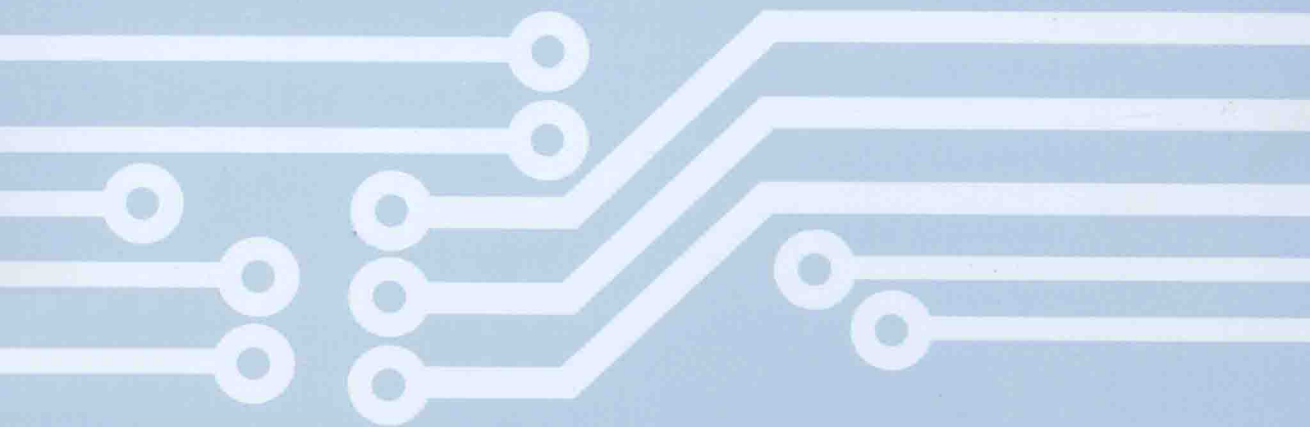


• 山东省精品课程教材

Moni Dianzi Jishu

模拟电子技术

胡承忠 房永钢 高秀美 主编



山东大学出版社

山东省精品课程教材

模 拟 电 子 技 术

主 编 胡承忠 房永钢 高秀美

副主编 张连刚

主 审 冀子武

山东大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术/胡承忠,房永钢,高秀美主编.

—济南:山东大学出版社,2014.8

ISBN 978-7-5607-5112-2

I. ①模… II. ①胡… ②房… ③高… III. ①模拟电路—电子技术
IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 197965 号

责任策划:王 翎

责任编辑:宋亚卿

封面设计:张 荔

出版发行:山东大学出版社

社 址 山东省济南市山大南路 20 号

邮 编 250100

电 话 市场部(0531)88364466

经 销:山东省新华书店

印 刷:泰安农大印刷有限公司

规 格:787 毫米×1092 毫米 1/16

17.25 印张 393 千字

版 次:2014 年 8 月第 1 版

印 次:2014 年 8 月第 1 次印刷

定 价:36.00 元

版权所有,盗印必究

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社营销部负责调换

前 言

《模拟电子技术》是电子、通信技术等专业的主干课程,它是学生学习后续课程的基础。模拟电路涉及的内容不仅广泛,而且复杂、抽象,学生不易理解、掌握。尤其是对于在读大学生、中专生及自学者来说,分析、解答问题的困难较多。为了帮助学生掌握基本概念、基本分析方法,加深理解基本原理,编者参照教育部课程教学大纲的基本要求,以及应用型人才培养的实际需要,结合多年来的教学实践经验,编写了这本书。

本书内容丰富,原理讲解准确,解题方法的分析科学、合理。书中举出了许多典型例题,在解题过程中,着重强调基本理论和基本方法;此外,还增加了一些应用型电路,以扩大学生的知识面,提高他们灵活解题的能力,从而加深他们对电子电路基本理论和技术的理解,帮助他们掌握本课程的基本内容,从而达到提高他们分析问题、解决问题的能力目的。

本书共分十章,内容包括常用的半导体器件,基本放大电路,放大电路的频率响应,集成运算放大器,放大电路中的反馈,模拟信号运算电路,信号处理电路,波形发生电路,功率放大电路和直流电源。

