

模拟电子技术



主 编 漆德宁
副主编 孙逸洛
陈自力
叶丽娜

中国科学技术大学出版社

00010755



TW710
57

模拟电子技术

主 编 漆德宁
副主编 孙逸洛 陈自力 叶丽娜
编 委 漆德宁 孙逸洛 陈自力 叶丽娜 吴学伍
刘昌锦 宋海虹 谢晓明 齐新淮 韩秀明
主 审 徐丽玉 何友瑾



中国科学技术大学出版社

2000·合肥



C0487258

内 容 简 介

《模拟电子技术》教材是根据军队院校该课程的教学需要编写的。全书共分八章,包括:半导体器件基础、放大电路基础、集成运算放大器基础、放大电路的反馈、运算放大器的信号运算电路、运算放大器的信号处理和产生电路、直流电源、功率电子器件及其应用。

本书内容丰富、选材新颖、覆盖面广、突出线性集成电路等高新技术应用,可作为军事院校、高等工科院校非电专业模拟电子技术课程(50~60学时)的教材和电视大学、函授教育、职工培训的教学用书,也可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术/漆德宁等编著. —合肥:中国科学技术大学出版社,1999.2

ISBN 7-312-00928-X

I. 模… II. 漆… III. 模拟电路 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 40832 号

中国科学技术大学出版社出版发行

(安徽省合肥市金寨路 96 号,邮编:230026)

合肥义兴印刷厂印刷

全国新华书店经销

开本:787×1092/16 印张:12.25 字数:320 千

2000 年 2 月第一版 2000 年 2 月第一次印刷

印数:1—6500 册

ISBN 7-312-00928-X/TN710 定价:16.00 元

前 言

《电工理论》、《模拟电子技术》、《数字电子技术》是非电专业的重要技术基础课。为了适应我国社会主义现代化建设和高等教育事业的发展,反映现代科技的先进水平,贯彻落实军队新时期教育方针,根据国家教委制定的高等工科院校非电类电工学课程教学的基本要求编写了本套教材。

在《模拟电子技术》教材的编写过程中,我们注意吸收各院校教学改革成果和教学经验,结合军队院校的教学实际,对教材的内容进行了合理取舍和局部调整,在保证基本理论完整性的原则下,部分更新了教材内容。对问题的阐述力求循序渐进、通俗易懂、条理清楚,使教材显示出鲜明性和生动性,做到既便于教学又便于能力的培养。

本书由合肥炮兵学院、蚌埠坦克学院发起,武汉二炮指挥学院、郑州高炮学院、徐州空军后勤学院、南京炮兵学院等六所院校联合编写。并于1995年12月在蚌埠坦克学院召开了第一次编委会,经过充分协商,确定了编写教材的指导思想和原则,制定了纲目。成稿后经集体初审、专家审阅,最后在广泛听取各方面意见的基础上,由主编漆德宁同志统审并定稿。

本书由徐州空军后勤学院徐丽玉教授、合肥炮兵学院何友瑾副教授担任主审。在编写过程中,还得到各兄弟院校的领导和所在教研室的同志的关心、支持和帮助,在此谨表谢意。

由于编者水平有限,难免有不妥和错误之处,敬请读者批评指正。

编者

1999年2月

目 录

前 言	(I)
1 半导体器件基础	(1)
1.1 半导体二极管	(1)
1.1.1 半导体的基本知识	(1)
1.1.2 PN 结	(3)
1.1.3 半导体二极管	(5)
1.1.4 稳压管	(7)
1.2 晶体三极管	(8)
1.2.1 结构特点	(8)
1.2.2 放大原理	(9)
1.2.3 特性曲线	(12)
1.2.4 主要参数	(13)
1.3 场效应管	(14)
1.3.1 绝缘栅型场效应管的结构和工作原理	(14)
1.3.2 场效应管的主要参数	(17)
思考题与习题	(19)
2 放大电路基础	(21)
2.1 放大电路的工作原理及组成	(21)
2.1.1 放大电路	(21)
2.1.2 放大电路的组成	(22)
2.1.3 放大电路遵循的原则	(22)
2.2 放大电路的分析方法	(22)
2.2.1 静态工作点的分析	(23)
2.2.2 用图解法分析动态工作	(26)
2.2.3 用微变等效电路法分析动态工作	(32)
2.2.4 放大电路分析方法的比较和使用原则	(41)
2.3 稳定静态工作点的放大电路	(41)
2.3.1 温度对静态工作点的影响	(42)
2.3.2 发射极偏置电路	(42)
2.4 基本放大电路的三种组态	(45)
2.4.1 共集电极放大电路——射极输出器	(45)
2.4.2 共基极放大电路	(48)
2.5 场效应管基本放大电路	(51)

