

高等工程专科学校电类专业统编教材

模拟电子技术

主 编 孙承清

副主编 刘林生 王玉洁

中国矿业大学出版社

高等工程专科学校电类专业统编教材

模拟电子技术

主 编 孙承清

副主编 刘林生 王玉洁

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书是根据国家教委和煤炭工业部对高等工程专科学校电类专业电子技术基础课程教学基本要求,以及全国示范性普通高等工程专科学校教材建设的需要而编写。内容包括:半导体二极管和三极管、放大电路基础、场效应管及其基本放大电路、负反馈放大电路、正弦波振荡电路、差动放大电路、功率放大电路、集成运算放大电路、直流电源等。

本书可作为高等工程专科学校电子类、电气自动化类、机电类、仪表类和计算机类各专业的电子技术基础课程教材,也可作为高等职业技术学校及中等专业学校相应专业的教材。

模 拟 电 子 技 术

主 编 孙承清

副 主 编 刘林生 王玉洁

责任编辑 高 专 刘永清

中国矿业大学出版社 出版发行

新华书店经销 北京市兆成印刷厂 印刷

开本 787×1092 1/16 印张 15.25 字数 370 千字

1998 年 5 月第 1 版 1998 年 5 月第 1 次印刷

印数 1—4 000 册

ISBN 7-81040-830-5/TN·6

定价:19.80 元

前 言

本书是根据国家教育委员会和煤炭工业部对高等工程专科学校电类专业电子技术基础课程教学基本要求,以及全国示范性普通高等工程专科学校教材建设的需要而编写。

根据高等工程专科学校是培养应用型人才的特点,在本书编写过程中,强调基本理论以“必须够用”为度,尽量减少理论论证和推导过程,力求简明、清楚、易懂,注重基本概念、基本原理和基本分析方法,以提高学生解决实际问题的能力。对电子器件重点介绍其外部特性、功能和使用,并以介绍集成运算放大器的应用为主。对基本电子电路侧重定性分析,了解电路的性能和应用,体现“管为路用,加强集成”的指导思想。书中理论联系实际,编写有较多的应用实例,以启发学生应用电子器件和基本电路的思路。书中图形和文字符号均采用新颁布的国家标准。

本书按教学为 80~100 学时、实验为 16~20 学时编写。各校在使用时可依教学实际酌情调整。书中标有“*”号的内容可作为选讲内容。

参加本书编写的人员有:孙承清(第一、八章),刘林生(第二章),张树江(第三章),王玉洁(第四、六、七章),孙秀芬(第五章),刘士奇、于江(第九章)。孙承清同志任主编,并负责全书的统稿工作;刘林生、王玉洁同志任副主编。

全书由华北矿业高等专科学校王久和副教授主审。主审人以严谨的科学态度,认真审阅了全书,并提出了宝贵的意见。

本书在编写过程中,得到华北矿业高等专科学校、防灾技术高等专科学校、抚顺煤炭工业学校和海拉尔煤炭工业学校及其有关教师的支持和帮助,在此表示衷心感谢。

限于编者水平,书中难免有不当之处,恳请读者批评指正。

编 者

1997 年 10 月

目 录

第一章 半导体二极管和三极管	1
第一节 半导体的导电特性	1
第二节 半导体二极管	4
第三节 半导体三极管	10
习题	18
第二章 放大电路基础	22
第一节 基本放大电路的组成	22
第二节 放大电路的分析	23
第三节 静态工作点稳定电路	35
第四节 共集和共基放大电路	41
第五节 多级放大电路	47
第六节 放大电路的频率响应	51
习题	59
第三章 场效应管及其基本放大电路	64
第一节 场效应管	64
第二节 场效应管的主要参数、特点及使用	71
第三节 场效应管基本放大电路	73
第四节 场效应管应用举例	78
习题	79
第四章 负反馈放大电路	81
第一节 反馈的基本概念及分类	81
第二节 反馈的一般表达式及反馈组态	84
第三节 负反馈对放大电路性能的影响	90
第四节 负反馈放大电路的分析方法	96
第五节 负反馈放大电路的自激振荡	102
习题	106
第五章 正弦波振荡电路	110
第一节 产生正弦波振荡的条件	110
第二节 振荡电路的组成及分析方法	111
第三节 RC 正弦波振荡电路	111
第四节 LC 正弦波振荡电路	115
第五节 石英晶体振荡器	119
习题	121
第六章 差动放大电路	124
第一节 直接耦合放大电路中的零点漂移问题	124
第二节 基本差动放大电路	125
第三节 长尾式差动放大器	128

