



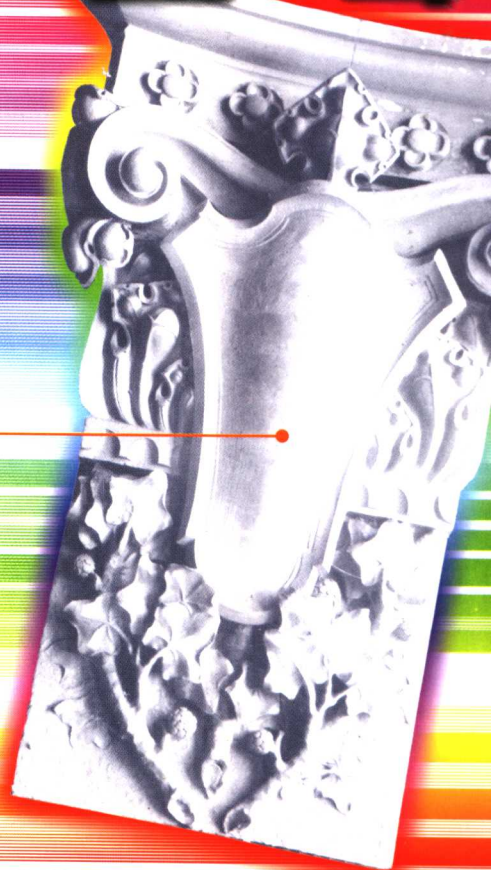
世纪高职高专通信教材

21 SHIJI GAOZHIGAOZHUAN  
TONGXIN JIAOCAI

# 电子技术基础

张桂芬 主编

郭根芳 周许培 庞瑞霞 编



人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

21 世纪高职高专通信教材

# 电子技术基础

张桂芬 主编

郭根芳 周许培 庞瑞霞 编

人民邮电出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础/张桂芬主编. —北京:人民邮电出版社,2005.6  
(21世纪高职高专通信教材)

ISBN 7-115-13356-5

I. 电... II. 张... III. 电子技术—高等学校:技术学校—教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 026447 号

## 内 容 提 要

本书为 21 世纪高职高专系列教材之一。全书共分为 13 章,包括模拟电子技术和数字电子技术两部分内容。主要介绍常用电子器件、信号放大电路、放大电路中的反馈、集成运算放大器、功率放大电路、信号产生电路、直流稳压电源、数字电路基础知识、门电路、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲波形的产生与变换、半导体存储器及其可编程逻辑器件以及常用模拟、数字集成电路及其简单的应用。

本书以基本概念、单元电路分析、集成电路应用为主,通俗易懂,重点突出。适用于高职高专通信类学生作为教材使用,也可供相关人员参考。

21 世纪高职高专通信教材

### 电子技术基础

- 
- ◆ 主 编 张桂芬
  - 编 郭根芳 周许培 庞瑞霞
  - 策划编辑 滑 玉
  - 责任编辑 须春美
  - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号  
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
读者热线:010-67170985  
北京艺辉印刷有限公司印刷  
新华书店总店北京发行所经销
  - ◆ 开本:787×1092 1/16  
印张:19  
字数:456 千字 2005 年 6 月第 1 版  
印数:1-5 000 册 2005 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-13356-5 / TN · 2465

定价:25.00 元

本书如有印装质量问题,请与本社联系 电话:(010)67129223

# 21 世纪高职高专通信教材

## 编 委 会

主 任 肖传统

副 主 任 张新瑛 向 伟

委 员 王新义 孙青华 朱 立 江 丽 李元忠

李转年 李树岭 李 婵 刘翠霞 陈兴东

苏开荣 吴瑞萍 张干生 张孝强 张献居

周训斌 杨 荣 杨 源 胡 鹏 赵兰畔

黄柏江 曹晓川 滑 玉 傅德月 惠亚爱

秘 书 李立高

执行编委 滑 玉

## 丛书前言

---

随着通信技术的飞速发展,通信业务的不断拓展和通信市场的日益开放,如何提高从业人员的素质,增强产业竞争力,已成为通信运营商高层决策者们所考虑的重要问题之一。通信类的高等职业教育以适应通信技术发展,培养通信生产和服务一线的技能型人才为目的。

