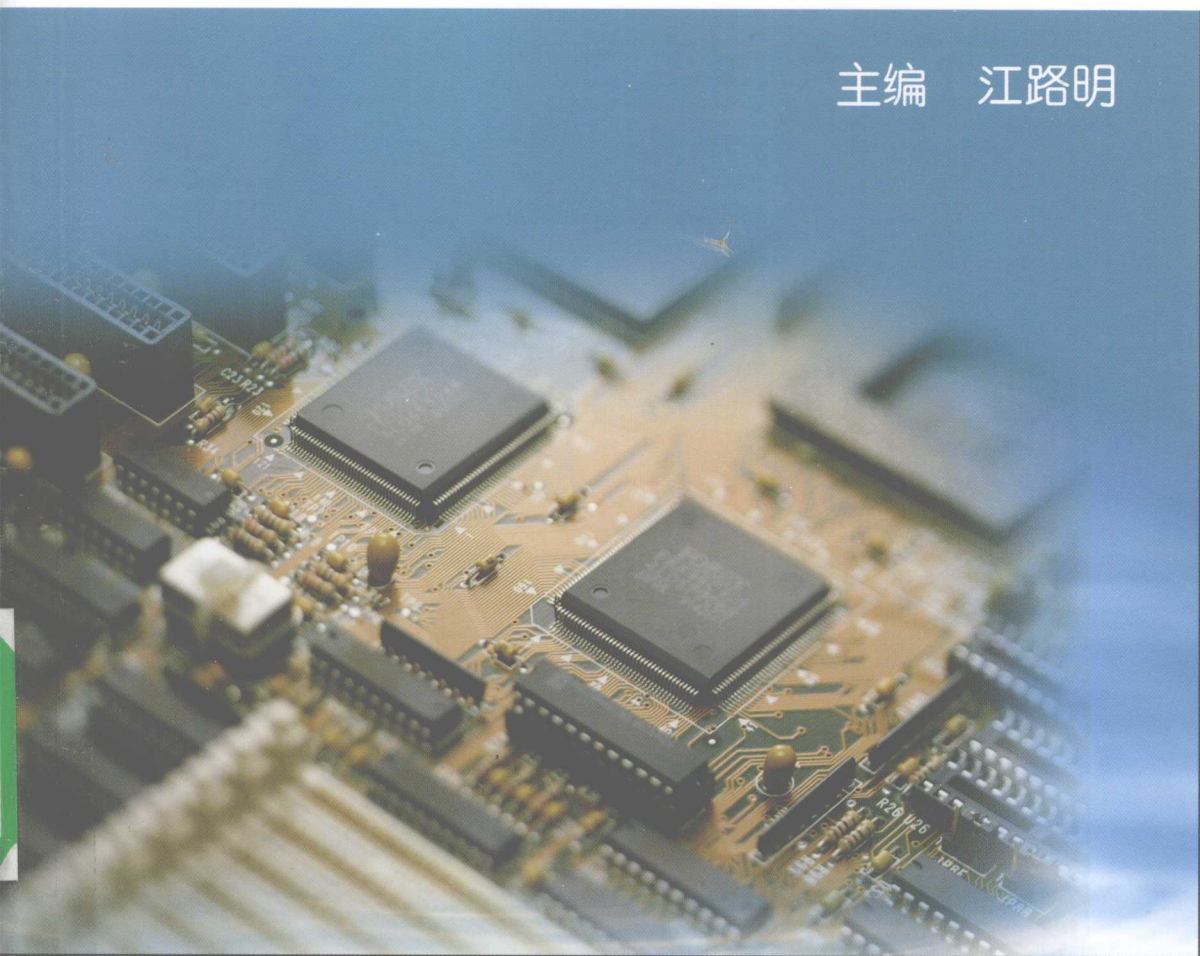




普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 模拟电子技术基础

主编 江路明



江西高校出版社

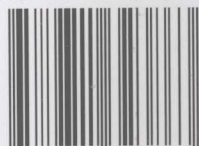
责任编辑 虞汝珍

封面设计 天虹珊尔

## 21 世纪高校规划教材(机电类) 书目

- 《机械制图与计算机绘图》(第三版)  
(“十一五”国家级规划教材、省级优秀教材)  
《机械制图与计算机绘图(习题集)》  
《机械制造基础》  
《机械制造技术》(第二版)  
《机械设计基础》(第二版)  
《机械设计基础课程设计指导书》  
《冷冲模设计》  
《模具设计》  
《Pro/ENGINEER 野火版实训教程》  
《数控加工实训教程》  
《数控编程与加工》(第二版)  
《数控机床维修与维护》  
《数控加工工艺》  
《**模拟电子技术基础**》(“十一五”国家级规划教材)  
《电工与电子技术》(非电类适用)  
《电工电子技术基础》(非电类适用)  
《电路基础》(第二版)(省级优秀教材)  
《Mastercam 应用教程》  
《数字电子技术》  
《Multisim7 仿真设计》  
《单片机原理及其应用》

