

山东省高等教育名校建设工程课程改革教材

模拟电子技术

王金平 谢建 主编
崔维群 主审



黄河水利出版社

山东省高等教育名校建设工程课程改革教材

模拟电子技术

主 编	王金平	谢 建
副主编	杨经纬	肖丰霞
	闫廷光	申加亮
主 审	崔维群	

黄河水利出版社

· 郑 州 ·

内 容 提 要

本书是山东省高等教育名校建设工程课程改革教材,是本着高职教育的特色,依据中央财政支持专业建设方案和山东省特色名校建设方案要求进行编写的。全书共分八个学习项目,主要包括:半导体器件的基本知识、基本放大电路、负反馈放大电路、集成运算放大器及应用、功率放大电路、正弦波振荡电路、直流稳压电源、模拟电子电路读图等。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校的电气自动化技术、电子信息工程技术、通信技术、应用电子技术等专业的教材,也可供相关专业的工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术/王金平,谢建主编. —郑州:黄河水利出版社,2015.8

山东省高等教育名校建设工程课程改革教材

ISBN 978-7-5509-1204-5

I. ①模… II. ①王… ②谢… III. ①模拟电路-电子技术-高等学校-教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 205168 号

组稿编辑:王路平 电话:0371-66022212 E-mail:hhsllwp@163.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:18.5

字数:430 千字

印数:1—1 000

版次:2015 年 8 月第 1 版

印次:2015 年 8 月第 1 次印刷

定价:42.00 元



前言

本书是依据中央财政支持提升社会服务能力重点建设专业和山东省高等教育名校建设工程重点建设专业人才培养方案和课程建设目标要求,并按照国家及行业有关电气自动化应用技术的规范、新法规、新标准编写完成的。在吸收有关教材和技术文献资料精华的基础上,充实了新思想、新理论、新方法和新技术;以“工学结合”为主线,以培养学生的实践动手能力为目标,不过分苛求学科的系统性和完整性,注重学生职业能力训练和综合素质培养,体现了高等职业教育的特点,突出了适用性、实践性、创新性的教材特色。

本书充分贯彻国家及行业最新的标准、规范,保证了知识的实效性。每个学习项目按教学任务组织编排教学内容,每个教学任务包括基础知识和实训与技能操作训练两部分。基础知识以讲解概念、基本技能为主;实训与技能操作训练以实际工作任务编排实训项目,重点培养学生的实践动手能力。通过教学任务将理论知识和实践技能有机结合,便于“教、学、练”一体化教学模式的实施;每个项目配备了类型丰富多样的基础知识训练题,便于教师教学和学生学,体现了加强实际应用、服务专业教学的宗旨。

本书由山东水利职业学院主持编写工作,编写人员及编写分工如下:王金平编写项目一、项目二及附录,肖丰霞编写项目三,杨经伟编写项目四、项目五,闫廷光编写项目六,申加亮编写项目七,日照比特电子有限公司谢建编写项目八。本书由王金平、谢建担任主编,王金平负责全书统稿;由杨经伟、肖丰霞、闫廷光、申加亮担任副主编;由崔维群担任主审。

本书在编写过程中,参考了其他院校和专家的一些著作和教材,得到了日照比特电子有限公司、日照市东港区江诺电子软件有限公司及黄河水利出版社等单位的大力支持,在此一并表示感谢!

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中难免存在不足之处,恳请读者批评指正,提出宝贵意见。

编者
2015年1月



目 录

前 言

项目一 半导体器件的基本知识	(1)
任务一 半导体基础知识的概念认知	(1)
任务二 半导体二极管的认识与检测	(5)
任务三 二极管电路的分析与设计	(16)
任务四 双极型三极管的认识与检测	(22)
任务五 单极型三极管的认识与检测	(37)
实训与技能操作训练	(46)
项目小结	(50)
思考与习题	(51)
项目二 基本放大电路	(57)
任务一 基本放大电路的概念认知	(57)
任务二 共发射极放大电路的认识与分析	(63)
任务三 放大电路工作点的检测	(79)
任务四 共集电极放大电路和共基极放大电路分析	(85)
任务五 多级放大电路的认识与分析	(92)
任务六 放大电路频率响应的认识与了解	(97)
任务七 小信号低频放大电路的设计与调试	(110)
实训与技能操作训练	(116)
项目小结	(118)
思考与习题	(119)
项目三 负反馈放大电路	(128)
任务一 反馈的基本概念的认知	(128)
任务二 反馈电路的类型判别	(130)
任务三 负反馈对放大电路性能的影响分析	(131)
任务四 深度负反馈的计算	(134)
任务五 负反馈放大电路的稳定性设计	(137)
实训与技能操作训练	(139)
项目小结	(140)
思考与习题	(140)
项目四 集成运算放大器及应用	(143)
任务一 差动放大器的分析与检测	(143)

