



高职高专电子类专业“十二五”规划教材

模拟电子技术应用

MONIDIANZIJIISHUYINGYONG

GAOZHIGAOZHUANDIANZILIZHUANYESHIERWUGUIHUAJIAOCAI

主编 汤光华 刘国联

主审 董学义



中南大学出版社
www.csupress.com.cn



模拟电子技术应用

主 审 董学义



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术应用/汤光华,刘国联主编. —长沙:中南大学出版社,2012. 8

ISBN 978-7-5487-0590-1

I. 模... II. ①汤.. ②刘... III. 模拟电路—电子技术—教材
IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 169435 号

模拟电子技术应用

汤光华 刘国联 主编

☐责任编辑 陈应征

☐责任印制 文桂武

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

☐印 装 长沙利君漾印刷厂

☐开 本 787×1092 1/16 ☐印张 14.25 ☐字数 355 千字 ☐插页 2

☐版 次 2012 年 8 月第 1 版 ☐2012 年 8 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-5487-0590-1

☐定 价 29.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

内 容 简 介

本书根据《模拟电子技术应用》课程标准，结合编者多年的教学实践编写而成，是一本项目导向、任务驱动、理实一体、深浅合适、颇具高职特色的规划教材。

全书分为直流稳压电源的制作(项目1)、音频放大器的制作(项目2)和信号发生器的制作(项目3)三个项目。每个项目都包含有项目描述、知识准备、任务实施和考核评价四个部分。项目的后面都附有一定数量的思考与练习题，供学生学习时选做。

本书可作为高职高专和成人高校电子、电气、自动化、计算机、机电一体化等专业的教学用书，也可作为本科院校师生、岗位培训和工程技术人员的参考用书。

前言

本书从高等职业教育人才培养目标出发,贯彻“理论与实践”并重的高职教育教学理念,采取基于工作过程系统化的课程开发思路,以“项目+任务”的课程结构和理实一体化的教学设计,运用讲练结合的方法,让学生在体验中学习,在实践中提高,突出学生能力培养,是一本项目导向、任务驱动、理实一体、深浅合适、颇具高职特色的规划教材。

编者根据自己多年的教学经验,结合职业教育的特点和要求,对教学内容进行了精选,对书中的项目和任务作了合理安排。全书共分为三个项目:直流稳压电源的制作、音频放大器的制作和信号发生器的制作。每个项目又包含项目描述、知识准备、任务实施和考核评价四个部分。在编写过程中,力求叙述清楚,分析准确,尽量减少数理论证,做到深入浅出,通俗易懂,理论联系实际。书中带*号的内容可根据学时数的多少和专业需要进行选讲。

参加本书编写的有:湖南信息职业技术学院的穆立君(项目1中的任务实施与考核评价部分)、长沙航空职业技术学院的黄荻(项目2中的项目描述与知识准备部分)、湖南科技职业学院的成治平(项目2中的任务实施与考核评价部分)、湖南铁路科技职业技术学院的罗立文(项目3知识准备中的集成运算放大器与放大电路中的反馈部分)、湖南铁路科技职业技术学院的刘国联(项目3知识准备中的正弦波振荡电路部分)、湖南电气职业技术学院的叶云洋(项目3中的任务实施与考核评价部分)、湖南高速铁路职业技术学院的柴霞君(项目2中的差分放大电路、思考与练习)、湖南化工职业技术学院的汤光华(项目1中的项目描述、知识准备、思考与练习及书的其余部分)。汤光华、刘国联任主编,汤光华负责全书的统稿。

