

■ 主审 吴先良

电 工 学

中册

模拟电子技术基础

主 编 华君玮

中国科学技术大学出版社

ELECTRICAL ENGINEERING

电 工 学

中 册

模拟电子技术基础

主 审 吴先良

主 编 华君玮

编 委	华君玮	李晓辉	朱昌平	关光福
	杨贤芸	李世作	张保华	孙学平
	方红雨	张 珩	方 瑾	姚 成

中国科学技术大学出版社

2008 · 合肥

内 容 简 介

本书全面依据教育部《高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划》编写,是现代化教学工程的研究成果

全书分上、中、下三册出版,上册是电工技术基础,中册是模拟电子技术基础,下册是数字电子技术基础

本书适合作为电气信息类、军事工程专业的教科书,也可供其他理工科专业选用和相关人员参考

图书在版编目(CIP)数据

电工学. 中册. 模拟电子技术基础/华君玮主编. —合肥:中国科学技术大学出版社,2009. 1

ISBN 978 - 7 - 312 - 02323 - 1

I. 电… II. 华… III. ① 电工学 ② 模拟电路 —电子技术 IV. TM1
TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 199223 号

出版 中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路 96 号,230026
<http://press.ustc.edu.cn>
印刷 合肥现代印务有限公司
发行 中国科学技术大学出版社
经销 全国新华书店
开本 787 × 1092 1/16
印张 22
字数 563 千
版次 2009 年 1 月第 1 版
印次 2009 年 1 月第 1 次印刷
定价 42.00 元

序

人类社会的发展经历了农业社会、工业社会,目前正处在信息社会。同样,战争也从冷兵器时代、热兵器时代,走进了电子战、信息战和数字化战场的时代。可见,电工电子技术的产生是人类发展的里程碑,它是信息社会的基石。电工电子技术在推动社会文明和国防建设中起着发动机的作用。科学技术突飞猛进,国际竞争日趋激烈,电工电子技术教育的发展也因此面临着前所未有的机遇与挑战。

为适应电子科学技术的高度发展和 21 世纪高等教育培养高素质人才的需要,编著者总结了多年来课程改革的经验,精心安排和科学组织了教材内容。考虑到素质教育的特点,就要求既保持多年形成的成熟体系,又面向新世纪的发展;既符合本门课程的基本要求,又适当地引进新器件、新技术和新方法等前沿知识;既要使学生掌握基础知识,又要培养他们的定性定量分析能力、综合应用能力和创新意识;既要有利于教师对教材的灵活取舍,又要有利于学生对教材内容的主动学习和思考。编著者制订了“保证基础、体现先进、联系实际、引导创新、明确层次、方便教学”的指导原则,确保教材具有系统性、科学性、启发性、先进性、实用性和适用性。

因此,编著者在本教材编写中坚持:

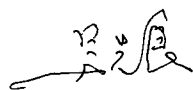
1. 打牢基础,确保后劲

电子科学技术的发展,要求专业人员必须具备终生学习的能力,为此在内容上安排了广泛全面的基础知识,充分体现本学科教学的要求。

2. 突出特色,强化应用

以培养懂技术又能统筹全盘的工程应用和复合型人才为目标,强化应用教学。力争做到知识新、结构新、方法新,强化应用层面、注重能力培养。

本书中有些富有创意的内容来源于编著者勇于探索的精神,希望可以给电工电子学的教学改革增添生气,对提高科技人才水平起到积极的作用.



合肥师范学院院长

安徽大学教授、博士生导师

安徽省科学家与企业家学会副会长

2008 年 7 月 11 日

前 言

近 30 年来,作者为各届专业开设“三电”(电工技术、数字电子技术、模拟电子技术,后同)课程,同时编写了这方面的学习参考资料.现整理、扩充编成本套系列教材.

学习本课程,读者须有一定的高等数学基础和工科物理学基础.通过本课程的学习,希望激发同学们对电工、电子科学的学习兴趣和热情,使他们有信心也有能力适应这一领域突飞猛进、日新月异的发展.

本册为模拟电子技术,共包括 10 章,1~5 章讨论基本器件和基本放大电路;6~9 章讨论各类放大电路;第 10 章研究电源.它适用于电子、机电类专业,非机电类工科专业和其他相关专业的电子课程教学.

