

电子技术与数字逻辑

戴心来 编著



NEUPRESS
东北大学出版社

电子技术与数字逻辑

戴心来 编著

东北大学出版社

内 容 简 介

本书是高校计算机类专业的技术基础课教材。全书 10 章,内容包括:半导体器件基础,放大电路基础,直流稳压电源,逻辑代数基础,逻辑门电路,组合逻辑电路,时序逻辑电路,脉冲波形的产生和整形,LSI 存储器与可编程逻辑器件,数/模和模/数转换等。各章前有内容提要,章后有小结、思考题与习题。全书内容新颖,体系完整,理论联系实际,文字通俗流畅。

本书可作为高校电气、电子、计算机及应用等专业的教材,也可作为电大、成人及高职高专相关专业教学用书,还可供工程技术人员工作参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术与数字逻辑/戴心来编著. —沈阳:东北大学出版社, 2002.6
ISBN 7-81054-728-3

I. 电… II. 戴… III. 电子技术-高等学校-教材 IV. TN.014

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 003906 号

出 版 者: 东北大学出版社

(邮编: 110004 地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号)

出 版 人: 李毓兴

印 刷 者: 东北大学印刷厂

发 行 者: 东北大学出版社

经 销 者: 东北大学出版社

开 本: 787mm×1092mm 1/16

字 数: 387 千字

印 张: 15.125

出版时间: 2002 年 6 月第 1 版

印刷时间: 2002 年 6 月第 1 次印刷

责任编辑: 秦振华

封面设计: 唐敏智

责任出版: 杨华宁

定价: 27.00 元

垂询电话: 024—83680267 (社务办)

83687331 (市场部)

024—83680265 (传 真)

83687332 (出版部)

E-mail: neuph@neupress.com

http: //www.neupress.com

前 言

我们正处于一个科学技术日新月异的新时代,尤其是以通信技术和计算机技术为核心的信息技术学科群的发展更加迅猛,使每一位从事该领域学习和研究开发的人员既感到与日俱增的压力,同时又被该领域极富挑战性的发展而激发出浓厚的学习兴趣。《电子技术与数字逻辑》是这一领域的专业基础课。学习和掌握该课程内容,可以为今后从事计算机“硬件”方面的工作打下坚实的基础。

本书编写的主导思想是,满足计算机类专业对电子技术与数字逻辑的要求,保证基础,突出重点,加强集成。在选材和内容编排上,注意基础知识和实际应用技术相结合,并按照“器件—模拟—数字—数/模和模/数”的体系编排。对半导体器件内部工作原理的讨论,力求概念清楚,避免繁琐的数学推导。在模拟电路部分主要讨论了放大电路基础和直流稳压电源,前者包括基本放大电路、反馈放大电路、集成运算放大器及其应用。数字电路与数字逻辑是本书的重点,这里将两者结合在一起讨论,内容包括逻辑代数基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲波形的产生和整形、大规模集成电路等内容。最后,介绍数/模和模/数转换。此外,书中各章后面均有小结、思考题与习题,以便于复习参考,有利于自我检查。

本书无论是内容的取舍还是体例的编排,都力图体现现代教学思想,同时也是作者近20年来从事第一线教学和科研工作的深刻体会。几年前,作者在北京师范大学有幸师从裴留庆先生攻读电子学专业硕士学位,期间参加了全国师范类面向21世纪电子技术课程教材改革的有关工作,对这门课有了全新的认识和把握。通过近几年在教学实践中的摸索和总结,形成了这部具有特色的教材。

为了给同学们提供发挥想像力和创造力的广阔空间,作者采用多媒体技术实现“因材施教”、“寓教于乐”的教学理念。其中,模拟电子技术多媒体光盘已由大连理工大学出版社出版发行。大连理工大学的钱昆明教授、周日强教授、刘晓晶老师,哈尔滨工业大学的蔡惟铮教授等,他们都一直关心作者的教学和研究工作,并提出了很多宝贵的意见。锦州师范学院的各级领导和教研室的张顺、杨玉强、王秀敏等同志对这一教学改革成果给予了大力支持,辽宁省教育厅和锦州师范学院分别立项资助,在此致以衷心感谢。

