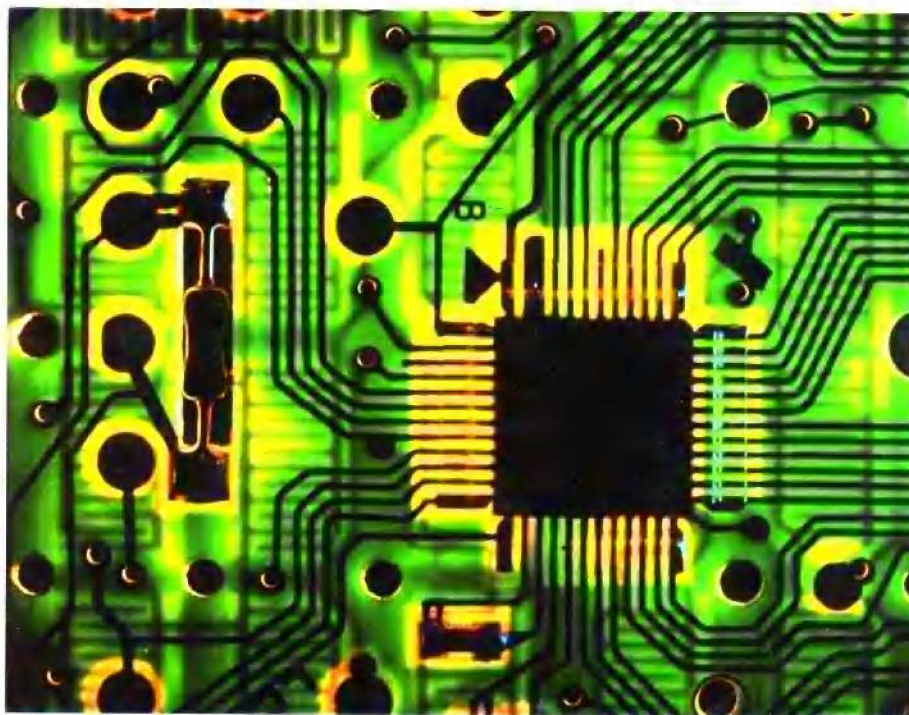


高等学校教材

电子技术



主编 王淑钧 主审 席志红

哈尔滨工程大学出版社

电 子 技 术

主 编	王淑钧	
副主编	陈一鶚	朱学莉
参 编	陈虹丽	路艳洁
	汤春明	沈大威
主 审	席志红	

哈尔滨工程大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电子技术/王淑钧主编. — 哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社, 1999. 12

高等学校试用教材

ISBN 7-81007-993-X

I. 电… II. 王… III. 电子技术-高等学校-教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 76123 号

内 容 简 介

本书是根据国家教育部高等工科院校电工学课程指导小组审定的“电子技术课程教学基本要求”,并在 1991 年出版的原教材基础上重新编写而成的。书中内容分为上、下两篇,上篇为模拟电子技术基础知识,主要包括:半导体分立元件介绍,信号放大电路,功率放大电路,正弦波振荡电路介绍,运算放大器原理及应用,直流电源的组成。下篇为数字电子技术基础知识,主要包括:数字电路的基本组成,典型组合逻辑电路的介绍与分析,时序逻辑电路的组成与常规电路分析,模—数、数—模转换数字信号的产生。教材内容满足课程要求,并且根据电子技术的发展形势,对部分内容进行了增删。

本书除了可以作为高等工科院校非电类专业学生电子技术课教材外,也可以供有关工程技术人员参考使用。

哈尔滨工程大学出版社出版发行

哈尔滨市南通大街145号 哈工程大学11号楼

发行部电话(0451)2519328 邮编:150001

新华书店经销

肇东粮食印刷厂印刷

*

开本 787mm×1 092mm 1/16 印张 16.25 字数 364 千字

1999 年 12 月第 1 版 1999 年 12 月第 1 次印刷

印数:1~5000 册

定价:20.00 元

前 言

本书是在原哈尔滨船舶工程学院 1991 年出版的《电子技术》和《电路与电子技术》(下册)两本书的基础上,结合我们多年的教学经验及对原书的使用意见,重新组织人员编写的。书中内容分为模拟电子技术基础和数字电子技术基础上、下两篇,其中第 1、2、3、4 章属于上篇,第 5、6、7、8、9 章属于下篇,章节顺序较原书做了大幅度调整,每章中的内容也根据当今教学的需要做了适当的删减和增添。书名仍定为《电子技术》以保持与课程名称一致。