本册篇幅稍大,涉及的问题比较广泛,各专业均用全部内容是不适当的,可以根据专业的不同按以下方式选择所需章节,组成深度、广度和学时有别的课程:

1. 电子类及相关军事工程专业:1~3,5~8,10 章;
2. 机电类及相关军事工程专业:1~5,7~10 章;
3. 军事指挥专业及非电类专业:1~3,5,7,9,10 章.

电子类专业开设《非线性电子线路》,第 9 章内容在此可不讲;机电类及相关工程专业需要学习第 4 章内容;其他专业只须学习核心内容.

因为我们的能力和水平有限,所提编写原则和书中具体内容难免有疏漏、欠妥和错误之处,恳请读者多加指正(电邮:lequn02@163.com),以便今后不断改进.

编 者

2008 年于合肥

目 录

序	i
前言	iii
第1章 半导体二极管及其简单电路	1
1.1 半导体的基础知识	1
1.2 半导体二极管的特性及主要参数	5
1.3 二极管电路的分析方法	8
1.4 特殊二极管	15
本章小结	17
习题	17
第2章 半导体三极管及其基本放大电路	21
2.1 半导体三极管	21
2.2 共射极基本放大电路	30
2.3 静态工作点稳定电路	52
2.4 共集电极放大电路	55
2.5 共基极放大电路	58
2.6 复合三极管及其放大电路	61
本章小结	65
习题	67
第3章 场效应管及基本放大电路	74
3.1 场效应管的工作原理	74
3.2 场效应管放大电路	85
本章小结	92
习题	93
第4章 晶闸管与功率电子电路	96
4.1 晶闸管的结构与工作原理	96

4.2 晶闸管可控整流及逆变电路	99
4.3 晶闸管的保护	110
4.4 晶闸管触发电路	112
4.5 双向晶闸管与交流调压电路	116
本章小结	120
习题	120
第5章 差分放大电路及集成运算放大器基础	122
5.1 直接耦合放大电路的零点漂移现象	122
5.2 差分放大电路	123
5.3 直接耦合互补输出级——功率放大电路	135
5.4 集成运算放大电路简介	146
本章小结	151
习题	151
第6章 多级放大电路与放大器频率特性	157
6.1 多级放大电路概述	157
6.2 阻容耦合多级放大电路性能估算	160
6.3 放大电路的频率特性	163
本章小结	174
习题	174
第7章 放大电路中的反馈	181
7.1 反馈的基本概念	181
7.2 反馈电路的类型及判别方法	184
7.3 反馈放大器框图及基本关系	189
7.4 负反馈对放大电路性能的改善	191
7.5 如何引入负反馈	196
7.6 深度负反馈电压放大倍数的估算	199
7.7 负反馈放大电路的自激振荡及消除方法	204
7.8 从反馈角度分析运放电路	206
本章小结	212
习题	213
第8章 集成运算放大器和运算电路	219
8.1 概述	219

8.2 线性集成电路分析	220
8.3 基本运算比例放大器	229
8.4 常用运算电路	238
本章小结	247
习题	248
 第9章 运算放大器的信号处理和产生电路	 254
9.1 电压比较器	254
9.2 有源滤波电路	260
9.3 正弦波振荡电路	265
9.4 信号的转换电路	278
本章小结	282
习题	283
 第10章 直流电源	 291
10.1 整流电路	291
10.2 滤波电路	295
10.3 硅稳压管稳压电路	298
10.4 串联型直流稳压电路	299
10.5 串联型集成稳压器电路和应用	302
10.6 开关型集成稳压器	307
本章小结	310
习题	311
 部分参考答案	 316
 参考文献	 341

第1章 半导体二极管及其简单电路

内容提要 由于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.半导体二极管是最简单的半导体器件,它用半导体材料制成,其主要特性是单向导电性.本章主要讨论PN结的单向导电性、普通二极管的主要特性以及二极管电路的分析方法.

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.在自然界中属于半导体的物质很多,用来制造半导体器件的材料主要是硅(Si)、锗(Ge)和砷化镓(GaAs)等,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.用于制造半导体器件的纯硅和锗都是四价元素,其最外层原子轨道上有四个电子(称为价电子).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,形成如图1.1.1所示的共价键结构,图中+4代表四价元素原子核和内层电子所具有的净电荷.

