

新世纪高等职业教育规划教材

Moni Dianzi Jishu

模拟电子技术

主 编 吴翠娟

Moni Dianzi Jishu

China University of Mining and Technology Press

中国矿业大学出版社

新世纪高等职业教育规划教材

模拟电子技术

主 编 吴翠娟

副主编 王岗岭 曹俊侠

中国矿业大学出版社

内 容 简 介

本书在简要叙述电子技术基本知识的基础上,较为详细地讲述了基本放大电路、集成运算放大器、低功率放大器、正弦波振荡电路、直流稳压电源、晶闸管的原理及其应用。

本书可作为高职、高专和中等职业技术学校电类、计算机类各专业“模拟电子技术”课程的教学用书,亦可供相关工程技术人员和本院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术/吴翠娟主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2007.2

ISBN 978 - 7 - 81107 - 497 - 0

I. 模… II. 吴… III. 模拟电路—电子技术 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 016951 号

书 名 模拟电子技术

主 编 吴翠娟

责任编辑 何 戈

责任校对 杜锦芝

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail cumtpvip@cumtp.com

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 17 字数 420 千字

版次印次 2007 年 2 月第 1 版 2007 年 2 月第 1 次印刷

定 价 25.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

本书依据教育部的相关要求和职业教育的特点,是在教育部地矿学科教学指导委员会的组织领导下,组织多所高职院校示范专业有丰富实践经验的教师编写的高等职业教育规划教材之一。

高等职业教育是现代高等教育体系中的一个重要组成部分,它的任务是培养具有高尚职业道德,主动适应社会需求,既有专业理论知识,又有高级技能的高等技术应用型专门人才。本书力求反映近年来模拟电子技术的发展趋势,符合高等职业技术教育的教学规律和学生认知规律。本书编写的原则是:保证基础,精选内容,加强概念,面向更新,应用实际,利于自学。

本书的特点有:

(1) 基础理论知识讲授以应用为目的,以“必需、够用”为度。讲清原理,突出基本概念,理论证明和公式推导从简。

(2) 理论知识深入浅出,内容丰富实用,课程体系结构先进。在内容编排上做到相互衔接、配合、和谐、统一,以有利于教师组织教学和学生自学,从而体现适用性。

(3) 紧密结合教学需要,精选了部分经典实验,以供教师教学时选用。

(4) 例题、习题选择尽量结合工程实际,突出应用性,强调启发性。

为了符合高职高专教育的特点,体现高职高专培养目标的要求,本教材以培养学生的应用能力为目的,在理论分析上力求简单明了,把课程内容的分析、计算方法与工程实际紧密结合起来,加强了与岗位能力培养有关的内容,舍去或弱化了与培养应用型人才目标不相适应的设计、计算、推导、论证等内容。每章配有技能训练,目的是让学生掌握从事职业工作所必需的基本方法和基本技能。

本书由苏州经贸职业技术学院吴翠娟老师任主编,编写了第二章、第五章的全部内容,并完成全书的统稿工作。平顶山工业职业技术学院王岗岭老师任副主编,编写了第三章的全部内容;陕西能源职业技术学院的曹俊侠老师任副主编,编写了第一章和第六章除技能训练外的内容;徐州建筑职业技术学院杨东老师编写了第四章的全部内容;苏州经贸职业技术学院许新丰老师编写了第七章的全部内容及第一章、第六章的技能训练部分。附录由曹俊侠老师提供。

编 者

2006年8月

目 录

第一章 电子技术基础.....	1
第一节 半导体的基础知识.....	1
第二节 半导体二极管及其应用.....	5
第三节 半导体三极管.....	9
第四节 场效应管	15
第五节 技能训练	21
本章小结	24
思考题和习题	25
第二章 基本放大电路	27
第一节 放大电路概述	27
第二节 共发射极基本放大电路	30
第三节 放大电路基本分析方法	33
第四节 静态工作点的稳定电路	44
第五节 共集和共基放大电路	49
第六节 场效应管放大电路的分析	53
第七节 多级放大电路	59
第八节 放大电路的频率特性	64
第九节 技能训练	66
本章小结	72
思考题和习题	73
第三章 集成运算放大器及其应用	80
第一节 差分放大电路	80
第二节 集成运算放大器中的电流源电路	91
第三节 集成运算放大器简介	96
第四节 反馈的概念与判断.....	104
第五节 负反馈放大电路增益的一般表达式.....	114
第六节 负反馈对放大电路性能的影响.....	116
第七节 深度负反馈放大电路的分析方法.....	120
第八节 负反馈放大电路的稳定性.....	124
第九节 集成运算放大器的应用.....	126
第十节 技能训练——集成运算放大器的测试.....	155

