



卓越系列 · 21 世纪高职高专精品规划教材



模拟电子技术

ANALOG ELECTRONIC TECHNOLOGY

主 编 国 兵
副主编 李永冰



天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

模拟电子技术

主 编 国 兵

副主编 李永冰



内 容 简 介

本书共7章,系统地介绍了半导体器件的基本知识、基本放大电路、负反馈放大电路、集成运算放大电路、功率放大电路、波形产生电路、直流稳压电源。各章均安排有适量篇幅的技能训练项目和实用性、趣味性的习题,突出实际应用,理论与实验相结合,以丰富的实例给学生提供较为直观、实用的信息,突出培养学生运用所学知识和技能解决实际问题的综合能力。

本书可作为高职高专类计算机、电子、自动化等专业的模拟电子技术课程教材,还可供中等专业学校相关专业或从事电子技术的工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术/国兵主编. —天津:天津大学出版社,
2008.2

ISBN 978-7-5618-2610-2

I. 模... II. ①国... III. 模拟电路—电子技术 IV.
TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 004233 号

出版发行 天津大学出版社

出 版 人 杨欢

地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)

电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742

网 址 www.tjup.com

短信网址 发送“天大”至 916088

印 刷 迁安万隆印刷有限公司

经 销 全国各地新华书店

开 本 169mm × 239mm

印 张 15

字 数 312 千

版 次 2008 年 2 月第 1 版

印 次 2008 年 2 月第 1 次

印 数 1 - 4 000

定 价 25.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

前 言

本书是根据高职高专培养目标的要求,依照教育部制定的《高职高专教育模拟电子技术基础课程教学基本要求》,本着“以应用为目的,以必需、够用为度,注重实践”的教学思想编写的。本书编写时力求精选内容、突出重点,加强对基本概念、基本原理、基本分析方法的训练和培养,注重物理概念的清晰性和知识的应用性,深入浅出,图文并茂,便于阅读。本书同时兼顾模拟电子技术的新发展,着重介绍模拟电路的新理论、新技术、新器件。本书在编写的过程中注意了以下几个方面。

1. 以“应用”为宗旨。本书各章均安排有适量篇幅的技能训练项目和实用性、趣味性的习题,突出实际应用,注重理论与实验相结合,突出培养学生运用所学知识和技能解决实际问题的综合能力。

2. 坚持“必需、够用”的原则。本书在编写过程中,根据高职高专学生的实际情况,对元器件及集成电路内部结构不做详细介绍,删除了烦琐的理论推导,只介绍其工程估算的方法或给出定性、定量的结论;力求简明扼要、深入浅出、通俗易懂、突出重点,加强基本概念、基本原理、基本分析方法的训练和培养;在分析、计算时突出主要矛盾和主要问题,忽略次要因素,不追求数学上的严密性,注重应用性及物理概念的清晰性。

3. 兼顾可持续性。本书的内容兼顾了模拟电子技术的新发展,删除了与之不相适应的内容,注重介绍模拟电路的新理论、新技术、新器件。为了反映现代电子技术的新成果、新技术,本书介绍了一些常用的最新模拟集成电路,如集成运算放大器、三端式集成稳压器、开关电源等,还介绍了一些新的常用电子器件,如发光二极管、光电二极管、变容二极管等。

4. 叙述通俗易懂。为便于教与学,本书每一章的前面均安排了引言,将本章的主要内容用最简练的语言加以阐述,以引导学生了解本章的整体内容结构。

本书的编写人员均是来自于高职高专电子技术教学第一线的教师,具有多年教授模拟电子技术课程的丰富经验。本书由国兵副教授担任主编,李永冰副教授担任副主编。参加编写的人员还有刘传鹏、金桂梅、贾仟伟、徐艳等。全书由国兵副教授统稿。