本书由董学义主审,主审对书稿进行了认真的审阅,并提出了很多好的意见和建议,在此深表感谢。

由于编者水平有限,书中不足和疏漏在所难免,敬请读者批评指正。

编者
2012年7月

目 录

项目一 直流稳压电源的制作	(1)
一、项目描述	(1)
二、知识准备	(2)
1 半导体二极管	(2)
1.1 半导体基本知识	(2)
1.2 半导体二极管	(6)
1.3 特殊二极管	(13)
*1.4 特种半导体器件简介	(18)
2 半导体三极管	(22)
2.1 三极管的结构与符号	(24)
2.2 三极管的电流分配和电流放大作用	(24)
2.3 三极管的特性曲线	(26)
2.4 三极管的主要参数及简单测试	(28)
3 场效应管	(32)
3.1 结型场效应管	(32)
3.2 绝缘栅场效应管	(34)
3.3 场效应管的主要参数	(35)
3.4 场效应管的特性比较及主要特点	(36)
4 整流电路	(37)
4.1 单相半波整流电路	(37)
4.2 单相全波整流电路	(39)
4.3 单相桥式整流电路	(40)
5 滤波电路	(42)
5.1 电容滤波电路	(42)
5.2 电感滤波电路	(45)
5.3 复式滤波电路	(45)
6 稳压电路	(46)
6.1 并联型稳压电路	(46)
6.2 串联型稳压电路	(47)
6.3 三端集成稳压器及应用电路	(48)
6.4 开关稳压电源	(55)
三、任务实施	(60)

任务1 设备与器材准备	(60)
1.1 常用工器具准备	(60)
1.2 器件与材料准备	(60)
任务2 手工焊接练习	(60)
2.1 焊接的基本知识	(60)
2.2 焊接方法	(61)
2.3 焊接质量	(64)
任务3 直流稳压电源电路仿真	(66)
3.1 Multisim 10 简介	(66)
3.2 Multisim 10 基本操作	(66)
3.3 直流稳压电源电路原理图	(68)
3.4 直流稳压电源电路仿真	(68)
任务4 制作直流稳压电源	(68)
4.1 直流稳压电源的组装	(68)
4.2 直流稳压电源的调试	(69)
4.3 直流稳压电源的故障排除	(69)
4.4 安全文明操作要求	(69)
四、考核评价	(69)
1 装调报告	(69)
2 成果展示	(71)
3 项目评价	(72)
【思考与练习】	(72)
项目二 音频放大器的制作	(76)
一、项目描述	(76)
二、知识准备	(77)
1 共射放大电路	(77)
1.1 放大电路的组成与元件作用	(78)
1.2 放大电路中电流、电压的符号及波形	(80)
1.3 放大电路分析	(82)
1.4 分压式偏置稳定电路	(91)
2 共集放大电路	(95)
2.1 共集放大电路的组成	(95)
2.2 共集放大电路的特点	(95)
3 场效应管放大电路	(99)
3.1 共源放大电路	(99)
3.2 共漏放大电路	(103)
4 多级放大电路	(105)
4.1 多级放大电路的耦合方式	(105107)

4.2 多级放大电路的分析方法	(109)
4.3 放大电路的频率特性	(112)
5 功率放大电路	(112)
5.1 互补对称射极输出功率放大电路	(121)
5.2 集成功率放大电路	(121)
6 差分放大电路	(124)
6.1 差分放大电路概述	(124)
6.2 双电源供电的差分放大电路	(125)
三、任务实施	(130)
任务1 设备与器材准备	(130)
1.1 常用工器具准备	(130)
1.2 器件与材料准备	(130)
任务2 音频放大器电路仿真	(131)
2.1 音频放大器的设计特点与要求	(131)
2.2 音频放大器电路工作原理	(131)
2.3 音频放大器电路仿真	(133)
任务3 制作音频放大器	(135)
3.1 音频放大器的组装	(135)
3.2 音频放大器的调试	(136)
3.3 音频放大器的故障排除	(136)
四、考核评价	(137)
1 装调报告	(137)
2 成果展示	(139)
3 项目评价	(139)
【思考与练习】	(140)
项目三 信号发生器的制作	(144)
一、项目描述	(144)
二、知识准备	(144)
1 集成运算放大器	(144)
1.1 集成运算放大器简介	(144)
1.2 集成运算放大器的线性应用	(149)
1.2 集成运算放大器的非线性应用	(156)
2 放大电路中的反馈	(164)
2.1 反馈的基本概念	(164)
2.2 负反馈的类型	(165)
2.3 负反馈对放大器性能的影响	(170)
2.4 深度负反馈放大电路	(174)
3 正弦波振荡电路	(175)