2.5.1	场效应管的偏置电路	(51)
2.5.2	静态工作点的确定	(53)
2.5.3	场效应管放大电路的微变等效电路分析法	(54)
2.6	多级放大电路的组成及分析方法	(57)
2.6.1	概述	(57)
2.6.2	多级放大电路的分析和动态参数的计算	(59)
2.6.3	放大倍数的分贝表示法——增益	(61)
	思考题与习题	(63)
3	集成运算放大电路基础	(70)
3.1	直接耦合差动放大电路	(70)
3.1.1	零点漂移	(70)
3.1.2	基本差动放大电路	(71)
3.2	典型差动放大电路	(73)
3.2.1	长尾式	(73)
3.2.2	恒流源式	(78)
3.3	功率放大电路	(79)
3.3.1	功率放大电路的特点与分类	(79)
3.3.2	互补对称功率放大电路	(80)
3.3.3	举例	(82)
3.4	集成运放电路简介	(83)
3.4.1	集成运放的组成	(83)
3.4.2	集成运放性能指标	(83)
3.4.3	理想运算放大器	(84)
3.4.4	集成运算放大器的使用注意事项	(85)
	思考题与习题	(87)
4	放大电路的反馈	(89)
4.1	反馈的基本概念	(89)
4.1.1	什么是反馈	(89)
4.1.2	反馈的分类	(90)
4.2	反馈的组态及判别举例	(91)
4.2.1	反馈的组态	(91)
4.2.2	反馈判断	(92)
4.2.3	反馈电路分析举例	(92)
4.3	反馈的一般表示	(94)
4.3.1	负反馈放大电路的方框图	(94)
4.3.2	负反馈放大电路的一般表达式	(95)
4.4	负反馈对放大电路性能的影响	(96)
4.4.1	提高放大倍数的稳定性	(96)
4.4.2	扩展频带	(96)

4.4.3	减小非线性失真及抑制干扰和噪声	(97)
4.4.4	负反馈对输入电阻的影响	(98)
4.4.5	负反馈对输出电阻的影响	(99)
4.5	深度负反馈放大电路的计算	(102)
4.5.1	深度负反馈的特点	(102)
4.5.2	深度负反馈放大电路	(102)
	思考题与习题	(106)
5	运算放大器的信号运算电路	(111)
5.1	比例电路	(111)
5.1.1	反相比例电路	(111)
5.1.2	同相比例电路	(113)
5.2	加减运算电路	(114)
5.2.1	求和电路	(114)
5.2.2	单运放加减运算电路	(115)
5.2.3	双运放加减运算电路	(116)
5.3	积分电路和微分电路	(117)
5.3.1	积分电路	(117)
5.3.2	微分电路	(118)
5.4	比例积分调节器(PI 调节器)	(119)
5.4.1	PI 调节器及其输出特性	(119)
5.4.2	PI 调节器的应用举例	(120)
	思考题与习题	(122)
6	运算放大器的信号处理和产生电路	(126)
6.1	电压比较器	(126)
6.1.1	简单电压比较器	(126)
6.1.2	滞回比较器	(126)
6.1.3	方波发生器	(130)
6.2	有源滤波电路	(131)
6.2.1	低通滤波电路(LPF)	(132)
6.2.2	高通滤波电路(HPF)	(135)
6.3	正弦波振荡电路	(136)
6.3.1	基础知识	(137)
6.3.2	RC 振荡电路	(138)
6.3.3	LC 振荡电路	(142)
	思考题与习题	(149)
7	直流电源	(153)
7.1	整流电路	(153)
7.1.1	单相半波整流电路	(153)
7.1.2	单相桥式整流电路	(155)

7.2	滤波电路	(156)
7.2.1	电容滤波电路	(156)
7.2.2	电感滤波电路	(158)
7.2.3	复式滤波电路	(158)
7.3	硅稳压管稳压电路	(159)
7.3.1	硅稳压管的稳压特性	(159)
7.3.2	并联型直流稳压电路	(160)
7.4	串联型直流稳压电路	(160)
7.4.1	基本形式的电路	(161)
7.4.2	具有放大环节的串联型稳压电路	(161)
7.4.3	稳压电源的过流保护	(162)
7.5	集成化稳压电源	(163)
7.5.1	78 $\times\times$ 系列和 79 $\times\times$ 系列三端稳压器简介	(163)
7.5.2	三端稳压器构成的直流电源电路	(164)
7.6	开关型稳压电源	(164)
7.6.1	开关型稳压电源组成	(165)
7.6.2	开关型稳压电源工作原理	(166)
	思考题与习题	(170)
8	功率电子器件及其应用	(172)
8.1	晶闸管	(172)
8.1.1	晶闸管的结构和工作原理	(172)
8.1.2	晶闸管的特性与参数	(173)
8.2	可控整流电路	(175)
8.2.1	单相可控桥式整流电路	(175)
8.2.2	晶闸管的保护	(177)
8.3	触发电路	(178)
8.3.1	单结晶体管的工作原理	(179)
8.3.2	单结晶体管振荡电路	(180)
8.3.3	单结晶体管触发电路	(181)
8.4	光电器件	(182)
8.4.1	光敏晶体管	(182)
8.4.2	光电耦合器	(183)
8.5	自关断型功率电子器件	(184)
8.5.1	功率 MOS 场效应管	(184)
8.5.2	功率晶体管	(185)
8.5.3	可关断晶闸管	(185)
	思考题与习题	(187)

1 半导体器件基础

用半导体材料制成的器件统称为半导体器件,它是构成各种电子电路的关键元件,如半导体二极管、三极管、场效应管及各种集成电路芯片等,掌握它们的内部结构和外部特性是学习电子技术和分析电子电路的基础。