第四节	恒流源差动放大器	131
第五节	差动放大电路的四种接法	132
习题		137
第七章	功率放大电路	139
第一节	功率放大电路的一般问题	139
第二节	变压器耦合功放	140
第三节	直接耦合功率放大器	144
第四节	集成功率放大器	151
习题		154
第八章	集成运算放大电路	156
第一节	集成运算放大器	156
第二节	集成运放电路的分析方法	165
第三节	基本运算电路	166
第四节	乘法器	174
第五节	有源滤波电路	176
第六节	电压比较器	182
第七节	信号发生电路	189
第八节	集成运放的使用	193
习题		199
第九章	直流电源	207
第一节	直流电源的组成	207
第二节	单相整流电路	207
第三节	基本滤波电路	213
第四节	倍压整流电路	220
第五节	直流稳压电路	221
* 第六节	集成稳压电路	227
* 第七节	开关稳压电源简介	230
习题		231
参考文献		236

第一章 半导体二极管和三极管

第一节 半导体的导电特性

一、物体导电

物体是由原子组成的,而原子则是由带正电的原子核和带负电的电子构成。电子分布在原子核外若干层轨道上并绕核运转,处于原子核最外层轨道上的电子称为价电子。由于价电子离核最远,受核束缚力最小,易受外界条件影响而脱离核的束缚成为自由电子。当物体内存在电场时,自由电子就会在电场力的作用下定向运动形成传导电流,这时称物体具有导电性。物体内自由电子的浓度愈高,其导电能力也就愈强。这些能形成传导电流的自由电子称为载流子。

根据物体导电性能的差异,物体可分为导体、绝缘体和半导体三类。

1. 导体

导体原子中的价电子极易脱离原子核的束缚而成为自由电子,因此导体内含有大量的自由电子,导体具有很强的导电能力。

2. 绝缘体

绝缘体的原子核对价电子有很强的束缚力,价电子成为自由电子的机会很少,所以其导电能力很差。

3. 半导体

半导体由于原子结构较为特殊,价电子受核的束缚力介于导体和绝缘体之间,其导电能力也就介于导体与绝缘体之间。在电子技术中,半导体电子器件就是用具有晶体结构的半导体材料(这里指的是固体材料)制成的。常用的有硅和锗两种晶体半导体材料。

二、本征半导体

1. 共价键结构

在纯净的具有晶体结构的半导体(即本征半导体)中,原子是有规律地整齐排列形成晶体状结构。象半导体硅和锗都是4价元素,在形成晶体结构时,每个原子上的4个价电子与周围相邻的4个原子的价电子形成4个共价键,如图1—1a所示。图中“·”表示价电子。

在共价键晶体结构中,每个原子都具有8个价电子。价电子状态相当稳定,在绝对零度(-273°C),价电子没有能力脱离共价键成为自由电子,半导体不具有导电性。

2. 载流子的产生

当温度升高(或受其他外界因素激发)时,晶体中就有少量价电子因获得足够大的能量而挣脱共价键的束缚成为自由电子,如图1—1b所示。在价电子变为自由电子的同时,对应的共价键上因失去1个价电子而留下1个“空位”,称为“空穴”。图1—1b中空穴是以“○”表示的。显然,自由电子(以后简称为电子)和空穴总是成对产生的,称为电子—空穴对。

在有空位的键上,由于失去1个带负电的价电子,共价键失去电平衡具有吸引周围价电子来填补空穴的趋势,即空穴就相当于1个带正电荷的粒子(带电量值与电子电量相等)。当空穴捕获周围键上的1个价电子来填补它时,这个空穴就消失而在另1个键上产生1个

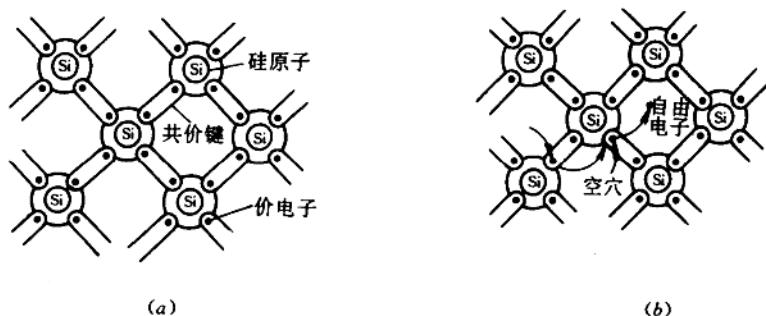


图 1—1 晶体结构示意图

a—硅晶体中的共价键结构；b—空穴和自由电子的产生

新的空穴。价电子递补空穴的过程就相当于带正电的载流子在晶体内自由移动。因此，在晶体中有电子和空穴两种带电极性相反的载流子。当对晶体施加外电场时，电子和空穴都会参与导电，两者运动方向相反而形成传导电流。

