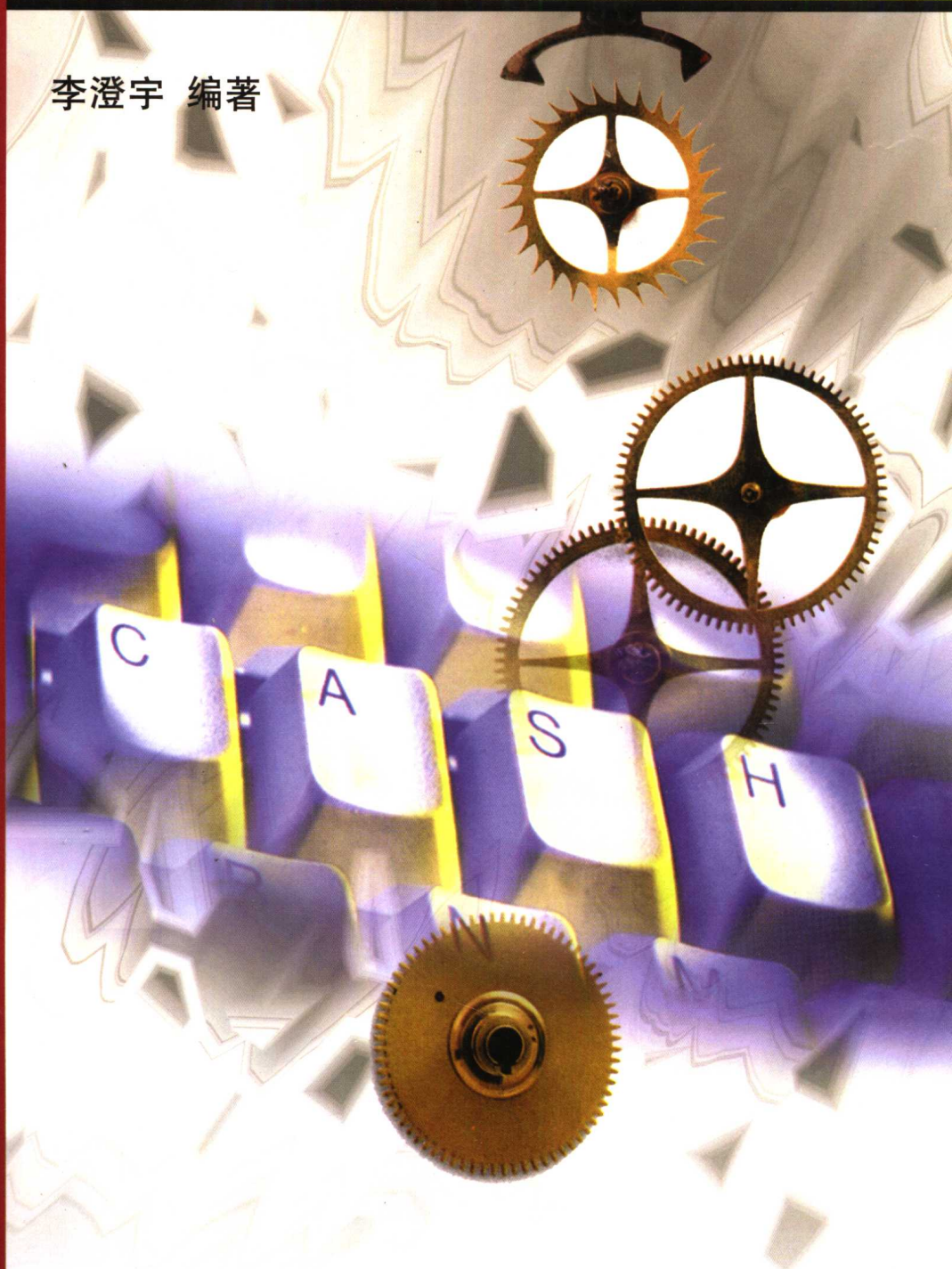


中等专业学校计算机专业教材

# 模拟电路与数字电路基础

李澄宇 编著



科学出版社

中等专业学校计算机专业教材

# 模拟电路与数字电路基础

李澄宇 编著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书从职业中专实际出发,精选教学内容,着重讲解电子技术中的基本概念、基本原理和基本分析方法。

本书分上下两篇。上篇模拟电路基础包括:半导体二极管及整流滤波电路、半导体三极管与放大电路、场效应管及其放大电路、负反馈放大器、正弦波振荡器、直流放大器与集成运算放大器、功率放大电路、直流稳压电源。下篇数字电路基础包括:逻辑门电路、数制与逻辑代数、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲信号的产生与整形电路、数-模和模-数转换。