由于作者水平有限,书中难免有不妥之处,甚或有缺点错误,恳请读者批评指正。

编者

2002年3月

目 录

前 言

第1章 半导体器件基础	1
1.1 半导体基础知识	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 半导体二极管	5
1.2.1 二极管的结构与种类	5
1.2.2 二极管的伏安特性	5
1.2.3 二极管的主要参数	6
1.2.4 稳压二极管	7
1.3 双极型晶体管	8
1.3.1 晶体管的基本结构	8
1.3.2 晶体管的电流放大作用	9
1.3.3 晶体管的伏安特性曲线	11
1.3.4 晶体管的主要参数	12
1.4 场效应晶体管	14
1.4.1 结型场效应管	14
1.4.2 绝缘栅型场效应管	16
1.4.3 场效应管的主要参数	19
本章小结	20
思考题与习题	20
第2章 放大电路基础	23
2.1 基本放大电路	23
2.1.1 共射基本放大电路	23
2.1.2 工作点稳定电路	33
2.1.3 共集电极放大电路	35
2.1.4 多级放大电路	38
2.2 集成运算放大器	40

2.2.1 集成运放的基本组成部分	40
2.2.2 差动放大电路	41
2.2.3 功率放大电路	45
2.2.4 集成运放典型电路及主要技术指标	47
2.3 反馈放大电路	49
2.3.1 反馈的基本概念与分类	49
2.3.2 负反馈对放大电路性能的影响	52
2.3.3 深度负反馈条件下放大倍数的近似计算	54
2.4 集成运算放大器的应用	56
2.4.1 理想运算放大器	56
2.4.2 模拟运算电路	57
2.4.3 电压比较器	61
本章小结	63
思考题与习题	64
第3章 直流稳压电源	69
3.1 直流电源的组成	69
3.2 整流电路	69
3.2.1 单相半波整流电路	69
3.2.2 单相桥式整流电路	71
3.3 滤波电路	72
3.3.1 半波整流电容滤波电路	72
3.3.2 桥式整流电容滤波电路	72
3.4 直流稳压电路	74
3.4.1 串联型稳压电路	74
3.4.2 集成稳压器	75
本章小结	76
思考题与习题	76
第4章 逻辑代数基础	79
4.1 数制和编码	79
4.1.1 进位计数制	79
4.1.2 二进制数的算术运算	81
4.1.3 常用编码	83
4.2 逻辑代数的基本运算	85
4.2.1 逻辑“与”运算	85
4.2.2 逻辑“或”运算	86
4.2.3 逻辑“非”运算	86
4.3 逻辑代数的基本公式和常用公式	88
4.3.1 基本公式	88

4.3.2 常用公式	89
4.3.3 三条重要规则	90
4.4 逻辑函数的表示方法	91
4.4.1 真值表	91
4.4.2 函数表达式	91
4.4.3 逻辑图	92
4.4.4 卡诺图	92
4.5 逻辑函数化简	95
4.5.1 代数化简法	95
4.5.2 卡诺图化简法	96
4.5.3 具有无关项的逻辑函数化简	98
本章小结	99
思考题与习题	99
第5章 逻辑门电路	102
5.1 分立元件门电路	102
5.1.1 二极管与门	102
5.1.2 二极管或门	103
5.1.3 三极管非门	103
5.2 TTL与非门电路	104
5.2.1 电路结构和工作原理	104
5.2.2 电气特性	105
5.3 TTL系列其他类型门电路	111
5.3.1 扩展器和与或非门	111
5.3.2 集电极开路与非门	112
5.3.3 三态门电路	113
5.4 MOS门电路	115
5.4.1 NMOS门	115
5.4.2 CMOS门	116
本章小结	117
思考题与习题	118
第6章 组合逻辑电路	122
6.1 组合逻辑电路的分析与设计	122
6.1.1 组合逻辑电路的特点	122
6.1.2 组合逻辑电路的分析方法	122
6.1.3 组合逻辑电路的设计方法	124
6.2 常用的组合逻辑电路	126
6.2.1 编码器	126
6.2.2 译码器	129