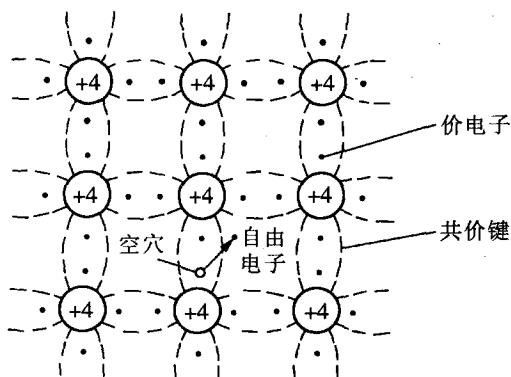


图1.1.1 硅和锗的原子结构及本征激发

共价键中的价电子,受共价键的束缚.在室温或光照下,少数价电子可以获得足够的能量摆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,如图1.1.1所示,这种现象

称为本征激发,这个空位称为空穴,可见本征激发产生的自由电子和空穴是成对的.原子失去价电子后带正电,可等效地看成是因为有了带正电的空穴.空穴很容易吸引邻近共价键中的价电子去填补,使空位发生转移,这种价电子填补空位的运动可以看成空穴在运动,但其运动方向与价电子运动方向相反.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.

在电场作用下,自由电子和空穴将作定向运动,这种运动称为漂移,所形成的电流叫做漂移电流.自由电子又叫电子载流子,空穴又叫空穴载流子.因此,半导体中有自由电子和空穴两种载流子参与导电,分别形成电子电流和空穴电流,这一点与金属导体的导电机理不同.在常温下本征半导体载流子浓度很低,因此导电能力很弱.

1.1.2 杂质半导体

为了提高半导体的导电能力,可在本征半导体中掺入微量杂质元素,掺杂后的半导体称为杂质半导体.按掺入杂质的不同有N型半导体和P型半导体之分.

在四价的硅(或锗)中掺入五价元素(如磷、砷、锑等)后,杂质原子替代了晶格中某些四价元素原子的位置,如图1.1.2(a)所示.杂质原子与周围的四价元素原子结合成共价键时多余一个价电子,这个多余的价电子在室温下就能挣脱共价键的束缚成为自由电子,杂质原子则变成带正电荷的离子,称施主离子.掺入多少杂质原子就能电离产生多少个自由电子,因此自由电子的浓度大大增加.这时由本征激发产生的空穴被复合的机会增多,使得空穴浓度反而减少.这种以电子导电为主的半导体称为N型(或电子型)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).

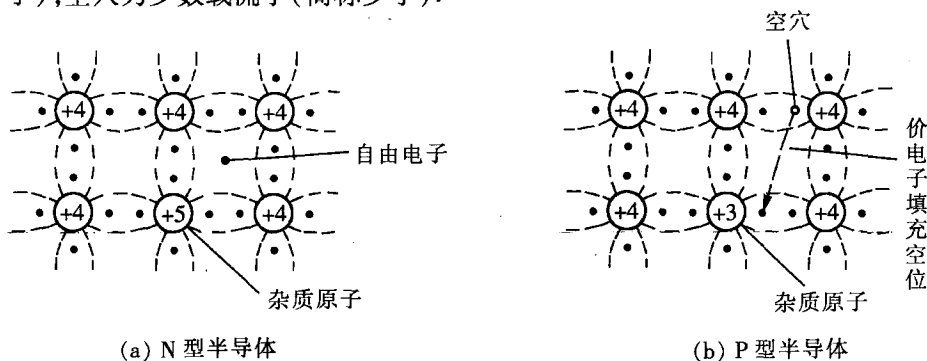


图 1.1.2 杂质半导体结构示意图

在四价的硅(或锗)中掺入三价元素(如硼、铝、镓等)后,杂质原子与周围的四价元素原子形成共价键时因缺少一个价电子而产生一个空位,室温下这个空位极易被邻近共价键中的价电子所填补,使杂质原子变成负离子,称为受主离子,如图1.1.2(b)所示,这种掺杂使空穴的浓度大大增加,这是以空穴导电为主的半导体,称为P型(或空穴型)半导体,其中空穴为多子,自由电子为少子.