本书可作为中等专业学校电子、计算机、机电等专业的教材,也可作为其它中等专业学校、成人中专、职业培训等相关专业教材,以及具有初中以上文化程度的人员自学用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

模拟电路与数字电路基础/李澄宇编著.-北京:科学出版社,  
2000

(中等专业学校计算机专业教材)

ISBN 7-03-008276-1

I. 模… I. 李… III. ①模拟电路-专业学校-教材  
②数字电路-专业学校-教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 62692 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2000年8月第一版 开本:787×1092 1/16

2004年2月第三次印刷 印张:12

印数:6 501—8 500 字数:280 000

定价:18.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈路通〉)

# 中等专业学校计算机专业教材

## 编 委 会

主 编 江起中

副 主 编 谢希仁 王元元 肖经建 徐一冰

责任副主编 王元元

编 委 江起中 谢希仁 王元元 肖经建

徐一冰 贺 乐 李秀琴 张正杰

程自强 贺雅娟 王庆瑞 周华英

王景玉 张锦涛

## 出版说明

在计算机科学技术飞速发展、广泛应用、深入普及的今天,计算机科学技术图书的出版发行轰轰烈烈、规模空前。但是,在浩瀚的计算机出版物中,人们很难寻觅到适合当前中等专业技术学校使用的计算机专业及专业基础教材,更难发现适合具有高中文化程度的计算机爱好者、“发烧友”系统学习计算机基础知识的图书。因此,我们组织了部分具有丰富中等专业技术教育经验的优秀教师和部分计算机技术专家,编写了这套中等专业学校计算机专业教材。

“中等专业学校计算机专业教材”大致可以分为以下三个模块:

(1) 专业基础知识模块,包括:

- 计算机应用基础
- 计算机数学初步
- 模拟电路和数字电路基础
- 计算机英语阅读
- 数据结构与算法入门

(2) 专业知识模块,包括:

- PASCAL 程序设计实践
- 数据库应用基础
- 计算机操作系统基础
- 数据通信基础
- C 语言程序设计
- 微型计算机原理入门
- 计算机网络技术基础
- 多媒体技术基础

(3) 实用技术模块,包括:

- 视窗系统及办公应用软件
- 微型计算机系统故障诊断与维护
- 因特网应用入门
- 计算机绘图

我们衷心感谢南京市中等专业(走读)学校的教师在教材编撰过程中所给予的大力支持和关心指导,衷心感谢中国人民解放军理工大学计算机与指挥自动化学院专家、教授们的精心组织和辛勤工作,衷心感谢南京同创计算机学校各级领导和老师们,感谢他们的通力协作和在部分书稿试用阶段的卓有成效的实践。

中等专业学校计算机专业教材

编委会

1999年 7月

## 前 言

模拟电路与数字电路基础是中等职业学校电子、计算机、机电等专业的一门重要的技术基础课。中等职业学校的实际情况有别于一般的中等专业学校，而又不同于职业高中，考虑到学生的程度，在教材内容的选择上力求采用目前常用的最基本的单元电路，在教材写法上由浅入深，注重讲清电路的基本概念、基本理论与基本分析方法。

全书分上下两篇，共 14 章。上篇为第一章至第八章，介绍模拟电路基础，包括：半导体二极管及整流滤波电路、半导体三极管与放大电路、场效应管及其放大电路、负反馈放大器、正弦波振荡器、直流放大器与集成运算放大器、功率放大电路、直流稳压电源。下篇是第九章至第十四章，介绍数字电路基础，包括：逻辑门电路、数制与逻辑代数、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲信号的产生与整形电路、数-模和模-数转换。各章均配有本章小结和适量的练习与思考题。

在本书的编写过程中，承蒙南京航空航天大学陈鸿茂教授仔细审阅全稿，并提出了详细修改意见。由于编者的水平有限，这些意见或许未能在定稿中一一体现。编者在此表示衷心感谢。