1.1 半导体二极管

1.1.1 半导体的基本知识

物质按导电能力强弱可分为导体、半导体和绝缘体^①,半导体的导电能力介于导体与绝缘体之间,常见的半导体如硅、锗、硒以及大多数金属氧化物等。半导体有其特有的导电特性,例如光照、温度、掺杂、电磁场等都对它的导电能力有很大的影响,所有这些特性都是由半导体的内部结构所决定的。

1. 本征半导体

纯净的具有单晶体结构的半导体称为本征半导体。绝对的纯净是不可能的,现在的生产工艺可使半导体的纯度达到 99.99999% 以上。

我们以常用的硅(Si)和锗(Ge)来说明半导体的导电方式,硅和锗的原子结构模型如图 1.1.1 中的(a)、(b)所示,原子最外层有 4 个价电子,称为 4 价元素,图(c)是它们的简化模型。

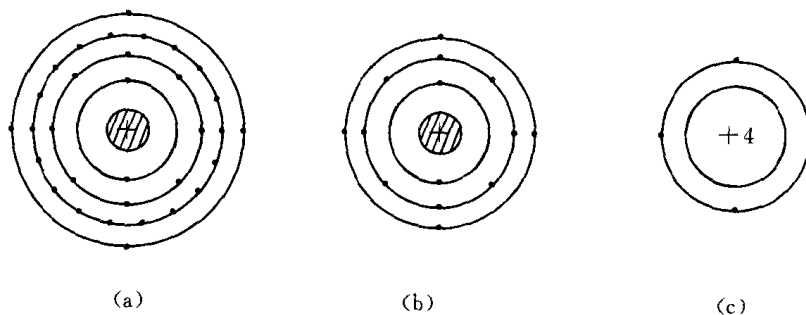


图 1.1.1 锗和硅的原子结构及简化模型

(a)Ge 锗 (b)硅 Si (c)简化模型

图 1.1.2 及图 1.1.3 是晶体的立体结构图和平面示意图。在本征半导体的晶体结构中,每一个原子都是与其相邻的四个原子以共价键结合在一起,形成共价键结构。处于共价键结构中的原子,其最外层都有八个电子而处于较为稳定的状态,在绝对温度零度时,由于没有能自由运动的带电粒子,本征半导体就如同绝缘体一样不能导电。但共价键中的电子还不像

^① 金属导体的电阻率小于 10^{-4} 欧·厘米;绝缘体的电阻率大于 10^8 欧·厘米;半导体的电阻率在 $10^{-1} \sim 10^2$ 欧·厘米之间。

在绝缘体中的价电子被束缚得那样紧,当它获得一定能量(如温度升高或受光照)后即可挣脱原子核的束缚而成为自由电子。

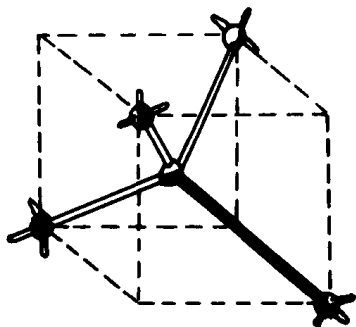


图 1.1.2 晶体中原子的排列方式

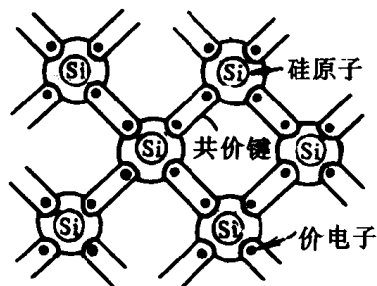


图 1.1.3 硅单晶中的共价键结构

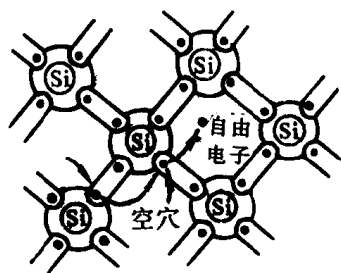


图 1.1.4 空穴和自由电子的形成

在价电子挣脱共价键的束缚成为自由电子后,相对应的共价键中就留下了一个空位,称为空穴。带有空穴的原子因少了一个电子而显正电荷,我们就看成是空穴带一个正电荷。

自由电子与空穴总是成对地产生,称为电子空穴对,如图 1.1.4 所示。这种产生电子空穴对的过程称为本征激发或热激发。

带有空穴的原子可吸引相邻原子中的价电子来填补这个空穴,同时失去了一个价电子的原子的共价键中便出现了另一个空穴,如图 1.1.4 所示。如此继续下去,就好像空穴在运动,其方向与价电子运动的方向相反。空穴运动实质上是束缚的价电子依次递补空穴的运动,我们就看成是正电荷在运动。

当在半导体两端加上外电压时,半导体中将出现两部分电流:一是自由电子作定向运动所形成的电子电流;二是空穴运动所形成的空穴电流,二者的电流方向是一致的。因此,总的电流为二者之和。在半导体中,同时有电子导电和空穴导电,这是半导体导电方式的最大特点,同一般金属导电有着本质的区别。自由电子和空穴统称为载流子。