本书既可作为应用型本科院校电子类学生学习的教材,也可作为职业院校教师、学生学习的参考用书。

本书由泰山学院胡承忠教授、济宁学院房永钢副教授、岱岳区职业教育中心高秀美老师任主编,泰山中学张连刚老师任副主编。山东大学博士生导师冀子武教授审阅了全稿,指出了初稿中的许多不妥之处,提出了宝贵的修改意见;同时,在本书编写过程中,泰山学院的姜春玲副教授、封百涛老师做了大量的工作,在此一并表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,殷切希望读者多提宝贵意见,并批评指正,以便于本书的修订。

编 者

2014 年 5 月

目 录

第 1 章 常用的半导体器件	(1)
1.1 半导体基础知识	(1)
1.2 半导体二极管	(7)
1.3 特殊二极管简介	(11)
1.4 半导体双极型三极管	(14)
1.5 场效应晶体管	(22)
本章小结	(33)
习 题	(33)
第 2 章 基本放大电路	(38)
2.1 放大的概念	(38)
2.2 共射放大电路	(39)
2.3 放大电路的主要技术指标	(42)
2.4 放大电路的基本分析方法	(45)
2.5 工作点的稳定问题	(57)
2.6 放大电路的三种基本组态	(65)
2.7 场效应管放大电路	(72)
2.8 多级放大电路	(78)
本章小结	(83)
习 题	(84)
第 3 章 放大电路的频率响应	(91)
3.1 频率响应的一般概念	(91)
3.2 三极管的频率参数	(94)
3.3 单管共射放大电路的频率响应	(95)



3.4 多级放大电路的频率响应	(104)
本章小结	(105)
习 题	(105)
第4章 集成运算放大器	(108)
4.1 集成运算放大器的特点	(108)
4.2 集成运算放大器的基本组成部分	(109)
4.3 集成运算放大器的主要技术指标	(126)
4.4 理想运算放大器的传输特性	(127)
本章小结	(128)
习 题	(128)
第5章 放大电路中的反馈	(132)
5.1 反馈的基本概念	(132)
5.2 负反馈对放大电路性能的影响	(139)
5.3 负反馈放大电路的分析计算	(145)
5.4 负反馈放大电路的自激振荡	(149)
本章小结	(152)
习 题	(153)
第6章 模拟信号运算电路	(159)
6.1 比例运算电路	(159)
6.2 求和运算电路(加法电路)	(163)
6.3 积分和微分运算电路	(166)
6.4 对数和指数运算电路	(172)
6.5 乘法和除法运算电路	(173)
本章小结	(174)
习 题	(175)
第7章 信号处理电路	(180)
7.1 滤波器	(180)
7.2 电压比较器	(186)
本章小结	(195)



习 题	(195)
第 8 章 波形发生电路	(200)
8.1 正弦波振荡电路的基本概念	(200)
8.2 RC 正弦波振荡电路	(203)
8.3 LC 正弦波振荡电路	(209)
8.4 石英晶体振荡器	(214)
8.5 非正弦波发生电路	(217)
本章小结	(220)
习 题	(220)
第 9 章 功率放大电路	(227)
9.1 功率放大电路概述	(227)
9.2 互补对称功率放大电路	(230)
9.3 实际的功率放大电路(OCL)	(236)
9.4 集成功率放大器	(237)
本章小结	(238)
习 题	(239)
第 10 章 直流电源	(244)
10.1 单相整流电路	(244)
10.2 滤波电路	(250)
10.3 硅稳压管稳压电路	(254)
10.4 串联型直流稳压电路	(257)
10.5 集成稳压器	(259)
本章小结	(262)
习 题	(263)
参考文献	(267)

第 1 章 常用的半导体器件

虽然以大规模集成电路、计算机技术为先导的电子技术发展非常迅猛,但这也并不能代替电子器件以 PN 结为基础的现实。PN 结在现代电子技术中有着非常重要的作用,它是一个典型器件,代表着具有广泛用途的二极管。另外,它还是半导体三极管、场效应晶体管等器件的重要组成部分。因此,了解 PN 结的特性,对于掌握常用的电子器件非常有必要。

本章首先介绍半导体的基础知识、半导体中载流子的运动规律,再讨论 PN 结的导电机理和电特性,而后介绍半导体二极管、稳压二极管、双极型三极管及场效应晶体管的结构、工作原理、特性曲线和主要参数。

1.1 半导体基础知识

在日常生活和生产实践中,有些物质(如银、铜、铝、铁等)很容易导电,这些物质叫作导体;有些物质(如塑料、有机玻璃、橡胶等)很不容易导电,这类物质叫作绝缘体;导电性能介于导体和绝缘体之间的一类物质叫作半导体。常见的半导体有锗、硅、硒等元素及其化合物,以及各种金属的氧化物及硫化物等。