由于编者水平所限，加之时间仓促，书中错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

1999 年 10 月

# 目 录

## 上篇 模拟电路基础

<b>第一章 半导体二极管与整流滤波电路</b> .....	(1)
1.1 半导体的基本知识 .....	(1)
1.1.1 导体、半导体和绝缘体 .....	(1)
1.1.2 本征半导体 .....	(2)
1.1.3 杂质半导体 .....	(2)
1.1.4 PN 结 .....	(3)
1.2 半导体二极管 .....	(5)
1.2.1 二极管的结构和分类 .....	(5)
1.2.2 二极管的伏安特性和主要参数 .....	(5)
1.2.3 稳压二极管 .....	(6)
1.3 单相整流电路 .....	(7)
1.3.1 单相半波整流电路 .....	(8)
1.3.2 单向全波整流电路 .....	(9)
1.3.3 单相桥式整流电路 .....	(10)
1.4 滤波电路 .....	(11)
1.4.1 电容滤波电路 .....	(11)
1.4.2 电感滤波电路 .....	(13)
1.4.3 $\pi$ 型滤波电路 .....	(13)
本章小结 .....	(14)
习题一 .....	(15)
<b>第二章 半导体三极管与放大电路</b> .....	(16)
2.1 半导体三极管 .....	(16)
2.1.1 半导体三极管的结构、分类和符号 .....	(16)
2.1.2 三极管的放大原理 .....	(16)
2.1.3 三极管的特性曲线 .....	(18)
2.1.4 三极管的主要参数 .....	(20)
2.2 三极管基本放大电路 .....	(22)
2.2.1 基本放大电路的组成及放大原理 .....	(22)
2.2.2 图解分析法 .....	(26)
2.2.3 微变等效电路分析法 .....	(30)
2.2.4 稳定静态工作点的偏置电路 .....	(33)
2.2.5 基本放大电路三种连接方式 .....	(35)
2.3 放大电路的频率特性 .....	(36)
2.4 多级放大器 .....	(37)

本章小结 .....	(39)
习题二 .....	(40)
<b>第三章 场效应管及其放大器 .....</b>	<b>(42)</b>
3.1 结型场效应管 .....	(42)
3.1.1 结型场效应管的结构与基本工作原理 .....	(42)
3.1.2 结型场效应管的特性曲线 .....	(43)
3.2 绝缘栅场效应管 .....	(44)
3.2.1 N 沟道增强型场效应管 .....	(44)
3.2.2 N 沟道耗尽型场效应管 .....	(45)
3.3 场效应管的主要参数和使用注意事项 .....	(46)
3.3.1 场效应管的主要参数 .....	(46)
3.3.2 场效应管的使用注意事项 .....	(47)
3.4 场效应管放大电路 .....	(47)
3.4.1 共源放大电路 .....	(47)
3.4.2 源极输出器 .....	(50)
本章小结 .....	(51)
习题三 .....	(52)
<b>第四章 负反馈放大器 .....</b>	<b>(53)</b>
4.1 反馈的基本概念 .....	(53)
4.1.1 反馈放大器的方框图 .....	(53)
4.1.2 反馈放大器的基本关系式 .....	(53)
4.1.3 负反馈的分类及其判别 .....	(54)
4.2 负反馈对放大器性能的影响 .....	(56)
4.3 射极输出器 .....	(58)
4.3.1 电路的分析计算 .....	(58)
4.3.2 射极输出器的应用 .....	(61)
4.4 负反馈放大器的自激振荡 .....	(62)
本章小结 .....	(62)
习题四 .....	(63)
<b>第五章 正弦波振荡器 .....</b>	<b>(64)</b>
5.1 正弦波振荡器的基本原理 .....	(64)
5.2 LC 正弦波振荡电路 .....	(65)
5.2.1 变压器反馈式 LC 振荡器 .....	(65)
5.2.2 三点式 LC 振荡电路 .....	(66)
5.3 RC 正弦波振荡电路 .....	(67)
5.3.1 RC 选频振荡器 .....	(67)
5.3.2 RC 移相式振荡器 .....	(69)
5.4 石英晶体振荡器 .....	(70)
5.4.1 石英晶体的压电特性与等效电路 .....	(70)
5.4.2 石英晶体振荡电路 .....	(71)
本章小结 .....	(72)