本章小结·····	158
思考题和习题·····	159
第四章 低频功率放大器·····	169
第一节 概述·····	169
第二节 变压器耦合功率放大器·····	170
第三节 互补对称功率放大器·····	176
第四节 集成功率放大器·····	181
第五节 功率放大器的应用·····	184
第六节 技能训练——推挽功率放大器的组装与测试·····	187
本章小结·····	189
思考题和习题·····	189
第五章 正弦波振荡电路·····	193
第一节 概述·····	193
第二节 RC 正弦波振荡电路·····	195
第三节 LC 正弦波振荡电路·····	198
第四节 石英晶体正弦波振荡电路·····	204
第五节 技能训练——LC 正弦波振荡电路·····	206
本章小结·····	208
思考题和习题·····	209
第六章 直流稳压电源·····	214
第一节 概述·····	214
第二节 整流滤波电路·····	215
第三节 硅稳压管稳压电路·····	221
第四节 串联型稳压电路·····	223
第五节 三端集成稳压器·····	224
第六节 技能训练——三端集成稳压器的测试与应用·····	227
本章小结·····	229
思考题和习题·····	230
第七章 晶闸管及其应用·····	232
第一节 晶闸管·····	232
第二节 单相可控整流电路·····	236
第三节 单结晶体管的触发电路·····	241
第四节 晶闸管的应用及其保护·····	247
第五节 技能训练——单相半波可控整流·····	254
本章小结·····	255

思考题和习题.....	256
附录.....	257
附录一 半导体器件型号组成部分的符号及其意义.....	257
附录二 部分硅半导体整流二极管主要参数.....	258
附录三 部分国产半导体三极管的主要参数.....	259
附录四 部分国产场效应管主要参数(环境温度 25 ℃)	260
参考文献.....	261

第一章 电子技术基础

【本章重点】 二极管的特性;三极管的电流放大作用;三极管的输出特性及其放大条件;场效应管的正确使用。

【本章难点】 PN结的形成;三极管的电流放大作用;场效应管的结构和导电原理。

第一节 半导体的基础知识

一、半导体的导电特性

自然界中的物质按其导电能力的强弱,可以分为三大类,即导体、绝缘体和半导体。导体内部的物质结构决定了其导电能力较强,如一般的金属、电解液等都是导体;绝缘体由于内部结构的稳定性决定了其几乎不导电,如橡胶、胶木等都是绝缘体;半导体的导电能力介于导体和绝缘体之间,常用的半导体有锗(Ge)、硅(Si)及砷化镓(GaAs)等。

现代电子器件大多数是由半导体材料制成的,原因在于半导体具有以下一些奇妙特性:

(1) 热敏特性。半导体的电阻率随温度变化会发生显著变化。例如纯锗,温度每升高 10°C 它的电阻率就会减小到原来的一半左右。利用半导体的热敏特性,可以制成热敏电阻,可用于控制系统和温度测量等方面。但同时由于半导体具有热敏特性,使得由半导体器件组成的电子线路的性能也会随环境温度的变化而变化,造成整个电子线路性能的不稳定。

(2) 光敏特性。半导体的电阻率对光照也很敏感。例如硫化镉半导体薄膜,在无光照时,电阻高达几十兆欧,受到光照时,电阻可降到几十千欧,相差上千倍。利用半导体的光敏特性,可制成光敏电阻、光敏二极管、光敏三极管以及太阳能电池等光电器件。所以,半导体被广泛应用于自动控制及电子设备中。

(3) 掺杂特性。在纯净的半导体中掺入微量杂质,其导电能力会发生显著变化。例如,在纯硅中掺入一亿分之一的硼元素,其导电性能可以增加两万以上。人们正是通过掺入不同种类和数量的杂质元素,来精确控制半导体的导电性能,制成各种半导体器件的,如二极管、三极管、场效应管及晶闸管等。