很多半导体的导电能力在不同条件下有很大的差别。例如有些半导体(如钴、锰、镍等的氧化物)对温度的反应特别灵敏,当温度升高时,它们的导电能力要增强很多。利用这种特性可做成各种热敏电阻。有些半导体(如镉、铅等的硫化物和硒化物)受到光照时,它们的导电能力变得很强,当无光照时,又变得像绝缘体那样不导电。利用这种特性可做成各种光敏电阻。更重要的是,如果在纯净的半导体中掺入微量的某种杂质,它的导电能力就可增加几十万乃至几百万倍。利用这种特性可做成各种不同用途的半导体器件,如二极管、三极管、场效应晶体管及晶闸管等。不仅如此,选择掺入不同的杂质,还可制成不同类型的半导体。

1.1.1 本征半导体

本征半导体就是非常纯净的、不含杂质的、晶体结构完整的半导体。硅和锗都是 4 价元素,它们原子的最外层电子都是 4 个,这种电子称为价电子,它们受原子核的束缚力最小。如将内层电子与原子核看成一个稳定的整体,称为惯性核,则惯性核带有 4 个正电荷。可用图 1-1 来表示硅与锗的简化原子结构模型。

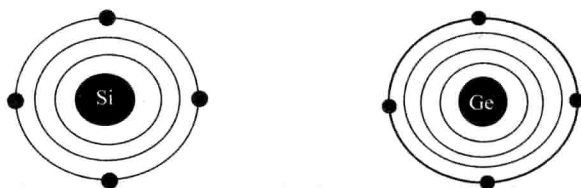


图 1-1 硅与锗的原子结构模型

硅或锗制成单晶体后,晶体中原子的价电子不仅受到原来所属原子核的作用,而且还受到相邻原子核的吸引,即 1 个价电子为相邻的两个原子核所共有。共价键指的是两个相邻原子各拿出 1 个价电子作为共有价电子所形成的束缚作用。因此,每个硅或锗的原子都以对称的形式和其邻近的 4 个原子通过共价键紧密地联系起来。图 1-2 表示硅或锗的晶体结构模型。原子间的共价键具有很强的结合力,在绝对温度为零度($T=0\text{K}$,相当于一 273°C)且无外界激发的条件下,价电子不能挣脱共价键的束缚,也就不能自由移动。本征半导体中虽有大量的价电子,但没有自由电子,此时半导体是不导电的。

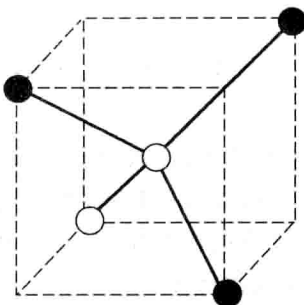


图 1-2 硅或锗的晶体结构模型

当温度升高或受光照射时,价电子不断从外界获得一定的能量,少数价电子因获得的能量较大而挣脱共价键的束缚,成为自由电子,同时在原来的共价键的相应位置留下一个空位,这个空位称为空穴,如图 1-3 所示。图中 a 处为空穴。自由电子和空穴是成对出现的,所以称它们为电子空穴对。在热或光的作用下,本征半导体中产生电子空穴对的现象,称为本征激发。

当共价键中失去一个价电子出现一个空穴时,与其相邻的处于热运动状态的价电子很容易填补到这个空穴中,使该电子原来所在的共价键中出现一个空穴,这样空穴实际上便从 a 处移至 b 处;同样,邻近的价电子可填补 b 处的空穴,空穴又从 b 处移到 c 处。因此,空穴在半导体中自由移动,其实质是价电子填补空穴的运动。在电场的作用下,大量的价电子依次填补空穴的定向运动形成电流。为了区别于自由电子的运动,将这种价电子的填补运动称为空穴运动,并将空穴看成是一种带正电的载流子,它所带电量与电子相等,符号相反。