习题五 .....	(72)
<b>第六章 直流放大器与集成运算放大器 .....</b>	<b>(74)</b>
6.1 直流放大器的基本概念 .....	(74)
6.2 差动放大器 .....	(75)
6.2.1 差动放大器的基本结构与工作原理 .....	(75)
6.2.2 典型差动放大器 .....	(77)
6.2.3 具有恒流源的差动放大器 .....	(77)
6.2.4 差动放大器的几种输入、输出方式 .....	(78)
6.3 集成运算放大器的基本概念 .....	(79)
6.4 集成运算放大器的应用 .....	(82)
6.4.1 比例运算放大器 .....	(82)
6.4.2 求和电路 .....	(84)
6.4.3 电压比较器 .....	(85)
本章小结 .....	(86)
习题六 .....	(86)
<b>第七章 功率放大电路 .....</b>	<b>(88)</b>
7.1 概述 .....	(88)
7.2 单管功率放大电路 .....	(89)
7.3 乙类推挽功率放大电路 .....	(90)
7.4 直接耦合互补对称电路 (OCL 电路) .....	(92)
7.4.1 乙类互补对称电路 .....	(93)
7.4.2 甲乙类互补对称电路 .....	(94)
7.5 单电源互补对称电路 (OTL 电路) .....	(94)
本章小结 .....	(96)
习题七 .....	(96)
<b>第八章 直流稳压电源 .....</b>	<b>(97)</b>
8.1 直流稳压电源概述 .....	(97)
8.2 并联型硅稳压管稳压电路 .....	(98)
8.3 三极管串联型稳压电路 .....	(99)
8.4 集成稳压电源 .....	(102)
8.4.1 固定式三端集成稳压器 W7800 (W7900) 系列 .....	(102)
8.4.2 可调式三端集成稳压器 .....	(105)
8.4.3 集成稳压器应用电路举例 .....	(105)
本章小结 .....	(107)
习题八 .....	(107)

## 下篇 数字电路基础

<b>第九章 逻辑门电路 .....</b>	<b>(108)</b>
9.1 晶体管的开关特性 .....	(108)
9.1.1 二极管的开关特性 .....	(108)

9.1.2	三极管的开关特性 .....	(108)
9.2	基本逻辑门 .....	(110)
9.2.1	与门电路 .....	(110)
9.2.2	或门电路 .....	(111)
9.2.3	非门电路 .....	(112)
9.2.4	复合门电路 .....	(112)
9.3	TTL 集成逻辑门 .....	(114)
9.3.1	TTL 与非门的工作原理简述 .....	(115)
9.3.2	TTL 与非门的电压传输特性 .....	(115)
9.3.3	TTL 集成电路的主要参数 .....	(116)
9.4	CMOS 逻辑门 .....	(117)
9.4.1	CMOS 反相器 .....	(117)
9.4.2	CMOS 门电路 .....	(118)
9.4.3	CMOS 传输门 .....	(119)
	本章小结 .....	(119)
	习题九 .....	(120)
<b>第十章</b>	<b>数制与逻辑代数</b> .....	(121)
10.1	数制与码 .....	(121)
10.1.1	数制 .....	(121)
10.1.2	数码 .....	(123)
10.2	逻辑代数基本公式 .....	(125)
10.2.1	基本逻辑运算 .....	(125)
10.2.2	逻辑代数基本定律 .....	(125)
10.3	逻辑函数的化简 .....	(126)
10.4	逻辑函数、逻辑图与真值表的关系 .....	(128)
10.4.1	逻辑电路与逻辑函数式的互换 .....	(128)
10.4.2	逻辑函数与真值表的互化 .....	(128)
	本章小结 .....	(129)
	习题十 .....	(130)
<b>第十一章</b>	<b>组合逻辑电路</b> .....	(131)
11.1	组合逻辑电路的分析和设计方法 .....	(131)
11.1.1	组合逻辑电路的分析方法 .....	(131)
11.1.2	组合逻辑电路的设计方法 .....	(132)
11.2	编码器 .....	(133)
11.3	译码器 .....	(135)
11.4	数字显示电路 .....	(138)
11.5	比较器 .....	(139)
11.6	加法器 .....	(140)
	本章小结 .....	(142)
	习题十一 .....	(142)

<b>第十二章 时序逻辑电路</b> .....	(144)
12.1 触发器 .....	(144)
12.1.1 RS 触发器 .....	(144)
12.1.2 JK 触发器 .....	(147)
12.1.3 D 触发器和 T 触发器 .....	(149)
12.2 寄存器 .....	(150)
12.2.1 数码寄存器 .....	(150)
12.2.2 移位寄存器 .....	(151)
12.3 二进制计数器 .....	(153)
12.3.1 异步二进制计数器 .....	(153)
12.3.2 同步二进制计数器 .....	(155)
12.4 8421 码异步十进制计数器 .....	(156)
本章小结 .....	(157)
习题十二 .....	(157)
<b>第十三章 脉冲信号的产生与整形电路</b> .....	(160)
13.1 多谐振荡器 .....	(160)
13.1.1 集成与非门基本多谐振荡器 .....	(160)
13.1.2 RC 环形多谐振荡器 .....	(161)
13.1.3 石英晶体多谐振荡器 .....	(162)
13.2 单稳态触发器 .....	(162)
13.2.1 微分型单稳态触发器 .....	(162)
13.2.2 单稳态触发器的应用举例 .....	(163)
13.3 施密特触发器 .....	(164)
13.3.1 与非门组成的施密特触发器 .....	(165)
13.3.2 施密特触发器的应用 .....	(166)
13.4 555 集成定时电路 .....	(167)
13.4.1 555 定时电路 .....	(167)
13.4.2 定时器的应用 .....	(168)
本章小结 .....	(170)
习题十三 .....	(171)
<b>第十四章 数-模和模-数转换</b> .....	(172)
14.1 数-模转换器 DAC .....	(172)
14.1.1 T 形电阻 DAC .....	(172)
14.1.2 倒 T 形电阻 DAC .....	(174)
14.2 模-数转换器 ADC .....	(175)
14.2.1 模-数转换器的基本原理 .....	(175)
14.2.2 并行比较型 ADC .....	(176)
14.2.3 逐次比较型 ADC .....	(177)
本章小结 .....	(178)
习题十四 .....	(178)
<b>参考文献</b> .....	(179)