在编写过程中,我们注意贯彻重基础教育,重基本理论及技能培养的原则,力求使本书内容丰富,知识面宽,理论联系实际,叙述清楚,通俗易懂。

本书附有实验指导教材,已经出版,有关电工测量及实践部分内容可参阅实验指导书。

该书由哈尔滨工程大学、哈尔滨建筑大学、哈尔滨理工大学的部分教师联合编写,其中主审、主编由哈尔滨工程大学教师担任,副主编陈一鄂,编者路艳洁、汤春明为哈尔滨工程大学教师,副主编朱学莉,编者沈大威为哈尔滨建筑大学教师,编者陈虹丽为哈尔滨理工大学教师。本书由哈尔滨工程大学、哈尔滨建筑大学共同作为教材使用。

由于编者水平有限,书中难免存在许多缺点,恳请各位读者予以批评指正,以便今后再版时修订。

编 者

1999 年 12 月

目 录

上篇 模拟电子技术基础

1 半导体器件	3
1.1 PN 结及其单向导电性	3
1.2 半导体二极管	5
1.3 稳压管	7
1.4 半导体三极管	8
1.5 场效应管	13
习题一	17
2 放大电路	18
2.1 基本放大电路	18
2.2 基本放大电路的图解分析法	21
2.3 微变等效电路分析法	30
2.4 静态工作点稳定电路	37
2.5 共集电极放大电路	41
2.6 多级放大电路	44
2.7 场效应管放大电路	50
2.8 放大电路中的负反馈	53
2.9 差动放大电路	62
2.10 功率放大电路	71
2.11 正弦波振荡电路	76
习题二	83
3 集成运算放大器	91
3.1 集成运算放大器简介	91
3.2 信号运算电路	96
3.3 信号处理电路	103
3.4 集成运算放大器的应用	109
3.5 集成运算放大器的一般使用方法	111
习题三	114
4 直流电源	121
4.1 桥式整流、滤波电路	121
4.2 稳压电路	126
4.3 开关型稳压电源	128
4.4 可控整流电路	129

习题四.....	135
----------	-----

下篇 数字电子技术基础

5 数字电路基础	139
5.1 数字电路概述	139
5.2 半导体器件的开关特性	140
5.3 进位计数制和编码	143
习题五.....	147
6 组合逻辑电路基础	149
6.1 基本逻辑门电路	149
6.2 逻辑代数基本知识	155
6.3 组合逻辑电路分析	162
6.4 集成逻辑门电路	174
习题六.....	181
7 时序逻辑电路	186
7.1 时序逻辑电路的特征	186
7.2 触发器	186
7.3 计数器	193
7.4 寄存器	201
习题七.....	204
8 数字—模拟转换器和模拟—数字转换器	208
8.1 数字—模拟转换器(DAC)	208
8.2 模拟—数字转换器(ADC)	213
习题八.....	219
9 脉冲波形的产生与整形电路	220
9.1 单稳态触发器	220
9.2 多谐振荡器	222
9.3 施密特触发器	229
9.4 555 集成时基电路及其应用	232
习题九.....	236
附录一 半导体分立器件型号命名方法.....	238
附录二 常用半导体器件参数.....	239
附录三 半导体集成电路(器件)型号命名方法.....	248
附录四 国产 TTL 集成电路和国外 TTL 集成电路型号对照的说明.....	249
附录五 部分常用的 TTL 数字集成电路型号及引脚图	250

上篇

模拟电子技术基础

根据电子电路工作信号随时间变化的差异,将连续变化的信号称为模拟信号,将相对时间是离散的信号称为数字信号。依据这两种类型的工作信号,把电子电路划分为模拟电路与数字电路两大类。

本篇介绍半导体器件、模拟信号下的放大电路、运算放大器及直流电源等内容。

1 半导体器件

半导体器件是组成电子电路的核心部件,它们的基本结构、工作原理、特性及参数是学习电子技术和分析电子电路的基础。本章主要介绍 PN 结、二极管、晶体三极管及场效应管。这些器件都是由半导体材料构成的。

所谓半导体,顾名思义,就是它的导电能力介于导体和绝缘体之间。由于半导体器件具有重量轻、体积小、耗电少、寿命长、工作可靠等突出优点,因此在现代农业、现代工业、现代科学技术和现代国防中获得了广泛的应用。

1.1 PN 结及其单向导电性

1.1.1 P 型半导体和 N 型半导体

目前常用的半导体材料是硅和锗。将锗或硅材料提纯(去掉杂质)制成单晶体,所有原子便基本上整齐排列(半导体一般都具有这种晶体结构,所以半导体又称为晶体)。每个硅(或锗)原子的四个价电子分别为相邻的四个原子所共有,组成所谓共价键结构,如图 1-1 所示。由于这些价电子受到自身原子核和共价键的束缚,因而不能自由运动。在绝对零度时,单晶体实际上是一个绝缘体。但在一定温度下,一小部分价电子由于热激发而获得足够能量,摆脱束缚,成为可以在单晶体中自由运动的电子,这种电子称为自由电子。与此同时,在原子的外层电子轨道上留下一个“空位”,这种空位就称为空穴。在外电场的作用下,有空穴的原子可以吸引相邻原子中的价电子来填补这个空穴。同时,在失去了一个价电子的相邻原子的共价键中又出现另一个空穴,它也可以由相邻原子中的价电子来递补,而在该原子中又出现一个空穴。这种现象就好像空穴在单晶体中移动一样。空穴相当于一个带正电荷的粒子,因此空穴运动相当于正电荷的运动,空穴的运动方向与价电子运动的方向相反。

