

面向 **21** 世纪

高等学校信息工程专业系列教材

电子线路基础

Fundamentals of Electronic Circuits

闵锐 徐勇 孙峥 编著

10
3

西安电子科技大学出版社
[Http://www.xduph.com](http://www.xduph.com)

面向 21 世纪高等学校信息工程类专业系列教材

电子线路基础

Fundamentals of Electronic Circuits

闵锐 徐勇 孙峥 编著

西安电子科技大学出版社

2003

内 容 简 介

本书是根据电子技术的发展和教学改革的需要,结合作者多年的教学经验编写而成的。本书既注重对基本概念、基本原理的阐述,又兼顾了电子技术的发展趋势,适当地增加了集成电路、模拟电子线路的计算机辅助设计等方面的内容。在文字叙述上力求简洁清楚、层次分明。为便于掌握基本知识和重点、难点内容,编排了适量的例题和习题,尽量做到例题典型、习题与基本知识相匹配。

全书共 10 章,内容包括常用半导体器件、基本放大电路、多级放大电路和集成运算放大电路、放大电路的频率响应、放大电路中的反馈、信号的运算和处理电路、信号产生与转换电路、直流稳压电源、逻辑门电路、电子线路计算机辅助设计 CAD。

本书可作为高等院校电子信息、通信、电气、自动化、计算机等专业的教科书,也可供其它相关专业和从事电子技术工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子线路基础/闵锐等编著.

—西安:西安电子科技大学出版社,2003.6

(面向 21 世纪高等学校信息工程类专业系列教材)

ISBN 7 - 5606 - 1236 - 9

I. 电… II. 闵… III. 电子电路-高等学校-教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 035003 号

策 划 马乐惠

责任编辑 杨宗周

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白路 7 号)

电 话 (029)8242885 8201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西画报社印刷厂

版 次 2003 年 6 月第 1 版 2003 年 6 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 19.25

字 数 443 千字

印 数 1~4 000 册

定 价 20.00 元

ISBN 7 - 5606 - 1236 - 9/TN · 0223(课)

XDUP 1507001 - 1

*** 如有印装问题可调换 ***

序

第三次全国教育工作会议以来,我国高等教育得到空前规模的发展。经过高校布局和结构的调整,各个学校的新专业均有所增加,招生规模也迅速扩大。为了适应社会对“大专业、宽口径”人才的需求,各学校对专业进行了调整和合并,拓宽专业面,相应的教学计划、大纲也都有了较大的变化。特别是进入21世纪以来,信息产业发展迅速,技术更新加快。面对这样的发展形势,原有的计算机、信息工程两个专业的传统教材已很难适应高等教育的需要,作为教学改革的重要组成部分,教材的更新和建设迫在眉睫。为此,西安电子科技大学出版社聘请南京邮电学院、西安邮电学院、重庆邮电学院、吉林大学、杭州电子工业学院、桂林电子工业学院、北京信息工程学院、深圳大学、解放军电子工程学院等10余所国内电子信息类专业知名院校长期在教学科研第一线工作的专家教授,组成了高等学校计算机、信息工程类专业系列教材编审专家委员会,并且面向全国进行系列教材编写招标。该委员会依据教育部有关文件及规定对这两大类的教学计划和课程大纲,对目前本科教育的发展变化和相应系列教材应具有的特色和定位以及如何适应各类院校的教学需求等进行了反复研究、充分讨论,并对投标教材进行了认真评审,筛选并确定了高等学校计算机、信息工程类专业系列教材的作者及审稿人。这套教材预计在2004年春季全部出齐。