# 上篇 模拟电路基础

电子技术是现代科学技术的一个重要组成部分，在各个领域都得到广泛的应用。电子技术也称为电子学，它研究的对象是电子器件和由电子器件构成的各种基本功能电路，以及由某些基本功能电路所组成的具有一定用途的装置和系统。电子技术又分为模拟电子技术和数字电子技术两部分。模拟电子技术是研究在模拟信号（平滑且连续变化的电压或电流）下工作的电子电路；而数字电子技术是研究在数字信号（离散且不连续变化的电压或电流）下工作的电子电路。

本篇将介绍模拟电子电路的基本知识，通过各种半导体器件及其电路来阐明电子技术中的基本概念、原理和分析方法。

## 第一章 半导体二极管与整流滤波电路

### 1.1 半导体的基本知识

#### 1.1.1 导体、半导体和绝缘体

在自然界中，存在着许多不同的物质，有的物质很容易传导电流，称为导体，如铜、铝、铁等金属。有的物质几乎不传导电流，称为绝缘体，如塑料、陶瓷、石英等。此外还有一类物质，它的导电能力介于导体和绝缘体之间，称为半导体，如锗、硅、硒等。

物质导电性能的差异，是由于各种物质的原子结构的不同以及原子与原子之间的结合方式的不同而造成的。原子由一个带正电的原子核和若干个带负电的电子组成，正负电荷相等，原子对外不显电性。在原子内部，电子按照一定的规律围绕原子核分层排列。原子核对最外层电子的束缚力最小，最外层电子称为价电子，半导体的导电性质与价电子有关。最常用的半导体材料是锗和硅，它们的原子结构如图 1.1 所示。锗和硅的最外层电子都是四个，即锗和硅都有四个价电子。

现在所用的半导体材料都为单晶体，即整个晶体的原子按照一定的规律整齐排列。锗原子和硅原子组成单晶体后，原子之间靠得很近，原来分属于每个原子的价电子除受本身原子核束缚外，还要受到相邻原子的影响，从而成为这两个原子的“共有”价电子。价电子把相邻的两个原子紧密地结合在一起，这种共有电子形成的结合作用叫做共价键。锗和硅都有四个价电子，所以每个原子都和周围四个原子形成四个共价键，如图 1.2 所示。由于共价键的作用，每个原子在晶体中按一定形式排列，而共价键中的电子，由于受两个原子核引力的约束，在绝对零度和无外界激发时，不能自由移动，这时半导体中几乎

没有自由电子，故不导电。

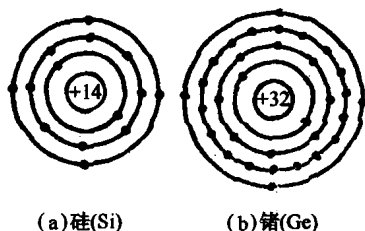


图 1.1 硅和锗原子结构示意图

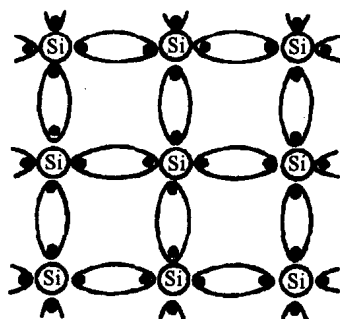


图 1.2 硅单晶体的共价键结构示意图

### 1.1.2 本征半导体

本征半导体就是不含任何杂质、完全纯净的半导体，它在绝对零度和没有外界激发时不导电。而在常温下，本征半导体只要获得一定的外界能量，少数价电子就会挣脱共价键和原子核对它的束缚，成为自由电子。这样在价电子原来的位置上就留下了一个“空位”，称为空穴，该原子也因此带正电，即相当于空穴带一个正电荷。本征半导体中