在晶体中电子—空穴对产生的同时，也会因电子与空穴相遇而使电子—空穴对消失（称载流子复合）。在一定温度下，当电子—空穴对的产生和复合达到动态平衡时，晶体中载流子的浓度也就一定。在常温下，晶体中载流子浓度不高，半导体导电性能较差。而当温升或受到光照激发时，电子—空穴对就会随之大量产生使载流子浓度迅速升高，半导体导电能力也就增强。因此半导体的导电性能是易受温度、光照等因素的影响。锗半导体比硅半导体在导电性上更易受温度变化影响。因为锗的价电子离核较远，受核约束力较小，容易脱离核的束缚而成为自由电子。

三、杂质半导体

在本征半导体中掺入适当少量的其他元素就成为杂质半导体。掺杂可提高半导体的导电能力，控制掺入杂质的浓度可控制半导体的导电性能。半导体器件是用杂质半导体制成的，杂质半导体分 P 型和 N 型两种。

1. P 型半导体

在本征硅（或锗）中掺入少量 3 价元素（如硼），则原来晶体结构基本不变，只是原来晶体中有少量硅原子的位置被硼原子取代。硼原子与相邻 4 个硅原子形成 4 个共价键时，就有 1 个键上因缺少 1 个价电子而产生 1 个空穴。可见每掺入 1 个硼原子就额外产生 1 个空穴，如图 1—2a 所示。与本征情况相比，这时杂质半导体中空穴浓度就比电子浓度大，即空穴成为多数载流子，而电子成为少数载流子。在形成传导电流时，由于这种杂质半导体主要是由带正电的多子空穴来导电，称为 P 型半导体。

2. N 型半导体

在本征硅（或锗）中掺入少量 5 价元素（如磷），则在晶体中每个磷原子与周围 4 个硅原子在构成 4 个共价键时，就会有 1 个价电子被多余出来成为自由电子，如图 1—2b 所示。与本征相比，这时半导体中电子浓度就比空穴浓度大，电子成为多子，空穴成为少子。因此，在导电时是以电子导电为主，称为 N 型半导体。

无论是 P 型半导体，还是 N 型半导体，虽然它们各有一种载流子占多数，但整个半导体中仍是电中性的。如图 1—3 所示，图中 $\ominus$ 表示杂质负离子， $\oplus$ 表示杂质正离子。

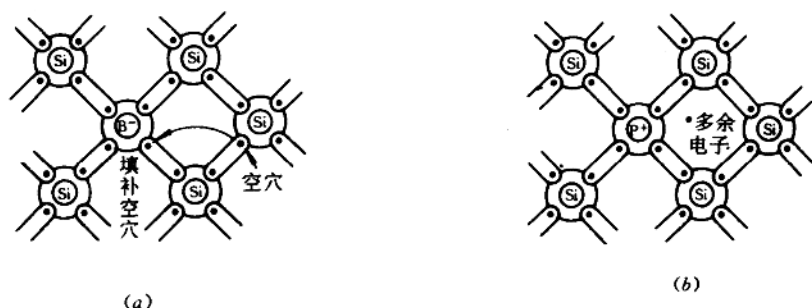


图 1—2 杂质半导体结构示意图

a—硅晶体中掺硼出现空穴；b—硅晶体中掺磷出现自由电子

在杂质半导体中，多子浓度主要取决于杂质的含量，少子浓度主要与本征激发有关。例如当温度上升时，少子浓度会迅速增大。

四、PN 结及其单向导电性

1. PN 结的形成

将本征半导体制成片状，在其两侧通过特殊的渗透工艺处理可形成 P 型和 N 型两个相邻的杂质半导体区域，分别称做 P 区和 N 区。由于在两区分界面两侧材料性质不同，两区中同类载流子就因浓度上的差异，引起多子越过界面向对方扩散，P 区中空穴向 N 区扩散，N 区中电子向 P 区扩散。在扩散过程中多子越过界面进入对方时就会被复合，结果在界面附近出现空间电荷区（或称耗尽层），如图 1—4 所示。耗尽层中的空间电荷建立起电场（称内电场），其方向是由 N 区指向 P 区。随着多子扩散运动的进行，耗尽层逐渐变厚，内电场增强。

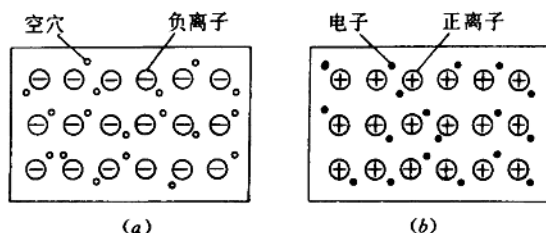


图 1—3 杂质半导体中的载流子和离子

a—P 型半导体；b—N 型半导体

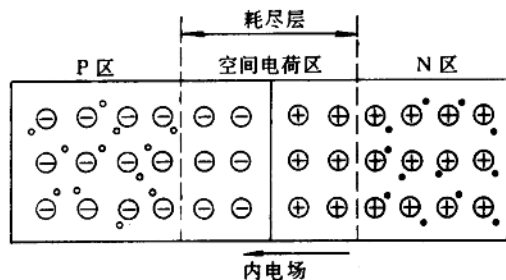


图 1—4 PN 结的形成

内电场反过来对多子扩散运动又起阻碍作用，有利于少子向对方运动（称漂移运动）形成漂移电流。少子漂移运动结果又会使耗尽层变薄，削弱了内电场，使多子扩散运动得到加强。当扩散和漂移这两种相反的运动最后达到动态平衡时（即扩散电流和漂移电流相等），耗尽层厚度就不再变化，形成稳定的空间电荷区，称为 PN 结。