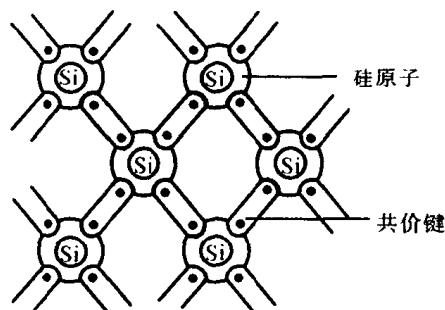


图 1-1 硅单晶中的共价键结构

在纯净的半导体(或称本征半导体)中,由热激发所产生的自由电子和空穴总是成对出现的。这种现象称为本征激发,相应的电子和空穴叫做电子空穴对。为区别于自由电子导电,我们把空穴移动叫做空穴导电。自由电子与空穴是半导体中参与导电的两种载流子。

本征激发所产生载流子的数量是有限的,形成的电流很小。若在本征半导体中掺入一定杂质,如在硅中掺入少量的五价元素磷(由于每一个磷原子与相邻的四个硅原子组成共价键时,多出一个电子),则自由电子的浓度将大大增加,其数量远多于空穴的数量。这种以自由电子导电为主的掺杂半导体,称为 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。

若在硅中掺入三价元素如硼(由于每一个硼原子在组成共价键时,产生一个空穴),则空穴的浓度大大增加,其数量远多于自由电子的数量。这种以空穴导电为主的半导体称为P型半导体。在P型半导体中空穴为多子,自由电子为少子。

综上所述,由于掺入不同的杂质,因而产生了两种不同类型的半导体——P型半导体和N型半导体,如图1-2(a)所示,它们统称为杂质半导体。

在杂质半导体中,载流子的浓度要比本征半导体中载流子的浓度大得多。但是,无论是N型半导体还是P型半导体,都不带电而是呈现电中性。

在外电场作用下,N型半导体中的电流,主要是由电子定向移动形成的,而P型半导体中的电流则主要是由空穴定向移动所形成的。半导体的导电方式与导体导电有所不同。

1.1.2 PN结的形成

单是一块N型或P型半导体在电路中的作用,如同一个电阻。若在一片半导体材料上,用不同的掺杂工艺形成P型半导体和N型半导体两部分,那么由于P型和N型半导体交界上载流子浓度的分布差异显著,必然发生两部分多数载流子的扩散运动。即P区中一部分空穴(多子)扩散到N区以后,在P区一侧留下一些带负电的杂质离子(因失去空穴);同时,N区中一部分电子(多子)扩散到P区以后,在N区一侧留下一些带正电的杂质离子(因失去电子)。于是,在交界面两侧形成了一个很薄的正负离子层。这些正负离子,由于其载流子消耗殆尽,在空间不能移动,所以也就不能参与导电。一般常把这些不能移动的带电离子叫做空间电荷,相应的这个区域称为空间电荷区或载流子耗尽区,如图1-2(c)所示。

正负空间电荷在交界面两侧形成一个电场,这个电场称为内电场,其方向是从带正电的N区指向带负电的P区,这个电场是由半导体内部载流子的扩散所形成的。由于它对多子的扩散运动起阻挡作用,所以空间电荷区又称为阻挡层。

空间电荷区的内电场对多数载流子的扩散运动起阻挡作用,这是一个方面。但另一方面,内电场却有助于空间电荷区两边的少数载流子通过这一区域。少子在电场作用下产生的定向运动称为漂移运动,其方向正好与扩散运动的方向相反。

可见,在交界面发生着两种相反的运动。开始时,扩散运动占优势。随着电子和空穴的扩散,空间电荷区所形成的内电场随之增强,对多子扩散的阻力增大,多子扩散逐渐得到抑制,但却使少子的漂移运动增强。不断受到削弱的扩散运动和不断得到增强的漂移运动,最终必然达到动态平衡,即P区的多子——空穴向N区扩散的数量与N区的少子——空穴向P区漂移的数量相等;同理,电子的扩散也必然为电子的漂移所抵消。因此,交界面上正负离子数不再变化时,空间电荷区就形成了一个相对稳定的状态,其宽度也就