ISBN 978-7-81132-386-3



9 787811 323863 >

定价:28.00元(含光盘)







普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 模拟电子 技术基础

MONI DIANZI JISHU JICHU

主编 江路明

江西高校出版社

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础/江路明主编. —南昌:江西高校出版社, 2008.8

ISBN 978 - 7 - 81132 - 386 - 3

I. 模... II. 江... 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 123441 号

|         |                                |
|---------|--------------------------------|
| 出版发行    | 江西高校出版社                        |
| 社 址     | 江西省南昌市洪都北大道 96 号               |
| 邮 政 编 码 | 330046                         |
| 总编室电话   | (0791)8504319                  |
| 销 售 电 话 | (0791)8511423                  |
| 网 址     | www.juacp.com                  |
| 印 刷     | 江西江报传媒彩印有限公司                   |
| 照 排     | 江西太元科技有限公司照排部                  |
| 经 销     | 各地新华书店                         |
| 开 本     | 787mm × 1092mm 1/16            |
| 印 张     | 13.625                         |
| 字 数     | 331 千字                         |
| 版 次     | 2008 年 8 月第 1 版第 1 次印刷         |
| 印 数     | 1 ~ 3000 册                     |
| 版 号     | ISBN 978 - 7 - 81132 - 386 - 3 |
| 定 价     | 28.00 元(含光盘)                   |

版权所有 侵权必究

# 前 言

模拟电子技术基础是一门理论性和实践性均较强的技术基础课程。本课程的主要任务是使学生获得电子元器件、功能电路及其应用的基本知识;掌握电子技术的基本技能;培养学生的创新意识和实践能力,为学习后续课程及参加实际工作准备必要的电子知识和技能。

本教材是根据教育部制订的高职高专教育培养目标、相关产业发展趋势、行业动态与岗位需求编写而成。适合高职高专院校电子、通信、自动化、机电一体化等相关专业使用,也可供从事电子技术的工程技术人员参考。

本书以半导体器件的讲解为起点,以半导体分立元件电路的分析为基础,着重介绍了集成电路及其应用,如集成运算放大器的线性及非线性应用、集成功率放大器和集成三端稳压器等。为适应高等职业技术教育以能力为本位,以应用为目的,遵循理论教学以“必需、够用”的原则,淡化了烦琐的理论推导,将理论知识的传授和实际应用能力的培养结合起来,在保证必备的基础理论知识的前提下突出实用性。

本教材的主要内容有:半导体器件基础知识、基本放大电路、集成运算放大器的基本概念、负反馈放大电路、集成运算放大器的应用、功率放大电路、正弦波振荡电路、直流电源、模拟电子技术基础实训。

本书由江路明(江西应用技术职业学院)主编,刘建华(江西旅游商贸职业学院)、侯荣升(江西电力职业技术学院)、林海(江西工业工程职业技术学院)、熊科(江西工业贸易职业技术学院)任副主编。参编的有:肖琴(江西交通职业技术学院)、伍振铭(江西应用技术职业学院)。为方便教学,本书配有电子课件。电子课件由江西应用技术职业学院的黎小桃、邬金、谢华东老师制作。全书由江路明统稿。

由于编者水平有限,本书不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2008 年 7 月

# 目 录

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 第一章 半导体器件基础知识         | 1  |
| 第一节 半导体的基本知识          | 1  |
| 一、半导体的概念              | 1  |
| 二、半导体的特性              | 1  |
| 三、本征半导体               | 1  |
| 四、N型和P型半导体            | 2  |
| 五、PN结                 | 3  |
| 第二节 半导体二极管            | 4  |
| 一、二极管的结构              | 4  |
| 二、二极管的类型              | 4  |
| 三、二极管的伏安特性            | 5  |
| 四、二极管的主要参数            | 6  |
| 五、二极管的应用              | 7  |
| 六、特殊二极管               | 9  |
| 第三节 半导体三极管            | 11 |
| 一、三极管的结构和分类           | 11 |
| 二、三极管的电流放大作用及其放大的基本条件 | 12 |
| 三、三极管的伏安特性            | 14 |
| 四、三极管的主要参数            | 16 |
| 第四节 场效应管              | 17 |
| 一、N沟道增强型绝缘栅场效应管       | 18 |
| 二、耗尽型绝缘栅场效应管的结构及其工作原理 | 20 |
| 三、结型场效应管简介            | 21 |
| 四、场效应管的主要参数           | 23 |
| 第五节 晶闸管及单结晶体管         | 23 |
| 一、晶闸管的外形结构            | 24 |
| 二、晶闸管特性               | 24 |
| 三、晶闸管简单应用举例           | 25 |
| 四、晶闸管的主要参数            | 26 |
| 五、单结晶体管               | 27 |
| 习题一                   | 30 |
| 第二章 基本放大电路            | 34 |
| 第一节 放大的概念和放大电路的主要性能指标 | 34 |
| 一、放大的概念               | 34 |
| 二、放大电路的主要性能指标         | 34 |