由于编者水平有限,加上时间仓促,书中难免有不妥之处,恳请读者和同人批评、指正,以便不断改进。

编 者

2008年1月

目 录

第1章 半导体器件	(1)
1.1 半导体二极管	(1)
1.1.1 PN结的形成及特性	(1)
1.1.2 二极管的结构及分类	(6)
1.1.3 二极管的伏安特性	(7)
1.1.4 二极管的主要参数	(9)
1.1.5 二极管电路应用举例	(10)
1.1.6 特殊二极管	(10)
1.2 半导体三极管	(13)
1.2.1 三极管的结构及电流放大作用	(14)
1.2.2 三极管电流分配关系	(16)
1.2.3 三极管的特性曲线	(17)
1.2.4 三极管的主要参数	(20)
1.3 结型场效应管	(21)
1.3.1 结型场效应管的工作原理	(22)
1.3.2 结型场效应管特性曲线	(25)
1.3.3 结型场效应管的主要参数	(27)
1.4 绝缘栅型场效应管	(28)
1.4.1 N沟道增强型 MOS管	(28)
1.4.2 N沟道耗尽型 MOS管	(31)
1.4.3 P沟道 MOS管简介	(32)
1.5 晶闸管	(33)
1.5.1 晶闸管的基本结构	(34)
1.5.2 晶闸管的工作原理	(34)
1.5.3 晶闸管的主要参数	(36)
1.5.4 双向晶闸管	(38)
技能训练一:晶体管的检测与判别	(39)
习题一	(41)
第2章 基本放大电路	(46)
2.1 放大电路的主要性能指标	(46)
2.1.1 放大倍数	(46)

2.1.2 输入电阻	(47)
2.1.3 输出电阻	(47)
2.1.4 通频带	(48)
2.2 基本共射放大电路的工作原理	(48)
2.2.1 基本共射放大电路的组成及部分的作用	(49)
2.2.2 基本共射放大电路静态工作点的设置	(49)
2.2.3 基本共射放大电路的工作原理及波形分析	(50)
2.2.4 放大电路的组成原则	(51)
2.3 放大电路的分析方法	(51)
2.3.1 放大电路的静态分析方法	(52)
2.3.2 放大电路的动态分析方法	(54)
2.4 放大电路静态工作点的稳定	(66)
2.4.1 静态工作点稳定的必要性	(66)
2.4.2 典型的静态工作点稳定电路	(66)
2.5 共集电极放大电路	(69)
2.5.1 电路结构与静态分析	(69)
2.5.2 动态分析	(70)
2.6 共基极放大电路	(72)
2.6.1 电路结构与静态分析	(72)
2.6.2 动态分析	(73)
2.6.3 三极管共基极电流放大系数	(73)
2.6.4 三种基本组态放大电路的比较	(73)
2.7 多级放大电路	(74)
2.7.1 耦合方式	(74)
2.7.2 多级放大电路的静态分析	(78)
2.8 放大电路的频率特性	(80)
2.8.1 单管共射放大电路的频率特性	(80)
2.8.2 多级放大电路的频率特性	(83)
技能训练二(1):单级放大电路的测试	(84)
技能训练二(2):阻容耦合放大电路的测试	(87)
习题二	(89)
第3章 负反馈放大电路	(94)
3.1 负反馈的基本概念	(94)
3.1.1 反馈放大器的构成	(94)
3.1.2 反馈放大器的分类	(96)
3.2 负反馈放大电路的基本类型及分析	(97)

3.2.1 电压串联负反馈	(97)
3.2.2 电压并联负反馈	(98)
3.2.3 电流串联负反馈	(99)
3.2.4 电流并联负反馈	(100)
3.3 负反馈对放大电路性能的影响	(101)
3.3.1 降低放大器的放大倍数,提高闭环放大倍数的稳定性	(101)
3.3.2 减小非线性失真	(102)
3.3.3 展宽频带	(102)
3.3.4 负反馈放大电路对输入电阻和输出电阻的影响	(103)
技能训练三:负反馈放大电路	(105)
习题三	(107)
第4章 集成运算放大器	(109)
4.1 集成运算放大器中的电流源电路	(109)
4.1.1 镜像电流源	(109)
4.1.2 微电流源	(110)
4.1.3 多路电流源	(110)
4.2 差分放大电路	(111)
4.2.1 基本差分放大电路	(111)
4.2.2 带射极电阻的差分放大电路	(112)
4.2.3 具有恒流源的差分放大电路	(115)
4.2.4 差分放大电路的四种基本接法	(115)
4.3 集成运算放大器	(119)
4.3.1 集成运算放大器概述	(119)
4.3.2 集成运算放大器的内部电路	(121)
4.3.3 集成运算放大器的主要技术指标	(123)
4.4 集成运算放大器的应用	(124)
4.4.1 理想集成运放的特点	(124)
4.4.2 基本运算放大器	(125)
4.4.3 运算放大器的应用	(126)
技能训练四:集成运算放大器的基本应用	(136)
习题四	(140)
第5章 功率放大电路	(146)
5.1 功率放大电路的特点与分类	(146)
5.1.1 功率放大电路的特点	(146)
5.1.2 功率放大电路的分类	(147)
5.2 变压器耦合功率放大电路	(148)