6.2.3 数据选择器	133
6.2.4 加法器	135
6.2.5 数值比较器	137
6.3 用中规模集成电路实现组合电路设计	139
6.3.1 用译码器实现组合逻辑函数	139
6.3.2 用数据选择器实现组合逻辑函数	140
6.3.3 用加法器实现组合逻辑函数	142
6.4 组合电路的竞争与冒险	144
6.4.1 竞争和冒险现象	144
6.4.2 冒险现象的判别与消除	145
本章小结	146
思考题与习题	147
第7章 时序逻辑电路	150
7.1 时序电路的基本单元——触发器	150
7.1.1 概 述	150
7.1.2 基本 RS 触发器	150
7.1.3 同步触发器	152
7.1.4 集成触发器	156
7.1.5 触发器逻辑功能的相互转换	160
7.2 时序电路的描述方法	161
7.2.1 时序逻辑电路的框图表示	161
7.2.2 时序逻辑电路分类	162
7.2.3 时序电路逻辑功能表示法	162
7.3 时序逻辑电路的分析	165
7.3.1 同步时序电路的分析方法	165
7.3.2 异步时序电路的分析方法	167
7.4 常用时序逻辑部件	169
7.4.1 寄存器与移位寄存器	169
7.4.2 计数器	172
7.5 时序逻辑电路的设计	178
7.5.1 用中规模集成电路设计时序电路	179
7.5.2 时序电路的一般设计方法	181
本章小结	183
思考题与习题	184
第8章 脉冲波形的产生和整形	189
8.1 概 述	189
8.2 555 定时器	190
8.2.1 电路结构	190

8.2.2 定时器的逻辑功能	191
8.3 施密特触发器	192
8.3.1 555 定时器构成的施密特触发器	192
8.3.2 集成施密特触发器	192
8.3.3 施密特触发器应用举例	193
8.4 单稳态触发器	194
8.4.1 555 定时器构成的单稳态触发器	194
8.4.2 由门电路构成的单稳态触发器	195
8.5 多谐振荡器	196
8.5.1 555 定时器构成的多谐振荡器	197
8.5.2 用施密特触发器组成的多谐振荡器	198
8.5.3 石英晶体多谐振荡器	199
本章小结	200
思考题与习题	200
第 9 章 LSI 存储器与可编程逻辑器件	202
9.1 概 述	202
9.2 只读存储器 ROM	203
9.2.1 ROM 的结构	203
9.2.2 ROM 在组合逻辑设计中的应用	204
9.3 随机存取存储器 RAM	207
9.3.1 RAM 的结构	207
9.3.2 RAM 容量的扩展	209
9.4 可编程逻辑器件 (PLD)	210
9.4.1 PLD 的结构与电路表示法	210
9.4.2 可编程只读存储器 (PROM)	212
9.4.3 可编程逻辑阵列 (PLA)	213
9.4.4 可编程阵列逻辑和通用阵列逻辑	214
本章小结	215
思考题与习题	216
第 10 章 数/模和模/数转换	217
10.1 概 述	217
10.2 D/A 转换器	217
10.2.1 权电阻 D/A 转换器	217
10.2.2 倒 T 型电阻网络 D/A 转换器	219
10.2.3 D/A 转换器的主要技术指标	220
10.3 A/D 转换器	221
10.3.1 采样—保持电路	222
10.3.2 量化和编码	223

10.3.3 A/D 转换器的主要技术指标	225
本章小结	226
思考题与习题	226
附 录	228
附录一 半导体器件的命名方法	228
附录二 国产半导体集成电路型号命名法	229
附录三 RC 串联电路分析	230
参考文献	231

第1章 半导体器件基础

内容提要 半导体器件是电子电路的重要组成部分。各种半导体器件又都以PN结为基础。本章首先介绍半导体和PN结的导电特性,然后介绍半导体二极管、稳压管、双极型晶体管及场效应晶体管的结构、工作原理、特性曲线和主要参数。

1.1 半导体基础知识

自然界中的物质,按其导电能力可分为导体、绝缘体和半导体三大类。导电能力介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体。物质导电性能的差异是由其原子结构决定的。像银、铜和铝等金属材料,其外层电子受原子核的束缚力很弱,有大量电子能够挣脱原子核的束缚而成为自由电子,在外电场作用下表现出良好的导电性;在塑料、陶瓷、云母等材料中,原子的外层电子受原子核的束缚力很强,即使在高温或外场下仍以键的方式牢固地束缚在原子间不能移动,表现出良好的绝缘性;而半导体材料的原子结构比较特殊,其外层电子不像导体那样容易挣脱,也不像绝缘体那样束缚得很紧,从而形成其独特的个性。半导体的特征如下。

① 掺入微量其他元素可改变和控制半导体的导电性能,由此可制造半导体二极管和三极管;