自由电子和空穴是成对出现的，常称为电子-空穴对。

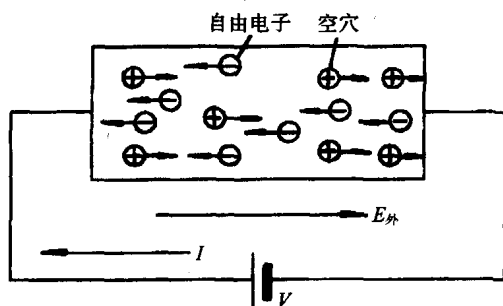


图 1.3 外电场作用下载流子的运动

由于出现了空穴，邻近的共有电子就可以补充到这个空位上，而在这个电子原来的位置上又留下新的空位，即空穴携带正电荷移动。在外电场作用下，本征半导体中的自由电子和空穴携带不同的电荷作定向运动，形成电子电流和空穴电流，流过半导体的总电流即为这两种电流之和，如图 1.3 所示。我们把自由电子和空穴统称为载流子。

### 1.1.3 杂质半导体

本征半导体的导电能力很差，但若掺入微量的杂质，就会使其导电性能发生显著的改变。人们正是利用半导体这一特点，根据不同需要制成各种性能的半导体器件。

杂质半导体因掺入杂质的不同，可分为N型半导体和P型半导体。

#### (1) N型半导体

在本征半导体中掺入少量的五价元素杂质，如磷、锑等，就可以得到N型半导体。五价元素杂质称为N型杂质或施主杂质。

以掺入磷为例，如图 1.4 所示。一个磷原子有五个价电子，其中四个与周围的硅原子构成共价键，还剩余一个价电子只受自身原子核的吸引，只要外界施加一些能量，它就可以挣脱原子核的吸引，成为自由电子。掺入一个五价元素的原子，就能提供一个自

由电子。

在N型半导体中,起导电作用的主要是自由电子,它在全部载流子中占绝大多数,被称为多数载流子。

## (2) P型半导体

在本征半导体中掺入少量的三价元素杂质,如硼、镓等,就得到了P型半导体。三价元素杂质称为P型杂质或受主杂质。

以掺入硼为例,如图1.5所示。一个硼原子有三个价电子,它与周围硅原子组成共价键时,因缺少一个电子,在晶体中便产生了一个空穴。当相邻共价键上的电子获得能量时,就会来填补这个空位,而在原来的位置上又会产生新的空穴。掺入一个三价元素的原子,就会出现一个空穴。

在P型半导体中,空穴为多数载流子。

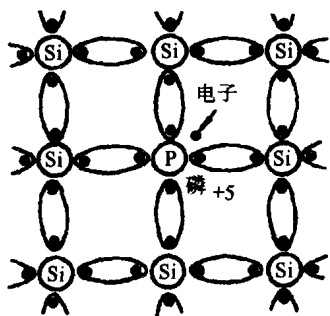


图 1.4 硅中掺磷形成N型半导体

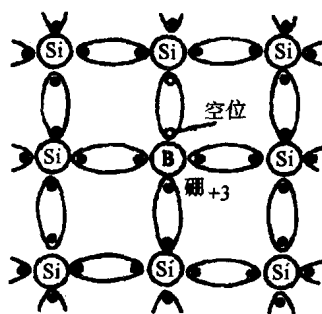


图 1.5 硅中掺硼形成P型半导体

### 1.1.4 PN结

经过特殊的加工处理,在一块晶片上,将一边做成P型半导体,另一边做成N型半导体,在P型和N型半导体的交界面上就会形成一个特殊的带电薄层,这个带电薄层被称作PN结。

#### 1. PN结的形成

当P型半导体和N型半导体结合在一起时,P型半导体中的空穴浓度远高于N型半导体中的空穴浓度,而N型半导体中的电子浓度又远大于P型半导体中的电子浓度。由于这个浓度差,使得P型半导体中的空穴向N型半导体扩散,N型半导体中的电子向P型半导体扩散,如图1.6所示。在扩散的过程中,电子和空穴不断地相遇而复合,结果P型半导体一侧失去空穴,留下了带负电的离子;而N型半导体一侧失去电子,留下了带正电的离子。这些带电离子是不能移动的,它们集中在两种半导体的交界面附近,形成一个很薄的空间电荷区,这就是PN结。这个空间电荷区中的正、负离子形成了一个空间电场,其方向是由N区指向P区,称为内电场,如图1.7所示。这个内电场是由多数载流子的扩散运动形成的,而它的形成又阻碍了多数载流子扩散的进一步进行,即内电场的方向与多数载流子扩散运动方向相反,所以PN结也称为阻挡层。