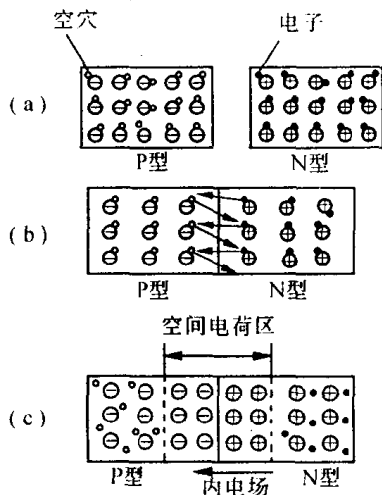


图 1-2

(a)P型和N型半导体;(b)PN结载流子的扩散运动;(c)平衡状态的PN结

不变。这个区域就称为 PN 结。

1.1.3 PN 结的单向导电性

在 PN 结两端加上正向电压,即 P 区接电源正极,N 区接电源负极,简称正向偏置或

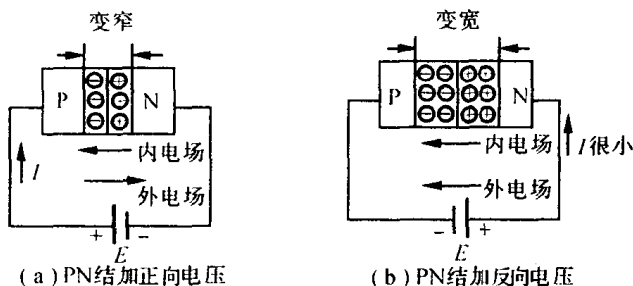


图 1-3

正向运用,如图 1-3(a)所示。此时,外加电源产生外电场的方向与内电场的方向相反。在外电场的作用下,P 区中的多子(空穴)和 N 区中的多子(电子)都要向 PN 结移动。结果,使交界面上的正负离子大为减少,空间电荷区变窄,内电场被削弱。于是扩散运动超过漂移运动,PN 结两侧的多子能通畅地越过 PN 结而形成较大的正向电流,PN 结呈现低阻导电状态。正向电流随外加电压的增加按指数规律上升。正向电流包括空穴流和电子流两部分,它们的运动方向相反,但由于空穴和电子带有不同极性的电荷,其电流方向仍然一致,即由 P 区指向 N 区。

在 PN 结上加反向电压,即 P 区接电源负极,N 区接正极,简称反向偏置或反向运用,如图 1-3(b)所示。此时,外电场的方向和内电场的方向相同。这就导致阻挡层变厚,使多子扩散运动更加难以进行,而只有少数载流子可以穿越 PN 结形成由 N 区流向 P 区的反向电流。由于少子浓度很低,因此这个电流很小。可见,在反向电压作用下,PN 结呈现高阻、近似于不导电状态。由于正向电流远大于反向电流,所以说 PN 结具有单向导电性。

综上所述,PN 结加正向电压时导电(称导通);加反向电压时不导电(称截止)。即 PN 结具有单向导电性,导电方向从 P 到 N。

1.2 半导体二极管

在一个 PN 结的两端加上电极引线并用外壳封装起来,就构成了半导体二极管。由 P 型半导体引出的电极,叫做正极(或阳极),由 N 型半导体引出的电极,叫做负极(或阴极),通常用图 1-4(c)所示的符号表示。

按照结构工艺的不同,二极管有点接触型和面接触型两类。它们的管芯结构和符号如图 1-4 所示。

点接触型二极管(一般为锗管)的 PN 结结面积很小(结电容小),工作频率高,适用于高频电路和开关电路;面接触型二极管(一般为硅管)的 PN 结结面积大(结电容大),工作频率较低,适用于大功率整流等低频电路中。

半导体二极管的种类和型号很多,可用不同的符号来代表它们,例如 2AP9,其中“2”

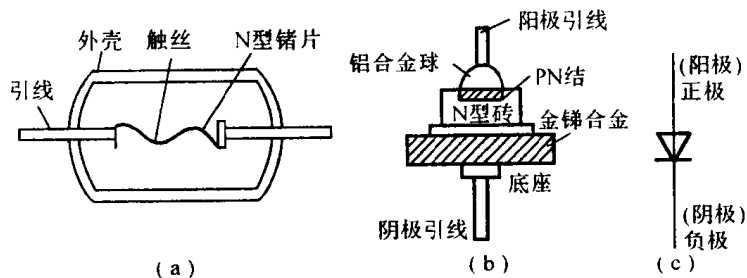


图 1-4 二极管的结构和符号

(a)点接触型; (b)面接触型; (c)表示符号

表示二极管,“A”表示采用 N 型锗材料为基片,“P”表示普通用途管(P 为汉语拼音字头),“9”为产品性能序号;又如 2CZ8,其中“C”表示由 N 型硅材料作为基片,“Z”表示整流管。关于二极管型号的命名方法可参见附录一的有关内容。