二、本征半导体

在电子器件中,用得最多的半导体材料是Si和Ge。Si和Ge都是四价元素,最外层原子轨道上有四个价电子,同周围原子核一起形成稳定的共价键结构,如图1-1-1所示。

半导体的导电性质与材料中单位体积内电荷载

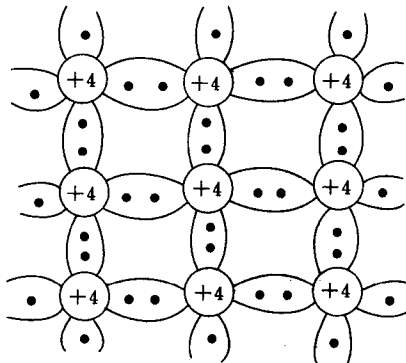


图 1-1-1 硅和锗的共价键结构

流子的数目有关。电荷载流子的浓度愈高,其导电性愈强。而半导体内电荷载流子的浓度与材料的基本性质、温度及杂质有关。

本征半导体是一种完全纯净的、结构完整的半导体晶体。当温度在绝对零度时价电子受到原子核的束缚不能自由移动,硅和锗晶体相当于绝缘体,不能导电。当温度升高或受到光照时,少数共价键中的束缚电子会获得能量而挣脱原子核的束缚,成为自由电子,形成电子载流子,带负电。束缚电子挣脱后,在原子外层上留下一个空位,称为空穴。形成空穴载流子,带正电。显然,自由电子和空穴是成对出现的,成为电子空穴对,如图 1-1-2 所示。这种在热或光的作用下使本征半导体产生电子空穴对的现象称为本征激发,或称为热激发。由于半导体内部自由电子与空穴的数目相等,所以本征半导体对外呈电中性。

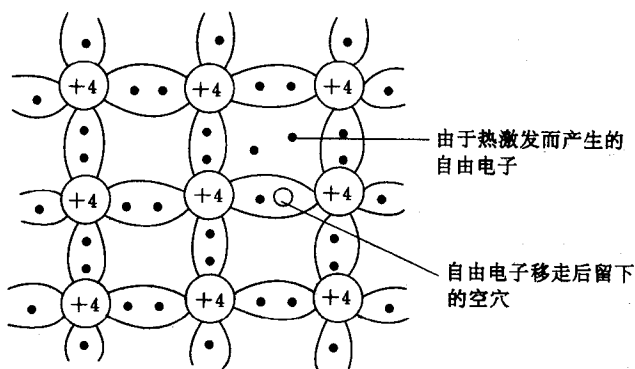


图 1-1-2 本征激发产生电子空穴对

本征半导体内部的两种载流子在外加电压的作用下,会按一定的方向产生和复合,从而形成电流。尽管两种载流子运动的方向相反,但其形成的电流方向相同,如图 1-1-3 所示,而形成电流的大小由电子—空穴的数目来决定。所以,电子—空穴的数目是衡量半导体导电能力的标志。随着温度、光照的增加,电子—空穴的数目会增加,半导体的导电性也会增强。

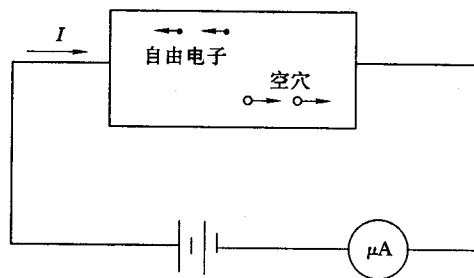


图 1-1-3 两种载流子在电场中的运动

三、杂质半导体

本征半导体导电能力差,本身用处不大,但是在本征半导体中掺入某种微量杂质,却可大大改善其导电性能。按照掺入杂质的不同,可获得 N 型和 P 型两种掺杂半导体,这两种

半导体是制造各种半导体器件的基础材料。

(一) N 型半导体

在本征半导体硅(或锗)中掺入微量的五价元素(如磷),如图 1-1-4 所示。由于五价的磷原子同相邻四个硅原子(或锗原子)形成共价键时,会多出一个价电子,在室温下,它就会成为自由电子。因此,掺杂半导体中就有相当数量的自由电子,使自由电子数远大于空穴数,这种半导体以自由电子导电为主,故称为电子型半导体或 N 型半导体。在 N 型半导体中,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。

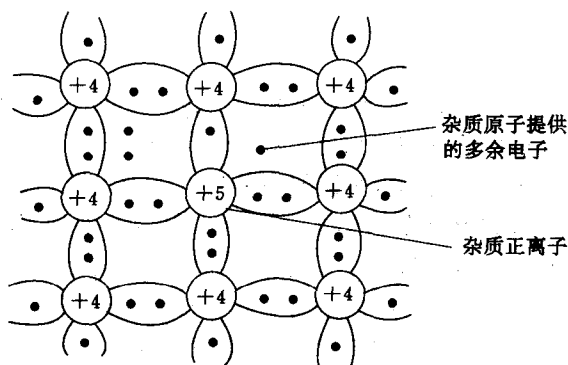


图 1-1-4 N 型掺杂半导体

(二) P 型半导体

在硅(或锗)的晶体中掺入少量三价元素(如硼),如图 1-1-5 所示。硼的原子只有三个价电子,与周围硅原子形成共价键时,因缺少一个电子而多出一个空穴。所以在这种半导体中,空穴数目远大于自由电子数目,在参与导电时以空穴导电为主,故称为空穴型半导体或 P 型半导体。在 P 型半导体中,空穴称为多子,自由电子称为少子。