任务二 电流源电路的分析与检测	(153)
任务三 集成运算放大器结构的认知	(156)
任务四 集成运算放大器的分类及性能指标的认知	(157)
任务五 理想运算放大器的计算与分析	(160)
任务六 集成运算放大器在线性区的应用设计实例	(163)
任务七 集成运算放大器在非线性区的应用设计实例	(164)
任务八 集成运算放大器应用的注意事项	(180)
实训与技能操作训练	(184)
项目小结	(187)
思考与习题	(187)
项目五 功率放大电路	(190)
任务一 功率放大器的概念认知	(190)
任务二 低频功率放大电路的应用与分析	(192)
任务三 集成功率放大电路的应用与分析	(199)
任务四 功率放大器的散热及解决措施	(203)
实训与技能操作训练	(205)
项目小结	(207)
思考与习题	(207)
项目六 正弦波振荡电路	(211)
任务一 振荡电路的概念认知	(211)
任务二 RC 正弦波振荡电路的应用与分析	(214)
任务三 LC 正弦波振荡电路的应用与分析	(217)
任务四 石英晶体振荡电路的应用与分析	(224)
任务五 8038 集成函数波形发生器的原理与应用	(228)
实训与技能操作训练	(230)
项目小结	(234)
思考与习题	(235)
项目七 直流稳压电源	(238)
任务一 直流电源的概念认知	(238)
任务二 二极管整流电路的设计应用与检测	(239)
任务三 滤波电路的分析与设计	(242)
任务四 简单稳压电路的分析与设计	(245)
任务五 串联型稳压电路的应用与分析	(247)
任务六 线性集成稳压电路的应用与分析	(250)
任务七 开关型稳压电源的应用与分析	(253)
实训与技能操作训练	(254)
项目小结	(256)
思考与习题	(257)



项目八 模拟电子电路读图	(260)
任务一 电路识图的思路与步骤	(260)
任务二 典型电路的读图训练	(261)
项目小结	(264)
思考与习题	(265)
附 录	(268)
附录一 数字示波器的使用练习(以 DS-5000 系列为例)	(268)
附录二 交流毫伏表的使用方法	(279)
附录三 晶体管特性图仪的使用	(281)
参考文献	(287)



项目一 半导体器件的基本知识

任务一 半导体基础知识的概念认知

一、半导体及其特性

硅、锗、氧化亚铜、砷化镓等物质,它们的导电能力介于导体与绝缘体之间,因而称这类物质为半导体。由于半导体的存在,导体和绝缘体之间没有明显的界线。用半导体制成的一些电子元件有着极其广泛的应用,从日常生活到现代通信设备、电子计算机、空间技术等都离不开它。半导体之所以有如此重要的作用,在于它有着自己特殊的导电性质。

金属导体是以内部的自由电子来导电的,液体导体是由溶液中正、负离子相向运动来导电的;而半导体是由物质内部的自由电子和空穴来导电的。现以半导体硅为例来说明:硅是4价元素,硅原子最外层有4个价电子。在硅的单晶体中,硅原子的排列是很有规律的,每个原子都以4个价电子与相邻的4个原子联系着。这样,相邻的两个原子就有一对共有电子形成共价键。处于共价键中的电子是一种束缚电子,很难自由移动。但是,由于外界的各类作用(如光照或加热等),其中少数电子就有可能获得足够的能量,挣脱束缚成为自由电子。如果此时存在有外加电压,这些自由电子就会在外电压的作用下,逆着人们规定的电流方向做定向移动形成电流。这就是半导体的电子导电。

当共价键中一个束缚电子挣脱束缚成为自由电子时,在原来共价键中就留下了一个空位,这个空位人们叫它为“空穴”。我们知道,原子是电中性的,空穴是失去了带负电的电子而形成的,因而可以看作是带正电的。这个空穴很容易由附近共价键中的束缚电子来填补,于是又出现了一个新的空穴,新出现的空穴再由相邻的束缚电子填补上……这样不断地继续下去,束缚电子的填补运动出现了。一个个束缚电子的填补运动,从效果上来看,相当于带正电的空穴向着相反方向移动。为了跟自由电子的移动相区别,人们把束缚电子填补空穴的这种运动叫作空穴运动。在外电压的作用下,空穴顺着人们规定的电流方向做定向移动形成电流,这叫作半导体的空穴导电。