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 第二节 基本共射极放大电路 .....        | 36 |
| 一、组成及各元件的作用 .....          | 36 |
| 二、工作原理 .....               | 37 |
| 三、直流通路与交流通路 .....          | 38 |
| 四、基本共射极放大电路的静态工作点 .....    | 39 |
| 第三节 放大电路静态工作点的稳定 .....     | 40 |
| 一、温度对静态工作点的影响 .....        | 40 |
| 二、分压式工作点稳定电路的组成 .....      | 40 |
| 三、分压式工作点稳定电路的工作原理 .....    | 41 |
| 第四节 放大电路的分析方法 .....        | 42 |
| 一、估算法 .....                | 42 |
| 二、图解法 .....                | 42 |
| 三、微变等效电路分析法 .....          | 45 |
| 第五节 共集电极放大电路与共基极放大电路 ..... | 49 |
| 一、共集电极放大电路 .....           | 49 |
| 二、共基极放大电路 .....            | 51 |
| 第六节 场效应管放大电路 .....         | 53 |
| 一、场效应管偏置电路及其静态分析 .....     | 53 |
| 二、场效应管放大电路的微变等效电路分析 .....  | 54 |
| 第七节 多级放大电路 .....           | 57 |
| 一、级间耦合方式 .....             | 57 |
| 二、多级放大电路的主要性能指标 .....      | 59 |
| 三、组合放大电路 .....             | 59 |
| 习题二 .....                  | 61 |
| 第三章 集成运算放大器的基本概念 .....     | 67 |
| 第一节 集成运算放大器的基本组成 .....     | 67 |
| 一、输入级 .....                | 67 |
| 二、中间级 .....                | 67 |
| 三、输出级 .....                | 67 |
| 四、偏置电路 .....               | 68 |
| 第二节 差分放大电路 .....           | 68 |
| 一、基本差分放大电路 .....           | 68 |
| 二、典型差分放大电路 .....           | 69 |
| 三、任意输入信号的分解 .....          | 72 |
| 四、差分放大电路的单端输入方式 .....      | 73 |
| 五、恒流源电路 .....              | 74 |
| 第三节 集成运算放大器的分类及主要参数 .....  | 77 |
| 一、集成运算放大器的分类 .....         | 77 |
| 二、集成运算放大器的主要参数 .....       | 77 |
| 三、理想运放的概念 .....            | 78 |