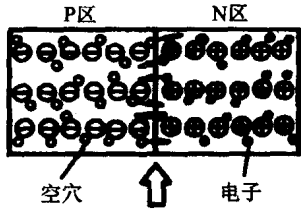


图 1.6 多数载流子的扩散运动

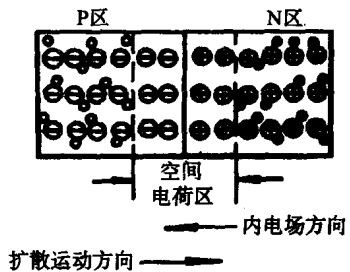


图 1.7 PN 结的形成

内电场在阻碍多数载流子扩散的同时，还促使少数载流子通过 PN 结。P 区的少子（电子）和 N 区的少子（空穴）在内电场的作用下，作与扩散运动反方向的运动，我们把少数载流子在内电场作用下的运动叫做漂移运动。

可见，在 PN 结建立的过程中，载流子的运动形式有两种：扩散运动和漂移运动。扩散运动使空间电荷区加宽，漂移运动使空间电荷区变窄。当扩散运动和漂移运动相等时，PN 结便达到动态平衡状态，空间电荷区变为稳定。

## 2. PN 结的单向导电性

在 PN 结上无外加电压时，扩散运动和漂移运动达到了动态平衡。当在 PN 结两端加上外加电压时，这种平衡便被打破。

### (1) PN 结加正向电压导通

在 PN 结上加正向电压，即电源的正极接 P 区，负极接 N 区，P 区电位高于 N 区电位，此时称 PN 结正向偏置，如图 1.8 所示。

PN 结加上正向偏置电压时，外加电压产生的电场与内电场方向相反，使内电场的作用减弱，有利于载流子的扩散运动。这时扩散运动超过漂移运动，多数载流子在外加电源的作用下源源不断地越过 PN 结，形成较大的电流——正向电流，PN 结呈现低阻性。所加的正向电压越大，PN 结的正向电阻就越小，正向电流也就越大。此状态即为 PN 结的导通状态。

### (2) PN 结加反向电压截止

在 PN 结上加反向电压，即电源的正极接 N 区，负极接 P 区，N 区电位高于 P 区电位，此时称 PN 结反向偏置，如图 1.9 所示。

PN 结加上反向偏置电压时，外加电压的方向与内电场的方向相同，使内电场的作用进一步加强，多数载流子的扩散运动进一步受阻，且扩散运动小于漂移运动，少数载流子在电场的作用下通过 PN 结，形成很小的反向电流（扩散电流接近于零），此时 PN 结呈现高阻性。如忽略反向电流，PN 结处于截止状态。反向电压越大，PN 结反向电阻也越大。PN 结的反向电流是由本征激发产生的少数载流子形成的，因而反向电流与所加的反向电压基本无关，而与温度有很密切的关系。反向电流也称为反向饱和电流。

从上面的分析可见，PN 结正向偏置时导通，反向偏置时截止。这就是 PN 结所具有的特性——单向导电性。

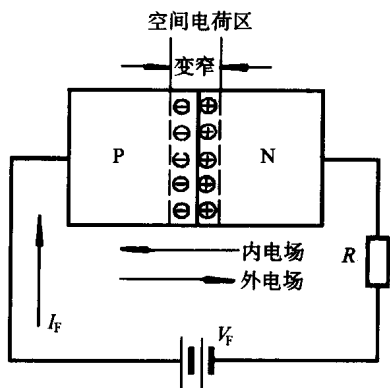


图 1.8 PN 结加正向电压导通

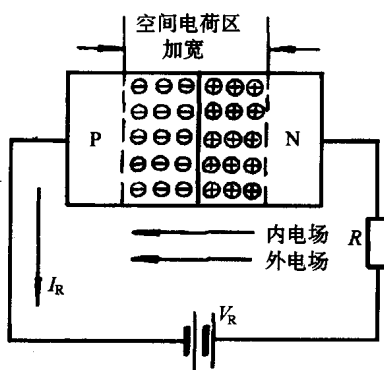


图 1.9 PN 结加反向电压截止

## 1.2 半导体二极管

### 1.2.1 二极管的结构和分类

半导体二极管也称为晶体二极管（简称二极管），它是由一个PN结构成的。实际的二极管是把一个PN结封装在一个密封的外壳中，从P区和N区各引出一个电极形成的。从P区引出的电极叫正极，从N区引出的电极叫负极。二极管在电路中的表示符号如图1.10所示。