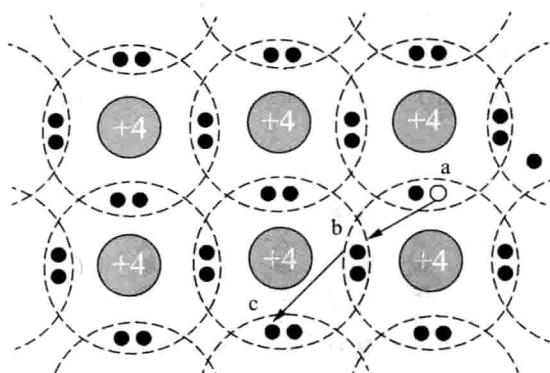


图 1-3 硅或锗的共价键结构模型和空穴模型

由此可见,在本征半导体中存在两种载流子,即带负电的自由电子和带正电的空穴;而金属导体中只有一种载流子,即自由电子。

在本征激发产生电子空穴对的同时,自由电子在运动中有可能和空穴相遇,重新被共价键束缚起来,电子空穴对消失,这种现象称为复合。显然,激发和复合是矛盾的双方。在一定温度下,激发和复合虽然都在不停地进行,但最终将达到平衡状态,此时半导体中的载流子浓度维持在一定数目。由于本征激发产生的电子空穴对的数目很少,载流子浓度很低,故其导电能力很弱。

本征半导体中载流子的浓度除与半导体材料本身的性质有关以外,它还与温度密切相关。随着温度的升高,载流子的浓度基本上按指数规律增加。例如,对于硅材料,温度每升高大约 8°C ,载流子的浓度增加一倍;对于锗材料,温度每升高大约 12°C ,载流子的浓度增加一倍。

1.1.2 杂质半导体的导电特性

本征半导体虽然有自由电子和空穴两种载流子,但数量极少,导电能力极低。如果在其中掺入微量的杂质(某种元素)形成杂质半导体,其导电性能会大大增加。根据掺入的杂质的不同,杂质半导体可分为 N 型半导体和 P 型半导体两大类。

1.1.2.1 N 型半导体

N 型半导体是在本征半导体晶体内掺入微量的 5 价元素磷(或砷)构成的。所掺入的磷原子数量极少,并不改变硅单晶的共价键结构,只是使某些节点上的硅原子被磷原子所取代。磷原子有五个价电子,它的四个价电子与相邻的四个硅原子的价电子组成共价键,剩下的一个价电子位于共价键之外,只受自身原子核的微弱吸引,如图 1-4 所示。在室温下,这个价电子因受热或其他激发获得能量后,它可以摆脱原子核的束缚而成为一个自由电子。几乎每一个磷原子都能提供一个这样的自由电子,失去价电子的磷原子本身成为一个带正电的不能移动的正离子,不参与导电。磷原子提供自由电子,称为施主原子。被掺入杂质的半导体中,自由电子的数目远大于空穴的数目,所以,这类杂质的半导体称为电子型半导体,又叫 N 型半导体。在 N 型半导体中,也存在着本征激发的现象,有电子空

穴对的产生,但比起掺杂而产生的自由电子来说数量少得多,传递电流的主要载流子是电子,故电子被称为多数载流子(简称多子),空穴相应地被称为少数载流子(简称少子)。由于自由电子的增多,空穴遇到电子而被复合的概率增大,空穴的浓度远小于同温度下本征半导体中空穴的浓度。

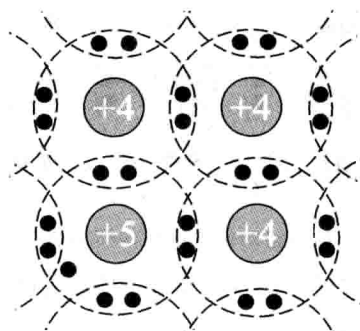


图 1-4 N 型半导体的结构

1.1.2.2 P 型半导体

如果在硅或锗晶体中掺入微量的 3 价元素硼或铝后,由于硼的价电子只有 3 个,当它和周围的硅原子结合形成共价键时,因缺少一个电子而出现了空位,在受热激发而获得能量时,硼原子很容易从相邻硅原子的共价键中夺取一个价电子而形成稳定结构。硼原子接受一个电子变成带负电的不能移动负离子,不参与导电。同时硅原子的共价键中因失去一个价电子便出现了新的空位,这就是空穴,如图 1-5 所示。在常温下,绝大多数硼原子均可接受硅晶体中的一个价电子而产生一个空穴,从而提供与硼原子数相等的空穴。硼原子接受自由电子,称为受主原子。这种掺入 3 价元素的杂质半导体中,空穴是多数载流子,所以称为空穴型半导体,或称 P 型半导体。在 P 型半导体中,也同样存在着本征激发的现象,有电子空穴对的产生,但比起掺杂产生的空穴数量来说少得多,传递电流的主要载流子是空穴,故空穴被称为多数载流子,自由电子相应地被称为少数载流子。由于空穴的增多,自由电子遇到空穴而被复合的概率增大,P 型半导体中自由电子的浓度远小于同温度下本征半导体中自由电子的浓度。