|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 习题三 .....                       | 79  |
| <b>第四章 负反馈放大电路</b> .....        | 82  |
| 第一节 反馈的基本概念 .....               | 82  |
| 一、反馈与反馈支路 .....                 | 82  |
| 二、反馈放大电路的组成 .....               | 82  |
| 第二节 反馈电路的类型与判别 .....            | 84  |
| 一、负反馈放大电路的基本类型 .....            | 84  |
| 二、反馈极性的判别 .....                 | 84  |
| 三、直流负反馈与交流负反馈 .....             | 85  |
| 四、电压反馈和电流反馈的判别 .....            | 86  |
| 五、串联反馈和并联反馈的判别 .....            | 87  |
| 第三节 负反馈对放大电路性能的影响 .....         | 88  |
| 一、提高放大倍数的稳定性 .....              | 88  |
| 二、减小非线性失真 .....                 | 89  |
| 三、展宽通频带 .....                   | 90  |
| 四、改变输入、输出电阻 .....               | 91  |
| 五、负反馈电路的自激振荡及其消除 .....          | 92  |
| 习题四 .....                       | 94  |
| <b>第五章 集成运算放大器的应用</b> .....     | 96  |
| 第一节 理想运算放大器 .....               | 96  |
| 一、理想运算放大器工作在线性区的特点 .....        | 96  |
| 二、理想运算放大器工作在非线性区的特点 .....       | 96  |
| 第二节 集成运算放大器的线性应用 .....          | 97  |
| 一、模拟数学运算电路 .....                | 97  |
| 二、运算放大器在信号处理方面的运用 .....         | 106 |
| 第三节 集成运算放大器的非线性应用 .....         | 110 |
| 一、电压比较器 .....                   | 110 |
| 二、非正弦波发生电路 .....                | 114 |
| 第四节 集成运算放大器应用的注意事项 .....        | 118 |
| 一、使用时应注意的问题 .....               | 118 |
| 二、保护措施 .....                    | 118 |
| 三、运放的使用技巧 .....                 | 121 |
| 习题五 .....                       | 122 |
| <b>第六章 功率放大电路</b> .....         | 129 |
| 第一节 功率放大电路概述 .....              | 129 |
| 一、对功率放大电路的要求 .....              | 129 |
| 二、功率放大器的分类 .....                | 130 |
| 第二节 互补对称功率放大电路 .....            | 131 |
| 一、乙类双电源互补对称功率放大电路(OCL 电路) ..... | 131 |
| 二、甲乙类互补对称功率放大器 .....            | 133 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 三、单电源互补对称功率放大器(OTL 电路) ..... | 134 |
| 第三节 集成功率放大电路 .....           | 135 |
| 一、集成功率放大电路的主要性能指标 .....      | 135 |
| 二、集成功率放大电路的应用 .....          | 136 |
| 习题六 .....                    | 138 |
| 第七章 正弦波振荡电路 .....            | 141 |
| 第一节 振荡电路的概述 .....            | 141 |
| 一、振荡电路框图 .....               | 141 |
| 二、自激振荡的条件 .....              | 142 |
| 三、正弦波振荡电路基本组成 .....          | 142 |
| 四、振荡电路的起振过程 .....            | 142 |
| 第二节 LC 正弦波振荡电路 .....         | 143 |
| 一、LC 回路的频率特性 .....           | 143 |
| 二、变压器反馈式振荡电路 .....           | 144 |
| 三、电感三点式振荡电路 .....            | 144 |
| 四、电容三点式振荡电路 .....            | 145 |
| 第三节 RC 振荡电路 .....            | 147 |
| 一、RC 串并联型网络的选频特性 .....       | 147 |
| 二、RC 桥式振荡电路 .....            | 148 |
| 第四节 晶体振荡电路 .....             | 148 |
| 一、石英晶体的频率特性 .....            | 148 |
| 二、石英晶体振荡电路 .....             | 149 |
| 习题七 .....                    | 150 |
| 第八章 直流稳压电源 .....             | 152 |
| 第一节 直流稳压电源的组成及各部分的作用 .....   | 152 |
| 一、直流稳压电源的组成 .....            | 152 |
| 二、各部分作用 .....                | 152 |
| 三、直流稳压电源的工作过程 .....          | 152 |
| 第二节 二极管整流电路 .....            | 153 |
| 一、单相半波整流电路 .....             | 153 |
| 二、单相全波整流电路 .....             | 154 |
| 三、单相桥式整流电路 .....             | 155 |
| 四、倍压整流电路 .....               | 157 |
| 第三节 可控整流电路 .....             | 157 |
| 一、单相半波可控整流电路 .....           | 157 |
| 二、单相桥式可控整流电路 .....           | 159 |
| 第四节 滤波电路 .....               | 160 |
| 一、电容滤波 .....                 | 160 |
| 二、电感滤波 .....                 | 161 |
| 三、复式滤波 .....                 | 161 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 第五节 简单稳压电路                      | 162 |
| 一、简单稳压电路的工作原理                   | 162 |
| 二、硅管压管稳压电路参数的选择                 | 163 |
| 第六节 串联型稳压电路                     | 164 |
| 一、串联型三极管稳压电路                    | 164 |
| 二、具有放大环节的串联型可调稳压电路              | 165 |
| 第七节 集成稳压器                       | 166 |
| 一、固定式三端集成稳压器                    | 166 |
| 二、可调式三端集成稳压器                    | 167 |
| 第八节 开关型稳压电源                     | 169 |
| 一、开关型稳压电源的分类及特点                 | 169 |
| 二、开关型稳压电源的组成                    | 169 |
| 三、开关型稳压电源的工作原理                  | 170 |
| 习题八                             | 170 |
| 第九章 模拟电子技术基础实训                  | 173 |
| 实训一 常用电子仪器的使用                   | 173 |
| 实训二 常用半导体器件性能的检测                | 176 |
| 实训三 共射极单管放大电路                   | 177 |
| 实训四 场效应管放大电路                    | 180 |
| 实训五 射极跟随器                       | 182 |
| 实训六 集成运算放大器的测试                  | 183 |
| 实训七 负反馈放大电路                     | 185 |
| 实训八 集成运算放大器的基本应用(一)<br>——模拟运算电路 | 187 |
| 实训九 集成运算放大器的基本应用(二)<br>——有源滤波器  | 190 |
| 实训十 集成运算放大器的基本应用(三)<br>——电压比较器  | 192 |
| 实训十一 集成功率放大器                    | 194 |
| 实训十二 RC 正弦波振荡电路                 | 195 |
| 实训十三 直流稳压电源(一)<br>——串联型晶体管稳压电源  | 197 |
| 实训十四 直流稳压电源(二)<br>——集成稳压器       | 200 |
| 附录一 常用符号说明                      | 203 |
| 附录二 半导体器件型号命名方法                 | 206 |
| 参考文献                            | 207 |

# 第一章 半导体器件基础知识

半导体器件是电子电路中使用最为广泛的器件,也是构成集成电路的基本单元。只有掌握半导体器件的结构性能、工作原理和特点,才能正确分析电子电路的工作原理,正确选择和合理使用半导体器件。本章主要介绍二极管、三极管、场效应管、晶闸管及单晶体管的性能、主要参数以及各器件的选用原则。