审定并组织出版这套教材的基本指导思想是力求精品、力求创新、好中选优、以质取胜。教材内容要反映21世纪信息科学技术的发展,体现专业课内容更新快的要求;编写上要具有一定的弹性和可调性,以适合多数学校使用;体系上要有所创新,突出工程技术型人才培养的特点,面向国民经济对工程技术人才的需求,强调培养学生较系统地掌握本学科专业必需的基础知识和基本理论,有较强的本专业的基本技能、方法和相关知识,培养学生具有从事实际工程的研发能力。在作者的遴选上,强调作者应在教学、科研第一线长期工作,有较高的学术水平和丰富的教材编写经验;教材在体系和篇幅上符合各学校的教学计划要求。

相信这套精心策划、精心编审、精心出版的系列教材会成为精品教材,得到各院校的认可,对于新世纪高等学校教学改革和教材建设起到积极的推动作用。

系列教材编委会

2002年8月

高等学校计算机、信息工程类专业

系列教材编审专家委员会

- 主任：杨震（南京邮电学院副院长、教授）
副主任：张德民（重庆邮电学院通信与信息工程学院院长、教授）
韩俊刚（西安邮电学院计算机系主任、教授）
李荣才（西安电子科技大学出版社总编辑、教授）

计算机组

- 组长：韩俊刚（兼）
成员：（按姓氏笔画排列）
王小民（深圳大学信息工程学院计算机系主任、副教授）
王小华（杭州电子工业学院计算机分院副院长、副教授）
孙力娟（南京邮电学院计算机系副主任、副教授）
李秉智（重庆邮电学院计算机学院院长、教授）
孟庆昌（北京信息工程学院教授）
周 娅（桂林电子工业学院计算机系副主任、副教授）
张长海（吉林大学计算机科学与技术学院副院长、教授）

信息工程组

- 组长：张德民（兼）
成员：（按姓氏笔画排列）
方 强（西安邮电学院电信系主任、教授）
王 晖（深圳大学信息工程学院电子工程系主任、副教授）
胡建萍（杭州电子工业学院电子信息分院副院长、副教授）
徐 祎（解放军电子工程学院电子技术教研室主任、副教授）
唐 宁（桂林电子工业学院通信与信息工程系副主任、副教授）
章坚武（杭州电子工业学院通信工程分院副院长、教授）
康 健（吉林大学通信工程学院副院长、教授）
蒋国平（南京邮电学院电子工程系副主任、副教授）

- 总策划：梁家新
策 划：马乐惠 云立实 马武装 马晓娟
电子教案：马武装

本书常用符号说明

一、关于基本符号和下标大写或小写的一般规定

1. 电压和电流

- I_B 、 U_{BE} 大写字母、大写下标表示直流量
 i_b 、 u_{be} 小写字母、小写下标表示交流分量瞬时值
 i_B 、 u_{BE} 小写字母、大写下标表示总瞬时量(既包含直流,也包含交流)
 I_b 、 U_{be} 大写字母、小写下标表示交流有效值
 I_b 、 U_{be} 大写字母顶上加点、小写下标表示正弦相量

2. 直流电压源

- U_{CC} 双极型三极管集电极直流电源电压
 U_{BB} 双极型三极管基极直流电源电压
 U_{EE} 双极型三极管发射极直流电源电压
 U_{DD} 场效应管漏极直流电源电压
 U_{GG} 场效应管栅极直流电源电压
 U_{SS} 场效应管源极直流电源电压

3. 电阻

- R 直流电阻或静态电阻
 r 交流电阻或动态电阻

二、基本符号

1. 电流和电压

- I 、 i 电流的通用符号
 U 、 u 电压的通用符号
 I_i 、 U_i 输入电流、输入电压
 I_o 、 U_o 输出电流、输出电压
 I_f 、 U_f 反馈电流、反馈电压
 I_Q 、 U_Q 电流、电压静态值
 i_+ 、 u_+ 集成运放同相输入电流、输入电压
 i_- 、 u_- 集成运放反相输入电流、输入电压
 u_{ic} 、 u_{id} 共模输入电压、差模输入电压
 Δu_{ic} 、 Δu_{id} 共模输入电压增量、差模输入电压增量
 u_s 交流信号源电压
 U_{OH} 、 U_{OL} 电压比较器的输出高电平、低电平
 U_{T+} 、 U_{T-} 电压比较器的上、下门限电压