可见,半导体导电与金属导体导电的情形不同。金属导体只有电子导电,而半导体既有电子导电又有空穴导电。金属导体虽然只有电子导电,但它的自由电子数量很多,所以导电性能好;纯净的半导体虽然有电子导电和空穴导电,但它的自由电子和空穴的数量很少,因而导电性能差。

(一) 半导体的光敏特性和热敏特性

金属导体虽然比纯净半导体的导电性能好,可是当温度升高或掺入杂质时,金属导体的导电性能却变坏,即电阻率增大。而纯净的半导体若掺入微量杂质后,它的导电性能会

大大地增强。例如,在纯净半导体硅中掺入三价元素(如硼),就成为 P 型半导体,它的内部空穴的数量就增多,此时, P 型半导体以空穴导电为主,电子导电为辅;如果在纯净半导体硅中掺入五价元素(如磷),就成为 N 型半导体,它以自由电子导电为主,空穴导电为辅。

半导体的温度升高或受到光的照射时,半导体内部共价键中更多的电子就会挣脱束缚,产生更多的自由电子和空穴,使半导体的导电性能增强,这就是半导体的热敏特性和光敏特性。人们利用半导体的热敏特性和光敏特性制成了热敏电阻和光敏电阻,应用于测量温度和自动控制的技术上。

(二) 半导体的掺杂特性

相对而言,本征半导体中载流子数目极少,导电能力较差。为了提高其导电能力,可掺入某种微量元素(杂质),掺杂后生成的杂质半导体的导电能力可增加几十万甚至几百万倍。我们将这种掺入少量杂质,导电能力大大加强的特性称为掺杂特性。

二、本征半导体及杂质半导体

纯净的具有单晶结构的半导体称为本征半导体。用于制造半导体器件的材料硅和锗都是四价元素,其最外层的价电子为如图 1-1 所示的共价键结构。在热力学温度 $T=0\text{ K}$ 和没有外界影响的条件下,它的价电子均被束缚在共价键中,没有自由运动的电子。但当温度升高或受到光线照射时,某些价电子由于获得了足够的能量,能挣脱共价键的束缚而成为自由电子,同时,在共价键中产生了相同数量的空穴,如图 1-1 所示,这种现象称为本征激发。本征激发产生的自由电子和空穴是成对的,称为电子空穴对。

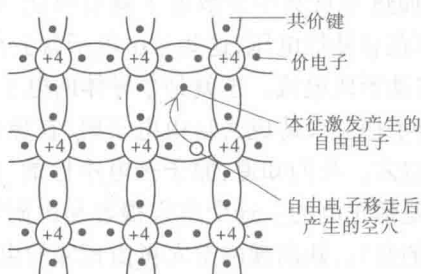


图 1-1 共价键结构及本征激发示意图

当共价键中产生了空穴后,相应的原子就带有一个电子电荷量的正电荷。邻近共价键中的价电子填补空穴的运动,就相当于空穴在晶格中产生了运动。由于带负电荷的价电子填补空穴的运动与带正电荷的粒子作反方向运动的效果相同,因此可以把空穴看作是带正电荷的载流子。由此可见,半导体中借以导电的载流子有带负电荷的自由电子和带正电荷的空穴两种。

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。当温度或光照一定时,自由电子和空穴对的产生与复合将达到动态的平衡,这时自由电子和空穴对浓度一定。

半导体中的自由电子和空穴两种载流子在电场的作用下,会产生定向的运动,这种运



动称为漂移运动,形成的电流叫作漂移电流。另外,这两种载流子在浓度差的作用下,会产生定向的扩散运动,形成的电流叫作扩散电流。在常温下,本征半导体载流子浓度很低,导电能力很差。

本征半导体导电能力较差,为了提高其导电能力,可掺入某种微量元素(杂质),掺杂后生成的杂质半导体的导电能力可增加几十万甚至几百万倍。

按掺入的杂质不同,杂质半导体分为N型和P型两种。若掺入五价元素的杂质(磷、砷或锑等),则可使本征半导体中自由电子的浓度大大增加,成为多数载流子(简称多子)。由于自由电子的增加,原先由于本征激发所产生的空穴,被自由电子填补复合的机会增多,而进一步减少成为少数载流子(简称少子)。这种杂质半导体被称为N型或电子型半导体,N型半导体结构如图1-2(a)所示。若掺入三价元素的杂质(硼、镓、铟或铝等),则可使本征半导体中空穴(多子)的浓度大大增加。由于空穴的增加,原先由于本征激发所产生的自由电子被空穴吸引复合的机会增多,而进一步减少成为少子。这种杂质半导体被称为P型半导体或空穴型半导体,P型半导体结构如图1-2(b)所示。