3.1 正反馈与自激振荡	(175)
3.2 LC 正弦波振荡电路	(178)
3.3 RC 正弦波振荡电路	(182)
3.4 石英晶体振荡电路	(186)
三、任务实施	(190)
任务1 设备与器材准备	(190)
1.1 常用工器具准备	(190)
1.2 器件与材料准备	(190)
任务2 信号发生器电路仿真	(190)
2.1 信号发生器电路原理简介	(190)
2.2 信号发生器电路仿真	(190)
任务3 制作信号发生器	(197)
3.1 信号发生器的组装	(197)
3.2 信号发生器的调试	(198)
3.3 信号发生器的参数测试	(199)
3.4 信号发生器的故障排除	(199)
四、考核评价	(200)
1 装调报告	(200)
2 成果展示	(202)
3 项目评价	(203)
【思考与练习】	(204)
附 录	(210)
参考文献	(221)

项目一 直流稳压电源的制作

一、项目描述

在各种电子设备和装置中,如自动控制系统、测量仪器和计算机等,都需要稳定的直流电压。通过整流滤波电路所获得的直流电压往往是不稳定的,当电网电压波动或负载电流变化时,其输出电压也会随之改变。电子设备电源电压的不稳定,将会引起直流放大器的零点漂移、交流放大器的噪声增大、测量仪器的准确度下降等。因此,必须将整流滤波后的直流电压经稳压电路稳压后再提供给负载,使电子设备能正常工作。

本项目先介绍常用半导体器件,再介绍直流稳压电源的工作原理与制作。常用半导体器件包括半导体的基本概念和半导体器件两部分。基本概念部分主要介绍半导体的发展、本征半导体、杂质半导体和PN结等内容。器件部分主要介绍二极管的结构、特性、符号、外形以及二极管的功能与应用;介绍半导体三极管、场效应管的结构、原理、特性和参数;介绍光敏电阻、热敏电阻、压敏电阻、光电耦合等器件的结构、特性和应用。直流稳压电源包括整流电路、滤波电路和稳压电路三部分,主要介绍它们的工作原理、制作过程、参数测试和故障排除方法。学习中,以制作直流稳压电源活动为载体,将理论教学与实践活动结合起来,实现教学做合一。

通过对本项目的学习和实践,要求达到如下目标:

知识目标:通过对项目一的学习,掌握整流电路、滤波电路、稳压电路的工作原理和分析方法;熟悉常用半导体器件的结构、原理、特性和参数;了解模拟电子技术在本专业中的地位 and 作用。

技能目标:通过对项目一的技能训练,掌握直流稳压电源的安装和电路性能指标测试;掌握手工焊接技术;熟悉半导体器件的功能、应用及参数测试方法;了解半导体器件的命名、分类;会判断和处理直流稳压电源电路中的常见故障;会使用常用电子仪器,会查阅电子元器件手册。

态度目标:通过对项目一的学习,培养学生认真的学习态度,严谨的工作作风以及敬业、踏实、负责和团结协作的职业精神。培养学生自主学习的能力和查阅、搜索、获取新信息和新知识的能力。

二、知识准备

1 半导体二极管

1.1 半导体基本知识

导电能力介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体。在自然界中属于半导体的物质很多,用来制造半导体器件的材料主要是硅(Si)、锗(Ge)和砷化镓(GaAs)等,其中硅用得最广泛。

1.1.1 本征半导体

本征半导体是一种完全纯净的、结构完整的半导体晶体。

(1) 半导体的特性

半导体之所以作为制造电子器件的主要材料,在于它自身存在三个主要的特性:

①杂敏性:在纯净的半导体(即本征半导体)中掺入极其微量的杂质元素可使其导电性能大大提高。如在纯净的硅单晶中只要掺入百万分之一的杂质硼,则它的电阻率就会从 $214000\ \Omega \cdot \text{cm}$ 下降到 $0.4\ \Omega \cdot \text{cm}$ (变化50多万倍),这也是提高半导体导电性能的最有效的方法。

②热敏性:温度升高会使半导体的导电能力大大增强,如:温度每升高 8°C ,纯净硅的电阻率就会降低一半左右(而金属每升高 10°C ,电阻率只改变4%左右),利用这种特性,可制造用于自动控制中的热敏电阻及其他热敏元件。

③光敏性:当半导体材料受到光照时,其导电能力会随光照强度变化。利用半导体这种对光敏感的特性可制造成光敏元件如光敏电阻、光电二极管、光电三极管等。

为什么半体会具有这些特性?这与半导体的结构有关,下面就常用的硅和锗材料进行讨论。

(2) 本征半导体的共价键结构

纯净的硅和锗都是四价元素。在最外层原子轨道上具有四个电子,称为价电子,半导体的导电性能与价电子有关。我们可以将硅和锗的原子结构用图1-1的简化模型表示(由于整个原子呈现电中性,因此原子核用带圆圈的+4符号表示)。