② 温度的变化可改变半导体的导电性能,由此可制造热敏传感器;

③ 光照可使半导体有光电效应,由此可制造光电器件。

此外,电场、磁场等都会对半导体导电能力产生影响,正是利用这些特征,使得半导体获得广泛应用,制造出各种各样的半导体器件。

1.1.1 本征半导体

纯净的、不含其他杂质的半导体称为本征半导体。目前常用的半导体材料为硅(Si)和锗(Ge)。前者原子序数为14,后者原子序数为32。二者原子结构的共同特点是最外层电子数即价电子数都是4个,故都属于4价元素。以硅为例,其原子结构和简化模型如图1.1所示。

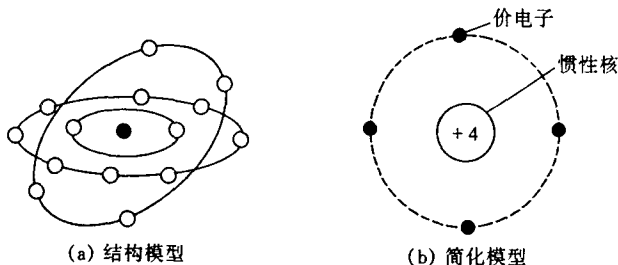


图 1.1 硅原子的结构模型和简化模型

1.1.1.1 晶体的共价键结构

当把硅、锗等半导体材料制成单晶体时,其原子排列变得非常整齐,按四角系统组成晶体

点阵。其二维模型如图 1.2 所示。

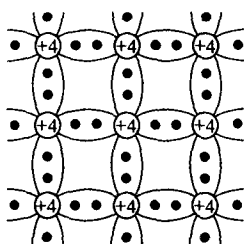


图 1.2 晶体的共价键结构

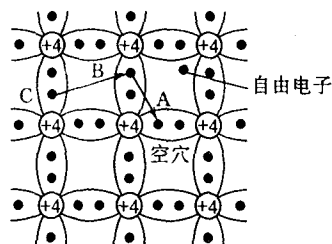


图 1.3 本征激发产生电子空穴对

图 1.2 中,每个原子最外层的价电子不仅受自身原子核的束缚,同时还受到相邻原子核的吸引。因此,价电子不仅围绕自身的原子核运动,同时也出现在相邻原子核的轨道上,形成价电子的共有化运动,即两个相邻原子各用一个电子组成共价键,使每个原子最外层都是 8 个价电子以形成稳定结构。在热力学温度零度(-273°C)和无外界其他能量激发时,共价键中的束缚电子没有能力挣脱出来,晶体中无自由电子,此时的半导体相当于绝缘体。

1.1.1.2 两种载流子的产生

当半导体受热或光照激发时,少数价电子获得足够的能量挣脱共价键的束缚而成为自由电子,这种现象称为电子“激发”。值得注意的是,在某些价电子变成自由电子的同时,就在原来共价键处留下一个空位,这个空位叫空穴,用“o”表示。由于存在这样的空穴,附近的共有电子就很容易移过来填补,从而形成一个新的空穴。如此下去,形成共有电子的运动,如图 1.3 所示。从效果上看,这种运动好像一个带正电荷的空穴在移动。

物质内部运载电荷的粒子称为载流子。由上可见,本征半导体中有两种载流子:带负电的自由电子和带正电的空穴。它们总是成对出现,称为电子-空穴对。电子和空穴同时参与导电,是半导体导电的一个重要特征。

物质总是在不停地运动着,半导体中的电子-空穴对不断地产生,同时,自由电子在运动中又会遇到空穴并与之结合而成对消失,这种现象称为复合。在一定温度下,上述产生和复合两种运动达到了相对平衡,使电子-空穴对的浓度一定。

1.1.2 杂质半导体

本征半导体中虽然存在两种载流子,但载流子总数仍很少,产生的电流极微弱,没有实用价值。但是,如果在本征半导体中掺入某种特定的杂质,成为杂质半导体后,它们的导电性能将发生显著变化。

1.1.2.1 N 型半导体

在本征半导体中掺入微量的 5 价元素,如磷、砷等,由于掺入杂质的数量很少,几乎不改变原本征半导体的结构,仅是原晶体点阵中某些硅或锗原子的位置被杂质原子取代。如图 1.4 所示。