本征半导体中的自由电子与空穴总是成对出现,也会不断复合(自由电子回到空穴中去)。在一定温度下,载流子的产生与复合达到动态平衡,温度愈高,激发出的载流子数目愈多,导电性能也愈好。所以,温度是影响半导体器件性能的一个重要因素。

2. 掺杂半导体

本征半导体中所激发出的电子空穴对的数量是非常少的,因此导电能力还很弱。如果有意识的掺入某种微量元素(称为杂质),就会使它的导电能力显著增强,这种半导体称为杂质半导体。按掺入的杂质不同,杂质半导体可分为两类:

(1) N 型半导体

以硅为例,在硅本征半导体中,掺入微量的五价元素,如磷(P),晶体中某些位置上的硅原子将被磷原子所替代,如图 1.1.5 所示。

由于磷原子的最外层有五个电子,在形成共价键结构时,就会多出一个电子,这个电子很容易挣脱磷原子的束缚而成为自由电子,磷原子本身便变成了一个不能运动的带正电荷的离子。于是自由电子的数目大量增加,成为这种半导体导电的主要方式,故称它为电子型

半导体或N型半导体。例如每立方厘米的硅晶体中有 4.96×10^{22} 个硅原子,在室温下本征激发出的自由电子或空穴约为 1.50×10^{10} 个,约为原子总数的三万亿分之一。如果掺入百万分之一的磷,即掺入 1.50×10^{16} 个磷原子,所提供的自由电子也就是 1.50×10^{13} 个,是本征激发出的自由电子的一百万倍。可见,尽管掺入非常微量的磷,但它产生的自由电子数目远远高于本征激发出的自由电子的数目。由于自由电子的增多而增加了复合的机会,空穴的数目便减小到约 2.30×10^4 个以下^①。

所以,在N型半导体中,自由电子是多数载流子(简称多子),而空穴是少数载流子(简称少子),它主要依靠自由电子导电。

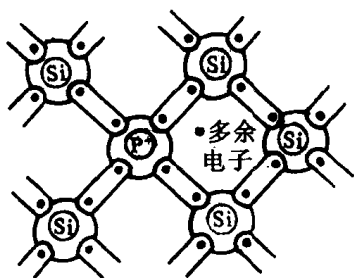


图 1.1.5 硅晶体中掺磷出现自由电子

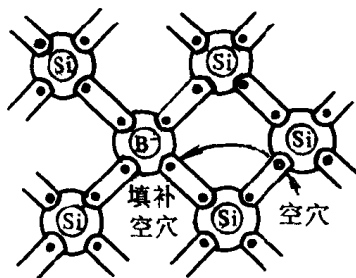


图 1.1.6 硅晶体中掺硼出现空穴

(2) P 型半导体

如果在硅晶体中掺入微量的三价元素,如硼(B),则当硼原子替代硅原子组成共价键时,因少一个电子,便出现了一个空穴,如图 1.1.6 所示。这样,在半导体中形成了大量空穴,而自由电子很少,主要依靠空穴导电,这种半导体称为空穴型半导体或P型半导体。在P型半导体中,多数载流子是空穴,少数载流子是自由电子。

应注意,不论是N型半导体还是P型半导体,整个晶体仍是电中性的。

1.1.2 PN 结

1. PN 结的形成

将P型半导体和N型半导体采取一定工艺结合在一起时,在二者的交界面处,就出现了电子和空穴浓度上的差异。N型半导体中的自由电子便向P区扩散,同样,P型半导体中的空穴也将向N区扩散,如图 1.1.7(a)所示。在其交界面的两侧,自由电子与空穴相遇而复合,靠近N区一侧就剩下了不可移动的正离子层,靠近P区一侧则剩下不可移动的负离子层,结果形成空间电荷区。正、负离子层之间形成了一个内电场,其方向由N区一侧指向P区一侧,如图 1.1.7(b)所示。

随着扩散的进行,空间电荷区不断变宽,内电场不断加强。内电场的加强反过来又阻碍多数载流子的扩散,即内电场对多数载流子的扩散运动起阻碍作用。因此,空间电荷区又称阻挡层。与此同时,在内电场的作用下,N区的空穴(少子)要向P区漂移;P区的自由电子(少子)也要向N区漂移。少子的漂移电流与多子的扩散电流方向相反,二者最终达到动态平衡。这样就建立了具有一定宽度的空间电荷区,也就是PN结。在这个空间电荷区中,因可移动的载流子极少,几乎都消耗掉了,所以又称耗尽层。

^① 在一定温度下,无论是本征半导体还是掺杂半导体,自由电子与空穴浓度的乘积,为一不变的常数。

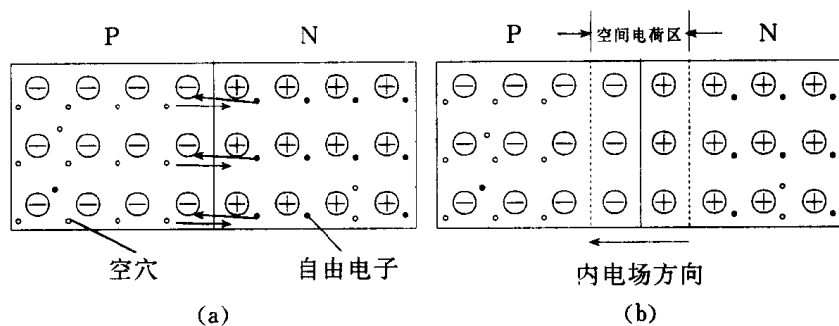


图 1.1.7 PN 结的形成

2. PN 结的单向导电性

如果 P 区接电源的正极, N 区接负极, 即 PN 结加正向电压(称为正向偏置), 如图 1.1.8 所示。这样外电场与内电场方向相反, 削弱了内电场, 使得 PN 结变窄, 多子的扩散运动加强, 少子的漂移运动削弱, PN 结中就有较大的电流通过, 因此 PN 结处于正向导通状态。