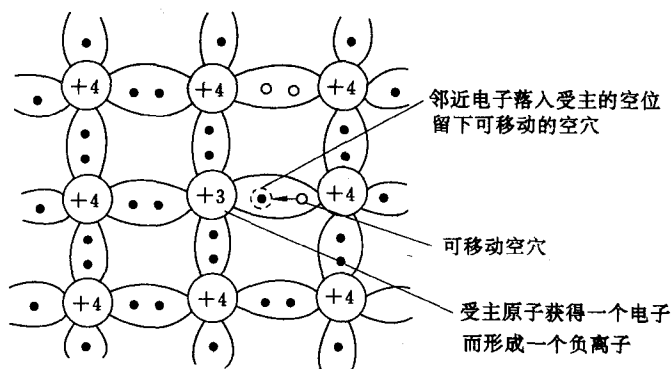


图 1-1-5 P 型掺杂半导体

必须指出,尽管 N 型半导体中有大量带负电的自由电子;P 型半导体中有大量带正电的空穴,但是由于带有相反极性电荷的杂质离子的平衡作用,无论是 N 型半导体还是 P 型半导体,对外表现都是电中性的。

实际上,本征半导体掺杂时经常既掺入 P 型杂质又掺入 N 型杂质,哪一种杂质浓度大,就由哪种杂质决定半导体的类型。而且同一块半导体中还经常有 P 区部分和 N 区部分之分。

四、PN 结及其单向导电性

通过一定的生产工艺把一块半导体的 P 区部分和 N 区部分结合在一起,在它们的界面处就会形成一个具有特殊性能的薄层,称为 PN 结。PN 结具有单向导电性,是构成各种半导体器件的核心部分。

(一) PN 结的形成

如图 1-1-6 所示,一块半导体的一边为 P 区,一边为 N 区。P 区有大量的空穴,N 区有大量的自由电子,在界面两侧存在自由电子和空穴的浓度差,浓度差将引起载流子的扩散运动,使 P 区的多子空穴向 N 区扩散,N 区的多子自由电子向 P 区扩散。扩散到 N 区的空穴与电子复合而消失,扩散到 P 区的自由电子与空穴复合而消失,使界面两侧产生了正负两种杂质离子构成的空间电荷区,建立了内电场。内电场会阻碍扩散运动的继续,内电场又会使 P 区和 N 区中的少子发生与扩散运动相反方向的运动,称为漂移。使空间电荷区变窄,当扩散运动与漂移运动达到动态平衡时,即形成了 PN 结。PN 结中,载流子几乎耗尽,因此又称“耗尽层”,PN 结会阻碍载流子的扩散,又称“阻挡层”。

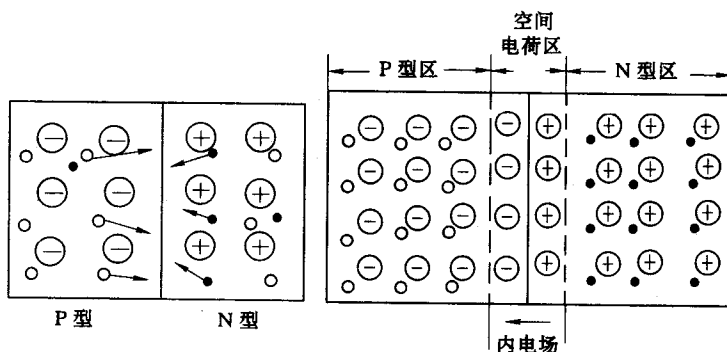


图 1-1-6 PN 结的形成

(a) 载流子的扩散;(b) 空间电荷区

(二) PN 结的单向导电性

1. PN 结正向偏置

如图 1-1-7 所示,给 PN 结的 P 区接电源正极,N 区接电源负极,称为 PN 结的正向偏置。此时,由于外电场方向与 PN 结产生的内电场方向相反,削弱了内电场,使空间电荷区变薄,有利于两区多子向对方扩散,形成正向电流。所以,此时 PN 结正向电阻很小,正向电流较大,处于导通状态。