国务委员陈至立同志在全国职业教育工作会议上指出:“职业教育的目标是培养数以千万计的技能型人才和数以亿计的高素质劳动者,必须坚持以服务为宗旨,以就业为导向,面向社会、面向市场办学。”为了适应高等职业教育的需要,结合通信行业的特点和通信类高等职业教育的培养目标,我们组织了全国通信类高职院校部分老师和部分通信企业的资深专家组织编写了这套《21 世纪高职高专通信教材》。该丛书技术新,实用性强,案例典型,既可满足通信类高职高专的教学使用,又可作为从事通信行业一线的专业技术人员培训和自学读物。

由于作者编写高职高专教材经验不足,征求意见的范围还不够广泛,书中难免存在疏漏之处,望广大读者多提宝贵意见,以便进一步提高完善。

21 世纪高职高专通信教材编辑委员会

## 编者的话

随着社会的进步,科学技术的发展,一批高职高专通信学院相继成立。他们既不同于中专学校,又有别于大学本科。因此最突出的问题是没有现成的教材可用。在这种情况下,由人民邮电出版社开发出版了这套系列教材,本书就是这套系列教材之一。

由于高职高专的学生受学制的限制,现将模拟电子技术和数字电子技术合并为一本教材。在内容的选取上要求“够用为主”。所以我们在结构安排、内容选取上注意了以下几点:

1. 随着电子技术的飞速发展,对集成电路的要求越来越高,因此只介绍基本电子器件、基本原理电路,以介绍集成电路的功能及其应用为主。
2. 模拟部分(前7章)按照基本概念—基本原理—基本分析方法—典型电路的应用为思路,数字部分(后6章)按照基本原理电路—集成器件介绍—组件的典型应用为思路。
3. 常用集成电路以端钮上的关系为主,一般不涉及内部结构,着重介绍使用方法。
4. 各部分以单元电路的分析为主,不涉及到整个系统。
5. 本书中还列出了一些选讲内容,以“\*”号标记,以供不同院校视具体情况选用。取舍这些内容,不会影响本书的完整性。

河北通信职业技术学院张桂芬担任本书主编,并编写第1章、第8章、第10章(10.1.5、10.1.6除外)、第11章和实训二;河北通信职业技术学院郭根芳编写第2章、第3章、第4章、第5章、第7章和实训一;浙江邮电职业技术学院周许培编写第6章、第9章、第12章、第13章;河北通信职业技术学院庞瑞霞编写第10章的10.1.5、10.1.6两部分。

在教材的编写过程中有幸得到了安徽邮电职业技术学院的江丽老师、尚勇老师的大力帮助;得到了河北通信职业技术学院安玉景老师的大力帮助。浙江邮电职业技术学院的徐超明、张铭生参加了本书中第6章、第9章、第12章、第13章的部分工作,在此表示诚挚的感谢。