5.2.1 单管功率放大电路	(148)
5.2.2 变压器耦合推挽功率放大电路	(152)
5.3 OTL 功率放大电路	(156)
5.3.1 OTL 乙类互补对称功率放大电路	(156)
5.3.2 OTL 甲乙类互补对称功率放大电路	(160)
5.3.3 OTL 功率放大电路举例	(163)
5.4 OCL 功率放大电路	(165)
5.4.1 OCL 互补对称功率放大电路	(165)
5.4.2 OCL 功率放大电路举例	(166)
5.5 集成功率放大电路	(168)
技能训练五:互补对称功率放大器	(171)
习题五	(173)
第6章 波形产生电路	(177)
6.1 正弦波振荡电路	(177)
6.1.1 产生振荡的条件	(177)
6.1.2 RC 正弦波振荡电路	(179)
6.1.4 石英晶体振荡电路	(184)
6.2 非正弦波振荡电路	(186)
6.2.1 方波产生电路	(187)
6.2.2 锯齿波产生电路	(188)
技能训练六:RC 正弦波振荡器的测量与调试	(190)
习题六	(191)
第7章 直流稳压电源	(193)
7.1 直流电源的组成及各部分的作用	(193)
7.2 整流、滤波电路	(194)
7.2.1 单相半波整流电路	(194)
7.2.2 单相桥式整流电路	(196)
7.2.3 倍压整流电路	(200)
7.2.4 滤波电路	(201)
7.3 硅稳压管稳压电路	(205)
7.3.1 硅稳压管稳压电路的工作原理	(205)
7.3.2 硅稳压管稳压电路的参数选择	(206)
7.4 串联型稳压电路	(206)
7.4.1 串联型稳压电路的工作原理	(206)
7.4.2 稳压电路的保护措施	(210)
7.4.3 稳压电源的主要技术指标	(212)

7.5 集成稳压器	(212)
7.5.1 固定输出的三端集成稳压器	(213)
7.5.2 输出电压可调的三端集成稳压器	(214)
7.6 开关型稳压电源	(215)
7.6.1 开关型稳压电路的发展及分类	(216)
7.6.2 串联开关型稳压电路	(216)
7.6.3 并联开关型稳压电路	(220)
技能训练七:直流稳压电源	(221)
习题七	(225)
参考文献	(227)

第1章 半导体器件

引言 电子技术是当代发展最为迅速的学科之一。电子技术的发展,得益于半导体技术的不断进步。半导体器件,特别是集成电路的更新换代,使得电子设备在功能、性能、品种、价格等方面不断发生新的变化,推动了多个领域的技术发展。

本章主要介绍半导体的特点,PN结的形成及其特性,二极管、晶体管、结型场效应管、绝缘栅型场效应管、晶闸管的结构、工作原理、主要参数以及它们的外部特性和简单的应用电路等。

1.1 半导体二极管

1.1.1 PN结的形成及特性

1. 本征半导体和本征激发

自然界的物质,按其导电性能的不同,大体可分为三类:一类是导电性能良好的物质,称为导体(其电阻率低于 $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$),金属一般都是导体,如金、银、铜、铝、铁等;一类是在一般条件下不能导电的物质,称为绝缘体(其电阻率高于 $10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$),如陶瓷、玻璃、橡胶、塑料等;还有一类物质的导电性介于导体和绝缘体之间,称为半导体(其电阻率在 $10^{-4} \sim 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 之间),如硅、锗、砷化镓及某些氧化物、硫化物等。

半导体之所以能够引起人们的注意,得到广泛的应用,主要原因是半导体具有一些重要的特性。例如,当半导体受到外界光和热作用时,其导电能力会显著变化。在纯净的半导体中掺入某些微量的其他元素时,它的导电性会明显增强。这些特性都与半导体本身的结构有关。

制作半导体器件时,用得最多的半导体材料是硅(Si)和锗(Ge)。硅和锗都是单晶体,它们的原子按一定的规则整齐地排列,形成晶格。通常把这种非常纯净且原子排列整齐的半导体称为本征半导体。