2. PN 结的单向导电性

对 PN 结外加电压（称偏置电压），PN 结的导电特性会因外加电压极性不同而不同，呈单向导电性，如图 1—5 所示。

1) PN 结正向偏置

将 PN 结的 P 区接电源正极，N 区接电源负极时，称 PN 结处于正向偏置如图 1—5a 所示。这时外加的正向电压在 PN 结上形成外电场，其方向与内电场方向相反，削弱了内电场，则耗尽层变薄，多子扩散运动增强，形成较大的正向扩散电流。这时 PN 结呈低电阻导

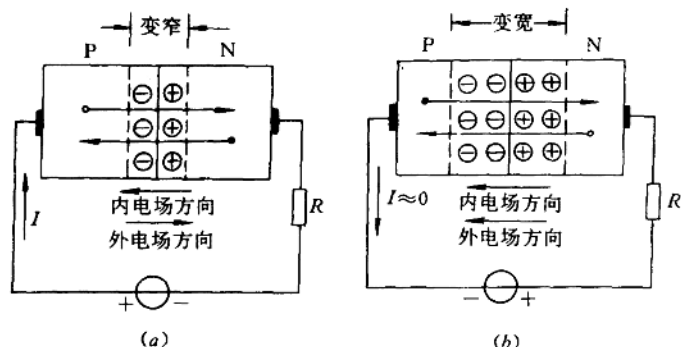


图 1—5 PN 结的单向导电性

a—PN 结加正向电压；b—PN 结加反向电压

通状态，相当于开关闭合。

2) PN 结反向偏置

将 PN 结的 P 区接电源的负极，N 区接电源正极时，称 PN 结处于反向偏置。这时外加的反向电压形成的外电场与内电场方向相同，对内电场起加强作用，耗尽层变厚使多子扩散难以进行，而有利于少子漂移运动。由于少子浓度很低，少子漂移运动形成的反向电流很小，PN 结呈高电阻截止状态，相当于开关断开。

可见，PN 结具有单向导电特

性，即正偏时导通，反偏时截止。

五、PN 结的电容效应

1. 势垒电容

PN 结的空间电荷区厚度随外加电压大小和方向的不同而变化。这一性质与电容元件是等效的，称为势垒电容。

2. 扩散电容

PN 结正偏时，多子大量扩散通过 PN 结注入到对方区域中，随着注入深度的增加，浓度逐渐降低，即结边缘处浓度大，离结远处浓度小，在结两侧有载流子电荷的积累。当外加电压大小和极性变化时，积累电荷亦随着变化，这一性质也是与电容元件的作用是等效的，称做扩散电容。

势垒电容和扩散电容是同时存在的，它们共同形成 PN 结的结电容。PN 结正偏时，主要是扩散电容，反偏时主要是势垒电容。两种电容都随外加电压变化，是非线性电容。PN 结的结电容是很小的，一般为几皮法～几十皮法。

PN 结是半导体器件的一个重要概念。由于 PN 结具有单向导电性，用它可制成各种具有特定功能的半导体元件。PN 结具有电容效应，反过来又会对其单向导电性产生影响。

第二节 半导体二极管

一、二极管的结构及分类

将一个 PN 结的两端各加上电极引线并用管壳封装起来，就构成一个半导体二极管。其 P 区引出端称为阳极或正极，N 区引出端称为阴极或负极。按内部结构的不同，二极管有以下几种类型。

1. 点接触型

如图 1—6a 所示。其特点是 PN 结的面积小，不能通过大的电流，但其结电容小。点接触型二极管主要用于对高频信号的检波与小电流的整流，也用于数字电路中作开关管。