图 1.1.3 所示为杂质半导体中载流子和杂质离子的示意图. 必须指出: 杂质离子虽然带电荷, 但不能移动, 因此它不是载流子; 杂质半导体中虽然有一种载流子占多数, 但整个半导体仍呈电中性.

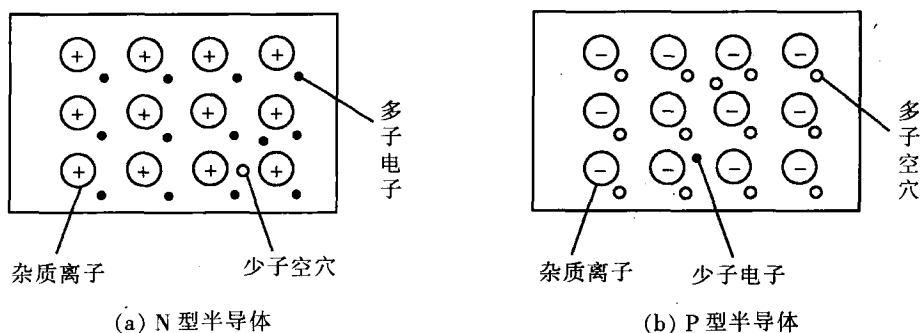


图 1.1.3 杂质半导体中的载流子和离子

杂质半导体的导电性能主要取决于多子浓度, 多子浓度主要取决于掺杂浓度, 其值较大并且稳定, 因此导电性能得到显著改善. 少子浓度主要与本征激发有关, 因此对温度敏感, 其大小随温度的升高而增大.

1.1.3 PN 结

1. PN 结的形成

采用特定的制造工艺, 在同一块半导体基片的两边分别形成 N 型和 P 型半导体. 由于 P 型和 N 型半导体交界面两侧的两种载流子浓度有很大的差异, 因此会产生载流子从高浓度区向低浓度区的运动, 这种运动称为扩散, 如图 1.1.4(a) 所示. P 区中的多子空穴扩散到 N 区, 与 N 区中的自由电子复合而消失; N 区中的多子电子向 P 区扩散并与 P 区中的空穴复合而消失. 结果使交界面附近载流子浓度骤减, 形成了由不能移动的杂质离子构成的空间电荷区, 同时建立了内建电场(简称内电场), 内电场方向由 N 区指向 P 区, 如图 1.1.4(b) 所示.

内电场将产生两个作用: 一方面阻碍多子的扩散运动, 另一方面促使两个区靠近交界面处的少子产生漂移运动. 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, 扩散运动逐渐困难, 漂移运动逐渐加强. 外部条件一定时, 扩散运动和漂移运动最终达到动态平衡, 即扩散过去多少载流子必然漂移过来同样多的同类载流子, 因此扩散电流等于漂移电流, 如图 1.1.4(c) 所示. 这时空间电荷区的宽度一定, 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 U_b , 其数值一般为零点几伏, 室温时, 硅材料 PN 结的内建电位差为 $0.5 \sim 0.7\text{V}$, 锗材料 PN 结的内建电位差为 $0.2 \sim 0.3\text{V}$.

由于空间电荷区中载流子极少, 都被消耗殆尽, 所以空间电荷区又称为耗尽区. 另外, 从 PN 结内电场阻止多子继续扩散这个角度来说, 空间电荷区也可称为阻挡层或势垒区.