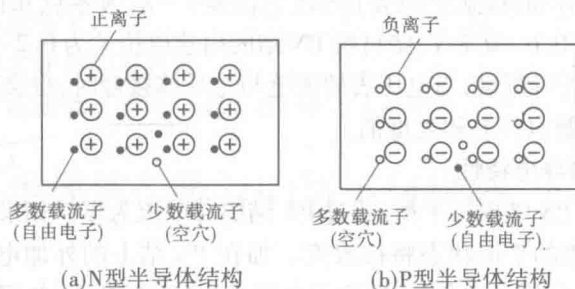


图 1-2 杂质半导体结构示意图

注意:不论是N型半导体还是P型半导体,虽然都有一种载流子占多数,但整个晶体仍然是不带电的。

三、PN 结及其单向导电特性

(一) PN 结的形成

在同一块本征半导体的基片(如硅片)上采用不同的掺杂工艺,可使其一边成为P型(P区)半导体,另一边成为N型(N区)半导体。开始时,由于P区和N区多子浓度的差异会产生多子的扩散运动。P区的多子(空穴)扩散到N区,与N区的自由电子复合而消失;N区的多子(自由电子)扩散到P区,与P区的空穴复合而消失,如图1-3(a)所示。结果使P区与N区交界面附近载流子的浓度骤减,形成了由不能移动的带电极子构成的空间电荷区,建立了由N区指向P区的内建电场(简称内电场)。这个由不能移动的正、负离子形成的空间电荷区就是所谓的PN结,如图1-3(b)所示。该区域又称为耗尽层,这是因为该区域的多子已扩散并复合掉了,或者说被耗尽了。空间电荷区的电阻率很高,故又称为高电阻区。

空间电荷区建立的内电场将阻止多子的扩散运动,因此空间电荷区又称为阻挡层;同时内电场会促进少子的漂移运动。

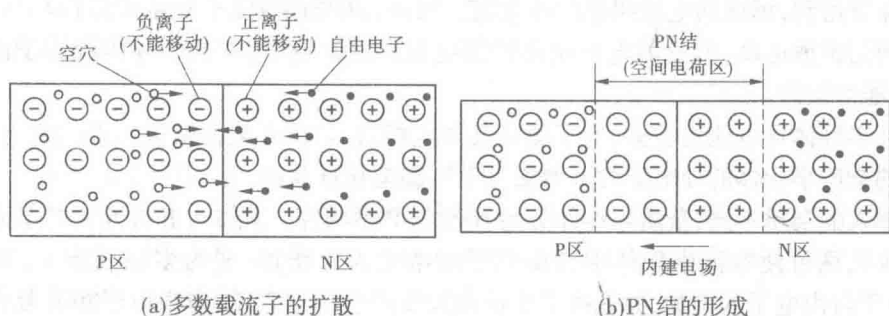


图 1-3 PN 结

开始时,内电场较小,扩散运动较强,漂移运动较弱。随着扩散运动的进行,空间电荷区逐渐增宽,内电场逐渐增大,扩散运动逐渐困难,漂移运动逐渐加强。当扩散运动和漂移运动相抵,达到动态平衡时,空间电荷区的宽度和内电场的强度就确定了。

空间电荷区(PN 结)的接触电位差(内建电位差)一般为零点几伏,常温下,硅材料 PN 结的内建电位差为 $0.6 \sim 0.8 \text{ V}$,锗材料 PN 结的内建电位差为 $0.2 \sim 0.3 \text{ V}$ 。这个接触电位差不能用电压表进行测量,当电压表的表笔与半导体接触时,也会产生新的接触电位差,并将与 PN 结的接触电位差相互抵消。

(二) PN 结的单向导电特性

没有外加电压时,PN 结保持平衡,流过 PN 结的总电流为零。如果在 PN 结的两端外加电压作用,PN 结原来的平衡状态将被改变。加在 PN 结上的外加电压称为偏置电压,若 P 区接电源正极,N 区接电源负极,称为正向偏置,简称正偏;反之,则称为反向偏置,简称反偏。

1. PN 结正向偏置

如图 1-4(a) 所示,由于外加电源产生的外电场的方向与 PN 结产生的内电场的方向相反,内电场被削弱,空间电荷区变窄,多子的扩散运动加强,并通过外加电源回路形成正向电流。当外加电压增加至一定数值后,正向电流将显著增加,此时,PN 结呈现的电阻很小,称为正向导通状态。为了防止正向电流过大而损坏 PN 结,正偏时应在回路中串接适当大小的限流电阻。

