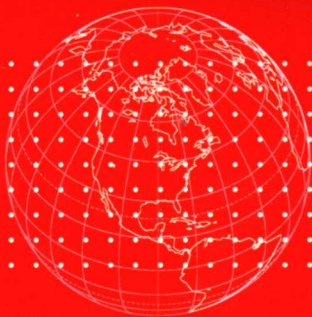


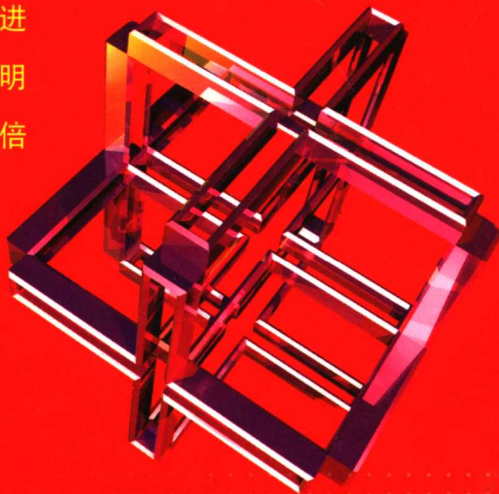
电子爱好者读本



常用半导体器件 及模拟电路

陈永甫 主编

名师导读，宜于自学
由浅入深，循序渐进
重点突出，层次分明
学以致用，事半功倍



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

电子爱好者读本

常用半导体器件及模拟电路

陈永甫 主编

人民邮电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

常用半导体器件及模拟电路/陈永甫主编. —北京: 人民邮电出版社, 2006. 1
(电子爱好者读本)

ISBN 7-115-13805-2

I. 常... II. 陈... III. ①半导体器件②模拟电路 IV. ①TN303②TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 112754 号

内 容 提 要

本书是“电子爱好者读本”之一, 是初学者步入电子应用园地必读的基础读物。本书内容从半导体基础知识开始, 分章介绍了二极管、三极管的工作原理和特性, 以及基本放大电路、场效应晶体管、集成运算放大器、功率放大器等。全书各章节选材讲究, 内容由浅入深, 层次分明, 语言简练, 图文结合, 易学易懂。本书的编写着重物理概念, 突出应用性和基本技能的培养。结合各章节的内容, 列举了大量典型应用电路、器件选用知识和检测方法, 还推荐了一批质优价廉或极具特色的半导体器件及其使用资料, 数据来源确切, 可供读者在选用器件或进行电路设计时参考、使用。书中还设置了一些小栏目, 以加强知识间的衔接, 帮助读者提高分析能力和操作技能。

本书适用于广大电子爱好者, 大中专院校、技校以及职业院校的电气类、电子类、机电类专业的师生, 以及有关工程技术人员、技师和维修人员。

电子爱好者读本

常用半导体器件及模拟电路

-
- ◆ 主 编 陈永甫
责任编辑 刘 朋
 - ◆ 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>
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 720 × 980 1/16
印张: 20.5
字数: 370 千字
印数: 1.5 000 册
 - 2006 年 1 月第 1 版
2006 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-13805-2 / TN · 2562

定价: 26.50 元

读者服务热线: (010) 67129264 印装质量热线: (010) 67129223

“电子爱好者读本”序言

随着科学技术的发展和高新技术的广泛应用，电子技术在国民经济的各个领域所起的作用越来越大，并深深地渗透到人们的生活、工作、学习的各个方面。新的世纪已跨入以电子技术为基础的信息化社会，层出不穷的电子新业务、电子新设施几乎无处不在、举目可见。掌握一定的电子技术知识和技能是电子信息时代对每个国民提出的要求和召唤，也是提高素质、搞好本职工作的需要。

我国的电子爱好者逾千万，而且每年都有大量的青少年出于对电子技术的偏爱而源源不断地加入到这个行列中来。如何帮助这些电子爱好者尽快地学习和掌握电子技术基础知识和技能，尽快地融入这个五彩缤纷的电子世界，是众多电子科学普及工作者和教育者关心和考虑的问题。