由于磷原子有 5 个价电子。其中 4 个价电子与相邻的硅或锗原子构成共价键,而多余的一个价电子不受共价键束缚。在室温下很容易被激发,成为自由电子。同时,杂质原子变成带正电荷的正离子,嵌在晶格不能自由运动。5 价的杂质原子提供了电子,被称作施主原子。另外在杂质半导体中,也同时存在本征激发产生的电子空穴对。不过,电子的浓度将大大高于空

穴浓度,自由电子为多数载流子(简称多子),而空穴为少数载流子(简称少子)。这种主要靠电子导电的半导体称为电子型半导体或N型半导体。

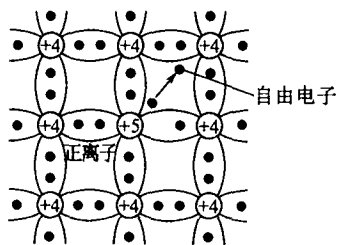


图 1.4 N型半导体的晶体结构

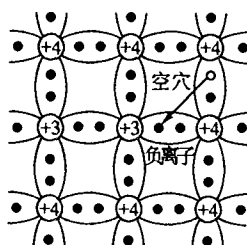


图 1.5 P型半导体的晶体结构

1.1.2.2 P型半导体

在本征半导体中掺入微量的3价元素,如硼、镓等。由于杂质原子的最外层只有3个价电子,当它与周围的硅或锗原子组成共价键时,缺少一个电子而形成一个空位。如图1.5所示。此空位很容易接受相邻硅或锗原子共价键中的价电子,从而产生一个空穴,同时也产生一个不能运动的负离子。3价杂质原子因接受价电子,故被称作受主原子。在这种杂质半导体中同样也有本征激发产生的电子-空穴对。但是,由于空穴为多数载流子,而电子为少子,主要依靠空穴导电,因此称为空穴型半导体或P型半导体。

在杂质半导体中,多数载流子的浓度主要取决于掺入的杂质浓度;而少数载流子的浓度主要取决于温度。

在纯净的半导体中掺入杂质以后,半导体的导电性能将大大改善。例如,在硅中掺入百万分之一的硼元素,其载流子的浓度可提高一百万倍。不过,仅仅提高半导体的导电能力不是最终目的,因为导体的导电能力更强。这里更关心的是两种不同的杂质半导体相接触时,交界面处所形成PN结的性质。PN结几乎是所有半导体器件的结构单元,是研究各种半导体器件的重要基础。

1.1.3 PN结

1.1.3.1 PN结的形成

PN结是由P型半导体和N型半导体通过一定方式结合而成的。这种结合并不是简单地将两种半导体接触在一起,而是利用特殊工艺如扩散法、烧结法、外延法等使一块完整的晶片一边形成N型半导体,另一边形成P型半导体。

当P型和N型半导体相“接触”时,由于P型半导体多子为空穴,少子为电子,而N型恰相反,多子为电子,少子为空穴,则两者交界面处便产生载流子的浓度差,造成多子扩散运动。如图1.6(a)所示。扩散到对方的载流子在运动中会与该区的多数载流子相遇而复合。于是,在交界面附近形成了一个由不能移动的正、负离子(数目相等)组成的空间电荷区,即PN结。如图1.6(b)所示。

电荷区的正、负离子建立起一个电场,称作内电场,其方向由N区指向P区。显然,内电场的作用是阻止多子扩散继续进行,而有利于少子的漂移运动(指载流子在电场作用下的定向运动)。

