

开始学电子技术丛书

从零开始学 模拟电子技术

刘建清 主编
陈培军 李凤伟 张涛 编著



随书附光盘一张



国防工业出版社
National Defense Industry Press

从零开始学电子技术丛书

从零开始学模拟电子技术

刘建清 主编

陈培军 李凤伟 张涛 编著

国防工业出版社

内 容 简 介

模拟电子技术是学习电子技术必须掌握的一门基础课,本书就是为使初学者从零开始,快速掌握模拟电子技术知识而编写的。与传统的模拟电子技术基础教材不同的是,本书摒弃了以高等数学的大量的公式计算和定量分析的讲法,注重定性和概念,注重基础知识与实践,并配合计算机仿真软件的仿真实验,使基础知识的学习做到不枯燥,不深奥。本书所介绍的主要知识有:基本放大电路、振荡电路、电源电路、晶闸管整流和触发电路、高频电路等内容,最后介绍模拟电路检测知识。

本书附赠光盘1张,光盘中包含有最新电路仿真软件 Edison 的试用版,可供读者在学习模拟电子技术时使用。

本书可供电子工业领域中的技工、工矿企业的技术人员、电气工人、农村电工、家电维修人员以及无线电爱好者阅读,也可作为中专、中技的教材或教学参考书使用。

图书在版编目(CIP)数据

从零开始学模拟电子技术/刘建清主编;陈培军,李
王伟,张涛编著. —北京:国防工业出版社,2007.1

(从零开始学电子技术丛书)

ISBN 7-118-04811-9

I. 从... II. ①刘... ②陈... ③李... ④张...

III. 模拟电路—电子技术 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 119532 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 24 字数 548 千字

2007年1月第1版第1次印刷 印数 1—5000册 定价 40.00元(含光盘)

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

丛书前言

我们所处的时代是一个知识爆炸的新时代。新产品、新技术层出不穷,电子技术的发展更是日新月异。可以毫不夸张地说,电子技术的应用无处不在,电子技术正在不断地改变着我们的生活,改变着我们的世界。

读者朋友:当你为妙趣横生的电子世界发生兴趣时;当你徘徊于就业的关口,想成为电子产业中的一名员工时;当你跃跃欲试,想成为一名工厂的技术革新能手时;当你面对“无所不能”的“单片机”,梦想成为一名自动化高手时;当你的头脑里冒出那么多的奇思妙想,急于把它们应用于或转化为产品时……都是那么急切地想补充自己有关电子技术方面的知识,这时,你首先想到的是找一套适合自己学习的电子技术图书阅读。《从零开始学电子技术丛书》正是为了满足广大读者特别是电子爱好者的实际需要和零起点入门的阅读要求而编著的。

和其他电子技术类图书相比,本丛书具有以下特点:

内容全面,体系完备。本丛书给出了广大电子爱好者学习电子技术的全方位解决方案,既有初学者必须掌握的电路基础、模拟电路和数字电路等基础理论,又有电子元器件检测、电子测量仪器的使用、电路仿真与设计等操作性较强的内容,还有电气控制与PLC、单片机、CPLD等综合应用方面的知识,因此,本丛书内容翔实,覆盖面广。

通俗易懂,重点突出。传统的电子技术图书和教材在介绍电路基础和模拟电子技术等内容时,大都借助高等数学这一工具进行分析,这就给电子爱好者自学电子技术设置了一道门槛,使大多数电子爱好者失去了学习的热情和兴趣。本丛书在编写时,完全考虑到了初学者的需要,不涉及高等数学方面的公式,尽可能地把复杂的理论通俗化和实用化,将烦琐的公式简易化,再辅以简明的分析及典型的实例,从而形成了本丛书通俗易懂的特点。为了满足不同层次读者的需求,本丛书对难点和扩展知识用“*”进行了标注,初学者可跳过此内容。

实例典型,实践性强。本丛书最大程度地强调了实践性,书中给出的例子大都经过了验证,可以实现,并且具有代表性;本丛书中大多数分册都配有光盘,光盘中收录了书中的实例、常用软件、实验程序和大量珍贵资料,以方便读者学习和使用。

内容新颖,风格活泼。本丛书所介绍的都是电子爱好者最为关心并且在业界获得普遍认同的内容,本丛书的每一分册都各有侧重,又互相补充,论述时疏密结合,重点突出。对于重点、难点和容易混淆的知识,书中还特别进行了标注和提示。