2. PN 结反向偏置

如图 1-4(b) 所示,由于外加电源产生的外电场的方向与 PN 结产生的内电场的方向相同,内电场被加强,空间电荷区变宽,多子的扩散运动受阻,少子的漂移运动得到加强,并在外电场的作用下,通过外加电源回路形成反向电流。由于少子的浓度很低,所以反向电流很小,一般为微安级。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 结呈现的电阻很大,称为反向截止状态。由于少数载流子是本征激发产生的,本征激发与温度有关,所以反向电流的大小与温度相关。

综上所述,PN 结在外加电场的作用下,正偏导通,反偏截止,具有单向导电的特性。

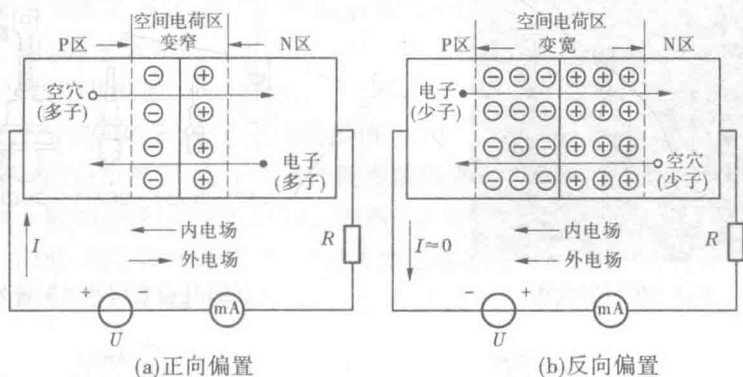


图 1-4 PN 结外加偏置



课堂活动

课堂提问和讨论

T1.1-1 PN 结是什么?

T1.1-2 PN 结有什么重要特性?

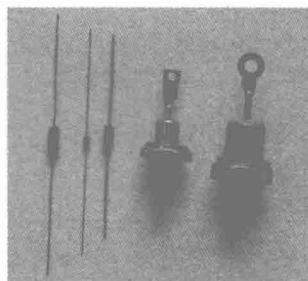
T1.1-3 PN 结的正偏说的是什么? PN 结的反偏说的是什么?

任务二 半导体二极管的认识与检测

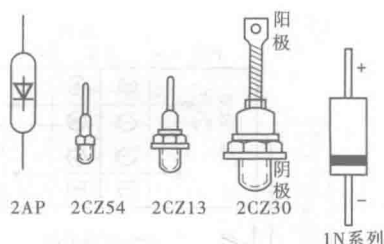
一、二极管的结构及符号

把按一定工艺要求制作形成的 PN 结的 P 区和 N 区分别用电极引线引出,并以外壳封装,就制成了半导体二极管(或称晶体二极管,以下简称二极管),其实物图如图 1-5(a)所示;几种常用的二极管的外形如图 1-5(b)所示;二极管的内部结构如图 1-5(c)所示;二极管的电路符号如图 1-5(d)所示,文字符号用 VD 表示。从 P 区接出的引线称为二极管的阳极或正极(+),从 N 区接出的引线称为二极管的阴极或负极(-)。二极管电路符号中的三角箭头表示二极管正向导通时正向电流的流通方向。

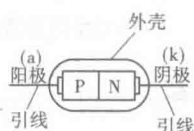
二极管的种类很多,常用的半导体二极管按制造材料分,有硅二极管和锗二极管;按用途分,有整流二极管、稳压二极管、变容二极管、发光二极管等;按结构分,有点接触型二极管和面接触型二极管等。点接触型二极管的结构如图 1-6(a)所示。点接触型二极管的 PN 结结面积较小,不能通过较大的电流,也不能承受较高的反向电压,但由于它的 PN 结极间电容较小,对高频信号的旁路作用较小,所以适用于高频电路工作,常用于高频电路的检波、混频等,也可用来做小电流的整流。如 2AP9 点接触型锗二极管,PN 结电容小于 1 pF,最大工作电流 8 mA,最高反向工作电压 15 V,工作频率 100 MHz。



(a) 二极管实物图



(b) 几种常用的二极管外形图



(c) 内部结构示意图



(d) 电路符号

图 1-5 半导体二极管的外形结构和符号

面接触型二极管的结构如图 1-6(b) 所示。面接触型二极管 PN 结面积较大, 可承受较大的电流, 但极间电容也较大, 适用于较低的工作频率, 不宜用于高频电路中, 常用于低频整流电路中。如 2CP1 面接触型硅二极管, 最大整流电流为 500 mA, 最高反向工作电压为 100 V, 最高工作频率只有 3 kHz。