综上所述,PN结中存在着两种载流子的运动:多数载流子的扩散运动和少数载流子的漂

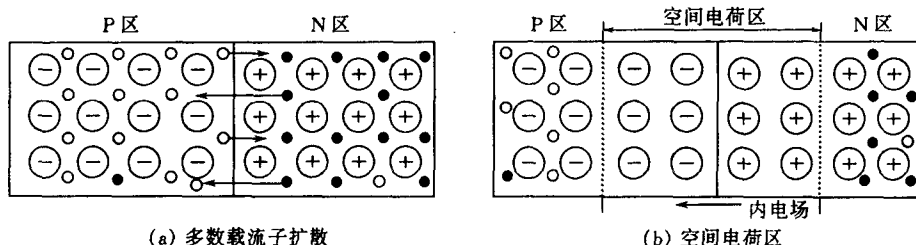


图 1.6 PN 结的形成

移运动,它们所形成的电流分别称为扩散电流和漂移电流。最初,内电场较弱,以扩散运动为主,随着扩散运动的进行,空间电荷区加宽,内电场增强,使漂移运动增强,而扩散运动减弱,最终达到二者的动态平衡,即扩散电流等于漂移电流,PN 结中总的电流等于零,形成稳定的空间电荷区。该区又称“阻挡层”、“耗尽层”或“势垒区”,其势垒大小主要由半导体材料和掺杂所决定,并且和温度有关。在室温下,硅材料的势垒约为 $(0.6 \sim 0.8) \text{V}$,锗材料约为 $(0.2 \sim 0.3) \text{V}$ 。

1.1.3.2 PN 结的单向导电性

如果在 PN 结两端外加不同极性的电压,将出现两种完全不同的情况。

当电源的正极接 P 区,负极接 N 区,称为加正向电压或正向偏置(简称正偏)。如图 1.7 所示。这时,外电场的方向与内电场的方向相反。外电场将 P 区和 N 区的多数载流子推向 PN 结,将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。这时扩散运动大于漂移运动,通过 PN 结的电流主要是扩散电流,它在外电路中形成一个流入 P 区的电流 I_F ,称为正向电流。

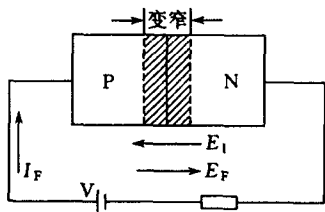


图 1.7 PN 结加正向电压

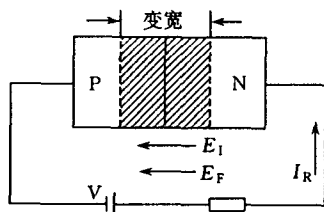


图 1.8 PN 结加反向电压

当电源的正极接 N 区,负极接 P 区,称为加反向电压或反向偏置(简称反偏)。如图 1.8 所示。反偏时,外电场方向与内电场方向相同,外电场将 N 区和 P 区的多数载流子拉向电极方向,空间电荷区变宽,内电场增强。这时漂移运动大于扩散运动,通过 PN 结的电流主要是少子产生的漂移电流,它表现为从外电路流进 N 区的反向电流 I_R 。当温度不变时,少子的浓度不变,反向电流在一定范围内将不随外加电压的大小而变化,所以又称为反向饱和电流,用 I_S 表示。由于少数载流子浓度很低,反向电流近似为零。

综上所述,PN 结加正向电压时,呈现较小的正向电阻,回路中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,回路中的反向电流很小,PN 结处于截止状态。可见,PN 结具有单向导电性。

1.1.3.3 PN 结的电容效应

PN 结除单向导电性外,还具有电容效应,工作频率越高,这种效应越明显。电容是存储

电荷的容器,电容的性能方程是 $i = dq/dt = c du_c/dt$ 。即电容两端电压变化将引起电容两极板电荷量的变化,因而产生电流。PN 结里储有电荷,并且当结电压改变时,结中存储的电荷量也随之改变,并伴有充放电电流,体现出电容效应。PN 结电容效应由势垒电容 C_B 和扩散电容 C_D 两部分组成。前者由空间电荷区的变化引起,后者由两区的多子在扩散过程中在 PN 结附近产生的电荷积累引起。PN 结的结电容是两者之和。

1.2 半导体二极管

1.2.1 二极管的结构与种类

半导体二极管实际上是由一个 PN 结加上电极引线与外壳封装而构成的。由 P 区引出的电极称为阳极或正极,由 N 区引出的电极称为阴极或负极,其符号如图 1.9(d)所示。