## 第一节 半导体的基础知识

### 一、半导体的概念

导电性能介于导体与绝缘体之间的物质称半导体。半导体的电阻率为  $10^{-3} \sim 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ 。常用的半导体材料有硅(Si)、锗(Ge)、硒(Se)和砷化镓(GaAs)及其他金属氧化物和硫化物等,半导体一般呈晶体结构。

### 二、半导体的特性

半导体之所以引起人们注意并得到广泛应用,其主要原因并不在于它的导电能力介于导体和绝缘体之间,而在于它有如下几个特点:

#### (一)掺杂性

在半导体中掺入微量杂质,可改变其电阻率和导电类型。

#### (二)温度敏感性

半导体的电阻率随温度变化很敏感,并随掺杂浓度不同,具有正或负的温度系数。

#### (三)光敏感性

光照能改变半导体的电阻率。

根据半导体的以上特点,可将半导体做成各种热敏元件、光敏元件、二极管、三极管及场效应管等半导体器件。

### 三、本征半导体

纯净的不含任何杂质、晶体结构排列整齐的半导体称为本征半导体。本征半导体的最外层电子(称为价电子)除受到原子核吸引外,还受到共价键束缚,因而它的导电能力差。半导体的导电能力随外界条件改变而改变。它具有热敏特性和光敏特性,即温度升高或受到光照后半导体的导电能力会增强。这是由于价电子从外界获得能量,挣脱共价键的束缚而成为自由电子。这时,在共价键结构中留下相同数量的空位,每次原子失去价电子后,变成正电荷的离子,从等效观点看,每个空位相当于带一个基本电荷量的正电荷,成为空穴。在半导体中,空穴也参与导电,其导电实质是在电场作用下,相邻共价键中的价电子填补了空穴而产生新的空穴,而新的空穴又被其相邻的价电子填补,这个过程持续下去,就相当于带正电荷的空穴在

移动。共价键结构与空穴产生示意图如图 1-1 所示。

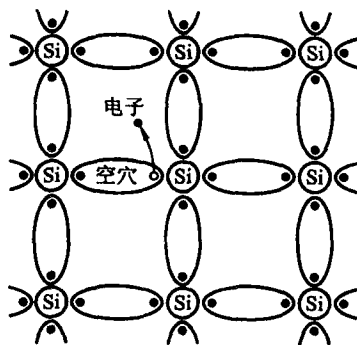


图 1-1 共价键结构与空穴产生示意图

#### 四、N 型和 P 型半导体

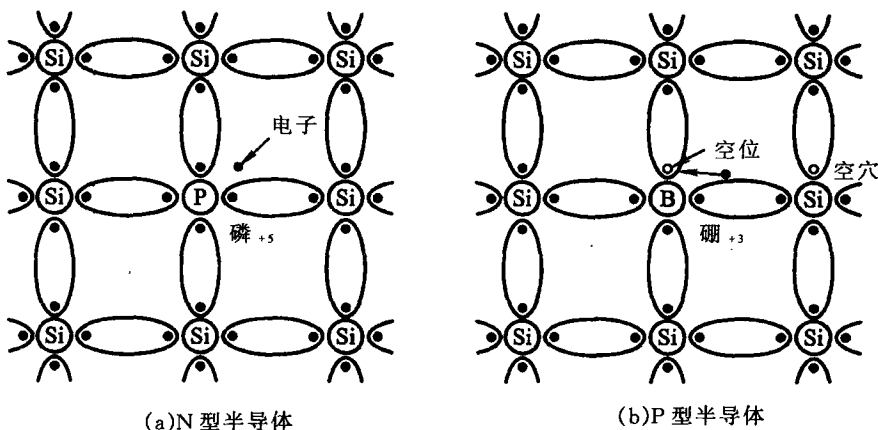
本征半导体的导电能力差,但是在本征半导体中掺入某种微量元素(杂质)后,它的导电能力可增加几十万甚至几百万倍。

##### (一) N 型半导体

用特殊工艺在本征半导体掺入微量五价元素,如磷或砷。这种元素在和半导体原子组成共价键时,就多出一个电子。这个多出来的电子不受共价键的束缚,很容易成为自由电子而导电。这种掺入五价元素,电子为多数载流子,空穴为少数载流子的半导体叫电子型半导体,简称 N 型半导体。如图 1-2(a)所示。

##### (二) P 型半导体

在半导体硅或锗中掺入少量最外层只有 3 个电子的硼元素,和外层电子数是 4 个的硅或锗原子组成共价键时,就自然形成一个空穴,这就使半导体中的空穴载流子增多,导电能力增强,这种掺入三价元素,空穴为多数载流子,而自由电子为少数载流子的半导体叫空穴型半导体,简称 P 型半导体。如图 1-2(b)所示。