2. 面接触型

如图 1—6b 所示。由于其 PN 结面积大，可以通过较大的电流（几百毫安至几百安），但

其结电容大,不能用于高频电路,主要用于低频电路和整流电路。

3. 硅平面型

如图1—6c所示。它是用制造平面管的工艺制成。其结面积小的管子,结电容小,可作数字电路中开关管,其结面积大的管子,可通过较大电流,适用于大功率整流。

二极管的电路符号如图1—6d所示。三角箭头方向表示其正偏导通电流方向。

按制造材料不同,二极管主要有硅管和锗管两种。硅二极管一般为面接触型,锗二极管一般为点接触型。

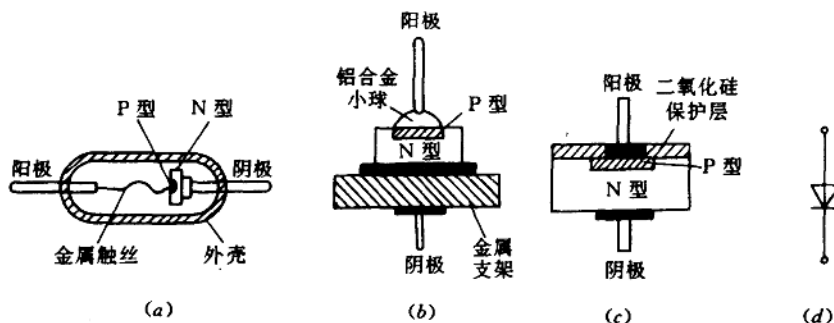


图1—6 二极管的结构及符号

a—点接触型;b—面接触型;c—硅平面型;d—符号

二极管因结构上的不同,其外形亦不同,图1—7为几种普通二极管的外形图。

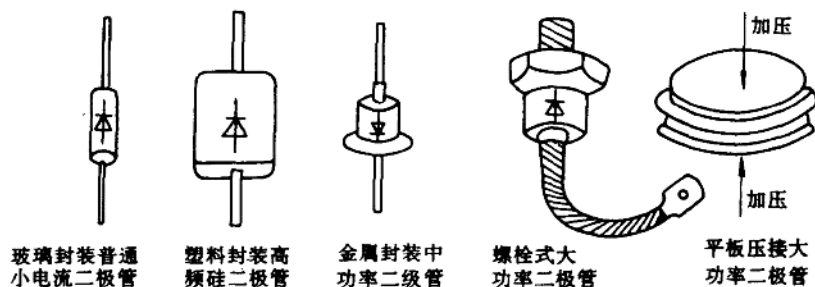


图1—7 二极管外形图

二、二极管的伏安特性

1. 二极管的方程

根据理论分析,PN结两端电压 U 与通过PN结的电流 I (U 和 I 取关联参考方向)之间的关系为

$$I = I_s(e^{U/U_T} - 1) \quad (1-1)$$

式中 I_s ——PN结的反向饱和电流,A;

U_T ——温度电压当量,单位mV,常温($T=300\text{ K}$)时为26 mV。

由于二极管实质上就是一个PN结,故式(1—1)又称为二极管方程。

2. 二极管的伏安特性曲线

通过实验测试,可得二极管的伏安特性曲线如图 1—8 所示。与线性电阻比较可知,二极管属于非线性电阻,其阻值与外加电压的大小和极性有关。

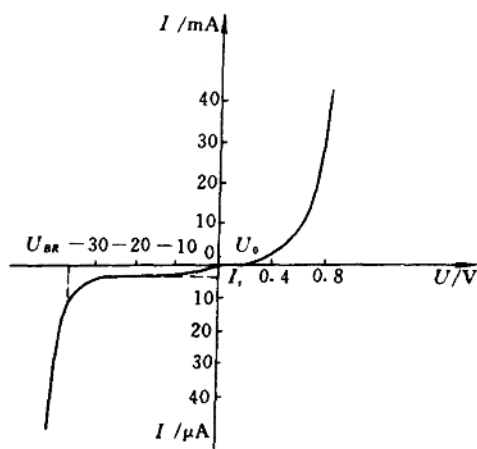


图 1—8 二极管的伏安特性曲线

1) 正向特性

由图可知,当二极管加正向电压较小时,由于外电场还不足以克服 PN 结的内电场对多子扩散运动的阻碍作用,正向电流几乎为零,因此称这个区域为死区。死区电压以 U_0 表示,对于硅管约为 0.5 V,锗管约为 0.1 V。随着正向电压的增大,正向电流亦增加。当电压增大到某值之后,电流随电压的增大而迅速增加,这时称二极管正向导通。在一定温度下,二极管的导通电压基本恒定,通常硅管约为 0.7 V,锗管约为 0.2 V。

2) 反向特性

由图可知,在较大的反向电压值范围内,反向电流 I_s 值都很小且基本不变。当反向电压增大到某值 U_{BR} 时,反向电流突然急剧增加,这时称二极管反向击穿,称 U_{BR} 为反向击穿电压。二极管反向击穿时,在较短时间内把电压降到小于 U_{BR} 值,二极管尚能恢复正常,称之为电击穿。若击穿时间较长,二极管会因发热而烧毁,造成不可恢复的损坏,称为热击穿。