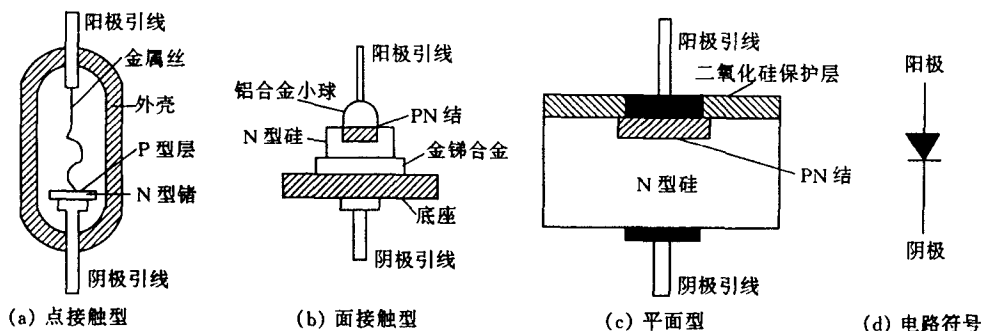


图 1.9 二极管结构及符号

二极管的种类很多,按材料来分有硅二极管和锗二极管;按结构来分有点接触型、面接触型和平面型,如图 1.9 所示。点接触型二极管,因结面积小,不能通过较大电流,但其结电容小,适用于高频检波及小功率整流。面接触型二极管恰恰相反,因结面积大,允许通过较大电流,但因结电容大,常用于低频大功率下工作。平面型中,结面积大的可作大功率整流管,结面积小的可作高频管或高速开关管。二极管按用途来分,可分为整流、检波、肖特基二极管、光电二极管、发光二极管、变容二极管、开关二极管、稳压二极管等。

1.2.2 二极管的伏安特性

二极管的性能可用其伏安特性来描述,即流过二极管的电流 I 和二极管两端电压 U 之间的关系式或特性曲线。理想二极管的伏安特性可用 PN 结的电流方程

$$I = I_S(e^{U/U_T} - 1)$$

来表示。式中 I_S 为反向饱和电流, $U_T = KT/q$ 为温度的电压当量,而 $K = 1.38 \times 10^{-23} (\text{J/K})$ 为玻耳兹曼常数, $q = 1.6 \times 10^{-19} (\text{C})$ 为电子电量, T 为绝对温度(K)。在常温 27°C 或 300K 时, $U_T \approx 26\text{mV}$ 。

由二极管方程可见,若二极管正偏,而且 U 大于 U_T 几倍时,式中的 $e^{U/U_T} \gg 1$,则 $I = I_S e^{U/U_T}$, 电流与电压呈指数关系;若二极管反偏,而且 $|U|$ 大于 U_T 几倍时,指数项近似为零,则 $I \approx -I_S$ 。由此可获得二极管理论上的伏安曲线,如图 1.10(a)所示。从中亦可看出二极管

的单向导电性。

实测二极管与PN结特性存在一定偏差,如图1.10(b)所示为实际二极管硅和锗管的伏安特性曲线。特性曲线分为两部分,即加正向电压时的正向特性和加反向电压时的反向特性。

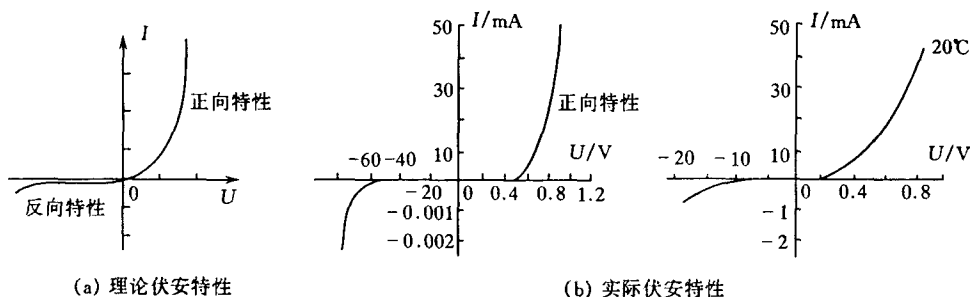


图 1.10 二极管伏安特性曲线

(1) 正向特性

当外加正向电压数值较小时,正向电流很小,几乎等于零。这一段特性曲线称为死区特性。只有当正向电压超过某一数值时,电流才明显增强。通常称这一数值为死区电压或门限电压。硅管门限电压为 $0.5\sim 0.6\text{V}$,锗管为 $0.1\sim 0.2\text{V}$ 。这是由于正向电压较小时,外电场不足以克服内电场,多数载流子的扩散运动仍受较大阻碍,二极管正向电流很小。而当正向电压超过门限电压后,内电场被大大削弱,随电压的增加,正向电流增大很快。

当二极管电流较大时,对应的正向导通电压 U_D 变化范围很小。为简便计算,常认为硅管 U_D 为 0.7V ,锗管为 0.3V 。

(2) 反向特性

当外加反向电压时,外电场和内电场方向相同,二极管中流过由少数载流子形成的反向电流。反向电流很小,几乎不随外加电压变化,称为反向饱和电流 I_S 。常温下,硅管 I_S 小于 $1\text{ }\mu\text{A}$,锗管约几十微安。