把握新知,结合实际。电子技术发展日新月异,为适应时代的发展,本丛书还对电子技术的新知识做了详细的介绍;本丛书中涉及的应用实例都是编著者开发经验的提炼和总结,相信一定会给读者带来很大的帮助。在讲述电路基础、模拟和数字电子技术时,还

专门安排了计算机辅助软件的仿真实验,实验过程非常接近实际操作的效果,使电子技术的学习变得更为直观,使学习变得更加生动有趣,这可以加深读者对电路理论知识的认识。

总之,对于需要学习电子技术的电子爱好者而言,选择《从零开始学电子技术丛书》不失为一个好的选择。本丛书一定能给你耳目一新的感觉,当你认真阅读之后将会发现,无论是你所读的书,还是读完书的你,都有所不同。

感谢本丛书的策划者——电子科普领域中的知名专家、中国电子学会高级会员刘午平先生,他与我们共同交流,共同探讨,达成了共识,确立了写作方向,并为本丛书的编排、修改和出版做了大量卓有成效的工作,他以丰富的专业知识和认真、敬业的态度为我们所敬佩;感谢山东持恒开关厂总经理陈培军先生和山东金曼克电气集团设计处总工程师高广海先生,他们对本丛书的编写提出了很多建设性的意见和建议,为本丛书的许多实验提供了强有力的支持与帮助,并参与了部分图书的编写工作;感谢网络,本丛书的许多新知识、新内容都是我们通过网络而获得的,我们在写作过程中遇到的许多疑难问题也大都通过网络得以顺利解决,对于这么多乐于助人、无私奉献的站主和作者们,无法在此一一列举,只能道一声“谢谢了!”感谢众多电子报刊、杂志的编辑和作者,他们为本丛书提供了许多有新意、有实用价值的参考文献,使得这套丛书能够别出心裁、与时俱进;感谢国防工业出版社,能与国内一流的出版社合作,我们感到万分的荣幸;感谢其他对本丛书的出版付出过辛勤工作的人士,没有他们的热心与支持,本丛书不知何时才能与读者见面!

最后,祝愿本丛书的每一位读者在学习电子技术的过程中,扬起风帆,乘风破浪!

丛书编者

前 言

模拟电子技术是研究各种电子器件的性能及其组成的电路与应用的学科,是一门重要的基础平台课程,尽管数字化是当今技术转移的重点,但基本器件和基本电路仍是技术的基础,它们在电子设备中也具有不可替代的作用。模拟电子技术内容庞杂、概念性强、分析方法多,初学者倍感“入门难”。为了帮助读者学好这门基础课,我们组织编写了这本入门读物。

本书写作的出发点是不讲过深的理论知识,不涉及高等数学方面的公式,力求做到理论和应用相结合,循序渐进、由浅入深、通俗实用,以指导初学者快速入门。

按照结构清晰,层次分明的原则,本书可分为以下几部分:

第一部分为基本放大电路分析篇。主要包括第一章至第八章。首先简要介绍了二极管基本电路,然后详细分析了三极管基本放大电路、多级放大电路、负反馈放大电路、场效应管放大电路、运算放大电路和功率放大电路。

第二部分为振荡电路分析篇。主要包括第九章。重点介绍了电磁振荡基本原理,正弦波振荡电路的组成和基本工作过程,并对常用的电感三点式正弦波振荡器、电容三点式正弦波振荡器、石英晶体振荡电路、RC 正弦波振荡器、变压器耦合正弦波振荡器等电路进行了简要分析。

第三部分为电源电路分析篇。主要包括第十章。重点介绍了直流电源电路中常用的整流、滤波的电路分类和特点,串联型电源和开关型电源的工作原理,并对交流调压器、逆变电源和 UPS 电源作简要介绍。