2. 功率

P	功率的通用符号
P_{om}	最大输出功率
P_V	直流电源提供的功率
P_T	三极管耗散功率
η	效率

3. 频率

f	频率通用符号
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_c	使放大电路增益为 0 dB 时的信号频率
f_0	电路的振荡频率、中心频率
ω	角频率通用符号
f_{BW}	通频带

4. 电阻、电容、电感、阻抗

R_i, R_o	输入电阻、输出电阻
R_{if}, R_{of}	负反馈放大电路的输入电阻、输出电阻
R_L	负载电阻
R_s	信号源内阻
G	电导通用符号
C	电容通用符号
L	电感通用符号

5. 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
A_{us}	源电压放大倍数
A_{uf}	闭环电压放大倍数
F	反馈系数
K_{CMR}	共模抑制比

三、器件符号

1. PN 结

C_b	势垒电容
C_d	扩散电容
C_j	结电容
U_{ho}	PN 结平衡时的电压

2. 二极管

V_D	二极管
V_{DZ}	稳压二极管
I_D	二极管的电流
I_F	二极管的最大整流平均电流
I_R	二极管的反向电流
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_{on}	二极管的导通电压
$U_{(BR)}$	二极管的击穿电压
r_z	稳压管工作在稳压状态下的动态电阻
U_Z	稳压管工作电压
I_{DZ}	稳压管工作电流

3. 三极管

V	三极管
b	基极
c	集电极
e	发射极
α	三极管共基交流电流放大系数
$\bar{\alpha}$	三极管共基直流电流放大系数
β	三极管共射交流电流放大系数
$\bar{\beta}$	三极管共射直流电流放大系数
C_π	混合 π 等效电路中集电结的等效电容
C_μ	混合 π 等效电路中发射结的等效电容
g_m	跨导
$h_{11e}, h_{12e}, h_{21e}, h_{22e}$	三极管 h 参数等效电路的四个参数
I_{CBO}	发射极开路时 b—c 之间的反向电流
I_{CEO}	基极开路时 c—e 之间的穿透电流
I_{CM}	集电极最大允许电流
P_{CM}	集电极最大允许耗散功率
$r_{bb'}$	基区体电阻
r_{be}	共射接法下 b—e 之间的小信号等效电阻
U_{CES}	三极管饱和压降
$U_{(BR)CBO}$	发射极开路, c—b 之间的反向击穿电压
$U_{(BR)CEO}$	基极开路, c—e 之间的反向击穿电压
$U_{(BR)EBO}$	集电极开路, e—b 之间的反向击穿电压

4. 场效应管

V	场效应管
---	------

d	漏极
g	栅极
s	源极
g_m	跨导
I_{D0}	增强型场效应管 $U_{GS} = 2U_{GS(th)}$ 时的漏极电流
I_{DSS}	耗尽型场效应管 $U_{GS} = 0$ 时的漏极电流
$U_{GS(off)}$	耗尽型场效应管的夹断电压
$U_{GS(th)}$	增强型场效应管的开启电压

前 言

“电子线路”是电子信息、通信、电气、自动化和计算机等专业的一门专业技术基础课，主要讲授各种半导体器件的性能、电路及其应用。

为适应现代电子技术的发展，在保证基本概念、基本原理和基本分析方法的前提下，本教材加强了集成电路的分析和应用。在文字叙述上力求简洁清楚、层次分明。

本书在内容安排上，先介绍半导体器件，然后是由半导体器件组成的基本放大电路，再从集成运放的几个组成部分，分别介绍差分放大电路、电流源电路、功率放大电路。对反馈放大电路、运算电路、信号处理电路、信号产生电路、稳压电源等均以集成电路为主进行分析。为使与后续数字电路课程相衔接，第9章介绍了逻辑门电路。