二极管的种类很多，可作如下分类：

- ① 按半导体材料分：有硅二极管、锗二极管等。
- ② 按PN结结构分：有点接触型二极管、面接触型二极管、平面型二极管。PN结结构不同，二极管的用途也不同。
- ③ 按用途分：有整流二极管、检波二极管、稳压二极管和开关二极管等。



图 1.10 半导体二极管的电路符号

### 1.2.2 二极管的伏安特性和主要参数

#### 1. 二极管的伏安特性

二极管的伏安特性是指二极管的电流随加在两个电极上的电压变化而变化的规律。二极管的伏安特性可以通过仪器来观察。典型的二极管伏安特性曲线如图1.11所示。二极管的伏安特性曲线分为三部分：正向特性、反向特性和反向击穿特性。

##### (1) 正向特性

当二极管的两极没有加电压时，二极管上的电流为零，即特性曲线经过坐标原点。当所加正向电压较小时（OA段），外电场还不足以抵消内电场的作用，这时多数载流子的扩散运动仍有很大阻力，正向电流极小，通常把这个电压范围称为死区电压。由于材料不同，二极管的死区电压也不相同，硅二极管的死区电压约为0.5V，锗二极管的死区电压约为0.2V。在实际使用中，当二极管的正向偏压小于死区电压时，可认为二极管正向电流为零，处于截止状态。当外加电压超过死区电压以后，内电场被大大削弱，正向电流快速增加，这时二极管处于正向导通状态。二极管正向导通时，正向电流在相当大的



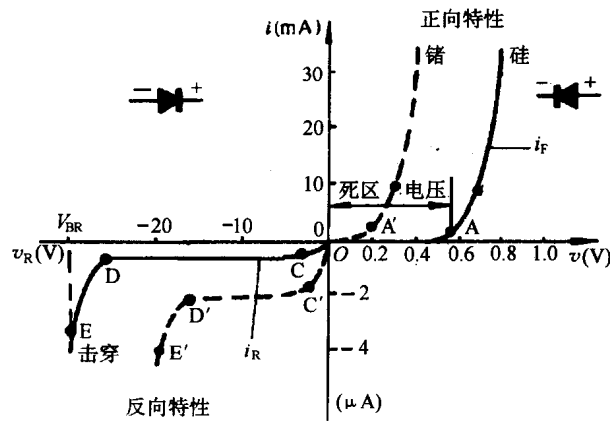


图 1.11 二极管伏安特性曲线

范围内变化，而管子的端电压的变化却很小（近似于不变），硅二极管的压降约为 0.6~0.7V，锗二极管的压降约为 0.2~0.3V。

## (2) 反向特性

当给二极管加反向电压时，内电场进一步加强，使多数载流子几乎不能扩散，而只有少数载流子在外电场作用下作漂移运动，形成很小的反向电流（OD 段），这时二极管处于反向截止状态。二极管反向截止时，呈现很高的反向电阻，通过的电流非常微小，通常硅管在几微安至几十微安之间，锗管在几十微安至几百微安之间。

## (3) 反向击穿特性

若反向电压不断增大，当大到一定数值时，反向电流会突然增大（E 点），这种现象称为反向击穿，相应的电压称为反向击穿电压。反向击穿现象或是由于外加电场太强，以致将受共价键束缚的电子强行拉出，使其成为载流子（齐纳击穿）；或是由于强大的电场使 PN 结中的少数载流子获得足够的能量去撞击其它的原子，使共价键中的价电子被撞击成为载流子（雪崩击穿）。

由此可见，二极管的电压与电流变化呈非线性关系，且具有单向导电性。

## 2. 二极管的主要参数

二极管的参数有许多，这里仅介绍最常用的两个参数。

### (1) 最大整流电流 $I_F$

指允许通过二极管的最大的正向平均电流。使用二极管时，应注意流过二极管的正向最大平均电流不能大于这个数值，否则可能损坏二极管。

### (2) 最高反向工作电压 $V_{RM}$

指二极管正常使用时所允许加的最高反向电压。通常它是二极管反向击穿电压的一半。

### 1.2.3 稳压二极管

#### 1. 稳压二极管的特性

由二极管伏安特性曲线（图 1.11）可以看出，当二极管上所加的反向电压大到一定