第四部分为晶闸管整流和触发电路分析篇。主要包括第十一章。重点介绍了晶闸管整流的原理,以及晶闸管整流所需的单结管触发电路。

第五部分为高频电路分析篇。主要包括第十二章至第十五章。重点介绍了调制与解调电路、高频放大电路、混频电路、自动频率控制和频率合成技术等内容。

第六部分内容为模拟电路检测篇。主要包括第十六章。通过对电路的测量,分析和总结了模拟电路常用的检测方法和技巧。

在讲述本书内容时,还专门安排了 Edison4.0 电路仿真软件的仿真实验,实验过程非常接近实际操作的效果。仿真软件不但提供了各种丰富的分立元件和集成电路等元器件,还提供了各种丰富的调试测量工具:各种电压表、电流表、示波器、指示器、分析仪等。是一个全开放性的仿真实验平台,给我们提供了一个完备的综合性实验室,可以在任意组合的实验环境搭建实验。电子爱好者通过实验,将使学习变的生动有趣,加深对电路理论知识认识。

本书附赠光盘 1 张,光盘中包含有最新电路仿真软件 Edison 的试用版,可供读者在

学习模拟电子技术时使用。感谢 Edison 软件中国代理广州捷嘉高科技有限公司提供 Edison 软件试用版的授权,如果读者需要购买该系列软件的正式版,可以登录广州捷嘉高科技有限公司网站 <http://www.gsltech.com.cn> 进行查询。

由于时间仓促,书中错漏之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

作者

目 录

第一章 二极管基本电路	1
第一节 半导体基础知识	1
一、导体、绝缘体和半导体	1
二、半导体的特性	1
三、半导体的结构	2
四、PN 结单向导电特性	4
第二节 普通二极管及其应用	5
一、二极管的结构	5
二、二极管的类型	6
三、二极管的伏安特性	6
四、二极管的主要参数	7
五、普通二极管基本应用电路	8
第三节 稳压二极管及其应用	15
一、稳压管的基本特性	15
二、稳压管的主要参数	16
三、稳压二极管基本应用电路	17
第二章 半导体三极管放大电路	21
第一节 半导体三极管	21
一、半导体三极管的结构	21
二、半导体三极管的工作电压	22
三、半导体三极管的电流分配关系	23
四、半导体三极管的输入、输出特性曲线	24
五、半导体三极管的主要技术参数	27
第二节 共发射极放大电路	29
一、放大电路的技术指标	30
二、共发射极放大电路的定性分析	32
三、共发射极放大电路的定量分析	34
四、工作点的稳定	48
第三节 共集电极和共基极放大电路	51

一、共集电极放大电路	51
二、共基极放大电路	53
三、三种放大电路的比较	54
第三章 多级放大电路	58
第一节 多级放大电路概述	58
第二节 阻容耦合多级放大电路	58
一、阻容耦合电路的定性分析	59
二、阻容耦合电路的定量分析	59
第三节 变压器耦合多级放大电路	61
一、变压器阻抗变换的原理	61
二、变压器耦合电路定性分析	61
第四节 直接耦合多级放大电路	62
一、直接耦合电路定性分析	62
二、直接耦合电路定量分析	65
第四章 放大电路的频率响应	68
第一节 频率响应基本概念	68
一、幅—频特性和相—频特性	68
二、下限频率、上限频率与通频带	68
三、频率失真	68
第二节 放大电路的频率响应	69
第五章 放大电路的负反馈	71
第一节 反馈的分类	71
一、负反馈、正反馈	71
二、直流反馈、交流反馈	72
三、电流反馈和电压反馈	73
四、串联反馈和并联反馈	73
第二节 四种常见负反馈电路分析	74
一、电压并联负反馈	74
二、电压串联负反馈	75
三、电流并联负反馈	75
四、电流串联负反馈	76
第三节 反馈的一般表达式	76
第四节 负反馈对放大电路的影响	78
一、提高放大倍数的稳定性	78
二、减小非线性失真	78

三、降低噪声	79
四、展宽频带	80
五、改变输入电阻和输出电阻	80
第五节 负反馈放大电路的自激及校正	80
一、自激产生条件	80
二、自激校正措施	81
第六章 场效应管放大电路	85
第一节 场效应管的结构及特性	85
一、结型场效应管	85
二、绝缘栅场效应管	87
三、场效应管的主要参数	90
四、场效应管与晶体三极管的区别	92
第二节 场效应管放大电路	92
一、共源极放大电路	92
二、共漏极放大电路	94
第七章 运算放大电路	95
第一节 集成电路基本知识	95
一、集成电路的种类	95
二、集成电路电路的结构特点	96
三、集成电路的外形	96
四、集成电路的优、缺点	97
第二节 集成运放的基本组成	98
一、差分放大输入级	98
二、偏置电路	107
三、中间级	108
四、输出级	109
五、集成运放的主要技术参数	110
第三节 基本运算放大电路	111
一、运算放大器的分类	111
二、运算放大器的特点	111
三、常见运算放大电路	113
第四节 集成运放电路的应用	119
一、有源滤波电路	120
二、电压比较器	122
三、非正弦波发生器	128