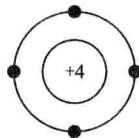


图 1-1 硅和锗的结构简化模型

半导体具有晶体结构,相邻的两个原子间的距离很小,这样,两相邻原子之间会有一对共用电子,形成共价键结构,如图1-2所示。由于价电子不易挣脱原子核的束缚而成为自由电子,因此本征半导体的导电能力较差。

(3) 本征半导体中的两种载流子及导电作用

图1-2结构是在热力学温度 $T=0\text{ K}$ 和没有外界激发时的情况。实际上,半导体受共价键束缚的价电子不像绝缘体中束缚得那样紧。在温度升高时,某些价电子在随机热振动中获得足够的能量或从外界获得一定的能量挣脱共价键的束缚而成为自由电子,这时在共价键中就会留下一个空位,这个空位称为“空穴”。在本征半导体中,自由电子和空穴成对出现,如图1-3所示。如果在本征半导体两端外加电场,这时自由电子向电场正极定向移

动,空穴则向负极定向移动而形成电流,可见自由电子和空穴都参与导电。运载电荷的粒子称为载流子,导体只有一种载流子,而本征半导体中自由电子和空穴均参与导电,即有两种载流子,这是半导体与导体的主要不同之处。

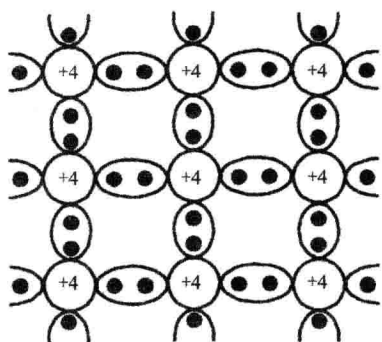


图 1-2 本征半导体硅的共价键结构

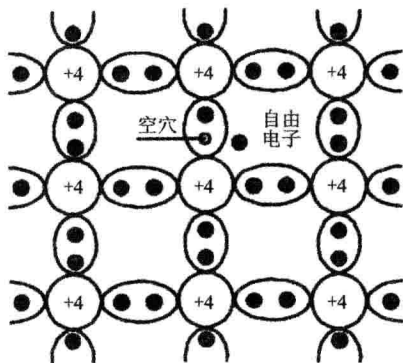


图 1-3 本征激发时的自由电子和空穴

将半导体在热激发下产生电子和空穴对的这种现象称为本征激发。在本征半导体中,由于本征体激发产生的自由电子和空穴总是成对出现,称为“电子—空穴对”。在任何时候其自由电子和空穴数总是相等。

当温度升高或光照增强时,半导体内有更多的价电子获得能量挣脱共价键的束缚而成为自由电子并产生相同数目的空穴,从而使半导体的导电性能增强,这就是半导体具有光敏性和热敏性的原因。

1.1.2 杂质半导体

在本征半导体中,两种载流子的浓度很低,因而导电性能差。我们可向晶体中有控制地掺进特定的杂质来改变它的导电性,这种半导体被称为杂质半导体。根据掺入的杂质的性质的不同,杂质半导体可分为空穴型(或 P 型)半导体和电子型(或 N 型)半导体。

(1) P 型半导体

P 型半导体是在本征半导体硅(或锗)中掺入微量的三价元素(如硼、铟等)形成的。当三价元素如硼等杂质掺进纯净的硅晶体中,晶体中的某些原子被杂质原子代替,而杂质原子的最外层中有三个价电子,当它们与周围的硅原子形成共价键时,势必多出一个空位(空位为电中性),这时与之相邻的共价键上的电子由于热振动或其他激发而获得能量时,就会填补这个空位,而硼原子在晶格上又接受了一个电子,从而变为不能动的负离子。原来硅原子的共价键上中因缺少一个电子而形成了空穴,整个半导体仍是电中性,如图 1-4 所示。在产生空穴的过程中,并不产生新的自由电子,只有晶体本身由于本征激发产生了少量的空穴—电子对,使得半导体中空穴的数量远多于自由电子的数量,故称空穴为多数载流子(简称多子),自由电子为少数载流子(简称少子),而杂质原子接受了一个电子,故称受主杂质。