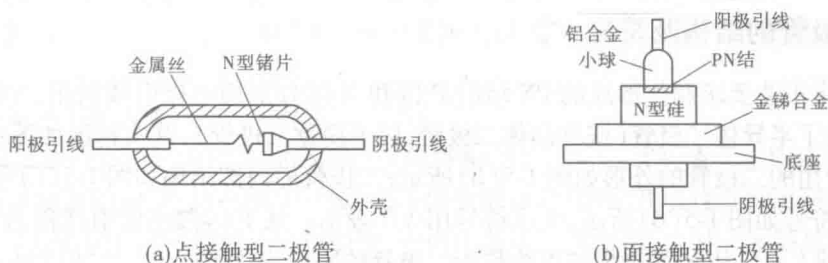


图 1-6 二极管结构示意图

二、二极管的伏安特性

(一) 二极管的伏安特性曲线

一个 PN 结封装就是一个二极管, 理论证明, 由理想指数模型构成的 PN 结, 其伏安特性可表示为

$$i_D = I_S (e^{u_D/U_T} - 1) \quad (1-1)$$

式中 i_D ——通过 PN 结的电流, 方向从阳极指向阴极;

u_D ——PN 结两端的外加电压, 方向从阳极指向阴极;

U_T ——温度的电压当量, $U_T = kT/q$, k 为波尔兹曼常数 (1.38×10^{-23} J/K), T 为热

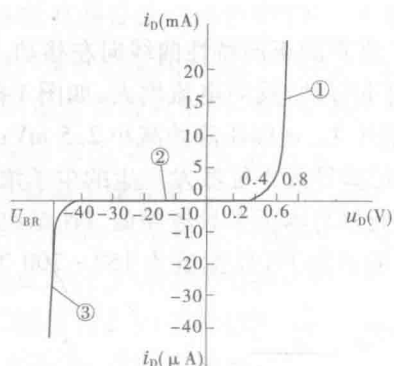


力学温度, $0\text{ }^{\circ}\text{C} = 273.16\text{ K}$, q 为电子电荷 ($1.6 \times 10^{-19}\text{ C}$), 室温即 $T = 300\text{ K}$ 时, $U_T \approx 26\text{ mV}$;

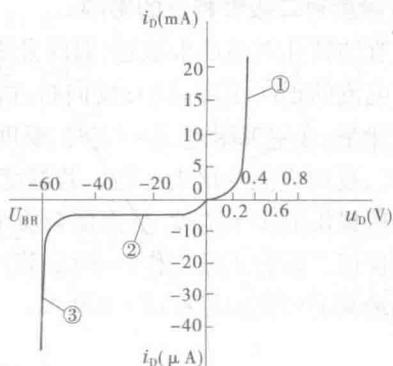
e ——自然对数的底, $e \approx 2.718$;

I_S ——反向饱和电流, 分立器件典型值为 $10^{-8} \sim 10^{-14}\text{ A}$ 。

实际二极管的分析模型, 由于要考虑较多的因素而变得较为复杂, 所以实际二极管的伏安特性曲线一般都是通过实测得到的, 如图 1-7 所示。它与由式 (1-1) 描绘的特性基本上是相同的。因此, 测量精度越高, 伏安特性曲线越逼近实际器件的特性。下面对二极管的伏安特性曲线分三部分加以说明。



(a) 硅二极管 2CZ52 的特性曲线



(b) 锗二极管 2AP15 的特性曲线

图 1-7 半导体二极管的伏安特性曲线

1. 正向特性

对应于图 1-7 的第①段为正向特性。当二极管两端所加的正向电压 u_D (方向从阳极指向阴极) 较小时, 外电场不足以克服内电场对多数载流子扩散运动所产生的阻力, 此时的正向电流几乎为零, 二极管呈现的电阻较大, 这个区域通常称为死区。当二极管两端的正向电压 u_D 超过一定数值 $U_{D(th)}$ 时, 内电场很快被削弱, 流过二极管的电流 i_D 将随外加电压的微小增加迅速增长, 二极管正向导通。 $U_{D(th)}$ 叫作门坎电压或阈值电压, 在室温下, 小功率硅管约为 0.5 V , 小功率锗管约为 0.1 V 。正常使用时, 在二极管所能承受的电流范围内, 二极管的正向导通压降 U_F 很小, 硅管为 $0.6 \sim 0.8\text{ V}$, 锗管为 $0.2 \sim 0.3\text{ V}$, 且几乎维持恒定不变, 工程上一般取硅管为 0.7 V , 锗管为 0.2 V , 并用符号 $U_{D(on)}$ 表示, 称为正向导通压降。