2. PN 结的单向导电特性

加在 PN 结上的电压称为偏置电压, 若 P 区接电源正极、N 区接电源负极, 则称 PN 结外接

正向电压或 PN 结正向偏置,简称正偏;反之,称 PN 结外接反向电压或反向偏置,简称反偏,如图 1.1.5 所示。

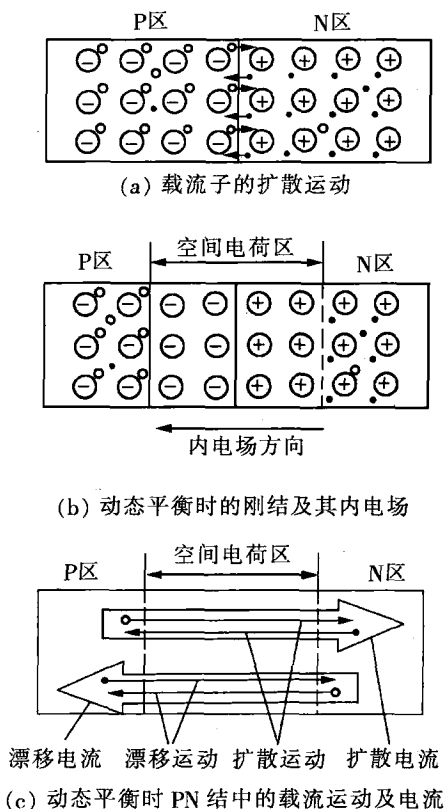


图 1.1.4 PN 结的形成

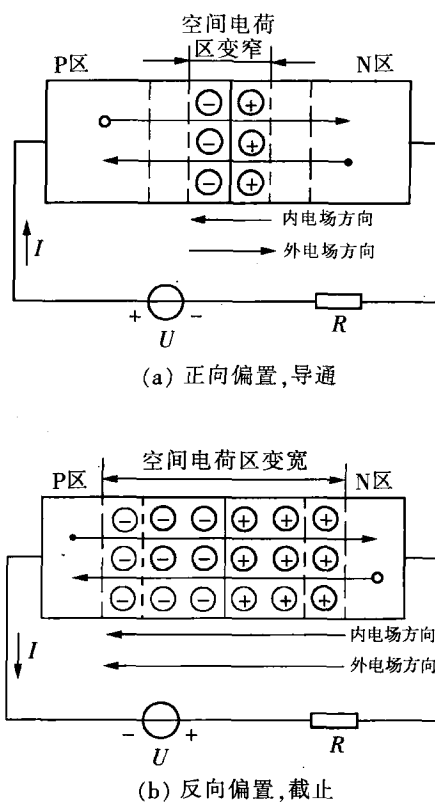


图 1.1.5 PN 结的单向导电特征

PN 结正偏时,外电场使 P 区的多子空穴向 PN 结移动,并进入空间电荷区和部分负离子中和;同样,N 区的多子电子也向 PN 结移动,并进入空间电荷区和部分正离子中和.因此空间电荷量减少,PN 结变窄,如图 1.1.5(a)所示,这时内电场减弱,扩散运动将大于漂移运动,多子的扩散电流通过回路形成正向电流.当外加正向电压增加到一定值后,正向电流将显著增加,此时,PN 结呈现很小的电阻,称为导通.为了限制正向电流值,通常在回路中串接限流电阻 R .

PN 结反偏时,外电场使 P 区的空穴和 N 区的电子向离开 PN 结的方向移动,空间电荷区变宽,如图 1.1.5(b)所示.因此,内电场增强,多子的扩散运动受阻,而少子的漂移运动加强,这时通过 PN 结的电流(称为反向电流)由少子的漂移电流决定.由于少数浓度很低,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,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.因此,PN 结具有单向导电特性.