2. PN 结的反向偏置

如图 1-1-8 所示,给 PN 结的 P 区接电源负极,N 区接电源正极,称为 PN 结的反向偏置。此时,由于外电场与内电场的方向一致,加强了内电场,使空间电荷区加宽,阻碍了多子

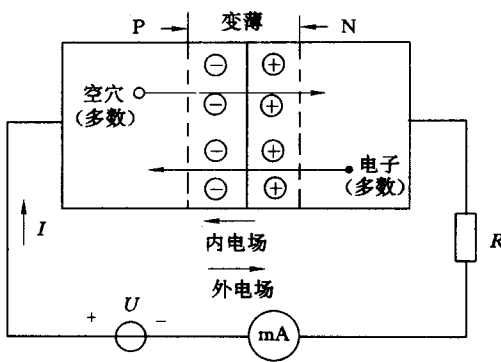


图 1-1-7 PN 结加正向电压

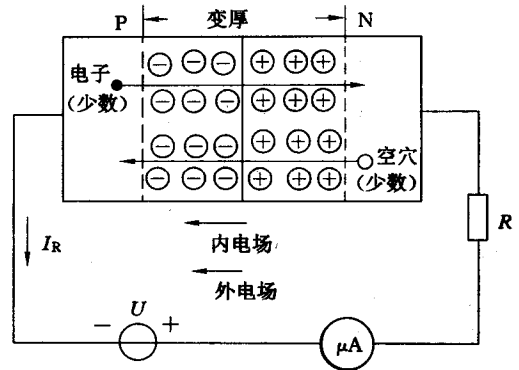


图 1-1-8 PN 结加反向电压

的扩散运动。在外电场作用下,只有少数载流子形成的很微弱的电流,称为反向电流。所以,此时 PN 结的反向电阻很大,反向电流很小,处于截止状态。

必须指出,少数载流子是由于热激发而产生的,因此 PN 结的反向电流受温度的影响很大。

综上所述,PN 结具有单向导电性,即外加正向电压时 PN 结导通,外加反向电压时 PN 结截止。

第二节 半导体二极管及其应用

一、半导体二极管的结构和类型

半导体二极管是由一个 PN 结加上相应的引出端并封装管壳构成的。常见二极管的结构、符号和外形如图 1-2-1 所示。它们都有两个电极,接在 P 区的引出线为正极(或阳极),接在 N 区的引出线为负极(或阴极)。许多二极管的管壳上标有极性符号。对于玻璃外壳的锗二极管,有色点或有黑环的一端为负极。对于极性不明的二极管,可以用万用表的电阻挡测量正反向电阻来判断其正负极。

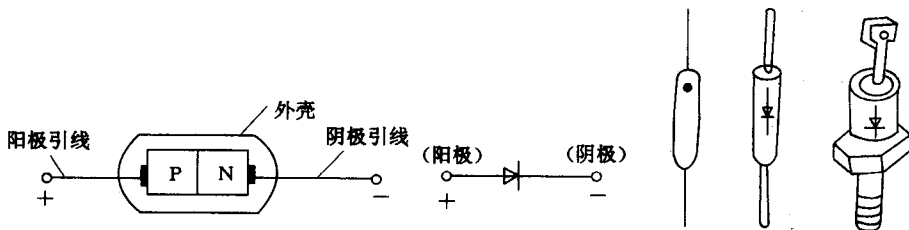


图 1-2-1 二极管的结构、符号及外形

二极管有许多类型。从结构上分,有点接触型和面接触型;从材料上分,有硅二极管和锗二极管;从用途上分,有整流、稳压、光电、开关、变容、检波等二极管;从功率上分,有大功

率、中功率及小功率等二极管。

二极管种类繁多,国内外都采用各自规定的方法命名。其命名方法见附录一。

二、半导体二极管的特性

二极管最重要的性质是它具有单向导电性,这种特性可以用通过二极管的电流随其两端电压变化的伏安特性曲线来描述。它是使用 and 选择二极管的重要依据,不同种类的二极管有着不同的特性曲线,图 1-2-2 所示为实测的两个二极管的伏安特性曲线,由曲线可以看出其特点如下:

(一) 正向特性

给二极管外加正向电压,当正向电压值小于某一数值时,不足以克服 PN 结内电场对载流子扩散运动的阻力,使二极管正向电阻很大,正向电流极小(几乎为零),这一区域称为死区。这一数值的电压称为死区电压,死区电压的大小与二极管材料有关,并受到环境温度的影响。通常,硅管为 0.5 V 左右,锗管为 0.1 V 左右。

当正向电压超过死区电压时,电流随电压增加而迅速增大,二极管正向电阻很小,处于导通状态。二极管完全导通后,其两端电压几乎不变,称为正向导通电压。硅管为 0.6~0.7 V,锗管为 0.2~0.3 V。