四、集成运放应用中的几个问题	133
五、应用举例	134
第八章 功率放大电路	137
第一节 功率放大电路概述	137
一、甲类、乙类、甲乙类和丙类功率放大电路	138
二、最大输出功率和效率	139
三、定阻式和定压式输出	139
第二节 OTL 功率放大电路	140
一、OTL 乙类互补对称电路	140
二、OTL 甲乙类互补对称电路	140
第三节 OCL 功率放大电路	143
第四节 BTL 功率放大电路	145
一、推动级电路分析	146
二、功放输出级电路分析	146
第九章 正弦波振荡电路	149
第一节 电磁振荡	149
一、电磁振荡的产生	149
二、振荡过程	149
三、电磁振荡的周期和频率	150
四、无阻尼振荡和阻尼振荡	151
五、LC 串联谐振电路	151
六、LC 并联谐振电路	154
第二节 正弦波振荡电路组成和工作过程	155
一、正弦波振荡电路的组成	155
二、产生正弦波振荡的条件	156
三、振荡电路的工作过程	156
第三节 正弦波振荡电路分析	156
一、电感三点式正弦波振荡器	157
二、电容三点式振荡电路	159
三、石英晶体振荡电路	163
四、RC 正弦波振荡器	167
五、变压器耦合正弦波振荡器	171
第十章 电源电路	174
第一节 直流稳压电源的分类及组成	174
一、直流稳压电源的分类	174

二、直流稳压电源的组成	174
第二节 整流电路	175
一、半波整流电路	175
二、全波整流电路	176
三、桥式整流电路	178
四、倍压整流电路	180
第三节 滤波电路	183
一、电容滤波电路	183
二、 π 型 RC 滤波电路	185
三、电感滤波电路	186
四、LC 滤波电路	187
五、 π 型 LC 滤波电路	187
六、电子滤波器电路	187
第四节 直流稳压电路	188
一、硅稳压管稳压电路	188
二、串联型稳压电路	189
三、开关电源	194
第五节 交流稳压电源电路	208
一、手动调压器	208
二、自动调压器	209
第六节 逆变电源和 UPS 电源电路	213
一、逆变电源	213
二、UPS 电源	214
第十一章 晶闸管整流和触发电路	217
第一节 晶闸管整流电路	217
一、晶闸管的结构和原理	217
二、晶闸管整流	219
第二节 晶闸管的触发电路	222
一、单结管的结构及特性	222
二、单结管脉冲发生电路	224
三、单结管触发电路	225
第十二章 调制与解调电路	227
第一节 无线电传播基础知识	227
一、电磁波	227
二、电磁波的频率、波长	228

三、波段与频段	229
四、无线电波的传播	230
第二节 无线电发射和接收设备的组成	232
一、通信系统的组成	232
二、无线电发射设备的组成	233
三、无线电接收设备的组成	234
第三节 调幅及解调(检波)电路	236
一、调幅	236
二、调幅解调(检波)电路	240
第四节 调频及解调(鉴频)电路	246
一、调频	246
二、调频解调(鉴频)电路	251
* 第五节 模拟乘法器和同步检波电路	258
一、模拟乘法器的原理	258
二、模拟乘法器在同步检波器中的应用	259
第六节 射频调制器介绍	263
一、射频调制器的基本组成	263
二、实用射频调制器	264
第十三章 高频放大电路	266
第一节 高频放大电路概述	266
一、高频放大电路的高频特性	266
二、高频放大电路基本术语	270
三、高频放大电路连接形式	272
四、高频放大电路的耦合方式	274
五、高频放大电路的负载	274
第二节 非调谐高频放大电路	275
一、非调谐高频放大电路的简化	275
二、非调谐高频放大电路的估算	276
三、非调谐放大电路频带展宽措施	277
四、非调谐放大电路的应用	278
第三节 调谐高频放大电路	281
一、单调谐放大电路	281
二、双调谐放大电路	283
三、自动增益控制电路	287
四、陶瓷滤波器在调谐放大器中的应用	289