硅或锗原子构成的单晶体,原子之间靠得很紧,原来分属于每个原子的价电子就会受到相邻原子的影响而为两个相邻原子所共有。把这种共用电子形成的结合作用称为共价键。硅或锗原子都有4个价电子,每个原子的4个价电子都和周围的4个原子的价电子形成4个共价键。图1.1.1所示为硅或锗单晶体的共价键结构示意图。每个原子的周围就相当于有8个价电子,形成了稳定的原子结构。

本征半导体在 -273.15°C (绝对温度为零度)和没有其他影响的条件下,由于共价键中的价电子被束缚着而不能导电,相当于绝缘体。但是本征半导体中的价电子

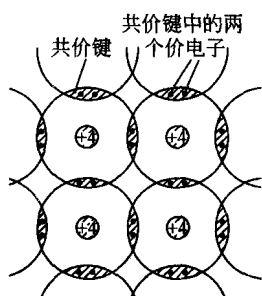


图 1.1.1 硅或锗单晶体的共价键结构示意图

不像绝缘体中的电子那样被紧紧束缚着,在室温下,有些价电子受到热或光的作用,获得了足够的能量而挣脱共价键的束缚,成为自由电子,这种现象称为本征激发。在价电子挣脱共价键束缚成为自由电子后,共价键中就留下了一个空位,称为空穴。

由于本征激发而出现了空穴,使原来是电中性的原子因失去带负电的电子而成为带正电的离子。这种正离子固定在晶格中,不能移动,它由原子和空穴构成,可以认为空穴带正电,其电量与电子的电量相等。本征激发时,电子和空穴成对产生,称电子-空穴对。也就是说,在激发出一个带负电的电子的同时,相应地产生一个带

正电的空穴,如图 1.1.2 所示。

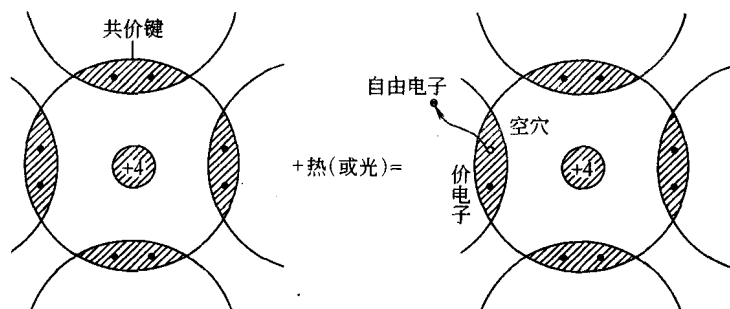


图 1.1.2 本征激发产生电子-空穴对

当本征半导体中出现空穴后,在外加电场或其他能源的作用下,邻近的价电子就能较容易地填补到这个空穴中,而这个价电子所在的位置上又留下新的空穴,其他的价电子又可以填补到这个新的空穴中,这就形成了空穴的迁移,也就是正电荷的运动,如图 1.1.3 所示。本征半导体中的自由电子和空穴都可以携带电荷作定向移动形成电子流和空穴流,所以把电子和空穴统称为载流子。半导体中的电流由自由电子流和空穴流两部分构成,而电子流和空穴流的运动方向是相反的。

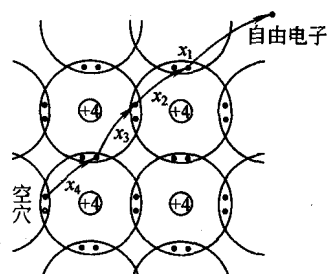


图 1.1.3 电子和空穴的移动

本征半导体在常温下产生的电子-空穴对很少,所以导电性相当差。然而,当环境温度升高,热激发使电子-空穴对数目显著增多,其导电性也就明显提高,这就是半导体的导电性随温度变化而明显变化的原因。

2. N型半导体和P型半导体

本征半导体的导电能力很差,但在本征半导体中掺入微量的其他元素(称杂质),就会使它的导电性发生显著变化,这种掺杂的半导体称为杂质半导体。按掺入杂质性质的不同,它可分为N型半导体和P型半导体两大类。

(1) N型半导体

在硅(或锗)本征半导体中掺入微量的五价元素,如磷(或锑)等,它就会形成N型半导体。

由于掺入杂质的原子数与整个半导体的原子数相比,其数量非常少,半导体的晶体结构基本不变,只是晶格中某些硅(或锗)原子的位置被磷原子所代替。磷原子有5个价电子,其中4个价电子与相邻的4个硅原子的价电子形成共价键后,还多余一个价电子,如图1.1.4所示。这个多余的价电子虽不受共价键束缚,但仍受磷原子核的吸引,它只能在磷原子周围活动,不过它所受的吸引力比共价键的束缚作用要微弱得多,只要获取较小的能量就能挣脱磷原子的束缚,成为自由电子。可见,硅半导体中每掺入1个磷原子,就产生1个自由电子。