(二) 反向特性

当二极管承受反向电压时,反向电流很小,呈现的反向电阻很大,处于反向截止状态,反向电流几乎不随外加电压变化,称为反向饱和电流。温度升高,反向饱和电流随之增大。

(三) 反向击穿特性

当反向电压增大到一定数值时,反向电流将随反向电压的增加而急剧增大,这种现象称为二极管的反向击穿,这时的电压称为反向击穿电压。普通二极管发生反向击穿后,将造成二极管的永久性损坏,失去单向导电性。

三、半导体二极管的主要参数

二极管的参数是反映其性能质量的指标,是正确选择和合理使用二极管的依据。二极管的主要参数有以下几个:

(一) 最大整流电流 I_F

是指二极管长期工作时允许通过的最大正向平均电流,由 PN 结的结面积和散热条件决定。实际应用时,二极管的平均电流不能超过此值,并要满足散热条件,否则会烧坏管子。

(二) 最大反向工作电压 U_R

是指二极管使用时所允许加的最大反向电压,超过此值二极管就有发生反向击穿的危

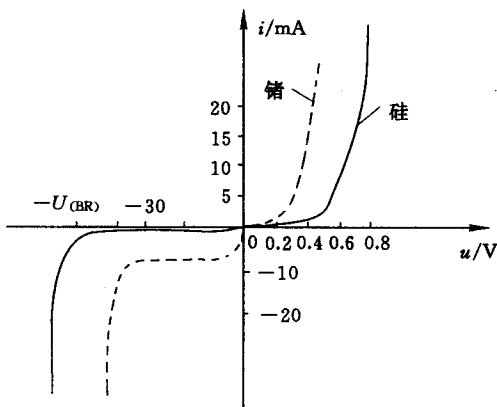


图 1-2-2 二极管的伏安特性曲线

险。通常取反向击穿电压的一半作为 U_R 值,以确保管子安全工作。

(三) 反向电流 I_R

是指二极管在常温下承受反向工作电压时的反向漏电流,一般很小, I_R 越小二极管的单向导电性越好。温度升高,反向电流会急剧增大。

(四) 最高工作频率 f_M

是指保持二极管单向导通性能时,外加电压允许的最高频率。其大小主要由 PN 结的结电容决定,超过此值,二极管的单向导电性将不能很好地体现。

二极管的类型和参数可查阅手册或本书附录二。

四、半导体二极管应用电路

二极管在电路中有着广泛的应用。本节介绍几种基本电路,如限幅电路、开关电路、二极管整流电路等。

(一) 限幅电路

在电子技术中,常用限幅电路对信号进行处理,如用来减小某些信号的幅值以适应不同的要求或保护电路中的元器件。

一种简单的限幅电路如图 1-2-3 所示。当 U_I 小于二极管导通电压 U_{ON} 时,二极管截止, U_O 约等于 U_I ;当 $U_I > U_{ON}$ 时,二极管导通, $U_O = U_{ON}$ 。由于二极管正向导通后,两端电压变化很小,所以当 U_I 有很大变化时, U_O 的数值被限制为 U_{ON} 几乎不变,达到限幅的目的。

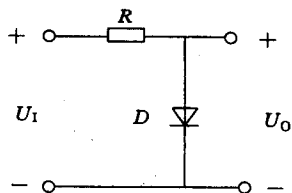


图 1-2-3 二极管限幅电路

(二) 开关电路

在开关电路中,利用二极管的单向导电性,当加在二极管上的电压低于其导通电压时,二极管截止,相当于开关断开;当外加电压超过二极管的导通电压时,二极管导通,相当于开关接通。只是这个开关接通时,开关上的压降约为 U_{ON} ,理想二极管的压降是零。这种电路也称为二极管的门电路,在数字电路中得到广泛应用。

二极管整流稳压电路将在第六章中介绍。

五、特殊二极管

前面主要讨论了普通二极管,还有一些特殊用途的二极管,如稳压二极管、发光二极管、光电二极管和变容二极管等,现分别介绍如下。

(一) 稳压二极管

稳压二极管简称稳压管,稳压管和普通二极管的正向特性相同,不同的是反向击穿电压较低,且击穿特性陡峭,这说明反向电流在较大范围内变化时,击穿电压基本不变,稳压管正是利用反向击穿特性来实现稳压的,此时击穿电压称为稳定工作电压,用 U_Z 表示。其性质和参数将在第六章中介绍。