这种半导体参与导电的主要是空穴,称为空穴型半导体或 P 型半导体[P 取 Positive(正的)的第一个字母,由于空穴带正电而得名]。控制掺入杂质的多少,便可控制空穴数

量,从而控制 P 型半导体的导电性。

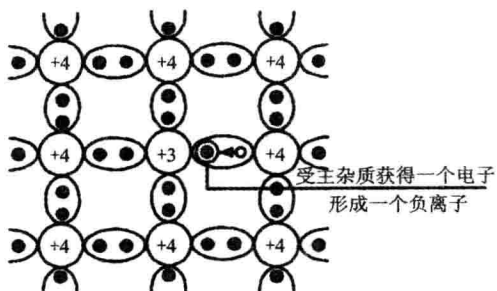


图 1-4 P 型半导体的共价键结构

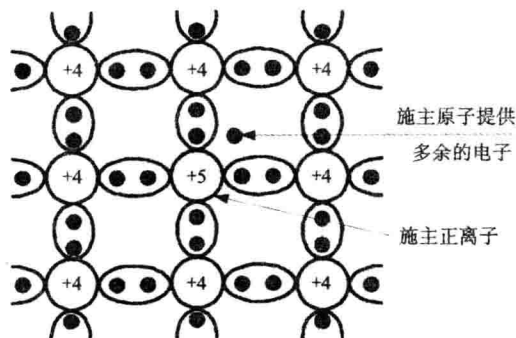


图 1-5 N 型半导体的共价键结构

(2) N 型半导体

N 型半导体是在本征半导体硅(或锗)中掺入微量的五价元素(如磷、砷、锑)形成的。当五价元素如磷等杂质掺入纯净的硅晶体时就会取代晶体中硅原子的位置,由于杂质原子的最外层有五个价电子,在与周围硅原子形成共价键外,还多出了一个电子。这个多余的电子易受热激发而成为自由电子,当它移开后,杂质原子由于结构的关系,又缺少一个电子,变为不能移动的正离子,这样使得整个半导体仍呈电中性,如图 1-5 所示。和 P 型半导体一样,在产生自由电子的过程中,不产生新的空穴,内部只有由于本征激发而产生的空穴—电子对,使得自由电子的数量远远多于空穴的数量,故称自由电子为多子,空穴为少子,而杂质原子由于施舍了一个电子,故称为施主杂质。这种半导体参与导电的主要是电子,称电子型半导体或 N 型半导体[N 为 Negative(负的)的第一个字母,由于电子带负电而得名]。

通过以上分析可知,本征半导体掺入的每个受主杂质都能产生一个空穴,或者掺入的每个施主杂质都能产生一个自由电子。尽量掺杂含量甚微,但使得载流子的数目大大地增加,从而提高了半导体的导电能力。因此,半导体掺杂是提高其导电性能的最有效的方法。利用半导体的这种掺杂性,通过掺入不同种类和数量的杂质,形成不同的掺杂半导体,则可以制造出晶体二极管、三极管、场效应管、晶闸管和集成电路等半导体器件。

1.1.3 PN 结的形成及单向导电性

在同一块本征半导体中采用不同的掺杂工艺,则可同时形成 P 型和 N 型半导体,在它们的交界面会形成空间电荷区,称为 PN 结。这种 PN 结具有单向导电性,是构成半导体器件的基础。

(1) PN 结的形成

从上节可知, P 型半导体的受主杂质在高温下电离为带正电的空穴和带负电的受主离子, N 型半导体中的施主杂质在高温下电离为带负电的电子和带正电的施主离子。由于它们的正负电荷同时存在,使得整个半导体呈现电中性,另外,还含有少数由于本征激发的电子和空穴,但比掺杂所产生的载流子少得多。同时,由于受主离子和施主离子结构上的关系使之不能移动,即不能参与导电,因此, P 型半导体和 N 型半导体可分别用如图 1-6