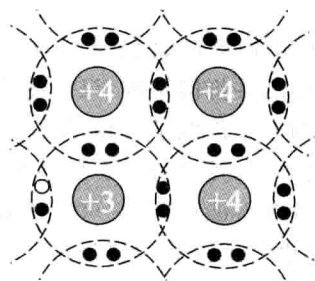


图 1-5 P 型半导体的结构



应当注意,杂质半导体中多数载流子的浓度主要取决于掺入的杂质浓度,因此多子的浓度受温度的影响很小。而少数载流子的浓度与本征激发有关,因此,少子的浓度与温度、光照等外界因素有密切关系,这些对半导体器件的性能将产生影响。在杂质半导体中,由于多子所带的电荷总量与少子及离子所带的相反极性的电荷总量相等,因此,从总体上看,杂质半导体仍保持电中性。

1.1.3 PN 结

1.1.3.1 PN 结的形成

单纯的 N 型或 P 型半导体并不能做成半导体器件。采用一定的工艺,在一块单晶体的两边掺入不同的杂质,使一边成为 P 型半导体,另一边成为 N 型半导体,则在两种半导体的交界面将形成一层很薄的特殊导电层——PN 结。PN 结是构成各种半导体器件的基础。

在这个单晶体中,将 P 型半导体的一边称为 P 区,将 N 型半导体的一边称为 N 区。由于 P 区空穴的浓度大,而 N 区空穴的浓度小,因此,空穴要从浓度大的 P 区向浓度小的 N 区扩散[见图 1-6(a)],扩散到 N 区的空穴与 N 区的多子自由电子复合而消失。在交界面附近的 P 区留下杂质负离子,形成负空间电荷区。同样, N 区的自由电子要向 P 区扩散[见图 1-6(a)],扩散到 P 区的自由电子与 P 区的多子空穴复合而消失,在交界面附近的 N 区留下杂质正离子,形成正空间电荷区。这样,在 P 型半导体和 N 型半导体交界面的两侧就形成了一个空间电荷区,这个空间电荷区就是 PN 结。

形成空间电荷区的正负离子虽然带电,但是它们不能移动,不参与导电。另外,由于这区域内多数载流子已扩散到对方并复合掉了,或者说消耗尽了,所以空间电荷区又被称为耗尽层,它的电阻率很高。

空间电荷区产生后,在交界面两侧形成了一个电场,其方向从带正电的 N 区指向带负电的 P 区,称为内电场,如图 1-6(b)所示。由 P 区向 N 区扩散的空穴在空间电荷区将受到内电场的阻力,即内电场对多数载流子的扩散运动起阻挡作用,所以空间电荷区又被称为阻挡层。对少数载流子来说,内电场可推动它们越过空间电荷区,进入对方区域。少数载流子在内电场作用下的这种有规则的运动称为漂移运动。扩散运动和漂移运动是互相联系的,在开始形成空间电荷区时,多数载流子的扩散运动占优势。但在扩散运动进行过程中,空间电荷区逐渐加宽,内电场逐步加强。于是在一定条件下,多数载流子的扩散运动逐渐被减弱,而少数载流子的漂移运动则逐渐得到增强。最后,扩散运动和漂移运动达到动态平衡,处于相对稳定的状态,空间电荷区的宽度不再变化。

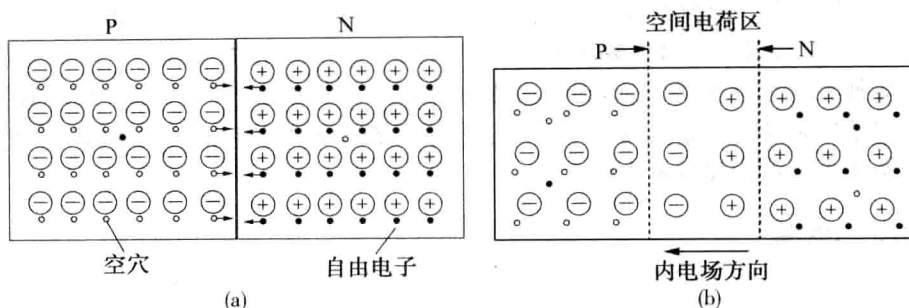


图 1-6 PN 结的形成

1.1.3.2 PN 结的单向导电性

在 PN 结两端接上外加电源,则称该结被偏置。外加电源有两种接法:一种是电源正极接 P 区,电源负极接 N 区,加正向电压称正向偏置,简称正偏;另一种是电源负极接 P 区,电源正极接 N 区,加反向电压称反向偏置,简称反偏。