1.2.1 伏安特性

二极管既然是一个 PN 结,它必然具有单向导电性,其伏安特性曲线如图 1-5 所示。所谓伏安特性,就是指加到二极管两端的电压与流过二极管的电流的关系曲线,这个特性曲线可分为正向特性和反向特性两部分。

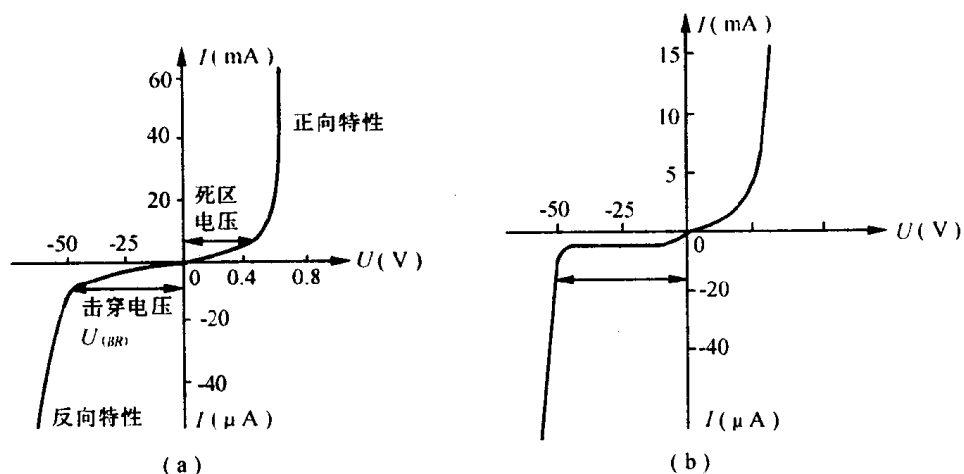


图 1-5 二极管的伏安特性曲线

(a)2CP10 硅二极管;(b)2AP2 锗二极管

(1)正向特性

当二极管加上很低的正向电压时,外电场还不能克服 PN 结内电场对多数载流子扩散运动所形成的阻力,故正向电流很小,二极管呈现很大的电阻。当正向电压超过一定数值即死区电压后,内电场被大大削弱,电流增长很快,二极管电阻变得很小。死区电压又称阈值电压,硅管约 0.5 V,锗管约为 0.1 V。二极管正向导通时,硅管的压降一般为 0.5~0.7 V,锗管则为 0.1~0.3 V。

(2)反向特性

二极管加上反向电压时,由于少数载流子的漂移运动,因而形成很小的反向电流。反向电流有两个特性,一是它随温度的上升增长很快;二是在反向电压不超过某一数值时,

反向电流不随反向电压改变而达到饱和,故这个电流称为反向饱和电流。

当外加反向电压过高时,反向电流将突然增大,二极管失去单向导电性,这种现象称为电击穿。发生击穿的原因,一种是处于强电场中的载流子获得足够大的能量碰撞晶格而将价电子碰撞出来,产生电子空穴对,新产生的载流子在电场作用下获得足够能量后又通过碰撞产生电子空穴对。如此形成连锁反应,反向电流愈来愈大,最后使得二极管反向击穿。另一种原因是强电场直接将共价键的价电子拉出来,产生电子空穴对,形成较大的反向电流。

二极管被击穿后,一般不能恢复原来的性能。产生击穿时加在二极管上的反向电压称为反向击穿电压 $U_{(BR)}$ 。

1.2.2 主要参数

二极管的特性除用伏安特性曲线表示外,还可用一些数据来说明,这些数据就是二极管的参数。各种参数都可从半导体器件手册中查出,下面只介绍几个常用的主要参数。

(1) 最大整流电流 I_{OM}

最大整流电流是指二极管长时间使用时,允许流过二极管的最大正向平均电流。当电流超过这个允许值时,二极管会因过热而烧坏,使用时务必注意。

(2) 反向工作峰值电压 U_{RWM}

它是保证二极管不被击穿而得出的反向峰值电压,一般是反向击穿电压的一半或三分之二。

(3) 反向峰值电流 I_{RM}

它是指在二极管上加反向峰值电压时的反向电流值。反向电流大,说明二极管的单向导电性能差,并且受温度的影响大。

二极管应用范围很广,都是利用它的单向导电性。它可用于整流、检波、元件保护以及在脉冲与数字电路中作为开关元件。

1.3 稳压管

1.3.1 硅稳压管

它是一种特殊的面接触型半导体硅二极管。由于它在电路中与适当数值的电阻配合后能起稳定电压的作用,故称稳压管(也称齐纳二极管)。其表示符号如图 1-6(b)所示,其伏安特性曲线如图 1-6(a)所示。