表示。

当 P 型半导体和 N 型半导体结合在一起时,在其交界处就存在浓度差,即 P 型区的空穴远多于 N 型区的空穴,而 N 型区的自由电子远多于 P 型区的自由电子。物质总是从浓度高的地方向浓度低的地方运动,这种由于浓度差而产生的运动称为扩散运动。即 P 型区的空穴向 N 型区扩散, N 型区的自由电子向 P 型区扩散,并在扩散过程中被复合掉,从而使交界面附近多子浓度下降,这时 P 区边界出现负离子区, N 区边界出现正离子区,这些离子不能移动,不参与导电,称为空间电荷,因此在 P 区和 N 区的边界形成一层很薄的空间电荷区,如图 1-7 所示。

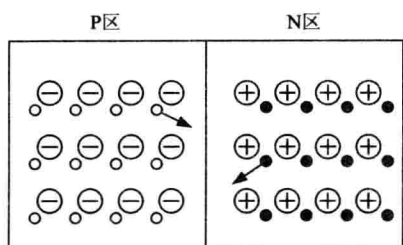


图 1-6 载流子的扩散

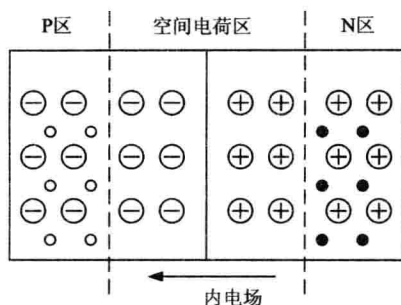


图 1-7 PN 结的形成

从图 1-7 可看出,在空间电荷区内,由于 N 区为正离子区, P 区为负离子区,它们之间的相互作用就形成了一个内电场,且方向为从 N 区指向 P 区。这个内电场一方面由于方向与载流子扩散运动的方向相反,阻碍扩散的进行;另一方面,它又促使 N 区的少数空穴进入 P 区, P 区的少数自由电子进入 N 区,这种在内电场力的作用下,少子的运动称为漂移运动。这时从 N 区漂移到 P 区的空穴补充了原来交界面上 P 区失去的空穴,而从 P 区漂移到 N 区的自由电子同样补充了原来交界面上 N 区失去的电子,使得空间电荷减少,即漂移运动与扩散运动的作用正好相反。当参与扩散运动的多子数目与参与漂移运动的少子数目相等时,这两种运动达到动态平衡,这时的空间电荷区也基本稳定,这个空间电荷区称为 PN 结。在这个区域中,由于多子已扩散到对方被消耗尽了,因此又称为耗尽层。它的电阻率很高,即 PN 结的结电阻很大,半导体本身的体电阻与它相比通常很小可以忽略不计。

(2) PN 结的单向导电性

在 PN 结两端加不同极性的电压,可以破坏它原来的平衡,从而使它呈现出单向导电性。

① PN 结加正向电压时处于导通状态。

如图 1-8 所示,当 PN 结加上外加电源 U_{CC} ,电源的正极接在 PN 结的 P 区,电源的负极接在 PN 结的 N 区,称 PN 结加正向电压或正向偏置,这时外加电压的方向与内电场方向相反,使 P 区的多子空穴和 N 区的多子电子都推向空间电荷区,使 PN 结即耗尽层厚度变窄,相当于削弱了内电场,从而打破了 PN 结原来的平衡状态,扩散运动加剧,而漂移运动减弱。由于电源 U_{CC} 的作用,使得 P 区空穴不断地扩散到 N 区, N 区的自由电子不断地扩散到 P 区,从而形成了从 P 区流入 N 区的电流,称为正向电流,此时 PN 结呈现的正向电

阻很小,称为处于正向导通状态。由于PN结导通时的结电压只有0.7 V左右,因此应在回路上加一个限流电阻以防止PN结因正向电流过大而损坏。

② PN结外加反向电压时处于截止状态。

如图1-9所示,外加电源的正极接在PN结的N区,电源的负极接在PN结的P区,称PN结加反向电压或反向偏置。这时外加电压的方向与内电场方向相同,使得P区的空穴和N区的电子进一步离开PN结,从而耗尽层厚度变宽,呈现出一个很大的电阻来阻止扩散运动的进行,几乎没有形成扩散电流。同时由于结电场的增加,更容易产生少子的漂移运动,从而形成反向电流 I_R 。由于少子的浓度很小, I_R 值很小,一般为微安级,同时在一定温度下,少子的数量也是基本恒定的,电流值趋于恒定,这时称反向电流为反向饱和电流,用 I_S 表示。值得注意的是,当环境温度升高时,由于热激发使得半导体内部少子的浓度增加,而使 I_S 增加,即 I_S 受温度的影响较大,将造成半导体器件在工作时不稳定,这是在实际应用中要注意的问题。此时PN结由于呈现出很大的电阻,可认为它基本不导电,称为反向截止。