正偏时,外电场与内电场方向相反,因此内电场被削弱,原有平衡状态被打破。在外电场的作用下,多子被推向耗尽层,分别与耗尽层中的一部分负离子、正离子中和,使空间电荷减少,耗尽层变窄,这一结果有利于多子的扩散而不利少子的漂移。因此,多子可源源不断越过 PN 结形成较大的电流,少子的漂移电流则很小,PN 结中的电流主要是扩散电流,其方向是从 P 区到 N 区。通常把正偏时 PN 结流过的电流称为正向电流。由于正向电流较大,则 PN 结对外电路呈现为较小的电阻,称为正向电阻,这种状态称为 PN 结处于导通状态。反偏时,外电场与内电场方向一致,因此使内电场得到加强,PN 结原有平衡状态也被打破。在外电场的作用下,多子向远离耗尽层的方向运动,使空间电荷增多,耗尽层变宽,这对于多子的扩散不利,却有利于少子的漂移。由于扩散很难进行,因此,PN 结中的电流主要是少子形成的漂移电流,但由于少子的浓度很低,故漂移电流很小,其方向是从 N 区到 P 区。通常把反偏时 PN 结流过的电流称为反向电流。由于反向电流很小,则 PN 结对外电路呈现为一个很大的电阻,称为反向电阻。此时 PN 结基本上是不导电的,这种状态称为 PN 结处于截止状态。由于少子的浓度很低,只要外加不高的反向电压,绝大多数的少子都参与导电,所以,随着反向电压的升高,在一定温度下,反向电流几乎保持不变,故称为反向饱和电流,用 I_s 表示。反向饱和电流虽然很小,但受温度影响很大。

总之,正偏时 PN 结导通,电流较大,电阻较小;反偏时 PN 结截止,反向电流很小,电阻很大。理想情况下,PN 结正偏导通时电阻为零,反偏截止时电阻为无穷大,这就是 PN 结的单向导电性。

1.1.3.3 PN 结的反向击穿

当加到 PN 结上的反向电压增大到一定数值时,反向电流会突然激增,这种现象称为反向击穿。发生击穿所需的反向电压称为反向击穿电压。特点:随着反向电流的急剧增加,PN 结的反向电压值增加很少。



PN 结的击穿从机制上可分为雪崩击穿和齐纳击穿两种类型。对硅材料来说,当反向电压超过 8V 时,PN 结的内电场很强,这可使漂移过的少数载流子获得足够大的动能,该动能把共价键中的价电子撞出来,生成为新的电子、空穴对。新的载流子又被电场加速,再去碰撞别的原子,形成连锁反应造成载流子激增,反向电流雪崩式的迅速增大,故这种击穿称为雪崩击穿。对于一些掺杂浓度很高的 PN 结,空间电荷区非常薄,加上不高的反向电压所形成的电场足以把电子从共价键中拉出来,形成大量的电子、空穴对,使反向电流剧增,这种击穿称为齐纳击穿。当反向电压为 5~8V 时,两种击穿可能同时存在。

PN 结击穿后,只要电击穿不因电流过大而烧坏,当反向电压降到击穿电压的绝对值以下后,PN 结的性能仍可恢复到击穿前的状态。电击穿过程是可逆的。此外,当反向电流过大时,消耗在 PN 结上的功率过大,引起温度上升,直到过热而造成永久性损坏的击穿,称为热击穿。这种“烧管”的热击穿是不可逆的,应尽量避免。

1.1.3.4 PN 结的电容效应

PN 结除了具有单向导电性以外,当加上的电压发生变化时,储存的电荷量也随之发生变化,故它还具有一定的电容效应。PN 结的电容效应分为两部分,即势垒电容(耗尽层电容)和扩散电容。

(1)势垒电容 C_b :在空间电荷区内,靠 P 区的一边聚集着带负电的离子,靠 N 区的一边聚集着带正电的离子,这种结构非常类似于充电后的平行板电容器。这个电容称为势垒电容,用 C_b 表示。空间电荷区的宽度和空间电荷量随两端外加电压的变化而改变。PN 结两端反向电压增高,耗尽层变宽,空间电荷量增加,相当于电容“充电”;PN 结反向电压降低,耗尽层宽度变窄,空间电荷量减少,相当于电容“放电”。