由于我们是初次编写高职高专教材,缺乏编写经验,书中难免出现错误和不妥之处,真诚地希望各位老师和读者给以批评指正。

编者

2004年12月

# 常用符号表

## 一、电流和电压（以基极电流为例）

$I_B$  大写字母、大写下标, 表示直流量（或静态电流、平均值）

$i_B$  小写字母、大写下标, 表示包含直流量的瞬时总量

$I_b$  大写字母、小写下标, 表示交流有效值

$i_b$  小写字母、小写下标, 表示交流瞬时值

$\dot{I}_b$  表示交流复数值

$\Delta I_B$  表示直流变化量

$\Delta i_B$  表示瞬时值的变化量

$\dot{I}_f$ 、 $\dot{U}_f$  反馈电流、电压

$\dot{I}_i$ 、 $\dot{U}_i$  交流输入电流、电压

$\dot{I}_o$ 、 $\dot{U}_o$  交流输出电流、电压

$I_Q$ 、 $U_Q$  电流、电压静态值

$I_R$ 、 $U_R$ 或 $I_{REF}$ 、 $U_{REF}$  参考电流、电压

$i_P$ 、 $u_P$  集成运放同相输入电流、电压

$i_N$ 、 $u_N$  集成运放反相输入电流、电压

$u_{lc}$  共模输入电压

$u_{ld}$  差模输入电压

$\Delta u_{lc}$  共模输入电压增量

$\Delta u_{ld}$  差模输入电压增量

$U_s$  交流信号源电压

$U_T$ ( $U_{TH}$ ) 阈值电压（门限电压、开启电压）

$U_{OH}$  输出高电平

$U_{OL}$  输出低电平

$V_{BB}$  基极回路电源电压

$V_{CC}$  集电极回路电源电压

$V_{EE}$  发射极回路电源电压

$V_{DD}$  漏极回路电源电压

$V_{SS}$  源极回路电源电压

## 二、电阻、电导、电容、电感

$R$  电阻通用符号

$G$  电导通用符号

$C$  电容通用符号  
 $L$  电感通用符号  
 $R_i$  放大电路的输入电阻  
 $R_{if}$  负反馈放大电路的输入电阻  
 $R_L$  负载电阻  
 $R_o$  放大电路的输出电阻  
 $R_{of}$  负反馈放大电路的输出电阻  
 $R_s$  信号源内阻  
 $r$  器件内部的等效电阻

### 三、功率和效率

$P$  功率通用符号  
 $p$  瞬时功率  
 $P_o$  输出交流功率  
 $P_{om}$  最大输出交流功率  
 $P_T$  晶体管耗散功率  
 $P_V$  电源提供的功率

### 四、频率

$f$  频率通用符号  
 $f_{bw}$  通频带  
 $f_c$  使放大电路增益为 0dB 时的信号频率  
 $f_H$  放大电路的上限截止频率  
 $f_L$  放大电路的下限截止频率  
 $f_o$  电路的振荡频率、中心频率  
 $\omega$  角频率通用符号

### 五、放大倍数、增益

$A$  放大倍数或增益的通用符号  
 $A_{uc}$  共模电压放大倍数  
 $A_{ud}$  差模电压放大倍数

$A_u$  电压放大倍数的通用符号,  $\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i}$

$\dot{A}_{um}$  中频电压放大倍数

$\dot{A}_{us}$  考虑信号源内阻时的电压放大倍数的通用符号,  $\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_s}$