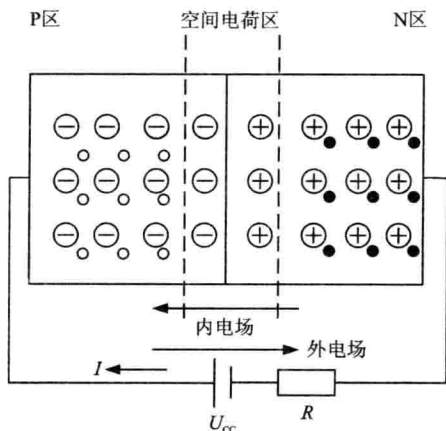


图1-8 外加正向电压时的PN结

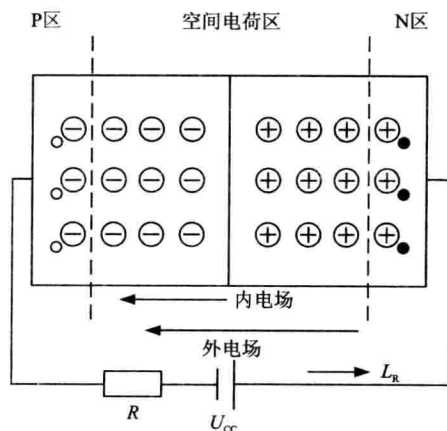


图1-9 外加反向电压时的PN结

综上所述,PN结的单向导电性表现在:PN结正向偏置时处于导电状态,正向电阻很小;反向偏置时处于截止状态,反向电阻很大,这主要是由于耗尽区的宽度随外加电压的变化而造成的。

1.2 半导体二极管

将一个PN结用外壳封装起来,并引入两个电极,由P区引出阳极,由N区引出阴极,就构成了半导体二极管,简称二极管。

1.2.1 半导体二极管的结构、符号和外形

(1) 半导体二极管的结构

半导体二极管常见的结构有三种,即点接触型、面接触型和平面型,如图1-10所示。

图(a)所示的点接触型二极管由一根金属触丝(如铝)与一块半导体(如N型锗)进行表面接触,然后从三价金属触丝流进很大的瞬时电流,使触丝与半导体熔合在一起,这时三价触丝与N型锗的熔合体构成PN结。引出相应的电极引线并用外壳封装而成。这种结

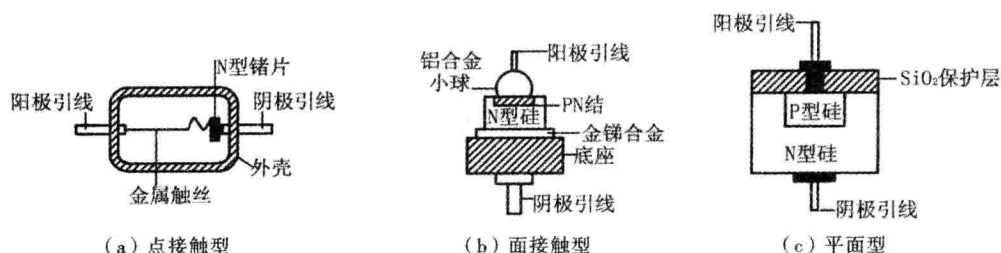


图 1-10 二极管的几种常见结构

构的二极管的特点是：PN 结面积小，因而结电容小，但不能承受大电流和高反向电压，一般用于高频检波和小电流整流。

图(b)所示的面接触型二极管是采用合金法工艺制成的，它的特点是结面积大，允许通过较大的电流。但结电容也大，一般用于整流，而不应用于高频电路中。

图(c)所示的平面型二极管是采用扩散工艺制成的，集成电路的二极管常见这种形式。

(2) 半导体二极管的符号

电路图中不需画出二极管结构，可采用约定的电路符号及文字符号表示。如图 1-11 所示，通常用文字符号 VD 代表二极管。



图 1-11 二极管的符号

(3) 半导体二极管的分类

半导体二极管种类很多：按材料分，有锗二极管、硅二极管、砷化镓二极管等；按结构分，有点接触型、面接触型、平面型等；按工作原理分，有隧道二极管、雪崩二极管、变容二极管等；按用途分，有检波二极管、整流二极管、开关二极管等。