(a) N 型半导体

(b) P 型半导体

图 1-2 掺杂半导体共价键结构示意图

## 五、PN 结

P 型或 N 型半导体的导电能力虽然大大增强,但并不能直接用来制造半导体器件。通常是在一块纯净的半导体晶片上,采取一定的工艺措施,在两边掺入不同的杂质,分别形成 P 型半导体和 N 型半导体,它们的交界面就形成了 PN 结。PN 结是构成各种半导体器件的基础。

### (一)PN 结的形成

在一块纯净的半导体晶体上,采用特殊掺杂工艺,在两侧分别掺入三价元素和五价元素。一侧形成 P 型半导体,另一侧形成 N 型半导体如图 1-3 所示。

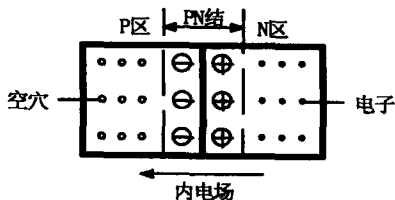


图 1-3 PN 结的形成

P 区的空穴浓度大,会向 N 区扩散,N 区的电子浓度大则向 P 区扩散。这种在浓度差作用下多数载流子的运动称为扩散运动。空穴带正电,电子带负电,这两种载流子在扩散到对方区域后复合而消失,但在 P 型半导体和 N 型半导体交界面的两侧分别留下了不能移动的正负离子,呈现出一个空间电荷区,这个空间电荷区就称为 PN 结。PN 结的形成会产生一个由 N 区指向 P 区的内电场,内电场的产生对 P 区和 N 区间多数载流子的相互扩散运动起阻碍作用。同时,在内电场的作用下,P 区中的少数载流子电子、N 区中的少数载流子空穴会越过交界面向对方区域运动。这种在内电场作用下少数载流子的运动称漂移运动。漂移运动和扩散运动最终会达到动态平衡,PN 结的宽度保持一定。

### (二)PN 结的单向导电性

当 PN 结的两端加上正向电压,即 P 区接电源的正极,N 区接电源的负极,称为 PN 结正偏,如图 1-4(a)所示。

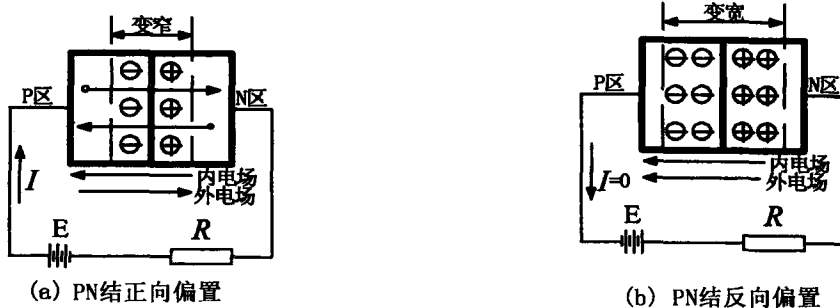


图 1-4 PN 结的单向导电性

外加电压在 PN 上所形成的外电场与 PN 结内电场的方向相反,削弱了内电场的作用,破坏了原有的动态平衡,使 PN 结变窄,加强了多数载流子的扩散运动,形成较大的正向电流。这时称 PN 结为正向导通状态。

如果给 PN 外加反向电压,即 P 区接电源的负极,N 区接电源的正极,称为 PN 结反偏,如图 1-4(b)所示。外加电压在 PN 结上所形成的外电场与 PN 结内电场的方向相同,增强了内



电场的作用,破坏了原有的动态平衡,使PN结变厚,加强了少数载流子的漂移运动。由于少数载流子的数量很少,所以只有很小的反向电流,一般情况下可以忽略不计。这时称PN结为反向截止状态。

综上所述,PN结正偏时导通,反偏时截止,因此它具有单向导电性,这也是PN结的重要特性。

## 第二节 半导体二极管

### 一、二极管的结构

在PN结的两端各引出一根电极引线,然后用外壳封装起来就构成了半导体二极管,简称二极管,如图1-5(a)所示,其图形符号如图1-5(b)所示。由P区引出的电极称正极(或阳极),由N区引出的电极称负极(或阴极),电路符号中的箭头方向表示正向电流的流通方向。

### 二、二极管的类型

二极管的种类很多,按制造材料分类,主要有硅二极管和锗二极管;按用途分类,主要有整流二极管、检波二极管、稳压二极管、开关二极管等;按接触的面积大小分类,可分为点接触型