$F$  反馈系数通用符号



## 六、二极管、三极管和场效应管

N 电子型半导体

P 空穴型半导体

VD 二极管

VD<sub>Z</sub> 稳压二极管

$I_D$  二极管的电流

$I_F$  二极管的最大平均整流电流

$I_S$  二极管的反向饱和电流

$r_d$  二极管导通时的动态电阻

$U_B$  二极管的击穿电压

VT 晶体管、场效应管

b 基极

c 集电极

e 发射极

$f_T$  晶体管的特征频率, 即共射接法下使电流放大系数为 1 的频率

$I_{CBO}$  发射极开路时 b-c 间的反向电流

$I_{CEO}$  基极开路时 c-e 间的穿透电流

$I_{CM}$  集电极最大允许电流

$P_{CM}$  集电极最大允许耗散功率

$r_{be}$  晶体管基极与发射极之间的微变等效电阻

$U_{CES}$  晶体管饱和管压降

$\beta$  晶体管共射交流电流放大系数

$\bar{\beta}$  晶体管共射直流电流放大系数

d 漏极

g 栅极

s 源极

$g_m$  跨导

$I_D$  漏极电流

$I_{DSS}$  耗尽型场效应管  $U_{GS}=0$  时的漏极电流

$P_{DM}$  漏极最大允许耗散功率

$U_P$  耗尽型场效应管的夹断电压

$r_{DS}$  MOS 管导通时的漏源电阻

# 目 录

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 第 1 章 常用半导体器件         | 1  |
| 1.1 半导体基础知识           | 1  |
| 1.2 晶体二极管             | 3  |
| 1.3 晶体三极管             | 5  |
| 1.4 场效应管              | 9  |
| 1.4.1 结型场效应管          | 9  |
| 1.4.2 绝缘栅型场效应管        | 11 |
| 小结                    | 12 |
| 思考题与练习题               | 13 |
| 第 2 章 信号放大电路          | 15 |
| 2.1 放大的概念和放大电路的主要性能指标 | 16 |
| 2.1.1 放大的基本概念         | 16 |
| 2.1.2 放大电路的主要性能指标     | 16 |
| 2.2 单级放大电路            | 18 |
| 2.2.1 晶体管放大电路         | 18 |
| 2.2.2 场效应管放大电路        | 32 |
| 2.3 多级放大电路            | 36 |
| 2.3.1 多级放大电路的组成       | 36 |
| 2.3.2 多级放大电路的计算       | 38 |
| 小结                    | 39 |
| 思考题与练习题               | 41 |
| 第 3 章 放大电路中的反馈        | 45 |
| 3.1 反馈的基本概念           | 46 |
| 3.2 负反馈的判断            | 47 |
| 3.3 负反馈对放大电路性能的影响     | 53 |
| 小结                    | 56 |
| 思考题与练习题               | 57 |
| 第 4 章 集成运算放大器         | 61 |
| 4.1 直接耦合放大电路          | 61 |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 4.1.1 直接耦合放大电路的组成及其零点漂移现象   | 62         |
| 4.1.2 差分放大电路                | 62         |
| 4.2 集成运算放大电路概述              | 66         |
| 4.3 集成运算放大电路的应用             | 70         |
| 小结                          | 78         |
| 思考题与练习题                     | 79         |
| <b>第5章 功率放大电路</b>           | <b>84</b>  |
| 5.1 概述                      | 85         |
| 5.1.1 功率放大电路的特点             | 85         |
| 5.1.2 功率放大器的分类              | 86         |
| 5.2 低频功率放大电路                | 87         |
| 5.2.1 乙类互补对称功率放大电路(OCL 电路)  | 87         |
| 5.2.2 单电源互补对称功率放大电路(OTL 电路) | 90         |
| 5.2.3 甲乙类互补对称功率放大电路         | 91         |
| 5.2.4 集成功率放大器               | 93         |
| 小结                          | 95         |
| 思考题与练习题                     | 96         |
| <b>第6章 信号产生电路</b>           | <b>99</b>  |
| 6.1 正弦波振荡的条件                | 100        |
| 6.2 RC 正弦波振荡电路              | 101        |
| 6.3 LC 正弦波振荡电路              | 104        |
| 6.3.1 LC 选频电路               | 104        |
| 6.3.2 变压器反馈式 LC 振荡电路        | 105        |
| 6.3.3 三点式 LC 振荡电路           | 105        |
| 6.3.4 石英晶体振荡器               | 108        |
| 小结                          | 110        |
| 思考题与练习题                     | 111        |
| <b>第7章 直流电源</b>             | <b>113</b> |
| 7.1 概述                      | 113        |
| 7.2 整流电路                    | 114        |
| 7.3 滤波电路                    | 117        |
| 7.4 稳压电路                    | 120        |
| 7.4.1 稳压二极管稳压电路             | 120        |
| 7.4.2 串联型稳压电路的工作原理          | 122        |
| 7.4.3 集成稳压电路                | 124        |
| 小结                          | 125        |

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 思考题与练习题              | 126 |
| <b>第 8 章 数字电路基础</b>  | 129 |
| 8.1 数字信号的基础知识        | 130 |
| 8.1.1 数字信号与模拟信号      | 130 |
| 8.1.2 脉冲的基本知识        | 130 |
| 8.2 数制与码制            | 132 |
| 8.2.1 数制             | 132 |
| 8.2.2 常用的几种编码        | 133 |
| 8.3 逻辑代数             | 134 |
| 8.3.1 逻辑代数中的三种基本逻辑关系 | 134 |
| 8.3.2 基本公式和常用公式      | 138 |
| 8.3.3 逻辑代数中的基本规则     | 140 |
| 8.3.4 逻辑函数及其表示方法     | 141 |
| 8.4 逻辑函数的公式化简法       | 145 |
| 8.5 逻辑函数的卡诺图化简法      | 147 |
| 小结                   | 151 |
| 思考题与练习题              | 152 |
| <b>第 9 章 门电路</b>     | 155 |
| 9.1 晶体管的开关特性         | 156 |
| 9.1.1 晶体二极管的开关特性     | 156 |
| 9.1.2 晶体三极管的开关特性     | 156 |
| 9.1.3 MOS 管的开关特性     | 157 |
| 9.2 简单的与或非门电路        | 158 |
| 9.3 TTL 集成门电路        | 159 |
| 9.3.1 TTL 非门         | 159 |
| 9.3.2 其他逻辑功能的集成门电路   | 161 |
| 9.3.3 TTL 集成门电路的正确使用 | 162 |
| 9.4 MOS 集成门电路        | 163 |
| 9.4.1 CMOS 门电路       | 163 |
| 9.4.2 CMOS 其他逻辑门电路   | 164 |
| 9.4.3 MOS 门电路的正确使用   | 165 |
| 小结                   | 165 |
| 思考题与练习题              | 165 |
| <b>第 10 章 组合逻辑电路</b> | 167 |
| 10.1 组合逻辑电路的分析       | 167 |
| 10.1.1 组合逻辑电路的分析方法   | 168 |