3. 温度对二极管特性的影响

二极管对温度变化很敏感。当温度升高时,伏安特性曲线的正向部分向左移,反向部分向下移,表现为正向导通压降减小,反向饱和电流 I_s 增大。二极管在正向电流一定时,温度每升 1℃,正向压降减小约 2.5 mV。温度每升 10℃,二极管的 I_s 值约增大 1 倍。锗管特性较硅管更易受温度影响。

三、二极管的主要参数及使用

1. 二极管的主要参数

(1) 最大整流电流 I_F 它是指二极管长期工作时允许通过的最大正向平均电流,超过此值,二极管可能因过热而烧毁。

(2) 最高反向工作电压 U_{RM} 它是指允许加在二极管上的最大反向电压值。为安全起见, U_{RM} 约为击穿电压 U_{BR} 值的一半。

(3) 反向电流 I_R 它是指在室温下,二极管未击穿时的反向电流。 I_R 愈小,则管的单向导电性愈好。

(4) 最高工作频率 f_M 它是指二极管工作在交流信号下所允许的最高工作频率。超过此值,二极管的单向导电性变差,甚至失去单向导电性。

(5) 直流电阻 R_V 它是指二极管在直流电路中管的端电压 U_V 与流过管子电流 I_V 之比,即

$$R_V = \frac{U_V}{I_V} \quad (1-2)$$

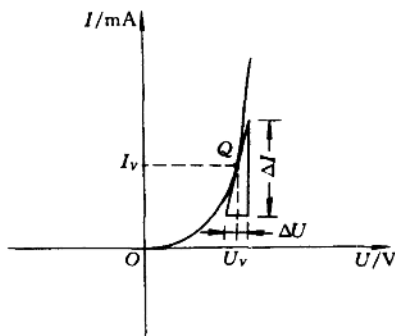
在二极管伏安特性曲线上, U_V 和 I_V 对应着的点 Q , 称为静态工作点, 如图 1-9 所示。由图可知, R_V 的大小与工作点 Q 的位置有关。一般来说二极管的正向 R_V 约为几十欧至几百欧, 反向 R_V 可达几百千欧。

(6) 交流电阻 r_V 它是指在工作点 Q 附近, 电压变化量 ΔU 与电流变化量 ΔI 之比, 即

$$r_V = \left. \frac{\Delta U}{\Delta I} \right|_Q \quad (1-3)$$

如图 1-9 所示, r_V 等于 Q 点处切线斜率的倒数。 r_V 是二极管的交流电阻, 又称动态电阻, 它只能用来计算交流量。

此外, 二极管还有一些其他参数, 使用时可查阅半导体器件手册。



2. 二极管的选用

为了正确使用二极管, 必须了解其主要参数, 根据图 1-9 二极管的直流电阻和交流电阻, 结合实际电路的需要选择经济适用的管子。

选管时首先要保证管子能安全可靠地工作, 即在实际使用时不应超过它的极限参数, 并留有一定的余量。一般来说, 反向电流小的管子性能较好。其次应根据电路的技术要求, 选用合适材料和结构的管子。通常硅管较锗管反向电流小, 且耐高温, 反向电压也高。在结构上, 面接触型管通电流大, 而点接触型的工作频率较高。

3. 二极管的型号

二极管种类很多, 国家标准规定用特定的文字符号来表示它的类型, 称为二极管的型号, 如 2AP5 型、2CZ54 型等。有关型号中各部分的字母及数字的含义见第三节中表 1-1。了解具体管子型号的含义有助于识别管子的类型及用途, 以便正确地选用。

4. 二极管的用途

二极管是电子技术中常用的基本电子元件, 可用于整流、开关、检波、限幅、箝位、隔离等许多场合。此外还有一些具有特殊用途的二极管, 如稳压管、发光管、光电管、变容管等。无论是普通二极管还是特殊二极管, 其基本原理都是利用 PN 结的单向导电特性。有关二极管的各种用途和特殊功能将在今后应用时加以说明。

四、简单的二极管电路分析

由于二极管的伏安关系是非线性的, 则对于含有二极管的电路就不能简单地按照一般的线性电路来分析计算。下面介绍常用的分析非线性电阻电路的方法。

1. 静态估算法

电路如图 1-10a 所示, 根据二极管的伏安特性曲线(如图 1-10b 所示), 二极管正向导通电压 U_V 约等于 0.7 V (硅管), 则可近似估算流过二极管的电流 I_V 为

$$I_V = \frac{U_s - U_V}{R} = \frac{U_s - 0.7}{R} \quad (1-4)$$

若电路中 $U_s \gg 0.7$ V, 则可进一步近似为

$$I_V \approx \frac{U_s}{R} \quad (1-5)$$

这种估算只适于直流电路, 比较方便, 但误差较大。

2. 图解法

根据图 1—10b 所示的二极管 V 的伏安特性曲线, 可用图解法求 U_V 和 I_V 。

将图 1—10a 分成两部分, 虚线左边部分是线性电路, U_V 与 I_V 为线性关系, 其线性方程为

$$U_V = U_s - RI_V \quad \text{或} \quad I_V = -\frac{1}{R}U_V + \frac{U_s}{R} \quad (1-6)$$