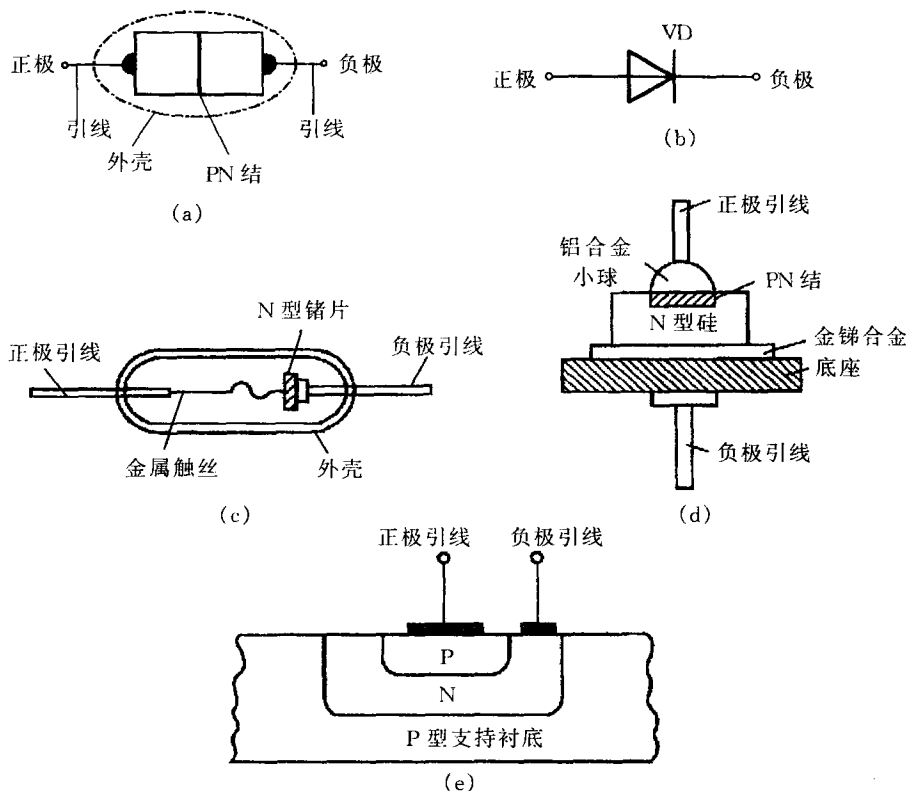


图 1-5 半导体二极管的结构与符号

和面接触型两类。其中点接触型二极管是一根很细的金属触丝(如三价元素铝)和一块 N 型半导体(如锗)的表面接触,然后在正方向通过很大的瞬时电流,使触丝和半导体牢固接在一起,三价金属与锗结合构成 PN 结,如图 1-5(c)所示。由于点接触型二极管金属触丝很细,形成的 PN 结很小,所以它不能承受大的电流和高的反向电压。由于极间电容很小,所以这类管子适用于高频电路。

面接触型或称面结型二极管的 PN 结是用合金法或扩散法做成的,其结构如图 1-5(d)所示。由于这种二极管的 PN 结面积大,可承受较大的电流。但极间电容较大,这类器件适用于低频电路,主要用于整流电路。

如图 1-5(e)所示是硅工艺面结型二极管结构图,它是集成电路中常见的一种形式。

### 三、二极管的伏安特性

二极管的伏安特性是指二极管两端的端电压与流过二极管的电流之间的关系。

#### (一)二极管的单向导电性

我们把二极管接成图 1-6(a)所示电路,当开关 S 闭合,二极管阳极接电源正极,阴极接电源负极,这种情况称二极管正向偏置,简称正偏。这时,灯泡亮,电流表示数较大,二极管处于导通状态,流过二极管电流称作正向电流。

将二极管接成图 1-6(b)所示电路,当开关闭合时,二极管阳极接电源负极,阴极接正极,二极管处于反向偏置,简称反偏。这时灯泡不亮,从电流表中看到电流几乎为零,二极管(PN 结)处于截止状态。实际上,在这种状态下,二极管中仍有微小电流通过,这电流基本上不随外加反向电压变化而变化,故称为反向饱和电流(亦称反向漏电流),用  $I$  表示。 $I$  很小,是由少数载流子运动形成的,它会随温度上升而显著增加。所以,半导体二极管的热稳定性较差,在使用半导体器件时,要考虑温度对器件和由它所构成的电路的影响。