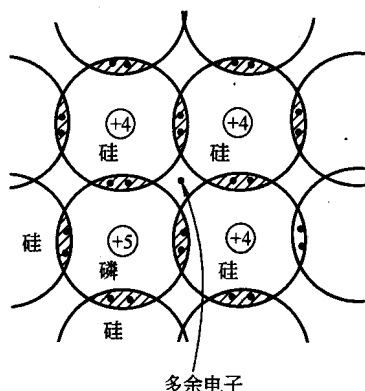


图 1.1.4 N型硅半导体中的共价键结构

在N型半导体中,除了掺杂产生自由电子外,其本身还存在本征激发,而产生电子-空穴对。N型半导体因掺杂而产生的自由电子数比空穴数大得多,自由电子称为多数载流子(简称多子),而空穴称为少数载流子(简称少子)。N型半导体以自由电子导电为主,又称电子型半导体。

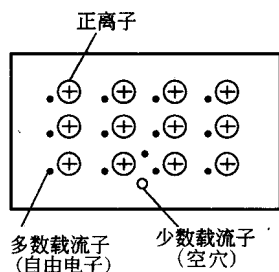


图 1.1.5 N型半导体载流子和杂质离子示意图

当磷原子失去1个价电子后就成为正离子。它不能移动,不能参与导电。但它在产生1个自由电子的同时并不产生新的空穴,这是它与本征激发的不同点。图1.1.5所示为N型半导体载流子和杂质离子的示意图。用 $\oplus$ 表示带正电荷的离子(正离子)。

(2) P型半导体

在硅(或锗)本征半导体中掺入微量的三价元素,如硼(或镓)等,它就会形成P型半导体。

由于硼原子只有3个价电子,当它取代半导体硅原子在晶格中的位置时,与周围4个硅原子的价电子组成共价键,因缺少1个价电子,其中1个共价键内出现1个空穴,那么相邻共价键中的价电子,只要获得较小的能量,就能挣脱束缚,去填补这个空穴,使硼原子成为不能移动的正离子。原来硅原子的共价键因缺少1个电子而产生了空穴,如图1.1.6所示。

可见,硅半导体中每掺入 1 个硼原子,就会产生 1 个空穴。

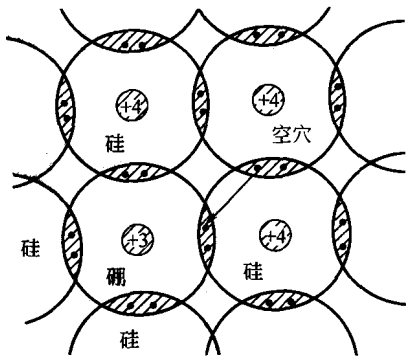


图 1.1.6 P 型硅半导体中的共价键结构

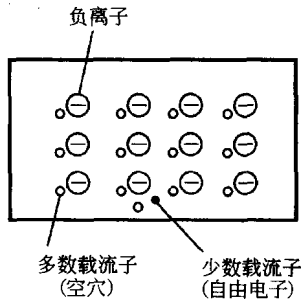


图 1.1.7 P 型半导体载流子和杂质离子示意图

控制掺入杂质的多少就可控制 P 型半导体中空穴的多少。此外,P 型半导体中也存在本征激发而产生少量的电子-空穴对。然而,在 P 型半导体中,空穴数比电子数要大得多,即空穴是多子,电子是少子。它的导电性主要取决于空穴数,因此又称它为空穴型半导体。

图 1.1.7 所示为 P 型半导体载流子和杂质离子的示意图。用 $\ominus$ 表示杂质原子因提供了一个空穴而成为带负电荷的离子(负离子),它不能移动,不能参与导电。

3. PN 结的形成

用掺杂工艺在一块本征半导体的两边掺以不同的杂质,使一边成为 N 型半导体,另一边变为 P 型半导体,在两种不同类型的半导体的交界处就会形成一个特殊导电薄层,称为 PN 结。现结合图 1.1.8 来说明 PN 结的形成。