随着集成电路和计算机技术的迅速发展，以计算机辅助设计(CAD)为基础的电子设计自动化(EDA)技术已经渗透到电子系统和集成电路设计的各个环节。为使读者掌握电路设计并对电路进行功能仿真，在本书的第10章介绍了电路仿真工具及其应用。

标*号的内容为选学内容，在课时不够的情况下可以灵活掌握。另外，本书配套有学习指导书，内容包括基本概念、典型例题、习题解答等内容，相信对读者学习本书会有帮助。

参加本书编写工作的有闵锐(第2、3、5章)、徐勇(第4、6、7、10章)、孙峥(第8、9章)，闵锐和孙峥合写第1章。闵锐同志为主编，负责全书的组织和定稿。蒋榴英副教授审阅了全稿，提出了许多宝贵意见，研究生赵菲对部分书稿进行了录入。教研室的领导及低频电子教学组的同事们给予了大力的支持和帮助，谨向他们表示诚挚的谢意。

由于我们的水平有限，加之时间过于仓促，书中一定存在不少错误和不妥之处，敬请使用本书的读者给予批评指正，以便今后不断改进。

编 者

2003.5

目 录

第 1 章 常用半导体器件	1
1.1 半导体基础知识	1
1.1.1 本征半导体	2
1.1.2 杂质半导体	4
1.1.3 PN 结	4
1.2 半导体二极管	9
1.2.1 半导体二极管的结构和符号	9
1.2.2 二极管的伏安特性	10
1.2.3 二极管的主要参数	11
1.2.4 二极管的等效模型	11
1.2.5 稳压二极管	13
1.3 半导体三极管	15
1.3.1 三极管的结构及符号	15
1.3.2 三极管的工作原理	16
1.3.3 三极管的特性曲线	19
1.3.4 三极管的主要参数	21
1.3.5 温度对三极管参数的影响	23
1.4 场效应管	24
1.4.1 结型场效应管	24
1.4.2 绝缘栅型场效应管	28
1.4.3 场效应管的主要参数	33
习题	34
第 2 章 基本放大电路	39
2.1 放大电路的基本概念	39
2.1.1 基本放大电路的组成和工作原理	39
2.1.2 放大电路的性能指标	41
2.1.3 直流通路和交流通路	44
2.1.4 静态工作点的设置	44
2.2 放大电路的分析方法	45
2.2.1 图解分析法	45
2.2.2 小信号模型分析法	52
2.3 放大电路静态工作点的稳定	58
2.3.1 静态工作点稳定的必要性	58

2.3.2	稳定静态工作点的措施	59
2.3.3	分压式射极偏置电路的分析	60
2.4	共集放大电路和共基放大电路	61
2.4.1	共集放大电路	61
2.4.2	共基放大电路	64
2.4.3	三种组态电路的比较	66
2.5	场效应管放大电路	66
2.5.1	场效应管的特点	66
2.5.2	场效应管放大电路的三种组态电路	67
2.5.3	场效应管放大电路的直流偏置电路及静态分析	67
2.5.4	场效应管放大电路的动态分析	68
	习题	72
第3章	多级放大电路和集成运算放大电路	79
3.1	多级放大电路	79
3.1.1	多级放大电路的耦合方式	79
3.1.2	多级放大电路的动态分析	82
3.2	差分放大电路	84
3.2.1	差分放大电路的电路组成	84
3.2.2	差分放大电路的分析	84
3.2.3	改进型差分放大电路	90
3.3	电流源电路	91
3.3.1	基本电流源电路	91
3.3.2	多路电流源电路	94
3.3.3	以电流源为有源负载的放大电路	95
3.4	功率放大电路	95
3.4.1	功率放大电路概述	95
3.4.2	互补功率放大电路	98
3.4.3	集成功率放大电路	104
3.5	集成运算放大电路	105
3.5.1	集成运放的结构特点	105
3.5.2	集成运放的主要性能指标	106
3.5.3	典型集成运放电路介绍	107
3.5.4	理想运算放大器	108
	习题	109
第4章	放大电路的频率响应	115
4.1	频率响应问题概述	115
4.1.1	频率响应问题的提出	115
4.1.2	频率响应线性失真问题	115
4.1.3	频率响应问题的分析方法	118
4.2	三极管的高频等效特性	121
4.2.1	晶体三极管的完整小信号模型	121