我们把二极管正向偏置导通、反向偏置截止的这种特性称之为单向导电性。

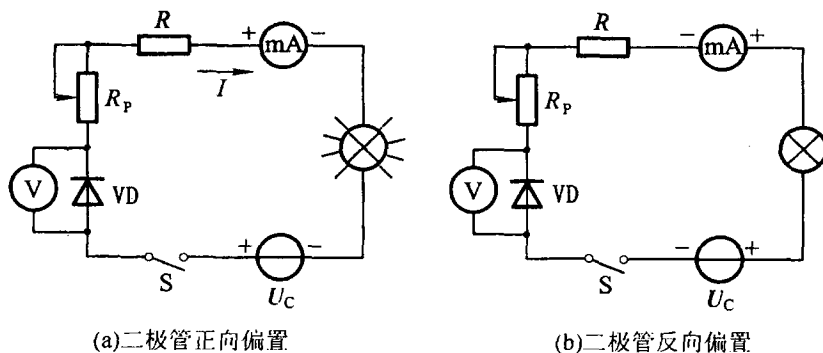


图 1-6 半导体二极管单向导电性实验

#### (二)二极管的伏安特性

二极管的伏安特性在反向击穿前可用 PN 结的电流方程来表示

$$I = I_S(e^{u/U_T} - 1) \quad (1-1)$$

式中(1-1)中, $I_S$ 为反向饱和电流,常温下为常数; $u$ 为加在二极管两端的电压; $U_T$ 为温度的电压当量,当温度为室温  $T = 27^\circ\text{C}$  时,  $U_T = 26\text{mV}$ ,这个数值常用于近似计算。

当 PN 结正向偏置时,若外加电压  $U \geq U_T$  时,式(1-1)可简化为

$$I_F \approx I_S e^{u/U_T} \quad (1-2)$$

即在  $u$  大于一定值后, PN 结的正向电流  $I_F$  随正向电压  $u$  按指数规律变化。

PN 结反向偏置时, 若  $|u| \geq U_T$ , 则式(1-1)可简化为

$$I_R \approx -I_S \quad (1-3)$$

即反向电压达到一定值后, PN 结的反向电流也称反向饱和电流  $-I_S$  与反向电压大小基本无关。

根据式(1-1)或通过图 1-6 电路实验, 可测得二极管伏安特性曲线如图 1-7 所示。现对图 1-7 所示伏安特性的物理意义分别予以说明。

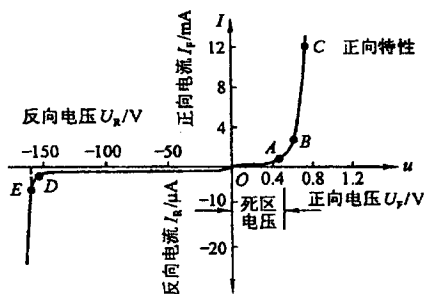


图 1-7 半导体二极管(硅管)伏安特性

### 1. 正向特性

当二极管正向偏置, 硅管正偏电压  $u < 0.5\text{V}$ , 锗管小于  $0.1\text{V}$  时,  $I_F = 0$ , 故称为死区, 这个电压称为死区电压  $U_{th}$  (又称为阈值电压或门坎电压), 如图 1-7 中 OA 段所示。当正偏电压大于阈值电压, 随着外加电压的增加, 正向电流逐渐增大。当正偏电压达到导通电压(硅管约为  $0.7\text{V}$ , 锗管约为  $0.2\text{V}$ ) 曲线陡直上升,  $u$  稍增大,  $I_F$  显著增加。这一段称为“正向导通区”, 曲线如图中 BC 段所示。BC 段对应的二极管两端电压称为二极管的正向管压降  $U_F$ , 硅二极管  $U_F$  为  $0.7 \sim 0.8\text{V}$ , 一般取  $0.7\text{V}$ , 锗管  $U_F$  为  $0.2 \sim 0.3\text{V}$ , 通常取  $0.2\text{V}$ 。这一段二极管正向管压降近似恒定。在实际使用中, 二极管正偏导通就是指工作在这一段。

### 2. 反向特性

二极管反向偏置时, 二极管有微小电流通过, 称为反向电流, 如图 1-7 中 OD 段所示。由图可见, 反向电流基本上不随反向偏置电压的变化而变化。这时, 二极管呈现很高的反向电阻, 处于截止状态, 在电路中相当于开关处于关断状态。二极管的反向电流越小, 表明二极管的反向性能越好。小功率硅管的反向电流在  $10 \sim 15\mu\text{A}$  以下, 小功率锗管达几微安到几十微安。

### 3. 反向击穿特性

在图 1-7 中, 当由 D 点继续增加反偏电压时, 反向电流在 E 处急剧上升, 这种现象称之为反向击穿。发生击穿时的电压称为反向击穿电压  $U_{BR}$ 。各类二极管的反向击穿电压大小各不相同。普通二极管、整流二极管等不允许反向击穿情况发生, 因二极管反向击穿后, 电流不加限制, 会使二极管 PN 结过热而损坏。

## 四、二极管的主要参数

电子元器件参数是国家标准或制造厂家对生产的元器件应达到技术指标所提供的数据要求, 也是合理选择和正确使用器件的依据。二极管的参数可从手册上查到, 下面对二极管的几种常用参数作简要介绍。

### (一) 最大整流电流 $I_{FM}$

$I_{FM}$  是指二极管长期运行时允许通过的最大正向直流电流。 $I_{FM}$  与 PN 结的材料、面积及散热条件有关。大功率二极管使用时, 一般要加散热片。在实际使用时, 流过二极管最大平均电流不能超过  $I_{FM}$ , 否则二极管会因过热而损坏。