1.2 半导体二极管的特性及主要参数

1.2.1 二极管的结构

在PN结的两端各引出一根电极引线,然后用外壳封装起来就构成了半导体二极管,如图1.2.1(a)所示,其电路符号如图1.2.1(b)所示。

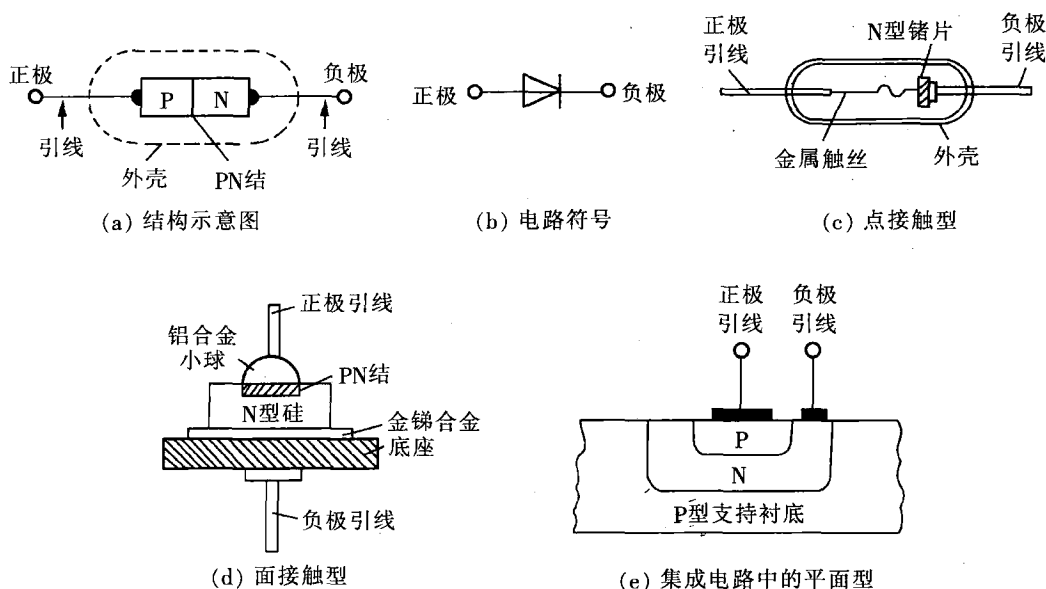


图 1.2.1 半导体二极管的结构和符号

由P区引出的电极称正极(或阳极),由N区引出的电极称负极(或阴极),电路符号中的箭头方向表示正向电流的流通方向。

按PN结面积的大小,半导体二极管可分为点接触型和面接触型两类。点接触型二极管是由一根很细的金属触丝(如三价元素铝)和一块N型半导体(如锗)的表面接触,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接在一起,三价金属与锗结合构成PN结,如图1.2.1(c)所示。由于点接触型二极管金属丝很细,形成的PN结面积很小,所以它不能承受大的电流和高的反向电压,由于极间电容很小,所以这类管子适用于高频电路,例如2AP1是点接触型锗二极管,其最大整流电流为16mA,最高工作频率为150MHz,但最高反向工作电压只有20V。

面接触型或称面结型二极管的PN结是用合金法或扩散法做成的,其结构如图1.2.1(d)所示。由于这种二极管的PN结面积大,可承受较大的电流,但极间电容较大,这类器件适用于低频电路,主要用于整流电路。例如2CZ53C为面接触型硅二极管,其最大整流电流为300mA,最大反向工作电压为100V,而最高工作频率只有3kHz。

图 1.2.1(e) 所示是硅工艺平面型二极管的结构图,它是集成电路中常见的一种形式。

1.2.2 二极管的伏安特性

二极管由一个 PN 结构成,因此,它同样具有单向导电特性. 在外加电压 U_D 的作用下,二极管电流 i_D 的变化规律如图 1.2.2 所示,它称为二极管的伏安特性曲线. 其数学表达式近似为

$$i_D = I_s (e^{\frac{U_D}{U_T}} - 1) \quad (1.2.1)$$

$$U_T = kT/q \quad (1.2.2)$$

式中, I_s 为二极管的反向饱和电流,单位为 A; $k = 1.380 \times 10^{-23} \text{ J/K}$, 为玻耳兹曼常数; T 为热力学温度,单位为 K; $q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$, 为电子电量; U_T 称为温度电压当量,在常温 ($T = 300\text{K}$) 下, $U_T \approx 26\text{mV}$.