4.2.2	晶体管高频模型的简化	122
4.2.3	场效应管的高频等效模型	123
4.3	单管放大电路的频率响应	123
4.3.1	单管共射放大器的频率响应	123
4.3.2	单管共源放大电路的频率响应	130
4.3.3	单管共基放大电路的频率响应	130
4.4	多级放大电路的频率特性	133
4.4.1	共射—共射放大器的频率特性	134
4.4.2	共射—共基放大器的频率特性	135
4.4.3	多级放大器频率特性的一般分析方法	136
4.5	集成运放的频率响应与相位补偿	136
4.5.1	集成运放的频率响应	136
4.5.2	集成运放的相位补偿	137
	习题	140
第5章 放大电路中的反馈		144
5.1	反馈的基本概念	144
5.2	反馈放大电路的类型及判别	146
5.2.1	反馈的分类	146
5.2.2	负反馈的四种组态	149
5.3	负反馈对放大电路性能的改善	154
5.3.1	稳定放大倍数	154
5.3.2	减小非线性失真	155
5.3.3	展宽通频带	156
5.3.4	改变输入电阻和输出电阻	157
5.4	深度负反馈放大电路的分析	160
5.4.1	深度负反馈的实质	160
5.4.2	深度负反馈条件下放大倍数的估算	161
5.5	负反馈放大电路的稳定性	165
5.5.1	负反馈放大电路产生自激振荡的原因和条件	165
5.5.2	负反馈放大电路稳定性的判定	167
5.5.3	负反馈放大电路自激振荡的消除方法	168
	习题	170
第6章 信号的运算和处理电路		174
6.1	比例运算电路	174
6.1.1	反比例运算电路	174
6.1.2	同比例运算电路	175
6.2	基本运算电路	176
6.2.1	加法电路	176
6.2.2	减法电路	177
6.2.3	积分电路	178
6.2.4	微分电路	179

6.3 对数指数运算电路	182
6.3.1 对数运算电路	182
6.3.2 指数运算电路	183
6.4 模拟乘法器	183
6.4.1 模拟乘法器的基本概念	183
6.4.2 模拟乘法器在运算电路中的应用	186
6.5 有源滤波电路	188
6.5.1 滤波电路的基本概念	188
6.5.2 一阶有源滤波电路	190
6.5.3 二阶有源滤波电路	193
习题	195
第7章 信号产生与转换电路	200
7.1 电压比较器	200
7.1.1 单限比较器	201
7.1.2 迟滞比较器	202
7.1.3 双限比较器	204
7.1.4 典型例题讲解	206
7.1.5 比较器部分小结	208
7.2 非正弦波发生器	208
7.2.1 方波和矩形波发生器	208
7.2.2 三角波与锯齿波发生器	211
7.3 正弦波发生器	214
7.3.1 文氏桥正弦波发生器	215
7.3.2 移相式正弦波发生器	217
7.4 精密整流电路	218
7.4.1 半波整流电路(零限幅器)	219
7.4.2 全波整流电路(绝对值运算电路)	220
习题	222
第8章 直流稳压电源	228
8.1 直流稳压电源的组成	228
8.2 整流电路和滤波电路	228
8.2.1 单相半波整流电路	228
8.2.2 单相全波整流电路	230
8.2.3 单相桥式整流电路	230
8.2.4 滤波电路	232
8.3 串联型稳压电源	235
8.3.1 稳压电路的性能参数	235
8.3.2 串联型稳压电路的工作原理	237
8.3.3 三端集成稳压器	239
8.3.4 三端集成稳压器的应用	241
8.4 开关型稳压电路	243