(二) 发光二极管

发光二极管与普通二极管一样,也具有单向导电性,但在正向导通时能发光,所以它是一种将电能转换成光能的半导体器件,电路符号如图 1-2-4 所示。由于构成它的材料、封装形式、外形等不同,因而它的类型很多,这里简单介绍普通发光二极管、红外线发光二极管、

激光二极管等。

1. 普通发光二极管

它是由磷化镓(GaP)或磷砷镓(GaAsP)等半导体材料制成的,发光颜色以红、绿、黄、橙等四种单色光为主,有些也能发出几种色光。普通发光二极管应用广泛,除作为各种电子设备电源指示灯外,还可作为七段显示器件及BP机、手机背景灯等。

普通发光二极管工作在正偏状态。

检测发光二极管,一般用万用表 $R \times 1\text{ k}(\Omega)$ 挡,方法和普通二极管一样,一般正向电阻为 $15\text{ k}\Omega$ 左右,反向电阻为无穷大。灵敏度高的发光二极管,在测量正向电阻时,可见管芯发光。

2. 红外线发光二极管

红外线发光二极管由砷化镓(GaAs)等半导体材料制成,发射一定波长的红外光,应用于各种红外遥控发射器中,一般用无色或黑色圆形透明树脂封装。

红外线发光二极管工作在正偏状态。

红外线发光二极管用万用表 $R \times 1\text{ k}(\Omega)$ 挡检测,若正向阻值在 $30\text{ k}\Omega$ 左右,反向为无穷大,则表明正常,否则红外线发光二极管性能变差或损坏。

3. 激光二极管

激光二极管由一块P型和一块N型铝钾砷半导体组合而成,其外形为长方形,两端磨成镜面,相互平行,构成一个“光学谐振腔”。当PN结正向导通时,形成一定的驱动电流,会从光学谐振腔中发射出激光,用于CD机及激光打印机等电子设备中。

激光二极管可以通过正、反向电阻的测试来判断其好坏。若正向电阻为 $20 \sim 30\text{ k}\Omega$,反向电阻为无穷大,说明正常,否则,要么激光二极管老化,要么损坏。

(三) 光电二极管

光电二极管工作在反偏状态,它的管壳上有一个玻璃窗口,便于接收光照。其反向电流随光照强度的增加而增大,实现光电转换功能,广泛用于遥控接收器、激光头中,也可制成光电池。电路符号如图1-2-5所示。

光电二极管的检测方法和普通二极管一样,通常正向电阻为几千欧,反向电阻为无穷大,否则光电二极管质量变差或损坏。当受到光线照射时,反向电阻显著变化,正向电阻不变。

(四) 变容二极管

变容二极管是利用PN结的结电容可变原理制成的半导体器件,它工作在反向偏置状态,当外加反偏电压大小变化时,其结电容随外加偏压的变化而变化,在电路中可当作可变电容器使用。由于它无机机械磨损且体积小,因而广泛应用于彩电调谐器中。不同型号的管子,其电容最大值可能是 $3 \sim 30\text{ pF}$,最大电容值与最小电容值之比约为 $5:1$ 。其压控特性曲线和电路符号如图1-2-6所示。

变容二极管的检测及判别可用万用表 $R \times 1\text{ k}(\Omega)$ 挡。若正向电阻为几千欧,反向电阻为无穷大,说明变容二极管是好的;若正反向电阻均为零或为无穷大,说明已损坏。极性判别同普通二极管。

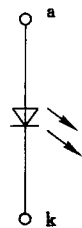


图 1-2-4 发光二极管符号



图 1-2-5 光电
二极管符号

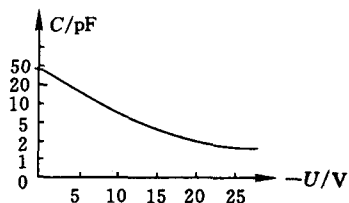
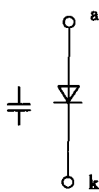


图 1-2-6 变容二极管的电路符号及特性曲线
(a) 电路符号；(b) 压控特性曲线(纵坐标为对数刻度)

第三节 半导体三极管

一、三极管的结构与分类

(一) 三极管的结构与电路符号

半导体三极管又称为晶体三极管或双极型三极管。图 1-3-1(a)所示为三极管的结构示意图,它是由三层不同类型的掺杂半导体组合而成的。按掺杂半导体的不同组合,可将其分为 NPN 型管和 PNP 型管。