第四节	高频功率放大器	292
一、	高频功率放大器概述	292
二、	高频功率放大器基极负偏压产生电路	294
三、	高频功率放大器的负载匹配	294
四、	高频功率放大器分析	295
第十四章	混频器	298
第一节	混频器概述	298
一、	混频器的作用	298
二、	混频器的组成	299
三、	混频器的工作原理	300
四、	混频器中频及振荡频率的选择	301
第二节	常见混频电路(混频器)	301
一、	二极管混频器	301
二、	三极管混频器	303
第三节	混频器的干扰	306
一、	组合频率干扰	306
二、	副波道干扰	307
三、	交叉调制干扰	309
四、	互相调制干扰	309
五、	包络失真与阻塞干扰	309
第四节	超外差收音机整机电路分析	310
一、	输入回路	310
二、	变频电路	312
三、	中频放大电路	313
四、	检波电路	314
五、	自动增益控制电路	314
六、	低频前置放大与功率放大电路	315
第十五章	自动频率控制电路和频率合成技术	316
第一节	自动频率控制电路	316
一、	自动频率控制的工作原理	316
二、	自动频率控制电路的应用	317
第二节	频率合成技术	318
一、	频率合成器的基本组成	318
二、	频率合成器的基本工作过程	319
三、	频率合成技术的应用	319

第十六章 模拟电路检测方法和技巧	322
第一节 电路的测试及检测技巧	322
一、直流电压及检测技巧.....	322
二、交流电压及检测技巧.....	324
三、测试电阻值及检测技巧.....	324
四、直流电流及检测技巧.....	325
第二节 电路的检测方法	326
一、检查电路工作点.....	326
二、改变偏置状态观察电路工作状态.....	327
三、强迫停振观察振荡级工作状态.....	328
第十七章 模拟电子技术仿真实验	329
第一节 Edison 仿真软件的基本使用方法	329
一、Edison 简介.....	329
二、Edison4.0 的立体声光实验室.....	330
三、电路图分析器.....	339
四、Edison4.0 的控制面板.....	340
五、Edison4.0 的基本操作.....	340
六、电路图编辑器.....	342
第二节 用 Edison 仿真软件做模拟电子技术实验	349
一、二极管整流滤波电路实验.....	349
二、三极管和场效应管基本特性实验.....	354
三、三极管放大电路实验.....	356
四、场效应管放大电路实验.....	362
五、施密特触发器实验.....	363
六、有源滤波电路实验.....	365
参考文献	370

第一章 二极管基本电路

半导体器件具有体积小、质量轻、寿命长、工作可靠等优点,在电子技术中得到了广泛的应用。半导体器件种类很多,如二极管、三极管、场效应管、晶闸管等,本章只介绍最简单的半导体器件——二极管,并对二极管常见电路进行系统的分析。

第一节 半导体基础知识

一、导体、绝缘体和半导体

自然界的各种物质,根据其导电能力的差别,可以分为导体、绝缘体和半导体三大类。容易导电的物体叫做导体,如铜、银、铝、石墨以及酸、碱、盐的水溶液等都是导体。相应地,不容易导电的物体叫做绝缘体,如橡胶、玻璃、陶瓷、塑料、云母、油等都是绝缘体。电线的芯线是用金属来做的,因为金属是导体,容易导电;电线芯线外面包上一层橡胶或塑料,因为它们是绝缘体,能够防止漏电。

导体和绝缘体之间没有绝对的界限,绝缘体并非绝对不导电,只是绝缘体的电阻率很大。在室温下,金属导体的电阻率一般为 $10^{-8}\Omega \cdot \text{m} \sim 10^{-6}\Omega \cdot \text{m}$;绝缘体的电阻率一般为 $10^8\Omega \cdot \text{m} \sim 10^{18}\Omega \cdot \text{m}$,长为 1m、横截面积为 $1 \times 10^{-4}\text{m}^2$ 的一段绝缘体,两端加以 1V 电压,通过的电流为 $10^{-14}\text{A} \sim 10^{-4}\text{A}$,可见电流是多么微小了。

有些材料,它们的导电性能介于导体和绝缘体之间,而且电阻不随温度的升高而增加,反而随温度的升高而减小,这种材料称为半导体,半导体的电阻率为 $10^{-5}\Omega \cdot \text{m} \sim 10^6\Omega \cdot \text{m}$ 。