如果使反向电压继续升高,当超过某一电压 U_{BR} 时,强电场足以使共价键的价电子挣脱束缚而成为自由电子,使少数载流子数目迅速增加,反向电流剧增,这一现象称为击穿。二极管击穿后,不再具有单向导电性。

1.2.3 二极管的主要参数

元器件参数是对其自身性能的定量描述,是选择与正确使用的依据。半导体二极管的主要参数如下。

(1) 最大整流电流 I_F

I_F 是指长期工作所允许流过的最大正向平均电流。其大小决定于 PN 结的面积、材料及散热条件。使用时,管子的平均电流不得超过此值,否则可能使二极管过热而烧毁。

(2) 最高反向工作电压 U_R

U_R 是指允许加在二极管上的最大反向电压。工程上取反向击穿电压 U_{BR} 的一半为最高反向工作电压。

(3) 反向电流 I_R

I_R 是指二极管未击穿时的反向电流。其值愈小,管子的单向导电性愈好。反向电流是一

个受温度影响较大的参数,使用时应多加注意。

(4) 最高工作频率 f_M

f_M 是指二极管正常工作时,允许应用的最高工作频率。其值主要取决于 PN 结的结电容。结电容愈大,则二极管允许的最高工作频率愈低。当工作频率超过 f_M 时,二极管的单向导电性将受到影响。

不同类型的二极管有不同的参数。即使是同一类型的管子,参数的离散性也很大,所以使用时还需实际测试。

1.2.4 稳压二极管

稳压二极管简称稳压管,是一种特殊用途的面接触式二极管。其伏安特性和符号如图 1.11 所示。

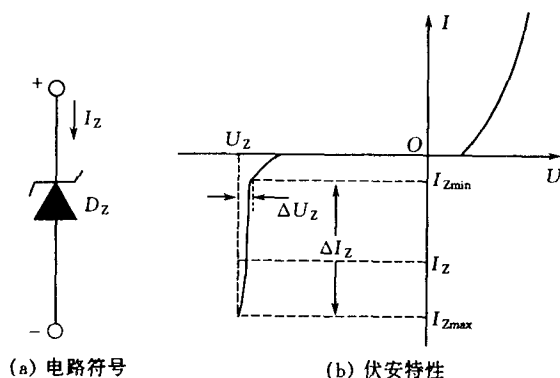


图 1.11 稳压管符号和伏安特性

稳压管工作在二极管反向击穿区,利用其当反向电流 ΔI 变化很大时,管子两端电压的变化量 ΔU 却很小的特点,在电路中达到稳压目的。这里须说明一点,发生击穿并不意味着二极管被烧坏,只要在外电路中加入限流电阻,防止电流过大,则电击穿就不致引起热击穿。图 1.12 示出了稳压管组成的稳压电路。

稳压管的主要参数如下。

(1) 稳定电压 U_Z

U_Z 是稳压管正常工作在反向击穿区时的稳定工作电压。该参数随工作电流和温度的不同略有改变。此外,由于制造工艺的分散性,即使同一型号的稳压管,各管的稳压值也会有些差别。例如,2CW1 的稳压管 $U_Z = (7 \sim 8.5) \text{V}$,是指有的管子为 7V,有的为 8V,等等,而不意味着同一个管子的稳定电压变化有如此之大。

(2) 稳定电流 I_Z

I_Z 是稳压管正常工作时的参考电流。该值应选在 I_{Zmin} 与 I_{Zmax} 之间。当电流低于 I_{Zmin} ,稳压性能变差;当电流高于 I_{Zmax} ,管子将被烧坏。

(3) 动态电阻 r_Z

r_Z 是稳压管两端电压变化量和电流变化量之比,即 $r_Z = \Delta U_Z / \Delta I_Z$ 。 r_Z 愈小,说明电流变化较大时,引起电压的变化较小,稳压效果愈好。通常 r_Z 随工作电流的增加而减小。

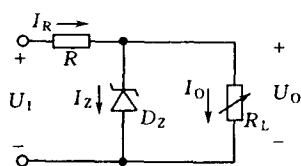


图 1.12 稳压管稳压电路