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| 10.1.2 编码器                 | 169        |
| 10.1.3 译码器                 | 174        |
| 10.1.4 加法器                 | 182        |
| 10.1.5 数值比较器               | 185        |
| 10.1.6 数据选择器和数据分配器         | 187        |
| 10.2 组合逻辑电路的设计             | 191        |
| 10.2.1 采用小规模集成器件的组合逻辑电路的设计 | 191        |
| 10.2.2 采用中规模集成器件实现组合逻辑函数   | 193        |
| 10.3* 组合逻辑电路的竞争冒险          | 194        |
| 小结                         | 196        |
| 思考题与练习题                    | 197        |
| <b>第 11 章 时序逻辑电路</b>       | <b>200</b> |
| 11.1 触发器                   | 201        |
| 11.1.1 触发器的基本概念            | 201        |
| 11.1.2 基本 RS 触发器           | 201        |
| 11.1.3 同步 RS 触发器           | 203        |
| 11.1.4 其他逻辑功能的触发器          | 205        |
| 11.1.5 主从触发器               | 208        |
| 11.1.6 边沿触发器               | 209        |
| 11.1.7 触发器的逻辑功能及其描述        | 212        |
| 11.2 时序逻辑电路的分析方法           | 218        |
| 11.2.1 同步时序逻辑电路的分析方法       | 219        |
| 11.2.2* 异步时序逻辑电路的分析方法      | 220        |
| 11.3 若干常用的时序逻辑电路           | 222        |
| 11.3.1 计数器                 | 222        |
| 11.3.2 寄存器                 | 229        |
| 11.3.3* 顺序脉冲发生器            | 232        |
| 11.4 时序逻辑电路的设计方法           | 233        |
| 小结                         | 235        |
| 思考题与练习题                    | 236        |
| <b>第 12 章 脉冲波形的产生与变换</b>   | <b>240</b> |
| 12.1 用集成门电路构成的脉冲单元电路       | 241        |
| 12.1.1 施密特触发器              | 241        |
| 12.1.2 单稳态触发器              | 244        |
| 12.1.3 多谐振荡器               | 247        |
| 12.2 555 定时器及其应用           | 249        |
| 12.2.1 555 定时器的电路结构及工作原理   | 249        |

|                                                |            |
|------------------------------------------------|------------|
| 12.2.2 555 定时器的应用 .....                        | 251        |
| 小结 .....                                       | 254        |
| 思考题与练习题 .....                                  | 255        |
| <b>第 13 章* 半导体存储器及其可编程逻辑器件 .....</b>           | <b>256</b> |
| 13.1 只读存储器(ROM) .....                          | 257        |
| 13.1.1 固定 ROM .....                            | 257        |
| 13.1.2 可编程 ROM .....                           | 258        |
| 13.2 随机存取存储器(RAM) .....                        | 259        |
| 13.2.1 静态随机存储器(SRAM) .....                     | 259        |
| 13.2.2 动态随机存储器(DRAM) .....                     | 260        |
| 13.3 可编程逻辑器件介绍 .....                           | 260        |
| 小结 .....                                       | 262        |
| 思考题与练习题 .....                                  | 263        |
| 实训一 收音机的安装与调试 .....                            | 263        |
| 实训二 数字钟的安装与调试 .....                            | 269        |
| <b>附录 1 Electronics Workbench EDA 简介 .....</b> | <b>274</b> |
| <b>附录 2 半导体器件型号与符号的意义 .....</b>                | <b>282</b> |
| <b>附录 3 部分晶体二极管的主要参数 .....</b>                 | <b>284</b> |
| <b>附录 4 部分晶体三极管的主要参数 .....</b>                 | <b>285</b> |
| <b>附录 5 部分日本晶体管的主要参数 .....</b>                 | <b>286</b> |
| <b>参考资料 .....</b>                              | <b>288</b> |