2. 反向特性

对应于图 1-7 的第②段为反向特性。二极管在反向电压作用下, 少数载流子的漂移运动形成很小的反向饱和电流。由于少数载流子的数量很少、有限, 所以反向电流很小, 且基本与反向电压的大小无关。一般硅管的反向电流比锗管小得多, 小功率硅管的反向饱和电流在 nA 数量级, 小功率锗管在 μA 数量级。温度升高时, 半导体受热激发, 少数载流子数量增加, 反向饱和电流也随之增加。

由正向及反向特性可直观地看出:

(1) 二极管是非线性器件。

(2) 二极管具有单向导电特性, 二极管两端的外加电压大于阈值电压时导通, 小于阈值电压时截止。

3. 反向击穿特性

增加二极管两端的反向电压, 开始由于少数载流子数量有限, 反向电流没有多大变化, 所以反向特性曲线基本上没有什么变化。当反向电压增加到一定数值 U_{BR} 时, 反向电流剧增, 二极管呈现反向击穿状态, 这实际上就是二极管中的 PN 结被反向击穿了, 如图 1-7 的第③段所示。由于 PN 结已被击穿, 故此段不适用于式(1-1)。

(二) 温度对二极管特性的影响

二极管的特性对温度很敏感, 温度升高时, 二极管的正向特性曲线向左移动, 相对于同一正向电流的正向压降减小; 反向特性曲线向下移动, 反向电流增大, 如图 1-8 所示。变化的规律是: 在室温附近, i_D 一定时, 温度每升高 1°C , 正向压降约减小 2.5 mV ; 温度每升高 10°C , 反向电流约增大一倍。若温度过高, 可能导致本征激发产生的少子浓度大于杂质原子所提供的多子浓度, 从而使杂质半导体变得与本征半导体相似, PN 结也就不存在了。为保证二极管正常工作, 一般硅管所允许的最高 PN 结温度为 $150 \sim 200^\circ\text{C}$, 锗管所允许的最高 PN 结温度为 $75 \sim 100^\circ\text{C}$ 。

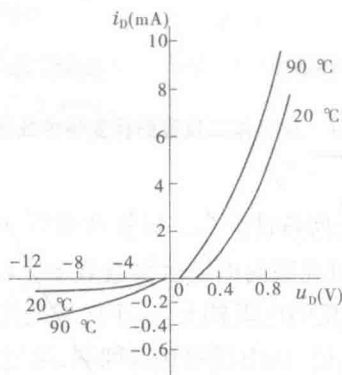


图 1-8 温度对二极管(2AP22)特性曲线的影响

三、二极管的主要参数

器件的参数是对器件特性的定量描述, 是合理选择和正确使用器件的依据。二极管有以下一些主要参数。

(一) 最大整流电流 I_F

I_F 是指在规定的使用条件下, 在电阻性负荷的正弦半波整流电路中, 允许连续通过二极管的最大工作电流的平均值。在二极管连续工作时, 工作电流不应超过 I_F , 否则可能使管子因过热而损坏。一般锗管的 I_F 为数十毫安以下, 而大功率硅管可达数百安。

(二) 最高反向工作电压 U_{RM}

U_{RM} 指二极管工作时所允许施加在二极管两端的最高反向电压, 若超过此值二极管

就有可能被反向击穿。它一般为反向峰值击穿电压 V_{BR} 的 $1/2$ 或 $2/3$ 。一般锗管的 U_{RM} 为数十伏以下,而硅管可达数百伏。

(三) 反向电流 I_R

I_R 指在室温下加上规定的反向电压(如 10、25、50、75 V 或 100 V)时的反向电流。 I_R 越小,二极管的品质越好。一般锗管的 I_R 为数百微安,硅管在 1 微安至数十微安。

(四) 反向峰值击穿电压 U_{BR}

U_{BR} 是二极管能承受的最高反向电压,超过后将导致二极管被击穿。

(五) 结电容 C_j

结电容 C_j 是反映二极管中 PN 结电容效应的参数。

在高频或开关状态运用时,必须考虑二极管结电容的影响。PN 结的高频等效电路如图 1-9 所示,其中 r_d 表示 PN 结的结电阻, C_j 表示结电容。

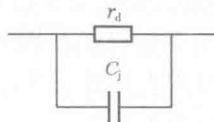


图 1-9 PN 结的高频等效电路

(六) 最高工作频率 f_M

f_M 主要由 PN 结电容的大小决定。当使用的频率过高时,二极管的性能将变差,工作频率超过此值时,结电容的容抗将变得很小,使二极管反偏时的等效阻抗变得很小,从而可能使二极管失去单向导电性。 f_M 是二极管能够正常使用的最高工作频率。二极管的结电容(极间电容)越小, f_M 越高。