单纯从导电性能来看,半导体既不能很好地传导电流,又不能可靠地隔绝电流,所以它在电工和电子技术领域中,曾长期受到冷遇。直到 1948 年发明了晶体管,人们才发现半导体的许多奇妙而可贵的特性,也正是半导体器件的应用引起了电子学领域的第二次革命。

在电子器件中,常用的半导体材料有:元素半导体,如硅(Si)、锗(Ge)等;化合物半导体,如砷化镓(GaAs)等;以及掺杂或制成其他化合物半导体材料,如硼(B)、磷(P)、铟(In)和锑(Sb)等。

二、半导体的特性

“半导体”在现代电子技术中扮演着极为重要的角色,形形色色的半导体器件已经成为电子设备的核心,无线电爱好者更是整天和半导体器件打交道。那么,到底是什么神奇的特性让半导体发挥如此大的作用呢?

半导体的奇妙特性主要有以下几个方面。

1. 热敏特性

半导体的电阻率随温度变化会发生明显地改变。例如,纯锗,温度每升高 10°C ,它的电阻率就要减小到原来的 $1/2$ 。温度的细微变化,能从半导体电阻率的明显变化上反映出来。利用半导体的热敏特性,可以制作感温元件——热敏电阻,用于温度测量和控制系统中。值得注意的是,各种半导体器件都因存在着热敏特性,在环境温度变化时影响其工作的稳定性。

2. 光敏特性

半导体的电阻率对光的变化十分敏感。有光照时,电阻率很小;无光照时,电阻率很大。例如,常用的硫化镉光敏电阻,在没有光照时,电阻高达几兆欧;受到光照时,电阻可下降到几万欧,电阻值改变了上千倍。利用半导体的光敏特性,制作出多种类型的光电器件,如光电二极管、光电三极管及硅光电池等,广泛应用于自动控制 and 无线电技术中。

3. 掺杂特性

在纯净的半导体中,掺入极微量的杂质元素,就会使它的电阻率发生极大的变化。例如,在纯硅中掺入百万分之一的硼元素,其电阻率就会从 $214000\Omega \cdot \text{cm}$ 减小到 $0.4\Omega \cdot \text{cm}$,也就是硅的导电能力提高了 50 多万倍。人们正是通过掺入某些特定的杂质元素,人为地控制半导体的导电能力,制造成不同类型的半导体器件。现在,几乎所有的半导体器件,都是用掺有特定杂质的半导体材料制成的。

三、半导体的结构

构成一切物质的基础是原子,按照原子排列形式不同,物质可分为晶体和非晶体两大类。晶体通常都具有规则的几何形状,它内部的原子按照一定的晶格结构有规律地整齐排列着。半导体材料硅和锗都是晶体,由化学元素周期表可知,硅和锗都是四价元素,也就是说,它们的原子最外层轨道上都有 4 个价电子。图 1-1(a)、(b) 为硅和锗的原子结构。处在原子核最外层的这 4 个电子叫做价电子,有几个价电子就叫几价元素,这样就可以用图(c)来表示四价元素硅和锗。

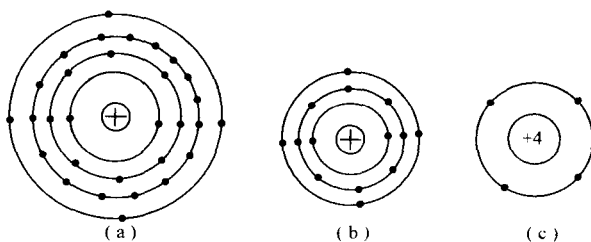


图 1-1 硅、锗的原子结构及简化示意图

(a) 锗原子; (b) 硅原子; (c) 四价原子简化示意图。

由原子结构理论知道,原子最外层电子达到 8 个时呈现比较稳定的状态,因此两个相邻原子价电子必须成对地存在。如图 1-2 所示,这一对价电子同时受这两个原子核的束缚,为它们所“共有”,我们叫它为“共价键”。由于共价键的存在,原子核最外层相当于有 8 个电子,比较稳定,因此本征半导体(纯净的不含其他杂质的半导体称为本征半导体)不易导电。但稳定是相对的,共价键上电子所受的束缚不像绝缘体那样牢固,在一定温度或