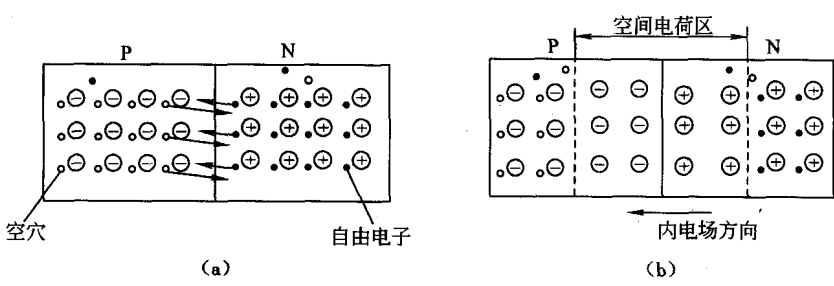


图 1.1.8 PN 结的形成

(a)载流子的扩散运动;(b)PN 结合它的内电场

(1)载流子的扩散运动和内电场的建立

在 P 型半导体中,有大量的空穴和少量的电子;N 型半导体中则相反,多数载流子是电子,少数载流子是空穴。P 区中的空穴密度大于 N 区,而 N 区中的电子密度大

于P区,如图1.1.8(a)所示。由于电子和空穴存在浓度差,在交界处便产生电子和空穴的扩散运动。靠近N区界面的电子向P区扩散,并与P区空穴复合,在N区界面处,剩下不能移动的正离子,形成一个正电荷区。同样,P区的空穴向N区扩散,并与N区的电子复合,在P区界面剩下不能移动的负离子,形成一个负电荷区。结果在PN结边界附近形成一个空间电荷区,边界的左边带负电,右边带正电。因此,在PN结中产生一个内电场,内电场的方向由N区指向P区,如图1.1.8(b)所示。空间电荷使交界面两侧的电中性被破坏,但是,空间电荷区以外的P区和N区仍呈电中性。

(2)内电场对载流子运动的作用

随着载流子扩散运动的进行,空间电荷区加宽,内电场加强,内电场的存在对空穴和电子的扩散运动起阻碍作用,P区带正电的空穴继续向N区扩散要受到电场的阻力,N区带负电的电子继续向P区扩散也要受到电场的阻力。另外,内电场又推动P区的少子(电子)向N区运动,N区的少子(空穴)向P区运动。这种在电场力作用下载流子的运动称为漂移运动。漂移运动使空间电荷区变窄,内电场削弱,这样又将导致多子扩散运动的加强。所以,漂移运动与扩散运动是PN结中载流子运动的主要矛盾。

(3)PN结的形成

由以上分析可见,载流子在P区和N区的交界面同时发生着扩散运动和漂移运动。开始时,扩散运动占优势。随着扩散的进行,PN结的空间电荷区不断加宽,电场增强,电场引起的漂移运动也不断增强,当两者作用相等时,就达到了动态平衡,形成了一个宽度稳定的空间电荷区,这就是PN结。这时PN结中没有电流(从宏观看电流为零,并不意味着在任何时候都没有载流子流过PN结)。空间电荷区内缺少载流子,结内电阻率很高,因此PN结是个高阻区,因结内载流子很少,所以又常称为耗尽层。PN结很薄,一般为 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 左右。

4. PN结的单向导电性

在了解了PN结内部载流子运动规律后,下面进一步分析PN结在外部电源作用下所表现出来的一个重要的特性——单向导电性。

(1)PN结外加正向电压

如图1.1.9(a)所示,给PN结加上正向电压,即外电源正极接P区,负极接N区,此时称PN结加正向偏置,简称正偏。由于外加电压在耗尽层中所建立的外电场与耗尽层中的内电场方向相反,从而削弱了空间电荷所产生的内电场,使空间电荷区变窄,有利于多数载流子的扩散运动,于是P区的多数载流子(空穴)能顺利通过PN结耗尽层扩散到N区,N区的多数载流子(电子)能顺利通过PN结耗尽层扩散到P区。扩散结果是在P区一侧积累大量的电子,N区一侧积累大量的空穴。这些积累的电子和空穴是不能久留的,P区一侧积累的电子向P区体内扩散,并和P区中多数载流子(空穴)复合而消失;而N区一侧积累的空穴向N区体内扩散,并和N区中多数载流子(电子)复合而消失。同时,外电源不断向P区和N区补充多数载流子(空穴和

电子),形成正向电流 I_F ,此时 PN 结呈低阻导通状态。在一定范围内,外加电压 U_F 越大,正向电流 I_F 越大。为了限制 I_F 过大,回路中可以串入限流电阻 R 。