虚线右边部分二极管是非线性元件, U_V 与 I_V 关系由图 1—10b 所示特性曲线决定。在同一回路中, 不论线性部分还是非线性部分 U_V 和 I_V 都是惟一确定的。因此, 可将式(1-6)所对应的直线 MN 也画在二极管伏安特性坐标中, 两线交点 Q 所对应的坐标值就是 U_V 和 I_V 。

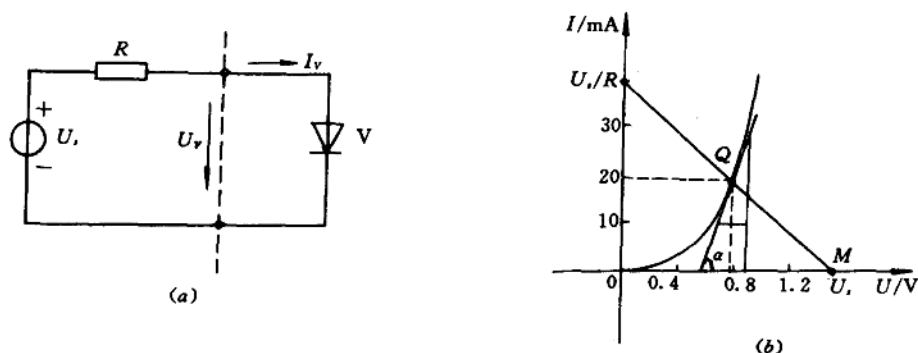


图 1—10 简单二极管电路图解分析
a—电路图; b—图解分析

图中直线 MN 作法如下:

根据式(1-6), 令 $I_V = 0$, 则 $U_V = U_s$, 得点 $M(U_s, 0)$; 令 $U_V = 0$, 则 $I_V = U_s/R$, 得点 $N(0, U_s/R)$ 。过点 M 和 N 作直线即得直线 MN。显然直线 MN 就是图 1—10a 中线性部分的伏安特性曲线。MN 线的斜率等于 $-1/R$, 而 R 可看作是电路的负载电阻, 因此这条由 R 决定的直线 MN 又称做电路的直流负载线。两线交点 Q 称做静态工作点。

图解法不仅可求 U_V 和 I_V 值, 而且可据式(1-2)和式(1-3)求此电路中二极管 V 的直流电阻 R_V 和交流电阻 r_V 。

[例 1—1] 根据图 1—10b 中工作点 Q 的位置, 试计算此时二极管的 R_V 和 r_V 值。

解 由图可知 $U_V = 0.8 \text{ V}$, $I_V = 20 \times 10^{-3} \text{ A}$, 则由式(1-2)得

$$R_V = \frac{U_V}{I_V} = \frac{0.8}{20 \times 10^{-3}} = 40 \Omega$$

过 Q 点作特性曲线的切线, 则切线的斜率为

$$\tan \alpha = \frac{20 \times 10^{-3}}{0.25} = \frac{0.4}{5}$$

则由式(1-3)得

$$r_v = \left. \frac{\Delta U}{\Delta I} \right|_Q = \frac{1}{\tan \alpha} = \frac{5}{0.4} = 12.5 \Omega$$

可见,二极管的直流电阻和交流电阻概念是不相同的,前者是对直流量而言,而后者是对交流量(或变化量)而言。

五、稳压二极管

1. 稳压二极管的结构及伏安特性

稳压二极管是一种特殊的面接触型硅二极管,其电路符号和伏安特性曲线如图 1-11a、b 所示。稳压二极管正向的伏安特性与普通二极管相似,但其反向击穿部分曲线较陡,反向击穿电压一般比较低,反向击穿电流也允许较大。

稳压二极管通常工作于反向击穿状态,其反向电流在较大范围内变化时,管两端电压基本保持不变,因此在电路中它能起稳定电压作用,故又称为稳压管。稳压二极管工作时,只要反向击穿电流不超出所允许的范围,就不会因发生热击穿而损坏管子。

2. 稳压二极管的主要参数

(1) 稳定电压 U_w 稳压电压是指在规定测试电流下,稳压管两端的反向击穿电压值。由于制造工艺原因,同一型号的管子 U_w 值有一定的分散性。例如对于 2CW55 型管子 U_w 值为 6.2~7.5 V(测试电流为 10 mA),但同一型号中具体的每个管子其 U_w 值则是一定的。

(2) 稳定电流 I_w 它是指稳压管工作时的参考电流值,如图 1-11b 所示。当管电流等于 I_w 值时较理想,低于此值则稳压效果略差,而高于此值虽稳压性能好,但能耗较大。