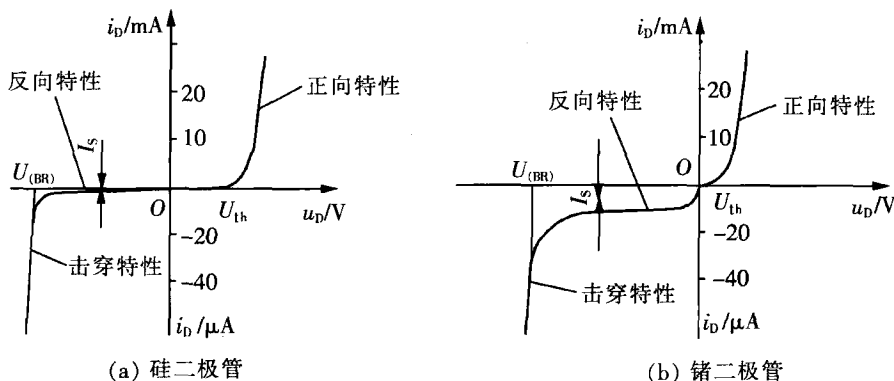


图 1.2.2 二极管的伏安特性曲线

当外加正向电压小于 U_{th} 时,外电场不足以克服 PN 结的内电场对多子扩散运动造成的阻力,正向电流几乎为零,二极管呈现为一个大电阻,好像有一个门槛,因此将电压 U_{th} 称为门槛电压(又称死区电压). 在室温下硅管 $U_{th} \approx 0.5\text{V}$,锗管 $U_{th} \approx 0.1\text{V}$. 当外加正向电压大于 U_{th} 后,PN 结的内电场大为削弱,二极管的电流随外加电压增加而显著增大,由式(1.2.1)可知,电流与

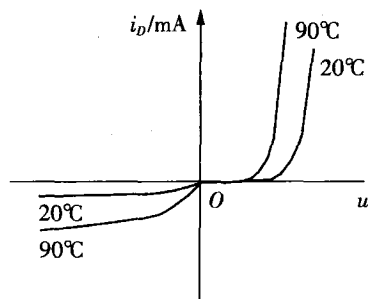


图 1.2.3 温度对二极管特性曲线的影响

外加电压呈指数关系,实际电路中二极管导通时的正向压降硅管约为 $0.6 \sim 0.8\text{V}$,锗管约为 $0.1 \sim 0.3\text{V}$,因此工程上定义这一电压称为导通电压,用 $U_{D(\text{on})}$ 表示. 认为 $U_D > U_{D(\text{on})}$ 时,二极管导通, i_D 有明显的数值;而 $U_D < U_{D(\text{on})}$ 时, i_D 很小,二极管截止. 工程上,一般取硅管 $U_{D(\text{on})} = 0.7\text{V}$,锗管 $U_{D(\text{on})} = 0.2\text{V}$.

二极管两端加上反向电压时,由式(1.2.1)可知,反向电流很小,且与反向电压无关,约等于 I_s . 在室温下,小功率硅管的反向饱和电流 I_s 小于 $0.1\mu\text{A}$,锗管为几十微安.

温度对二极管的特性有显著影响,如图 1.2.3 所示.当温度升高时,正向特性曲线向左移,反向特性曲线向下移.变化规律是:在室温附近,温度每升高 1°C ,正向压降约减小 $2 \sim 2.5\text{mV}$,温度每升高 10°C ,反向电流约增大一倍.

1.2.3 二极管的击穿特性

当加于二极管两端的反向电压增大到一定值时,二极管的反向电流将随反向电压的增加而急剧增大,如图 1.2.2 所示,这种现象被称为反向击穿, $U_{(\text{BR})}$ 被称为反向击穿电压.式 (1.2.1) 不能反映该击穿特性.反向击穿后,只要反向电流和反向电压的乘积不超过 PN 结容许的耗散功率,二极管一般不会损坏.若反向电压下降到击穿电压以下后,其性能可恢复到原有情况,即这种击穿是可逆的,称为电击穿;若反向击穿电流过高,则会导致 PN 结结温过高而烧坏,这种击穿是不可逆的,称为热击穿.

PN 结的反向击穿有雪崩击穿和齐纳击穿两种机理.当反向电压足够大时,PN 结的内电场加强,使少子漂移速度加快,动能增大,通过空间电荷区与原子相撞,产生很多的新电子-空穴对,这些新产生的电子又会去撞击更多的原子,这种作用如同雪崩一样,使电流急剧增加,这种击穿称为雪崩击穿.雪崩击穿发生在掺杂浓度较低的 PN 结中,因为这种 PN 结的阻挡层宽,因碰撞而电离的机会就多.

由高浓度掺杂材料制成的 PN 结中耗尽区宽度很窄,即使反向电压不高也容易在很窄的耗尽区中形成很强的电场,将价电子直接从共价键中拉出来产生电子-空穴对,致使反向电流急剧增加,这种击穿称为齐纳击穿.

一个具体的 PN 结的击穿究竟属于雪崩还是齐纳击穿,有时很难认定,但一般认为反向击穿电压超过 6V 主要为雪崩击穿,低于 6V 为齐纳击穿.