稳压管的伏安特性不同于普通二极管的原因就在于它的反向特性曲线比较陡。

当反向电压小于 U_Z 时,稳压管的反向电流几乎为零。但反向电压增加到反向击穿电压 U_Z 后,反向电流急剧增加,稳压管反向击穿。击穿后通过

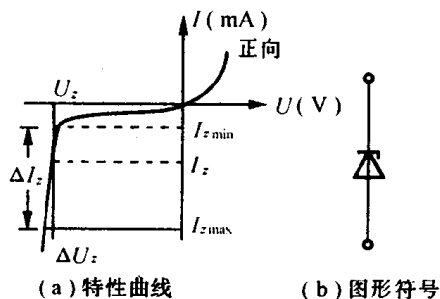


图 1-6 稳压管

管子的电流在很大范围内变化,而管子两端的电压却变化很小,我们就是利用这段特性来进行稳压的。显然,稳压管的正常工作区域是在特性曲线的反向击穿区。稳压管与一般二极管不一样,它的反向击穿是可逆的。当去掉反向电压之后,稳压管又恢复正常。这一特性是由制造工艺来达到的。但是,如果反向电流超过允许范围,稳压管将因发生热击穿而损坏。

1.3.2 稳压管的主要参数

(1) 稳定电压 U_Z

稳定电压 U_Z 就是稳压管在正常工作下管子两端的电压。手册中所列的都是在一定条件(工作电流、温度)下的数值。使用同一型号的稳压管时,由于工艺方面和其它原因,稳压值存在一定的分散性,例如 2CW18 稳压管的稳压值为 10~12 V。这就是说,如果把一个 2CW18 稳压管接入电路中,它可能稳压在 10.5 V,而另一个则可能稳压在 11.8 V。因此使用前应实际测试一下,测出稳压管的 U_Z 值。

(2) 稳定电流 I_Z 及最大稳定电流 I_{Zmax}

稳定电流是指工作电压等于稳定电压时,管子正常工作的电流值。最大工作电流 I_{Zmax} 是指稳压管允许通过的最大反向电流。

(3) 动态电阻 r_Z

动态电阻是指稳压管端电压的变化量与相应的电流变化量的比值,即

$$r_Z = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z}$$

稳压管的反向伏安特性曲线愈陡,则动态电阻愈小,稳压性能愈好。

(4) 耗散功率 P_{ZM}

管子不致发生热击穿的最大功率损耗 $P_{ZM} = U_Z \cdot I_{Zmax}$ 。

1.4 半导体三极管

半导体三极管简称三极管或晶体管。

1.4.1 三极管的结构及电流放大作用

三极管的基本结构是由两个 PN 结、三个导电区和三个电极组合而成的。它的内部都有三层半导体,按 P 或 N 层的数量分为 NPN 型和 PNP 型两类,其结构示意图如图 1-7 所示。

每一类都分成基区、发射区和集电区。发射区和基区之间的 PN 结称为发射结;集电区和基区之间的

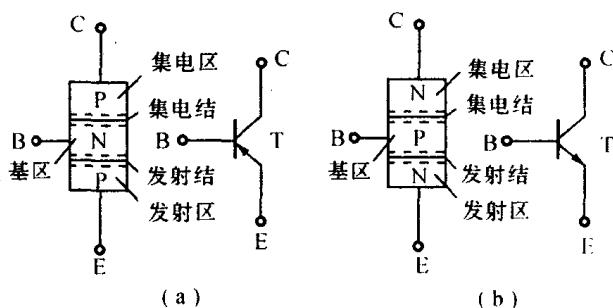


图 1-7 三极管的结构形式和图形符号
(a)PNP 型;(b)NPN 型

PN 结称为集电结。由发射区、基区和集电区引出的电极分别称为发射极 E、基极 B 和集电极 C。在制造工艺中,三层半导体材料的几何尺寸、掺杂程度都有很大的差异。夹在中间的基区比两侧的发区区和集电区要薄得多,约为一微米至几十微米,而且杂质浓度很低,因而多数载流子很少;而发射区的半导体材料掺的杂质比集电区的多一些,载流子的浓度也大一些。这些都是三极管内部结构的特殊性。

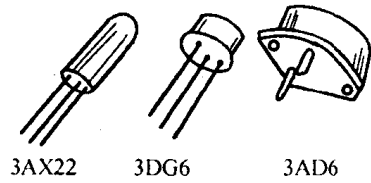


图 1-8 三极管的外形

三极管的表示符号如图 1-7 所示,其中发射极的箭头表示发射结加正向电压时的电流方向。若箭头的方向是指向发射极的为 NPN 型管;若箭头的方向是背离发射极的则为 PNP 型管。常见的三极管外型如图 1-8 所示。