# 第 1 章

# 常用半导体器件

## 本章内容

- 半导体基本知识。
- 晶体二极管。
- 晶体三极管。
- 场效应管。

## 本章重点

- 晶体二极管的符号、主要参数、伏安特性。
- 晶体三极管的符号、主要参数、伏安特性。
- 场效应管的符号、主要参数、伏安特性。

## 本章难点

- 半导体基本知识、PN 结等概念。
- 晶体二极管、晶体三极管的伏安关系。

## 本章学时数

- 4 学时。

## 学习本章目的和要求

- 掌握基本概念。
- 牢记晶体二极管、晶体三极管和场效应管的电路符号。
- 了解晶体二极管、晶体三极管和场效应管的特性，为后面的章节打下基础。

将所有的物质按照导电性能进行分类，可以分为导体、绝缘体和半导体三类。导电性能良好的物体称为导体，例如铜、铁、铝等金属；几乎不导电的物体称为绝缘体，例如橡胶、陶瓷、干木头等；导电性能介于导体与绝缘体之间的物体称为半导体，例如硅、锗等。本章介绍半导体及其应用。

## 1.1 半导体基础知识

半导体是制作晶体二极管、晶体三极管、场效应管和集成电路的材料。但是，并不

是因为半导体的导电性能介于导体与绝缘体之间，而是因为半导体有如下所述的特殊导电性能。

① 半导体的电阻率随着温度的升高而下降，即温度升高，半导体的导电能力增强。

② 半导体的导电能力受掺入杂质的影响显著，即在半导体材料中掺入微量杂质（特定的元素），电阻率下降，导电能力增强。

③ 半导体的导电能力随着光照强度的增强而增强。

#### 1. 本征半导体

常用的半导体材料有硅（元素符号为 Si）和锗（元素符号为 Ge）两种。**纯净的半导体称为本征半导体**。因为半导体的原子结构是晶体结构，所以用半导体材料做成的二极管、三极管又称为晶体二极管、晶体三极管。

半导体硅元素和锗元素的单个原子都是四价元素，其原子结构为共价键结构。共价键结构是相对稳定的结构，所以半导体的导电性能不如导体。在室温下有少数的价电子（共价键中的电子称为价电子）可以从原子的热运动中获得能量，挣脱共价键的束缚，成为带负电荷的自由电子；在原来的位置上留下一个带正电荷的空位，这个空位称为空穴。**在本征半导体中自由电子和空穴是成对出现的所以称为电子—空穴对**。在外加电压的作用下，形成带负电荷的电子流和带正电荷的空穴流，所以电子和空穴都称为载流子。也可以说本征半导体中有两种载流子参与导电，一种是带负电荷的自由电子，另一种是带正电荷的空穴。两种载流子所带的电量相等、极性相反，对外不显电性。因为电流的方向规定：正电荷运动的方向为电流的正方向，所以空穴移动的方向和自由电子移动的相反的方向为电流的正方向。自由电子与空穴相遇时也会中和，称为复合。一定温度下，电子—空穴对的产生与复合达到动态平衡。常温下，本征半导体中的载流子很少，所以导电能力很弱。在光照、温度升高外界条件影响下，电子—空穴对的数量增加，所以导电能力增强。利用这一特性可以制作热敏电阻、光敏电阻等热敏器件和光敏器件，这是半导体的应用之一。