(2)扩散电容 C_d :正向偏压时,多数载流子的扩散运动使多数载流子越过 PN 结到对方区域内,在外侧形成电荷的堆积,外加电压改变时,将引起这些电荷量的变化,由此而形成的电容效应称为扩散电容,用符号 C_d 表示。正向电压变化时,相应地有电荷的“流入”和“放出”,等效于电容的充放电过程。

耗尽层的势垒电容和扩散电容的值都很小,通常为几皮法至几十皮法,有些结面积大的可达几百皮法。这些电容效应对低频电路的影响不大,但对高频电路的影响却不可忽略。耗尽层的势垒电容和扩散电容都是非线性电容。

1.2 半导体二极管

1.2.1 半导体二极管的结构和类型

半导体二极管是由一个 PN 结再加上电极引线和管壳构成的。二极管的种类很多,按材料来分类,最常用的有硅管和锗管两种;按结构来分类,有点接触型和面接触型两种(见图 1-7);按用途来分类,有普通二极管、整流二极管、开关二极管、稳压二极管和发光二极管等多种类型。

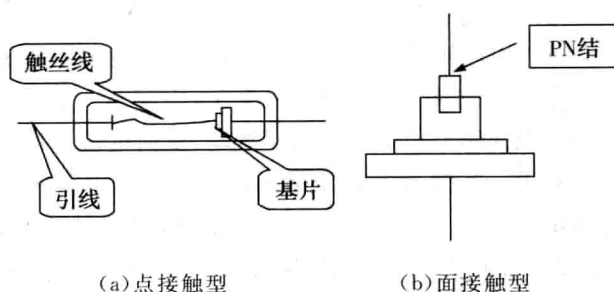


图 1-7 二极管的常见结构

从二极管的工艺结构来看,点接触型二极管的特点是结面积小,结电容小,允许通过的电流也小,适用于高频电路的检波或小功率电路的整流,也可用作数字电路的开关元件;面接触型二极管的特点是结面积大,结电容大,允许通过较大的电流。

二极管的符号如图 1-8 所示,其中 P 区引出线为阳极, N 区引出线为阴极,三角箭头表示正向电流方向。一般在二极管的管外壳上标有符号或色点、色圈,用以表示二极管的极性。

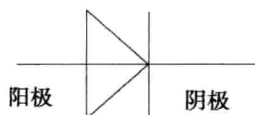


图 1-8 二极管的符号

1.2.2 半导体二极管的伏安特性

由于二极管的核心部分是 PN 结,故它的主要特性是单向导电性,通常主要用它的伏安特性来表示。图 1-9 为二极管的伏安特性曲线。由图可见,当外加正向电压且电压很低时,由于外电场还不能克服内电场对多数载流子扩散运动的阻力,故正向电流很小,几乎为零。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。在室温下,硅管的死区电压约为 0.5V,锗管的死区电压约为 0.1V。只有当外加电压高于死区电压时,二极管才真正处于导通状态。当正向电流稍大时,正向特性曲线几乎与横轴垂直。这说明,电流在较大范围内变化时,二极管两端的电压(称为管压降)变化得很小。通常,硅管的管压降为 0.6~0.8V,锗管的管压降为 0.1~0.3V。

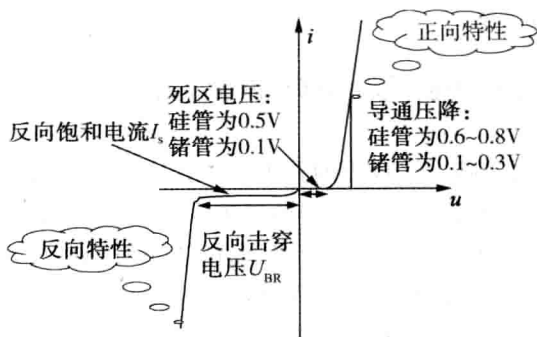


图 1-9 二极管的伏安特性曲线

在二极管上加反向电压时,由于少数载流子的漂移运动,形成很小的反向电流。反向电流有两个特点:一是随温度的上升增大很快,即具有热敏特性;二是在反向电压不超过某一范围时,反向电流的大小基本不随反向电压的增大而变化,数值基本恒定,故通常称它为反向饱和电流。而当外加反向电压过高达到反向击穿电压时,反向电流将突然增大,二极管失去单向导电性,这种现象称为反向击穿。二极管被反向击穿后,如果不能恢复原来的特性,便失效了。二极管的反向击穿电压一般在几十伏以上,只要采取适当的限流措施,就能保证二极管不会因为热击穿而损坏。