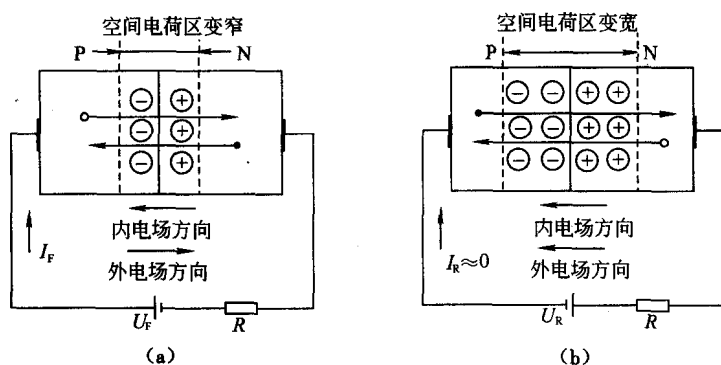


图 1.1.9 PN 结的单向导电性

(a) 正向偏置; (b) 反向偏置

(2) PN 结外加反向电压

如图 1.1.9(b)所示,如果给 PN 结外加一个反向电压,即外电源正极接 N 区,负极接 P 区,此时称 PN 结加反向偏置,简称反偏。这时,外电场与内电场的方向一致,空间电荷区的电场增强。耗尽层的厚度比动态平衡时加宽,使多数载流子的扩散运动更难进行。

应当注意到,P 区和 N 区都有少数载流子(即指 P 区中的电子和 N 区中的空穴),空间电荷区的电场增强后有利于少数载流子的漂移运动。此时流过 PN 结的电流,主要是少数载流子的漂移运动形成的,其方向由 N 区到 P 区,称为反向电流 I_R 。当温度不变时,少数载流子的浓度不变, I_R 几乎不随外加电压而变化,故又称为反向饱和电流 I_s 。在常温下,少数载流子的浓度很低,所以反向电流很小,PN 结呈高阻状态。

少数载流子是由本征激发(和温度有密切关系)产生的,所以 PN 结的反向电流是随温度而变化的。例如,当温度由 25 °C 升高到 95 °C 时,反向电流增大 100 倍。因此,制造和使用半导体元器件时,必须考虑环境温度对半导体元器件特性的影响。

由上面分析可知,PN 结正偏时呈导通状态,正向电阻很小,正向电流很大;PN 结反偏时呈截止状态,反向电阻很大,反向电流很小,这就是 PN 结的单向导电性。

1.1.2 二极管的结构及分类

在 PN 结的 P 区引出一个电极称为正极,也叫阳极,用符号 a 表示。在 PN 结的 N 区引出一个电极称为负极,也叫阴极,用符号 k 表示。再将这个 PN 结封装起来就形成了半导体二极管,也称晶体管二极管,简称二极管。符号表示如图 1.1.10 所示,箭头方向表示二极管正向导通时电流的方向。二极管的外形如图 1.1.11 所示。

二极管的分类方法很多,一般有以下几种。

1. 按半导体材料分

按半导体材料分,有硅二极管、锗二极管、砷化镓二极管等。

2. 按 PN 结的结构分

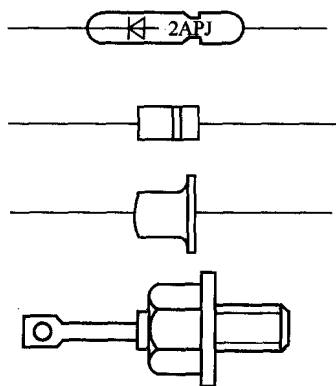


图 1.1.11 二极管的外形举例

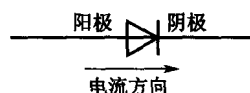


图 1.1.10 二极管的符号

按 PN 结的结构分,有点接触型二极管、面接触型二极管、平面型二极管等,如图 1.1.12 所示。点接触型二极管的 PN 结结面积小,结电容小,可工作在高频或超高频范围,但它允许通过的正向电流也小。面接触型二极管的 PN 结结面积大,结电容大,只能工作在低频范围,但它允许通过的正向电流也大,可用于大功率整流电路。平面型二极管常在数字电路中作开关用。