雪崩击穿电压随温度升高而增大,具有正温度系数;齐纳击穿电压随温度的升高而下降,具有负温度系数.当击穿电压在 6V 左右时,两种击穿会同时发生,相应击穿电压的温度系数趋近于零.

1.2.4 二极管的主要参数

二极管的特性还可用参数来描述,实用中一般通过查器件手册,依据参数来合理使用二极管.

1. 最大整流电流 I_F

指二极管长期运行允许通过的最大正向平均电流.使用时若超过此值,有可能烧坏二极管.

2. 最高反向工作电压 U_{RM}

指允许施加在二极管两端的最大反向电压,通常规定为击穿电压的一半.

3. 反向电流 I_R

指二极管未击穿时的反向电流值.其值会随温度的升高而急剧增加,其值越小,二极管单向导电性能越好.但是反向电流值会随温度的上升而显著增加,在实际应用中应加以注意.

4. 最高工作频率 f_M

指保证二极管单向导电作用的最高工作频率. 当工作频率超过 f_M 时, 二极管的单向导电性能就会变差, 甚至失去单向导电特性. PN 结具有电容效应, 其作用可用 PN 结电容来等效, 它并联于二极管的两端. 由于 PN 结电容很小, 对低频工作影响很小, 当工作频率升高时, 其影响就会增大, 所以 f_M 主要决定于 PN 结电容的大小, 其值越大, f_M 就越小. 点接触型锗管由于其 PN 结面积比较小, 故 PN 结电容很小, 通常小于 1pF , 其最高工作频率可达数百 MHz, 而面接触型硅整流二极管, 其最高工作频率只有 3kHz .

1.3 二极管电路的分析方法

1.3.1 理想二极管及二极管特性的折线近似

1. 理想二极管

实际使用中, 希望二极管具有正向偏置时导通, 电压降为零; 反向偏置时截止, 电流为零; 反向击穿电压为无穷大的理想特性, 其伏安特性可用图 1.3.1(a) 所示两段直线表示. 具有这样特性的二极管称为理想二极管, 常用图 1.3.1(b) 所示电路符号表示.

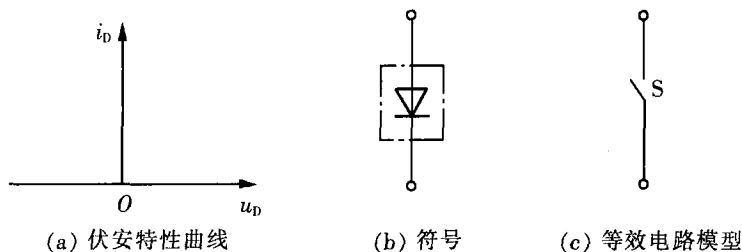


图 1.3.1 理想二极管模型

在分析电路时, 理想二极管可用一理想开关 S 来等效, 如图 1.3.1(c) 所示. 正偏时 S 闭合, 反偏时 S 断开, 这一特性称为理想二极管的开关特性. 在实际电路中, 当二极管的正向压降远小于和它串联的电压, 反向电流远小于和它并联的电流时, 可认为二极管是理想的.

2. 二极管特性的折线近似

将图 1.2.2 所示二极管伏安特性曲线用两段直线来逼近, 称为特性曲线折线近似, 如图 1.3.2(a) 所示. 两段直线在 $U_{D(on)}$ 处转折, $U_{D(on)}$ 为导通电压. 二极管两端电压小于 $U_{D(on)}$ 时电流为零, 大于 $U_{D(on)}$ 后, 直线的斜率为 $1/r_D$, $r_D = \Delta U / \Delta I$, 称为二极管的导通电阻, 它表示在大信号作用下, 二极管呈现的电阻. 由于二极管正向特性曲线陡直, 所以导通电阻很小, 约为几十欧. 根据图 1.3.2(a) 可得到图 1.3.2(b) 所示的等效电路.

由于二极管的导通电阻 r_D 很小, 通常可以将其略去, 则二极管的特性曲线和等效电路可进一步简化为图 1.3.3 所示. 通常, 图 1.3.2 和图 1.3.3 中的导通电压 $U_{D(on)}$ 对于硅管取 0.7V , 锗管取 0.2V .