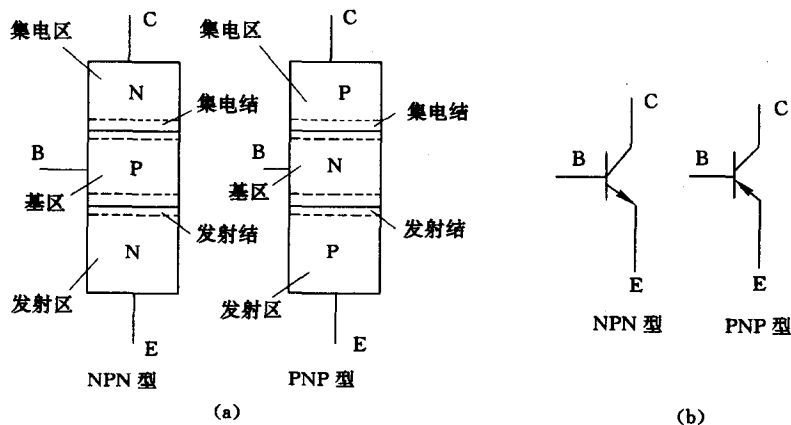


图 1-3-1 三极管结构示意图与电路符号

(a) 三极管的结构示意图；(b) 三极管的电路符号

无论是 NPN 型管还是 PNP 型管,三极管内部均有三个区,即发射区、基区、集电区,三个区形成两个 PN 结,发射区与基区之间形成发射结,集电区与基区之间形成集电结。从三个区分别引出三个电极,分别称为发射极、基极和集电极,再加上封装外壳即构成了三极管。

三极管的电路符号如图 1-3-1(b)所示,符号中的箭头方向表示发射结正偏时的电流方向。

为了保证三极管具有放大作用,在制作时其结构特点为:

- (1) 发射区是高浓度掺杂区;
- (2) 基区很薄且杂质浓度低;

(3) 集电结面积大。

因此,三极管不能简单地用两个二极管反串来代替,也不能将集电极和发射极互换使用。

(二) 三极管的分类与外形

三极管的种类很多,如按其结构可分为 NPN 管和 PNP 管;按构成材料分为硅管和锗管;按功率大小可分为大功率管、中功率管、小功率管;按用途可分为放大管和开关管等。

常见三极管的外形结构如图 1-3-2 所示。

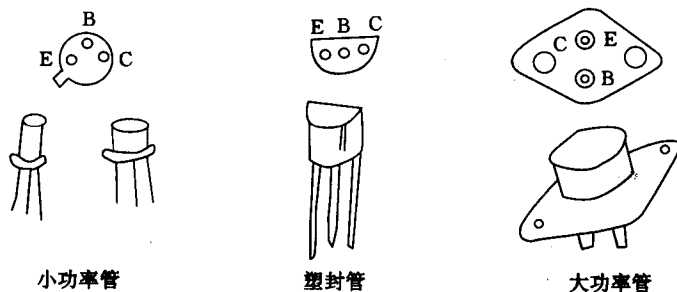


图 1-3-2 常见三极管外形结构

二、三极管内部的电流分配关系及其放大作用

三极管要实现放大作用,除了内部满足结构上的条件外,外部电路还必须使三极管的发射结正向偏置、集电结反向偏置。图 1-3-3(a)所示为 NPN 管的偏置电路, U_{BB} 通过 R_B 给发射结提供正向偏置电压($U_B > U_E$), U_{CC} 通过 R_C 给集电结提供反向偏置电压($U_C > U_B$),即 $U_C > U_B > U_E$,使发射结正向偏置,集电结反向偏置。图 1-3-3(b)所示为 PNP 管偏置电路,电源极性与 NPN 管电路相反,即其放大的条件为 $U_E < U_B < U_C$ 。

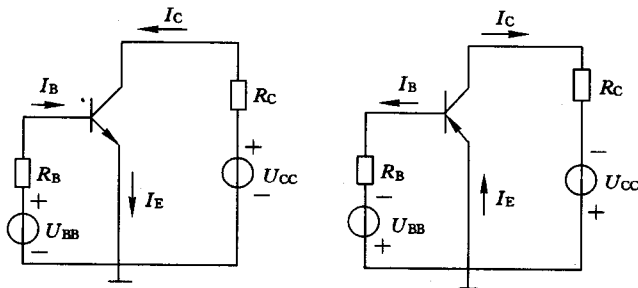


图 1-3-3 三极管具有放大作用的外部条件

(a) NPN 型三极管的外部电路;(b) PNP 型三极管的外部电路

(一) 三极管各电极中的电流

三极管内部载流子的运动及各极电流分配如图 1-3-4 所示。

1. 发射区向基区注入电子的情况