3. 按用途分

按二极管用途分,有普通二极管、整流二极管、检波二极管、开关二极管、稳压二极管、变容二极管、发光二极管等。

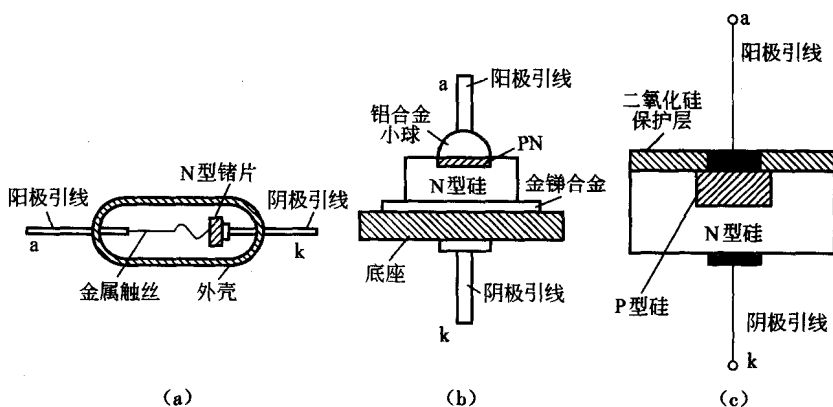


图 1.1.12 二极管的结构示意图

(a)点接触型;(b)面接触型;(c)平面型

1.1.3 二极管的伏安特性

1. 二极管的伏安特性曲线

加到二极管两端的电压与流过二极管的电流的关系曲线,叫做二极管的伏安特性曲线,简称二极管的伏安特性。二极管的伏安特性可以用实验的方法逐点测绘得出,也可以从图示仪荧光屏上直接观察。图 1.1.13 是二极管的伏安特性示意图,把

它分成三个部分来讨论。

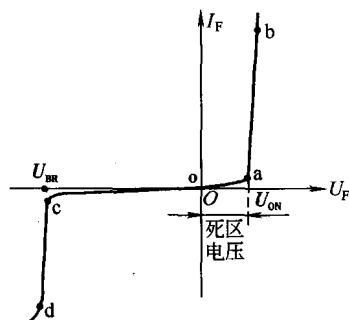


图 1.1.13 二极管的伏安特性

(1) 正向特性(oab 段)

图 1.1.14 所示为二极管加正向偏置电压 U_F 时的测试电路。在正向电压比较小的范围内,正向电流很小,二极管呈现很大的电阻。这是因为所加的正向电压较小时,外电场就小,它对内电场的抵消作用也小。这时,内电场对多子的扩散仍有很大的阻碍作用,因此,由扩散而通过 PN 结的多子就非常少,形成的电流也很小,二极管几乎不导通。常把这个正向电压较小的范围称为死区,相应的电压称为死区电压,如图 1.1.13 曲线中的 oa 段所示。死区电压的最大值称为门限电压(又称为导通电压或阈值电压),用 U_{ON} 表示。硅管的门限电压 U_{ON} 约为 0.5 V,而锗管 U_{ON} 约为 0.1 V。当外加电压超过 U_{ON} 值以后,内电场被大大削弱,PN 结的结电阻迅速减小,正向电流迅速增大,这时二极管处于正向导通状态,如图 1.1.13 曲线中的 ab 段所示。二极管正向导通时,硅管的正向电压降为 0.6~0.8 V(通常取 0.7 V),锗管的正向电压降为 0.2~0.3 V(通常取 0.2 V)。

(2) 反向特性(oc 段)

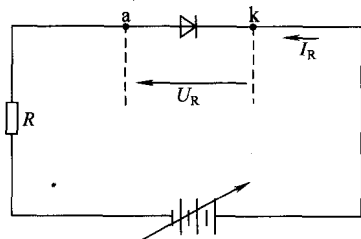


图 1.1.15 二极管加反向偏置电压的电路

图 1.1.15 所示为二极管加反向偏置电压 U_R 时的测试电路。在 U_R 由零逐渐增大的过程中,PN 结的阻挡层也随之加宽,半导体中只有少数子能漂移过 PN 结,形成反向电流 I_R 。反向电压 U_R 虽不断增大,但由于在环境温度一定的条件下,少子的数目几乎是一定的,反向电流 I_R 也就几乎不变,如图 1.1.13 曲线中的 oc 段所示。对于小功率硅管, I_R 为零点几微安,锗管的 I_R 为十几微安。但是,当温度升高时,本征激发使少子的数目急剧增加,反向饱和电流将随之迅速增大。