目前,国内生产的硅三极管多为 NPN 型(3D 系列),锗三极管多为 PNP 型(3A 系列)。

NPN 型和 PNP 型三极管的工作原理类似,不同之处是两者工作时连接的电源极性相反。下面以 NPN 型三极管为例来分析。

半导体三极管具有的电流放大功能,完全取决于三极管内部结构的特殊性及其内部载流子的运动规律。我们先做一个实验,实验电路如图 1-9 所示。

外部直流电源 E_C 、 E_B 为三极管的两 PN 结提供偏置电压,使集电结反向偏置,发射结正向偏置。

改变可变电阻 R_B ,则基极电流 I_B 、集电极电流 I_C 和发射极电流 I_E 都发生变化。电流方向如图中所示。测量结果列于表 1-1 中。

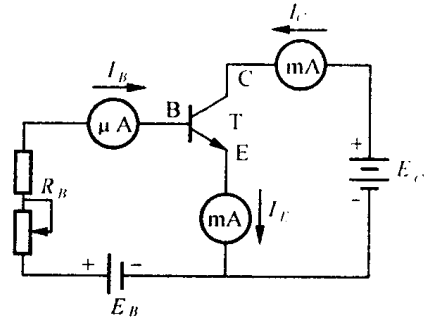


图 1-9 三极管电流放大的实验电路

由此实验及测量结果可得出如下结论:

(1)观察实验数据中的每一列,可得

$$I_E = I_C + I_B$$

表 1-1 三极管电流测量数据

I_B (mA)	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
I_C (mA)	<0.001	0.70	1.50	2.30	3.10	3.95
I_E (mA)	<0.001	0.72	1.54	2.36	3.18	4.05

此结果符合基尔霍夫电流定律。

(2) I_C 和 I_E 比 I_B 大得多。从第三列和第四列的数据可知, I_C 与 I_B 的比值分别为

$$\frac{I_C}{I_B} = \frac{1.50}{0.04} = 37.5 \quad \frac{I_C}{I_B} = \frac{2.30}{0.06} = 38.3$$

这就是三极管的电流放大作用。电流放大作用还体现在基极电流的少量变化 ΔI_B 可以引起集电极电流较大的变化 ΔI_C 。仍比较第三列和第四列的数据,可得出

$$\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{2.30 - 1.50}{0.06 - 0.04} = \frac{0.80}{0.02} = 40$$

(3) 当 $I_B = 0$ (将基极开路时), $I_C = I_{CEO}$, 表中 $I_{CEO} < 0.001 \text{ mA} = 1 \mu\text{A}$ 。

下面用载流子在三极管内部的运动规律来解释上述结论。

① 发射区向基区注入电子, 从而形成发射极电流 I_E 。由于发射结处于正向偏置, 多数载流子的扩散运动加强, 发射区的自由电子 (多数载流子) 不断扩散到基区, 并不断从电源补充进电子, 形成发射极电流 I_E 。基区的多数载流子 (空穴) 也要向发射区扩散, 但由于基区的空穴浓度比发射区的自由电子的浓度小得多, 因此空穴电流很小, 可以忽略不计 (在图 1-10 中未画出)。

② 电子在基区中的扩散与复合, 形成了基极电流 I_B 。由发射区进入基区的大量电子, 在发射结附近积累起来, 浓度很大, 而靠近集电结的自由电子很少, 形成了浓度上的区别, 因而自由电子将向集电结方向继续扩散。电子在扩散过程中不断与基区中的空穴复合, 复合掉的空穴由基极电源来补充。这样, 电子与空穴不断复合就形成了基极电流 I_B 。由于基区的厚度只有几个微米, 电子扩散所经过的路程极短, 加之基区掺杂质很少, 空穴的浓度很低, 所以绝大部分电子都能扩散到集电结附近, 而与空穴复合的电子数极少, 故基极电流 I_B 也就很小。

③ 集电区收集电子, 形成集电极电流 I_C 。由于集电结加了反向偏压, 即集电区的电位高于基区的电位, 因此集电区的电场对基区的电子具有很强的吸引力, 从基区扩散到集电结边缘的电子几乎全部被吸收到集电区来, 从而形成集电极电流 I_C 。

上述的三极管的载流子运动和电流分配可以描绘在

图 1-10 中。

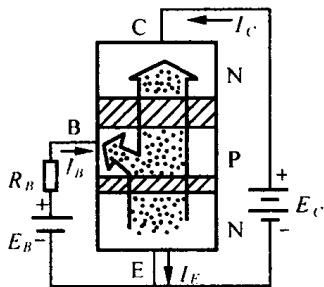


图 1-10 内部载流子运动规律

1.4.2 三极管的特性曲线与主要参数

三极管的特性曲线是用来表示该管各极电压和电流之间相互关系的, 这里只介绍三极管共发射极的两种特性, 即基极特性 (或输入特性) 和集电极特性 (或输出特性)。

三极管共发射极接法仍

如图 1-9 所示, 三极管接成两个电路: 基极电路和集电极电路。发射极是公共端, 所以称为共发射极接法。

三极管的特性曲线可在晶体管手册中查到, 也可由图 1-9 所示的实验电路用实验方法做出。

(1) 输入特性 (或基极特性)

