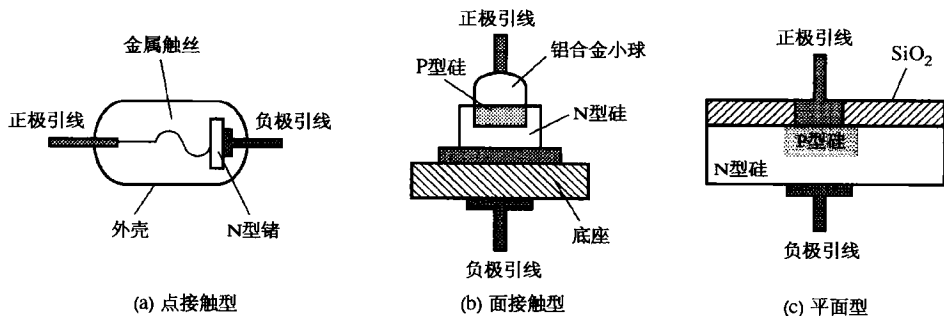


图 1.2.2 不同结构的各类二极管

1.2.2 二极管的伏安特性

二极管的伏安特性是指二极管两端的电压和通过二极管的电流之间的关系。二极管内部是一个 PN 结, 因此它具有 PN 结的单向导电性, 其特性曲线如图 1.2.3 (a) 所示。

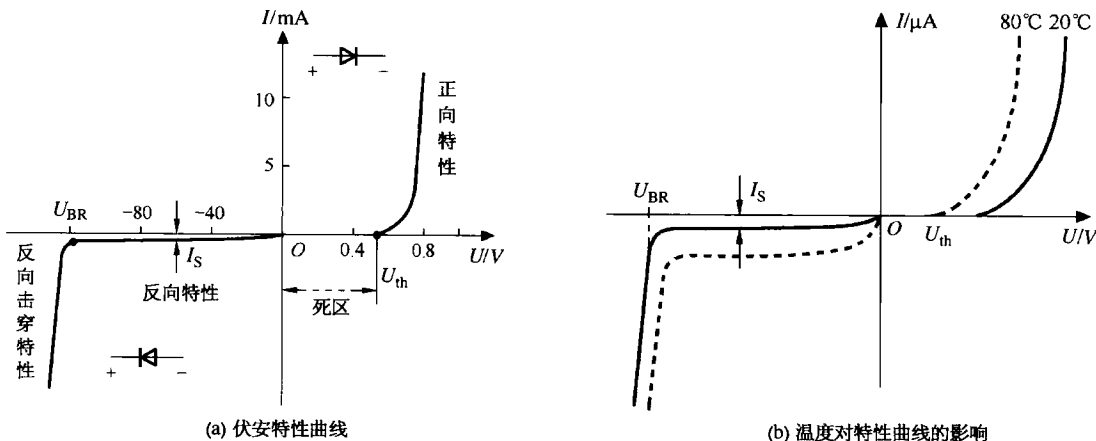


图 1.2.3 二极管的伏安特性曲线

1. 正向特性

正向特性是指二极管外加正向电压时的特性。如图 1.2.3 (a) 所示。当二极管承受正偏压较小时, 外电场不足以克服内电场对多子扩散运动造成的阻碍作用, 使正向电流很小, 几乎为零, 此时的二极管呈现很大的电阻, 好像有一个门坎, 这一段叫做死区, 对应的电压叫做死区电压, 或者叫门坎电压 U_{th} 。通常硅材料的 $U_{th} = 0.5 \text{ V}$, 锗材料的 $U_{th} = 0.1 \text{ V}$ 。当外加电压大于死区电压后, 内电场被大大地削弱, 正向电流随外加电压显著地增加。二极管导通后, 正向压降基本不变, 称为二极管导通压降, 用 U_F 表示。一般硅管 $U_F = 0.7 \text{ V}$, 锗管 $U_F = 0.3 \text{ V}$ 。理想二极管的导通压降可以看作为零。

2. 反向特性

反向特性是指二极管外加反向电压时的特性, 如图 1.2.3 (a) 第三象限中平坦的部分。当