对于广大电子爱好者来说，显然，自学是他们学习电子技术的重要方式。但自学碰到的问题很多，首要的问题就是选择适合于自学的课本或读物。目前，国内虽然出版了不少不同版本的电气、电子类教材，但大都是面向全日制大中专院校或脱产学习的职业院校学生编写的，而适用于电子爱好者自学的读本并不多见。没有适合的课本或读物，自学的困难是显而易见的。

笔者年少时，出于对无线电的好奇进而痴迷，并选择了无线电专业学习，后长期从事电子技术的应用、开发和教学工作。作为一个工作多年的电子爱好者，深知自学的艰辛和电子爱好者的需求。为电子爱好者编写一套通俗易懂的电子读本，是笔者多年的愿望。根据自学的特点，结合自己长期的学习心得、实践体验和教学经验，编写了这套电子通俗读本。

这套电子爱好者读本先期包括《电工电子技术入门》、《常用电子元件及其应用》、《常用半导体器件及模拟电路》、《数字电路基础及快速识图》等，后期将推出电子技术专题读物。各读本的内容前后关联（先原理，后应用；先元件，后电路；先基础，后专题），可组成一套较系统的电子技术读物。但各册的内容又相对独立，读者可视自身情况进行选择，如初学者可系统地阅读，有一定基础者可择册选读。

本套读本在内容安排上尽量做到由浅入深、循序渐进、内容精练、概念清晰、应用性强；在编写上，尽量用通俗的语言和图文结合的方式，阐明电磁学、电子技术各相关方面的基本原理和基本物理概念，尽量避免冗长的理论分析，淡

化烦琐的数学推导，简明扼要地阐明必须掌握的核心内容及问题的实质，突出应用；在写法上，每章节按“要点”、“基本内容”、“例题”（或“实例”）依次讲解，还有选择地设置了“识图与制作”、“知识链接”、“应用导读”等栏目，重点突出、层次分明。

这套电子爱好者读本虽然是为广大电子爱好者编写的，但也适合于在读的大中专院校及职业院校的学生阅读、参考。全日制学生必学科目多，课业重。过量的知识灌输、冗长的理论分析以及复杂的数学推导，使多数学生头脑胀满、不堪重负。本套读本的内容涵盖了电气、电子类专业的电磁学、电工学、电子技术基础（包括模拟电子技术和数字电子技术）、电子元器件等课程的主要内容，但内容精练、选材得当。对电磁学、电工学及电子技术中的重要定律（定理）和相关概念、原理，均有明确的定义和扼要说明，表述确切、概念清晰、重点突出。本套读本可帮助读者从过量灌输的知识中理清思绪、分清主次、抓住并掌握核心内容和问题的实质。同时，本套读本除基本内容外，还编进了大量应用知识、相关知识、具体应用实例、分析方法、设计技巧和实践经验，这对于培养能力、扩大知识面和提高素质是有益的。

本套读本由陈永甫主笔，谭秀华、陈一民、高国君、龙海南、李芬华、潘立冬、舒冬梅、景春国、张微、陈立和张梦儒等参加了编写工作。

关于书中相关栏目的说明

◆ **要点：**位于每节的开始，点明该节的实质内容或结论，以利于读者了解所讲述的中心内容和精髓所在。

◆ **基本内容：**是本节的主要部分，对“要点”点明的内容进行详细介绍或系统论证，突出基本概念和基本定律，语言通俗，易学易懂。

◆ **例题：**结合内容，列举典型例题，以有助于深入理解课程内容，消化所学知识，并从中学习解决问题的方法，提高分析问题的能力。

◆ **知识链接：**穿插于各章节之中，对与所讲内容相关的知识或连带的技术（信息）作扼要说明或介绍，加强知识间的链接，拓宽知识面。

◆ **识图与制作：**欲进入电子园地，首先得会看电路图，即识图。会识图，是进行电路分析、制作和维修的基础。通过本栏目，读者可学习如何看懂电路图，如何对电路的组成和工作原理进行分析，并从中认识和识别各种常用电子元器件，了解元器件的属性、选用技巧和使用方法等。读者通过本栏目的学习，可使所学知识与应用相结合，进一步加深对基础知识和基本概念的理解，熟悉电子应用设计或制作的基本过程和基本方法，提高分析能力、应用能力和动手操作技巧。