点接触型二极管结电容较小, f_M 可达数百兆赫兹,而面接触型的硅整流二极管结电容较大, f_M 只有 3 kHz。

二极管的主要参数可以从器件手册上查到,特别要注意的是,二极管工作时其电路参数不要超过最大整流电流和最高反向工作电压,否则二极管容易损坏。另外,手册上所给参数是在一定的测试条件下测得的,使用时要注意这些条件。若条件改变,相应的参数值也会发生变化。另外,由于制造工艺的限制,即使是同一型号的器件,参数的离散性也很大,手册上常给出参数的范围。

表 1-1 列出了几种二极管的典型参数,以供参考。

表 1-1 几种二极管的典型参数

型号	I_F (mA)	U_{RM} (V)	I_R (μA)	f_M	C_j (pF)	备注
2AP1	16	20	≤ 250	150 MHz	≤ 1	点接触型 锗二极管
2AP9	8	10	≤ 200	100 MHz		
2CZ52A	100	25	≤ 100	3 kHz		面接触型硅 整流二极管
2CZ52D	100	200				
2CZ55C	1 000	100	≤ 500	3 kHz		面接触型硅 整流二极管
2CZ56E	3 000	300	$\leq 1\,000$			
1N4001	1 000	50	< 5			国外型号硅 整流二极管
1N4002	1 000	100	< 5			
1N5403	3 000	200	< 10			

四、二极管的测试

如何识别二极管引脚的极性？如何判别二极管的好坏？

通常在二极管的管壳上都印有识别的标记,有的为二极管的电路符号,依此电路符号的方向可直接识别二极管的阳极和阴极;有的为色环,塑封用白色环,玻璃封装为黑色(或其他色)环,则标有色环的一端引脚为二极管的阴极;对于直立型一端出脚的二极管,两根引脚中较长的一根为阳极。

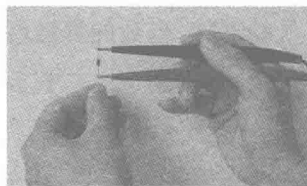
工程上,常用万用表来简易测试、判别二极管的引脚极性和好坏。

(一) 用指针式万用表检测普通小功率二极管

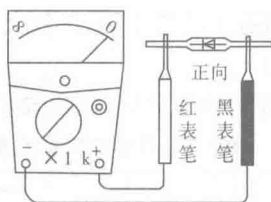
用万用表检测二极管,就是检测二极管的单向导电性。

将万用表置于 $R \times 1 \text{ k}\Omega$ 挡或 $R \times 100 \Omega$ 挡(不要用 $R \times 1 \Omega$ 挡或 $R \times 10 \text{ k}\Omega$ 挡,因为 $R \times 1 \Omega$ 挡测量电流太大,容易烧坏二极管,而 $R \times 10 \text{ k}\Omega$ 挡测量电压太高,可能击穿二极管),调零后用表笔分别正、反接于二极管的两端引脚,如图 1-10 所示。一般硅材料的普通小功率二极管正向电阻为几千欧,锗材料的为几百欧;反向电阻,硅管在几百千欧以上,锗管在几十千欧以上。正向电阻越小,反向电阻越大的二极管质量越好。如果正、反两次测得的电阻都很小,说明二极管内部短路;若正、反两次测得的电阻都很大,则说明二极管内部断路;若两次测得的电阻相差不大,则说明二极管性能很差,不能使用。大功率二极管的正、反向电阻数值比小功率二极管的都要小得多,但有一点是相同的,对于一只二极管而言,反向电阻与正向电阻的比值越大,性能越好。

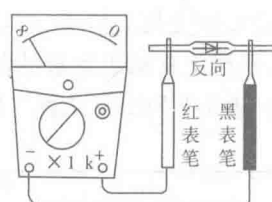
测得正向电阻时,黑表笔连接的是二极管的阳极,红表笔连接的是二极管的阴极,因为指针式万用表置于欧姆挡位时,黑表笔连接表内电池的正极,红表笔连接表内电池的负极。



(a) 检测方式



(b) 测量正向电阻



(c) 测量反向电阻

图 1-10 二极管的简易测试

(二) 用数字式万用表检测普通小功率二极管

与指针式万用表相比,数字式万用表有许多优点,使用越来越普遍,下面以常见的 VC890C + 型数字式万用表为例介绍其检测的方法。

VC890C + 型数字式万用表在电阻测量挡内,设置了“二极管”挡位,将红表笔插入“V · Ω ”插孔,黑表笔插入“COM”插孔,接通电源,即可进行测量。与指针式万用表不同的是数字式万用表红表笔连接表内电池的正极,黑表笔连接表内电池的负极。测量时,红表笔连接二极管的阳极,黑表笔连接二极管的阴极,两表笔的开路电压为 2.6 V(典型