习题	245
第 9 章 逻辑门电路	248
9.1 分立元件门电路	248
9.2 TTL 集成逻辑门	252
9.2.1 TTL 集成逻辑门的工作原理	252
9.2.2 门电路的带负载能力	254
9.2.3 TTL 电路的使用特点	256
9.3 其它类型的 TTL 门电路	257
9.3.1 集电极开路门	257
9.3.2 三态门	258
9.4 CMOS 集成门电路	259
9.4.1 CMOS 门电路的工作原理	259
9.4.2 CMOS 传输门和双向模拟开关	261
9.4.3 CMOS 三态门和 OD 门	262
9.4.4 Bi-CMOS 电路	263
9.4.5 TTL 与 CMOS 接口电路	264
习题	266
* 第 10 章 电子线路计算机辅助设计 CAD	269
10.1 电子线路 CAD 与电子线路 CAD 工具概述	269
10.2 电子线路仿真工具 Pspice	270
10.2.1 Pspice 的基本组成	270
10.2.2 Pspice 的输入输出方式概述	272
10.3 Pspice 部分电路分析功能介绍	276
10.4 电子线路 EDA 工具——EWB 介绍	282
10.4.1 EWB 的安装	282
10.4.2 EWB 操作指南	282
10.4.3 EWB 应用实例	288
习题	290
参考文献	291

第 1 章 常用半导体器件

本章讨论的主要问题

- 半导体有哪些特殊性质？
- N 型半导体和 P 型半导体各有什么特点？
- PN 结的主要特性是什么？
- PN 结上的端电压与电流是否符合欧姆定律？
- 半导体二极管是否具有放大作用？
- 稳压二极管是二极管吗？它通常工作在什么区？
- 为什么可用半导体三极管和场效应管作为放大器件？
- 为了保证三极管具有放大作用，其内部应具有什么样的结构条件？外部加电原则是什么？
- 三极管的电流分配关系如何？
- 如何表示三极管的伏安特性和场效应管的伏安特性？它们的输出特性有何区别？
- 表征场效应管放大作用的重要参数是什么？何为场效应管的开启电压和夹断电压？

1.1 半导体基础知识

在自然界中存在着许多不同的物质，根据其导电性能的不同大体可分为导体、绝缘体和半导体三大类。通常将很容易导电、电阻率小于 $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 的物质，称为导体，例如铜、铝、银等金属材料；将很难导电、电阻率大于 $10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 的物质，称为绝缘体，例如塑料、橡胶、陶瓷等材料；将导电能力介于导体和绝缘体之间、电阻率在 $10^{-3} \sim 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ 范围内的物质，称为半导体。常用的半导体材料是硅(Si)和锗(Ge)。

用半导体材料制作电子元器件，不是因为它的导电能力介于导体和绝缘体之间，而是由于其导电能力会随着温度的变化、光照或掺入杂质的多少发生显著的变化，这就是半导体的热敏特性、光敏特性和掺杂特性。例如，纯净的半导体硅，当温度从 30°C 升高到 40°C 时，电阻率减小一半；而金属导体铜，当温度从 30°C 升高到 100°C 时，电阻率的增加还不到 1 倍。又如，纯净硅在室温时的电阻率为 $2.14 \times 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ ，如果在纯净硅中掺入百万分之一浓度的磷原子，此时硅的纯度仍可高达 99.9999%，但它的电阻率却下降到 $0.2 \Omega \cdot \text{cm}$ ，几乎减少到原来的百万分之一。可见，当半导体受热或掺入杂质后，导电性能会发生变化。人们利用半导体的热敏特性和光敏特性可制作各种热敏元件和光敏元件，利用掺杂特性制成的 PN 结是各种半导体器件的主要组成部分。