(4) 半导体二极管的外形

二极管的外壳封装形式主要有玻璃封装、塑料封装和金属封装，常见的外形如图 1-2 所示。

1.2.2 二极管的伏安特性

由于二极管的核心是 PN 结，因此二极管的特性与 PN 结相似，呈现单向导电性，为了更准确、更全面地理解二极管的单向导电性，可形象地用曲线来描述。加在二极管两端的电压 U 与流过二极管的电流 I 的关系曲线称为伏安特性曲线。

(1) 二极管的伏安特性

按制造材料不同，二极管主要分为两大类，即硅管和锗管。可利用晶体管图示仪很方便地测出二极管的正、反向特性。伏安特性曲线如图 1-13 所示。

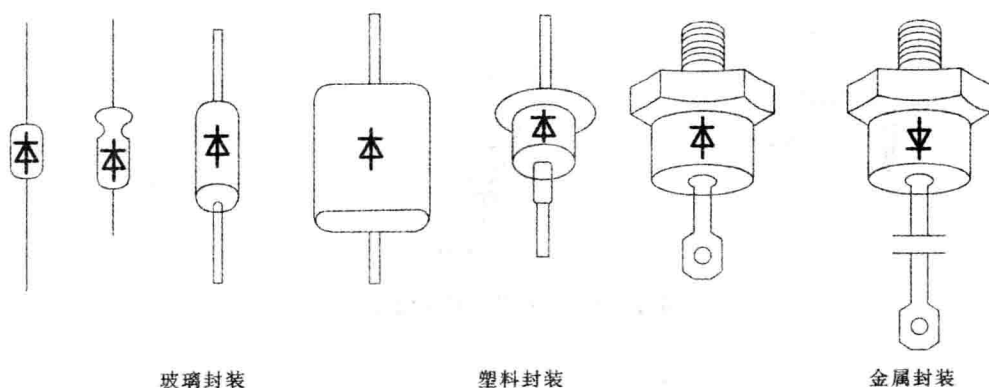


图 1-12 常见二极管外形图

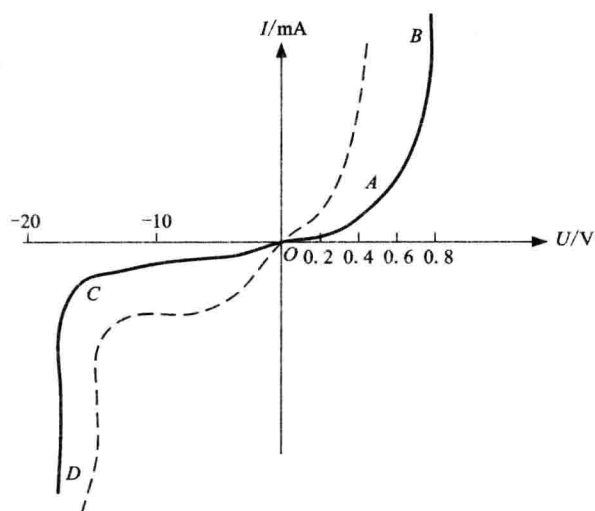


图 1-13 二极管 V—A 特性

① 正向特性

a. *OA* 段：不导电区或称死区。在这一区间内，虽然加有正向电压，但由于正向电压值很小，外电场不能完全抵消 PN 结的内电场，这时还存在有空间电荷区，二极管呈现一个大电阻，使得正向电流几乎为零，好像设有一个门槛一样。把 *A* 点对应的正向电压值称为门槛电压，也称死区电压，其值与管子材料有关，一般硅管约为 0.5 V，锗管约为 0.1 V。

b. *AB* 段：正向导通区。当正向电压超过死区电压时，内电场大为削弱，这时二极管呈现很小的电阻。电流随之迅速增大，二极管正向导通，这时二极管两端的电压值相对恒定，几乎不随电流的增大而变化。这个电压称为正向压降（或管压降），其值也与材料有关，一般硅管约为 0.7 V，锗管约为 0.3 V。

② 反向特性。

a. *OC* 段：反向截止区。当二极管两端施加反向电压时，加强了 PN 结的内电场，使二