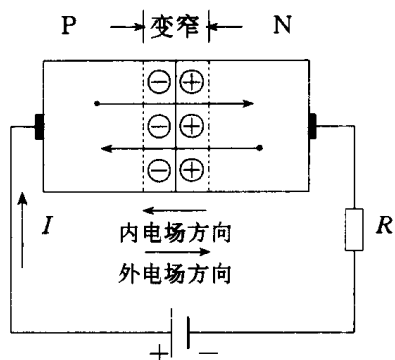


图 1.1.8 PN 结加正向电压

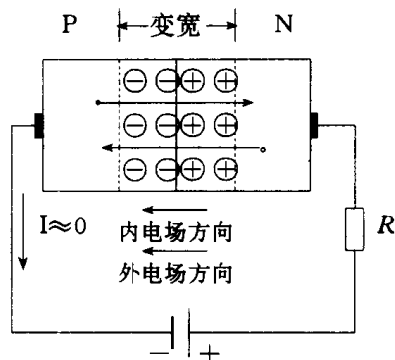


图 1.1.9 PN 结加反向电压

如果在 PN 结上加反向电压(称为反向偏置), 如图 1.1.9 所示, 这时外电场方向与内电场一致, 使空间电荷区加宽, 多子的扩散运动难于进行, 少子的漂移运动加强, 在电路中形成了反向电流。由于少子的数量极少, 反向电流也就很小, PN 结处于反向截止状态。反向电流是由少子产生的, 所以它与温度有很大的关系。

如上所述, PN 结加正向电压时, 有较大的电流通过, 其正向电阻较小, 处于导通状态; PN 结加反向电压时, 产生的电流很小, 呈现很大的反向电阻, 处于截止状态。这就是 PN 结的单向导电性。

3. PN 结的结电容

空间电荷区的导电率极小, 这就相当于平板电容的介质, 当外加电压变化时, 其上电荷也随着发生变化, 具有电容效应, 这个电容称为势垒电容, 用 C_T 表示。它与 PN 结的结面积成正比, 与 PN 结的宽度成反比。

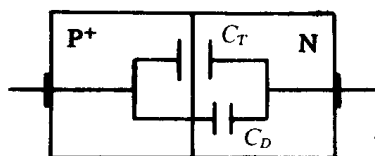


图 1.1.10 PN 结电容等效电路

此外, PN 结还有扩散电容 C_D , 它与掺杂浓度有关, 也与结面积成正比。它是由于 N 区电子和 P 区空穴在相互扩散中的积累引起的。

PN 结的总电容效应为上述之和, 因此总的结电容(用 C_j 表示)为 $C_j = C_T + C_D$ 。其等效电路如图 1.1.10 所示。

总之, PN 结除具有变阻性质外, 还具有变容性质, 利用

此点可制成变容二极管。虽然 PN 结的结电容很小,一般约为几个皮法至一、二百皮法,但当频率很高时,其作用就不应忽视。

1.1.3 半导体二极管

1. 基本结构

在 PN 结两端加上相应的电极引线,用管壳封装就成为半导体二极管。按材料的不同可分为硅二极管和锗二极管;按结构不同可分为点接触型和面接触型,如图 1.1.11(a)、(b)所示。一般面接触型由硅材料制成,点接触型由锗材料制成。

图中可看出,点接触型二极管的 PN 结面积小,结电容也就小,所以高频性能好,但不能通过较大的电流,一般适用于高频小功率电路。面接触型二极管的 PN 结结面积大,可允许通过较大的电流,但工作频率低,一般多用于整流电路。

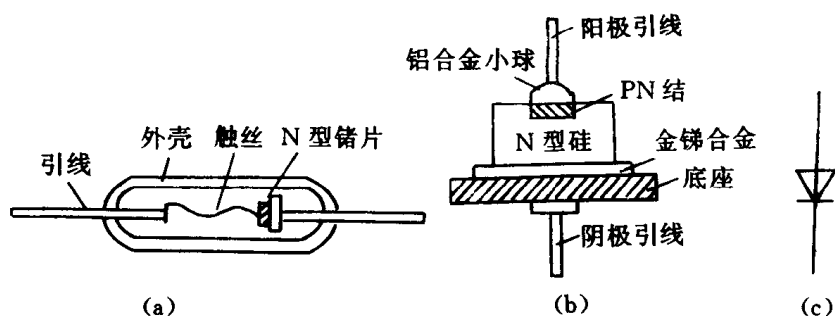


图 1.1.11 半导体二极管

(a)点接触型 (b)面接触型 (c)表示符号

二极管的符号如图 1.1.11(c)所示,P 区引出的电极为正极(阳极),N 区引出的电极为负极(阴极)。

2. 二极管的伏安特性

二极管实质上就是一个 PN 结,具有单向导电性,其伏安特性曲线如图 1.1.12 所示。由特性曲线可看出,当外加电压很低时,外电场还不能克服 PN 结内电场对多子扩散运动的阻力,这时的电流仍很小,当正向电压超过一定数值后,内电场被大大削弱,电流增长很快,这个一定数值的正向电压称为死区电压,其大小与材料及环境温度有关。通常硅管的死区电压约为 0.5 伏,锗管的死区电压约为 0.2 伏。