由于常温下本征半导体导电能力差，要提高它的导电能力，制造成具有特殊性能的晶体管，必须掺入微量的杂质（特定元素），这就是杂质半导体。

#### 2. 杂质半导体

**掺入杂质以后的半导体称为杂质半导体**。根据掺入的杂质不同，杂质半导体分为 N 型半导体和 P 型半导体两种。

##### (1) N 型半导体

在本征半导体硅（或锗）元素中掺入五价元素，例如磷（元素符号 P），就可以得到 N 型半导体。用五价元素磷代替某些位置上的四价元素硅（或锗），五价元素有 5 个价电子，其中 4 个与硅（或锗）原子形成共价键结构，剩余 1 个价电子只受磷原子核的吸引，吸引力较弱，常温下即可以成为自由电子。磷原子由于失去了一个价电子而成为带正电荷的磷离子，带正电荷的磷离子数目与带负电荷的自由电子数目相等、极性相反，对外仍不显电性。正离子是不能移动的，所以不参与导电。室温下掺入的磷原子越多，得到的自由电子和正离子越多，但是空穴数不会因此而增加，所以 N 型半导体中自由电子占大多数，称为多数载流子；而空穴称为少数载流子。在外电场的作用下电流中主要部分是电子流，这种以电子导电为主的半导体称为 N 型半导体。如果在硅元素中掺入五价元素，得到的杂质半导体称为 N 型硅；如果在锗元素中掺入五价元素，得到的杂质半导体称为 N 型锗。



### (2) P 型半导体

在本征半导体硅（或锗）元素中掺入三价元素，例如硼（元素符号 B），就可以得到 P 型半导体。用三价元素硼代替某些位置上的四价元素硅（或锗），三价元素有 3 个价电子，要与硅（或锗）原子形成 4 个共价键结构，还少一个价电子，只能在共价键中留出一个空位子，这就是空穴。它要靠从别的地方“俘获”一个电子来填补，以组成相对的稳定结构。室温下，临近硅（或锗）原子的价电子很容易填补这个空穴，于是就产生了新的空穴，相当于硼原子向外释放了一个空穴，硼原子由于得到了一个价电子而成为带负电荷的硼离子，带负电荷的硼离子数目与带正电荷的空穴数目相等、极性相反，对外仍不显电性。负离子是不能移动的，所以不参与导电。室温下掺入的硼原子越多，得到的空穴和负离子越多，但是自由电子数不会因此而增加，所以 P 型半导体中空穴占大多数，称为多数载流子；而自由电子称为少数载流子。在外电场的作用下电流中主要部分是空穴流，这种以空穴导电为主的半导体称为 P 型半导体。如果在硅元素中掺入三价元素，得到的杂质半导体称为 P 型硅；如果在锗元素中掺入三价元素，得到的杂质半导体称为 P 型锗。

### 3. PN 结

将 N 型半导体与 P 型半导体采用特殊的工艺结合在一起时，在其交界处会形成一种特殊的阻挡层，这就是 PN 结。PN 结的形成过程可查阅其他书籍，本书不再赘述。

PN 结具有很重要的特性——单向导电性。实际电路中，PN 结上总是要加上一定的电压，外加电压的极性不同，导电性能差异很大。PN 结的单向导电性如图 1-1 所示。

#### (1) PN 结加正向电压——导通

将 PN 结按照图 1-1 (a) 所示接上电源（P 区接电源的正极，N 区接电源的负极）称为加正向电压，加正向电压时阻挡层（PN 结）变窄，电阻变小，电流增大，称为 PN 结处于导通状态。

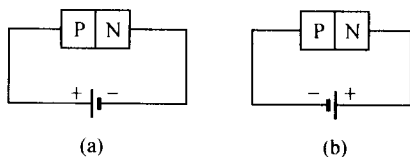


图 1-1 PN 结的单向导电性

#### (2) PN 结加反向电压——截止

将 PN 结按照图 1-1 (b) 所示接上电源（N 区接电源的正极，P 区接电源的负极）称为加反向电压，加反向电压时阻挡层（PN 结）变宽，电阻变大，电流减小，称为 PN 结处于截止状态。

综上所述，当 PN 结加正向电压时会导通，加反向电压时会截止，这就是 PN 结的单向导电性。利用 PN 结的这一特性，可以制成晶体二极管、晶体三极管等半导体器件。

## 1.2 晶体二极管

### 1. 晶体二极管的结构

用外壳把一个 PN 结封装起来，从 P 区和 N 区各引出一个电极，就组成一个晶体二极管，简称二极管，用 VD 表示。二极管具有一个 PN 结、两个电极，主要的特点是单向导电性。示意图如图 1-2 (a) 所示。图 1-2 (b) 所示是二极管的电路符号。

从 P 区引出的电极称为二极管的正极，从 N 区引出的电极称为二极管的负极。正常工作时电流由正极流向负极。