(3) 动态电阻 r_w 它是指在稳压范围内,管子端压的变化量与工作电流的变化量之比,即

$$r_w = \frac{\Delta U_w}{\Delta I_w} \quad (1-7)$$

r_w 愈小,则管稳压性能愈好。

(4) 最大工作电流 I_{WM} 它是指稳压管工作时允许通过的最大电流,如图 1-11b 所示。它是保证管子工作时不发生热击穿的极限值。

(5) 电压温度系数 α_U 是指温度每增加 1℃,引起的 ΔU_w 与 U_w 的百分比。一般来说, U_w 值低于 6 V 的管子 α_U 为负值,高于 6 V 的管子 α_U 为正值,等于 6 V 的管子则稳压值受温度影响较小,所以选用 U_w 为 6 V 左右的管子温度稳定性较好。

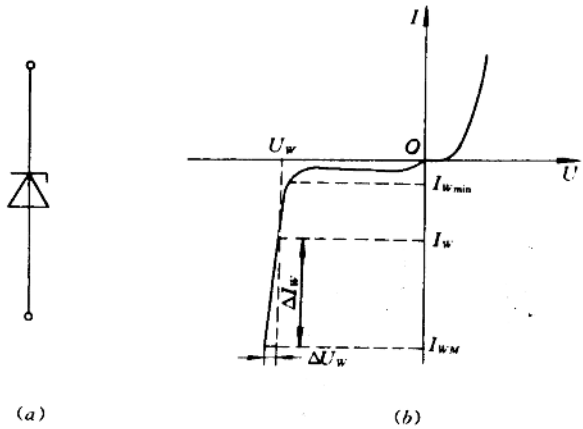


图 1-11 稳压二极管的符号及伏安特性
a—符号; b—伏安特性

3. 稳压二极管的使用

(1) 稳压管的工作电流应设置在 I_W 与 I_{WM} 之间。为防止超过 I_{WM} , 在电路中应串联限流电阻。

(2) 多个稳压管可串联使用, 这时总的稳压值等于各管稳压值之和, 但应使各管 I_W 值基本相等。稳压管不允许并联使用(即使是稳压值相同的管子), 由于各管的稳压值总是存在差异, 并联时各管电流分配不均, 可能会使其中一个管子因电流过大而烧毁。

(3) 稳压管主要工作于反向击穿状态, 用于稳压, 也可象二极管一样用于正向导通。稳压管是用硅材料制成, 其正向导通电压约为 0.7 V。

(4) 稳压管型号中各符号含义见第三节中表 1—1。选用稳压管时应据实际电路和技术要求, 查阅器件手册, 选择经济适用的管子。

第三节 半导体三极管

一、三极管的结构

三极管的外形如图 1—12 所示, 它们都具有三个电极 B 、 C 和 E , 分别称做三极管的基极、集电极和发射极。三极管的管壳内

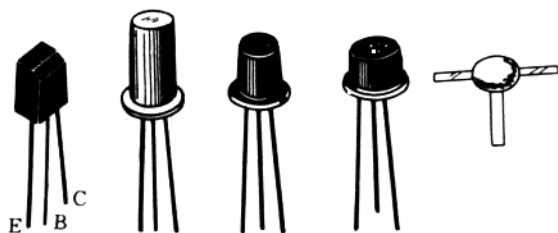


图 1—12 三极管的外形

封装有经过特殊工艺处理的半导体材料, 其内部结构及图形符号如图 1—13 所示。由图可知, 三极管的内部结构有两种类型: 一种为 NPN 型管, 另一种为 PNP 型管。不论何种类型管子都具有与三个电极连接的三个杂质半导体区域, 分别称为基区、集电区和发射区。三个区之间有两个 PN 结: 位于

基区和发射区之间的称为发射结, 位于基区和集电区之间的称为集电结。

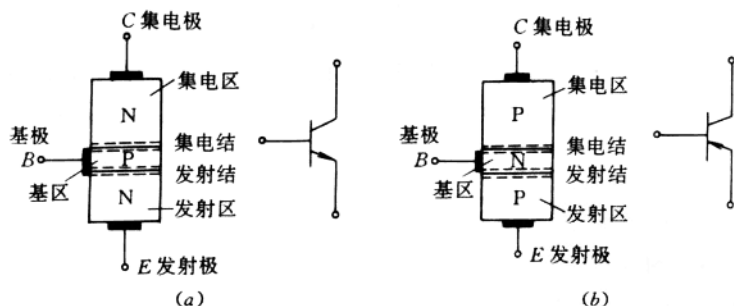


图 1—13 三极管的结构结构及符号

a—NPN 型; b—PNP 型

三极管在制造时, 三个区是采用特殊的渗透工艺形成的。其中发射区和集区较厚且掺杂浓度高, 而基区则很薄且掺杂浓度很低。正是采用这一特殊工艺使得三极管在电路中能