当在二极管上加反向电压时,少子的漂移运动加强,形成很小的反向电流。反向电流有两个特点:一是随温度的升高而增大;二是在反向电压不超过一定的数值范围时,反向电流基本不变,故通常称为反向饱和电流。反向饱和电流越大,管子的热稳定性能越差。硅管的反向电流通常要比锗管小得多。

当反向电压增大到某一数值时,反向电流急剧增大,这种现象称为击穿,此时的电压称为反向击穿电压

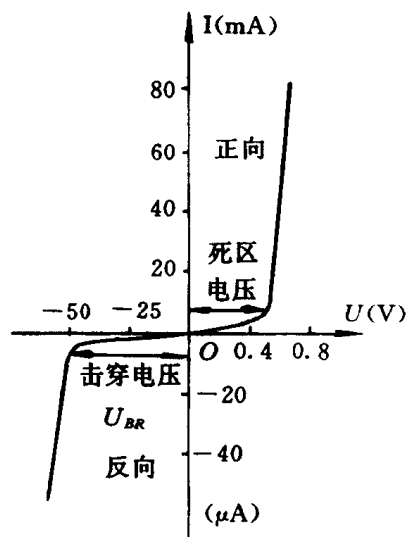


图 1.1.12 2CP10 硅二极管的伏安特性曲线

$U_{(BR)}$ 。二极管被击穿后,一般不能恢复到原来的性能,便失效了。击穿发生在空间电荷区,产生击穿的原因,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,产生新的电子空穴对,新产生的载流子在外电场作用下获得足够大的能量再次通过碰撞产生电子空穴对,如此形成连锁反应,反向电流急剧增大;另一种原因是强电场直接将共价键中的价电子拉出来,产生电子空穴对,形成很大的反向电流。此时,若不采取适当的限流措施,将会因电流大、电压高使管子过热而造成永久性的损坏,称为热击穿。

例 1.1.1 如图 1.1.13 所示,输入端 A 的电位 $U_A = +3V$, B 的电位 $U_B = 0V$,求输出端 F 的电位 U_F 。

解 因为 A 端电位比 B 端电位高,所以 D_A 优先导通。如果二极管的正向压降是 $0.7V$,则 $U_F = +2.3V$ 。当 D_A 导通后, D_B 上加的是反向电压,因而截止。

在这里, D_A 起钳位作用,把 F 端的电位钳置在 $+2.3V$; D_B 起隔离作用,把输入端 B 和输出端 F 隔离开来。

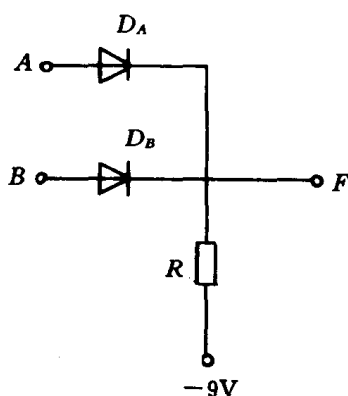


图 1.1.13

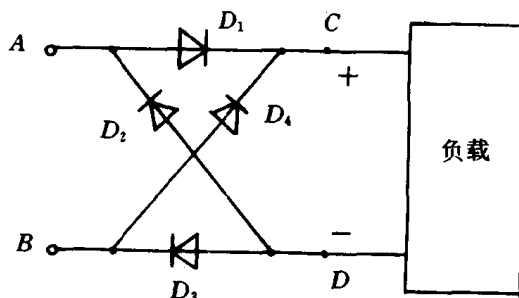


图 1.1.14

例 1.1.2 如图 1.1.14 为一直流电源接口电路,试分析不论 A 、 B 极性如何,负载的极性总是 C 为正极,而 D 为负极。

解 如果 A 是正极, B 为负极,则 D_1 、 D_3 导通,而 D_2 、 D_4 截止。忽略二极管的正向压降,有 $U_C = U_A$, $U_D = U_B$,即 C 为正极、 D 为负极。

如果 A 是负极, B 为正极,则 D_2 、 D_4 导通 D_1 、 D_3 截止。有 $U_C = U_B$, $U_D = U_A$,即 C 仍为正极, D 仍为负极。

3. 主要参数

二极管的特性除用伏安特性曲线表示外,还可用一些数据参数来说明,它是选择与使用二极管的重要依据。二极管的参数主要有以下几个:

(1) 最大整流电流 I_{OM}

最大整流电流是指二极管长期工作时,允许通过二极管的最大正向平均电流。当电流超过允许值时,PN 结过热而将管子烧毁。

(2) 最高反向工作电压 U_{RM}

它是保证二极管不被击穿而给出的反向峰值电压,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}

它是指二极管加最高反向工作电压时的反向电流。此值越大,说明二极管的单向导电性越差,并且受温度影响也越大。

除此之外,二极管还有结电容、最高结温、最高工作频率等参数,可从半导体参数手册上查到。

二极管应用广泛,主要是利用其单向导电性。它可用于整流、检波、元件保护以及在数字电路中作开关元件等。

4. 二极管的交流等效电路

考虑到结电阻 r_j 、结电容 C_j 及体电阻 r_s ,二极管 PN 结可用如图 1.1.15 所示电路等效。其中结电阻 r_j 即为特性曲线上工作点的斜率,室温下可由下式求得

$$r_j = \frac{26(\text{mV})}{I_Q(\text{mA})} (\Omega) \quad (1.1.1)$$

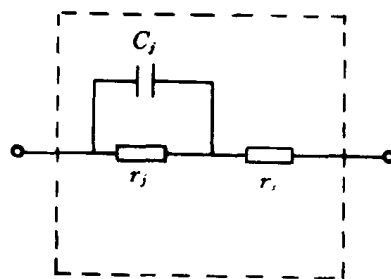


图 1.1.15 二极管的交流等效电路

1.1.4 稳压管

1. 硅稳压管及其伏安特性

稳压管是一种特殊的面接触型硅二极管,由于它在电路中能起稳定电压的作用,故称为稳压管。它的电路符号和伏安特性曲线如图 1.1.16 所示。

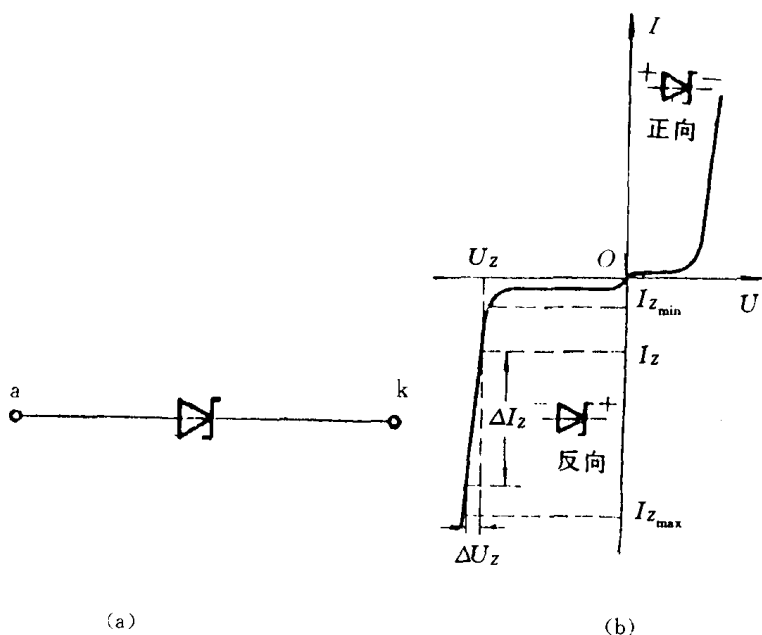


图 1.1.16 硅稳压管

(a) 电路符号 (b) 伏安特性曲线

由图 1.1.16(b)可知,稳压管的正向特性曲线与普通二极管相似,但它的反向击穿特性较陡,反向击穿电压 $U_{(BR)}$ 较低(普通二极管为数百伏,一般硅稳压管为数伏至数十伏),允许通过的电流也比较大。稳压管通常工作在反向击穿区,当反向击穿电流在较大范围内变化时,其两端电压变化很小,因而从它两端可获得一个稳定的电压,只要反向电流不超过允许范围,稳压管就不会发生热击穿而损坏。为此,在电路中稳压管必须串联一个适当的限流电阻。

2. 稳压管的主要参数

(1) 稳定电压 U_Z

指稳压管通过规定的测试电流时,稳压管两端的电压值。由于制造工艺的原因,同一型号管子的稳定电压有一定的分散性。例如 2CW55 型稳压管的 U_Z 为 6.2~7.5V(测试电流为 10mA)。

(2) 稳定电流 I_Z

指稳压管的工作电压等于稳定电压时通过管子的电流。它只是一个参考电流值,低于此值,稳定效果变差;高于此值,只要不超过最大工作电流 $I_{Z\max}$ 均可以正常工作,且电流愈大,稳定效果愈好。