半导体为什么会具有这样一些特殊的性质呢？由于物质的导电性能取决于原子的外层结构，下面深入到半导体材料的特殊结构中来了解它的导电性能。

1.1.1 本征半导体

纯净的单晶半导体称为本征半导体，即不含任何杂质，结构完整的半导体。

1. 本征半导体的晶体结构

常用的半导体材料硅(Si)和锗(Ge)的原子序数分别为 14 和 32，它们的原子结构如图 1-1(a)和(b)所示。由图可见，硅和锗原子的最外层轨道上都有四个电子，同属于四价元素。由于内层电子受原子核的束缚力很大，很难脱离原子核，为简化起见，将内层电子和原子核看成一个整体，称为惯性核，它的净电量是四个正电子电量。最外层的四个电子受原子核的束缚力较小，有可能成为自由电子，常称为价电子。硅或锗原子的简化模型如图 1-1(c)所示。

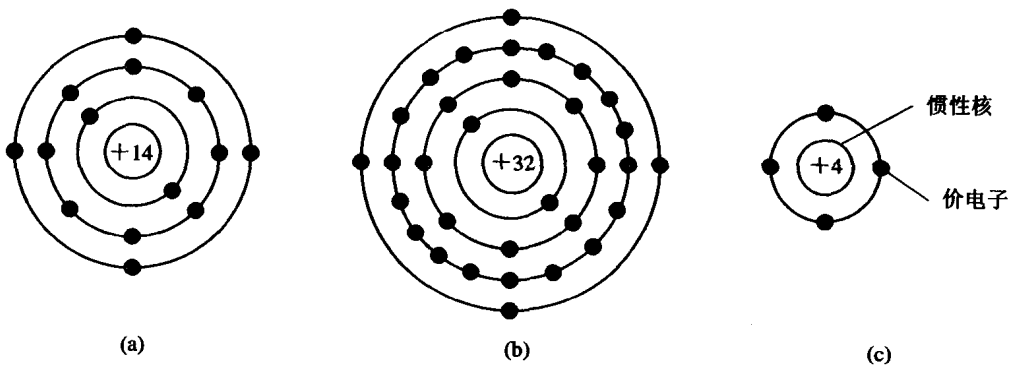


图 1-1 硅和锗的原子结构模型

(a) 硅；(b) 锗；(c) 原子简化模型

硅和锗都是晶体，晶体中的原子在空间形成排列整齐的阵点——称为晶格。整块晶体内部晶格排列完全一致的晶体称为单晶。硅和锗的单晶体即为本征半导体。硅或锗制成单晶体后，相邻两个原子的一对最外层电子(即价电子)不但受本身原子核的吸引，而且受相邻原子核的吸引，从而将两个原子牢固地束缚在一起，这种共用价电子所形成的束缚作用就叫共价键。硅或锗原子最外层的四个价电子，正好和相邻的四个原子中的价电子组成四个共用电子对，构成四个共价键，使每个硅或锗原子的最外层电子获得稳定结构，如图 1-2 所示。

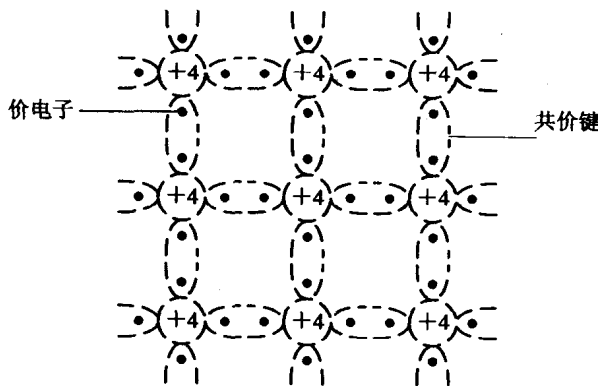


图 1-2 硅和锗晶体共价键结构示意图