1.2.3 二极管的主要参数及其选择

1.2.3.1 二极管的主要参数

二极管(也包括其他电子器件)的特性除了用伏安特性曲线表示外,还可以用它的参数来表示。参数用于定量描述二极管的性能,因此,它是正确使用和合理选择二极管的依据。参数可以直接测量,也可以从半导体器件手册中查得。二极管的主要参数有:

(1)最大整流电流(I_F): I_F 是二极管长期运行时允许通过的最大正向平均电流,由二极管允许的温升所限定。若通过二极管的平均电流超过这个值,将引起管子过热而损坏。

(2)最大反向工作电压(U_R): U_R 是二极管使用时允许加的最大反向电压。反向电压超过这个值,就有发生反向击穿的危险。通常将这个参数规定为反向击穿电压的一半。如2CP10硅二极管的最大反向工作峰值电压为25V,而反向击穿电压约为50V。点接触型的二极管反向工作峰值电压一般是几十伏,面接触型的二极管可达几百伏以上。

(3)反向电流(I_R): I_R 是指二极管未发生击穿时的反向电流值,也称反向漏电流。 I_R 越小,说明二极管的单向导电性能越好。通常手册上给出的是最大反向工作电压下的反向电流值。这个参数受温度的影响很大。

(4)最高工作频率(f_M):二极管在外加高频交流电压下工作时,由于电容效应,单向导电作用退化。 f_M 就是指二极管单向导电作用开始明显退化时交流信号的频率。应当指出,由于制造工艺的限制,即使是同一类型的二极管,参数的分散性也很大,手册上给出的往往是参数的范围。另外,手册上的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,则相应的参数值也会发生变化。

1.2.3.2 二极管的选择

无论是设计电路还是修理电子设备,都会面临如何选择二极管的问题。选择二极管时必须注意以下几点:

(1)设计电路时,根据电路对二极管的要求,查阅半导体器件手册,从而确定选用的二极管型号。确定选用的二极管型号时,选用的极限参数应分别大于电路对管子相应参数的要求。一般应注意:导通电压低时选锗管,反向电流小时选硅管,反向击穿电压高时选锗管,要求工作频率高时选点接触型管,工作环境温度高时选硅管。

(2)在修理电子设备时,如果发现二极管损坏,则用同型号的二极管来替换。如果找不到同型号的二极管而改用其他型号的二极管来代替时,则替代二极管的极限参数应不低于原管,且替代二极管的材料类型应和原二极管相同。

(3)选用二极管的一般依据: $I < I_F$, $U < U_R$ 。其中, I 为二极管实际工作电流, U 为二极管实际反向工作电压。

【例 1.1】 电路如图 1-10 所示, VD_1 和 VD_2 均为理想二极管, 设 $U_1 = 10V$, $u_i = 40\sin\omega t$, 则输出电压为多少?

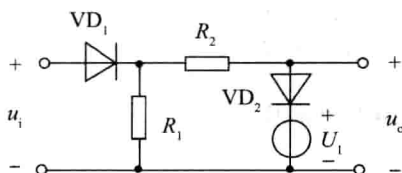


图 1-10

解:当输入电压大于 10V 时, VD_1 和 VD_2 都导通, 输出电压为 10V;

当输入电压大于 0V 且小于 10V 时, VD_1 导通, VD_2 截止, 输出电压等于输入电压, 即 $u_o = u_i$ 。

当输入电压小于 0V 时, VD_1 和 VD_2 都截止。

【例 1.2】 电路如图 1-11 所示, 画出该电路的传输特性 ($u_o \sim u_i$)。

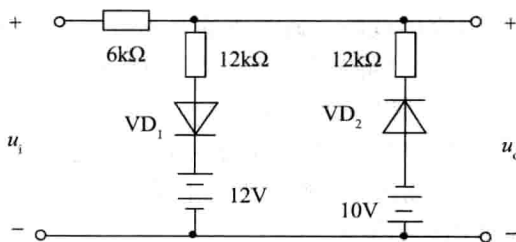


图 1-11

解:当 $u_i > 12V$ 时, VD_1 导通, VD_2 截止, 输出电压为 $u_o = 4 + \frac{2}{3}u_i$;

当 $u_i < -10V$ 时, VD_2 导通, VD_1 截止, 输出电压为 $u_o = -\frac{10}{3} + \frac{2}{3}u_i$;