(3) 动态电阻 r_Z

指稳压管两端电压变化量与相应电流变化量的比值,即

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

稳压管的反向特性曲线愈陡,则动态电阻愈小,稳压性能愈好。

(4) 最大耗散功率 P_{ZM}

指稳压管不致发生热击穿所允许的最大功率损耗, $P_{ZM} = U_Z I_{Z\max}$ 。

(5) 电压温度系数 C_{TV}

是表征稳定电压 U_Z 受温度影响的参数,常用温度每增加 1℃ 时 U_Z 改变的百分数来表示。例如 2CW18 型稳压管的电压温度系数是 +0.095%/℃,即温度每增加 1℃,它的稳定电压值将升高 0.095%,假设在 20℃ 时的稳定电压是 11V,那么在 50℃ 时的稳定电压将是

$$11 + 0.095\% (50 - 20) \times 11 \approx 11.3V$$

一般说,低于 4V 的稳压管的电压温度系数是负值,高于 7V 的稳压管的电压温度系数是正值,而在 4~7V 之间的稳压管,其温度的稳定性较好。

1.2 晶体三极管

半导体三极管(简称三极管或晶体管)是最重要、应用最广泛的半导体器件,它的放大作用和开关作用促进了电子技术的飞跃发展。本节主要通过了解其内部结构特点来分析与掌握其外部特性,为分析放大电路打下基础。

1.2.1 结构特点

晶体管的结构,常见的有平面型和合金型两类,如图 1.2.1 所示。硅管主要是平面型,锗管主要是合金型。按半导体掺杂类型可分为 NPN 型和 PNP 型两大类,其示意图和表示符号如图 1.2.2 所示。晶体管有基区、发射区和集电区三个区,分别引出三个电极:基极(B)、发射极(E)、集电极(C),它有两个 PN 结分别称为发射结和集电结,如图 1.2.2 中所示。

在制造晶体管时,使得晶体管内部有如下特点:

- (1) 基区做得很薄,且掺杂浓度很低。
- (2) 发射区掺杂浓度比集电区掺杂浓度高,并远大于基区掺杂浓度。
- (3) 集电结面积比发射结大。

晶体管的这些结构特点是决定其具有放大作用的内部条件。

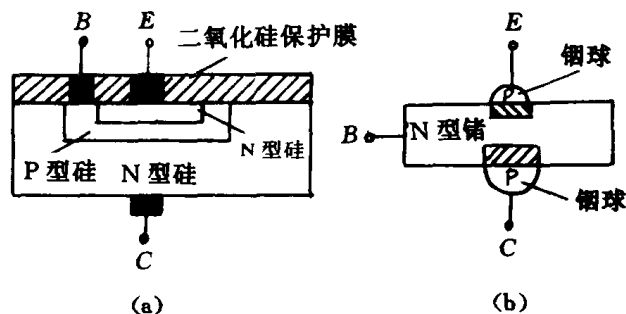


图 1.2.1 晶体管的结构

(a) 平面型 (b) 合金型

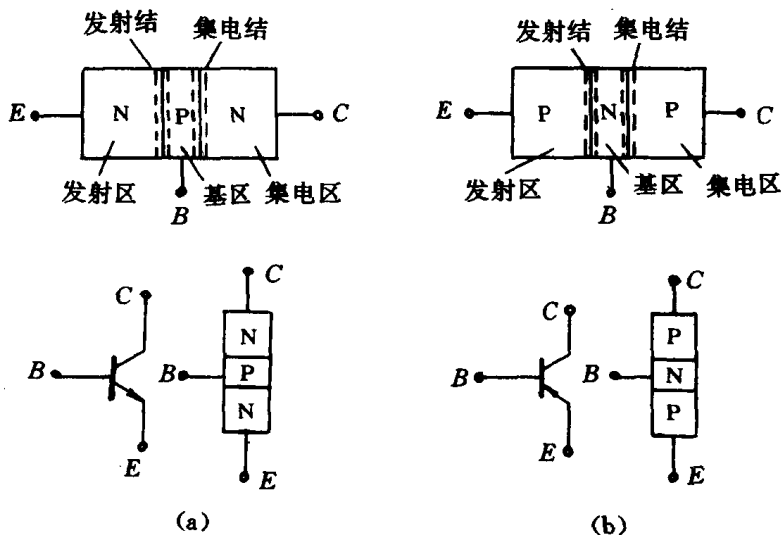


图 1.2.2 晶体管的结构示意图和表示符号

(a) NPN 型晶体管 (b) PNP 型晶体管

1.2.2 放大原理

我们先通过一个实验电路来说明什么是晶体管的放大作用,实验电路如图 1.2.3 所示,电源的接法保证了发射结正向偏置,集电结反向偏置($E_C > E_B$),这是晶体管起到放大作用的外部条件。

改变 R_B , 则基极电流 I_B 、集电极电流 I_C 和发射极电流 I_E 都发生相应变化,各电流方向如图中所示。测量结果列于表(1.2.1)中。

通过分析表中数据,我们可得出如下关系:

(1) 无论晶体管电流如何变化,它的三个电流始终符合克希荷夫电流定律

$$I_E = I_C + I_B \quad (1.2.1)$$

(2) I_C 比 I_B 大得多。从第三列和第四列数据可知, I_C 与 I_B 的比例分别为

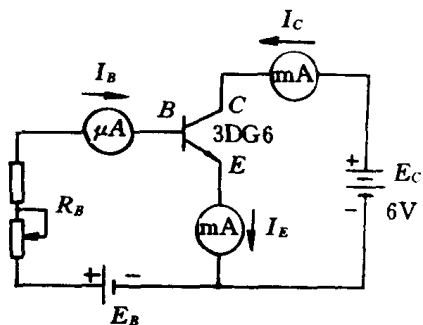


图 1.2.3 晶体管电流放大的实验电路