输入特性是指在三极管集电极与发射极之间的电压 U_{CE} 为一定值时, 基极电流 I_B 同基极与发射极之间的电压 U_{BE} 的关系, 即

$$I_B = f(U_{BE}) \Big|_{U_{CE} = \text{常数}}$$

如图 1-11 所示。

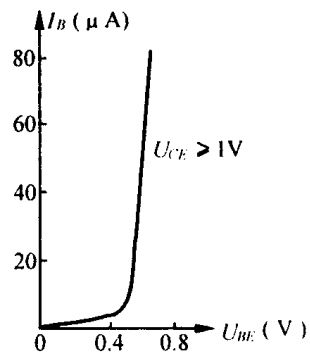


图 1-11 3DG6 三极管的输入特性曲线

从理论上讲,对应于不同的 U_{CE} 值,可做出一族 I_B-U_{BE} 的关系曲线,但实际上,当 $U_{CE} > 1\text{ V}$ 以后, U_{CE} 对曲线的形状几乎无影响,故只需做一条对应 $U_{CE} \geq 1\text{ V}$ 的曲线即可。

由图 1-11 可见,和二极管的伏安特性一样,三极管输入特性也存在一段死区。只有在发射结的外加电压大于死区电压时,三极管才会出现 I_B 。硅管的死区电压约为 0.5 V ,锗管的死区电压不超过 0.2 V 。正常工作时,NPN 型硅管的发射结电压 $U_{BE} = 0.6 \sim 0.7\text{ V}$,PNP 型锗管的 $U_{BE} = -0.2 \sim -0.3\text{ V}$ 。

(2)输出特性(或集电极特性)

输出特性是指在基极电流 I_B 为一定值时,三极管集电极电流 I_C 同集电极与发射极之间的电压 U_{CE} 的关系,即

$$I_C = f(U_{CE})|_{I_B = \text{常数}}$$

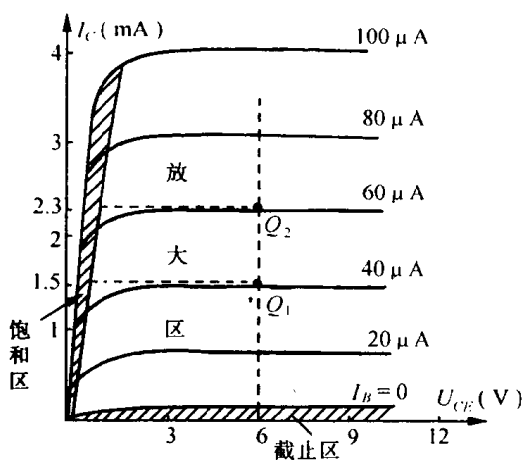


图 1-12 3DG6 三极管的输出特性曲线

在不同的 I_B 下,可得出不同的曲线,所以三极管的输出特性曲线是一组曲线,如图 1-12 所示。

通常把三极管的输出特性曲线分为三个工作区:

①截止区

$I_B = 0$ 的曲线以下的区域称为截止区。 $I_B = 0$ 时, $I_C = I_{CEO}$ (在表 1-1 中 $I_{CEO} < 0.001\text{ mA}$)。对 NPN 型硅管而言,当 $U_{BE} < 0.5\text{ V}$ 时,即已开始截止;对锗管而言, $U_{BE} < 0.1\text{ V}$ 时截止。若使三极管可靠截止,发射结与集电结均应处于反向偏置。

②放大区

特性曲线的近于水平部分是放大区。在放大区 $I_C = \bar{\beta} I_B$ ($\bar{\beta}$ 称为电流放大系数)。放大区也称为线性区,因为 I_C 和 I_B 成正比的关系。三极管工作于放大状态时,发射结处于正向偏置,集电结处于反向偏置,即对 NPN 型管而言,应使 $U_{BE} > 0.5\text{ V}$, $U_{BC} < 0$ 。

③饱和区

在 $U_{CE} < 1\text{ V}$ 的范围内所对应的特性曲线近乎直线上升的区域,称为饱和区。工程上定义 $U_{CE} = U_{BE}$ 时为临界饱和, $U_{CE} < U_{BE}$, 则称为饱和。饱和时的 U_{CE} 值称为饱和压降,用 U_{CES} 表示,小功率硅管约为 0.3 V ,锗管约为 0.1 V 。在饱和区, I_B 的变化对 I_C 的影响较小,两者不成正比,放大区的 $\bar{\beta}$ 不能适用于饱和区。三极管工作在饱和区时,集电结与发射结均处于正向偏置。

(3)三极管的主要参数

三极管的性能除了用上述输入、输出特性描述外,还可用一些参数来表示其性能和使用范围。三极管的参数很多,现将其中较重要的介绍如下。

①电流放大系数 $\bar{\beta}, \beta$