◆ **应用导读：**穿插于各章节中，结合书中内容，联系实际，列举典型应用实例，进行简短说明或分析，学用结合，提高读者的应用能力和动手制作能力。

◆ **图表的使用：**为了便于理解所讲内容，书中安插了大量配图，图形绘制精细，表达确切，图文结合，易学易懂；书中也配备了大量数据表格，资料来源确切、翔实，可直接用来进行电路计算或工程设计。

◆ **小结：**每一章的结尾都附有小结，起画龙点睛的作用。只要读懂了每节开头的“要点”及后面的“小结”，应该说已经掌握了该章的实质内容和精髓。“要点”和“小结”旨在帮助读者掌握课程内容的重点，检查学习效果，并起到归纳总结的作用。

目 录

第 1 章 半导体器件基础和二极管	1
1.1 半导体基本知识	1
1.1.1 半导体的概念	1
1.1.2 半导体的性质	2
1.1.3 本征半导体的晶体结构和导电原理	3
1.2 N 型半导体和 P 型半导体	5
1.2.1 N 型半导体(电子型半导体)	6
1.2.2 P 型半导体(空穴型半导体)	7
1.3 PN 结及其单向导电性能	7
1.3.1 半导体 PN 结的形成	8
1.3.2 PN 结的单向导电特性	10
1.4 半导体二极管的结构和特性	11
1.4.1 二极管的基本结构和电路图形符号	12
1.4.2 二极管的伏安特性	13
1.4.3 二极管的主要技术参数	16
1.4.4 普通二极管性能好坏的简易检测	17
1.5 常见二极管及其应用	18
1.5.1 整流二极管	18
应用导读 单相半波整流电路	23
全波桥式整流电路	24
1.5.2 检波二极管	25
1.5.3 稳压二极管	28
1.5.4 开关二极管	33
1.5.5 普通发光二极管	35
1.5.6 高亮度和超高亮度单色发光二极管	41
1.5.7 变色发光二极管	42
识图与制作 趣味变色电子花饰的制作	45
1.5.8 发光二极管的驱动、正确使用和安装	47

1.5.9 闪烁发光二极管	50
1.5.10 电压型发光二极管	51
1.5.11 双基极二极管(单结晶体管)	52
应用导读 可控硅调压调光电路	58
正向、负向锯齿波发生器	59
小结	60
第2章 半导体三极管(双极型晶体管)	62
2.1 半导体三极管的基本结构和分类	62
2.1.1 三极管的基本构造和特点	62
2.1.2 三极管的分类	64
2.2 半导体分立器件型号的命名方法	65
2.2.1 中国半导体分立器件型号命名方法	65
2.2.2 美国半导体分立器件型号命名方法	66
2.3 三极管内的电流分配与放大原理	67
2.3.1 三极管的电压偏置与放大状态	67
2.3.2 三极管的电流分配与放大机理	68
2.3.3 三极管电流的实测和数据分析	71
2.4 三极管的特性曲线	73
2.4.1 共发射极电路输入特性曲线	73
2.4.2 三极管输出特性曲线	74
2.5 三极管的主要技术参数	76
2.5.1 三极管的主要直流参数	76
2.5.2 三极管的交流参数	77
2.5.3 三极管的极限参数	81
2.6 常用半导体三极管的型号和性能参数	82
2.6.1 常用低、中频小功率三极管的型号和特性参数	83
2.6.2 常用低、中频大功率三极管的型号和特性参数	85
2.6.3 常用高频三极管的型号和特性参数	88
识图与制作 单管来复再生式收音机的制作	95
2.7 半导体三极管的简易测试及判别	97
2.7.1 三极管类型的判别	97
2.7.2 三极管各电极引脚的判别和检测	99
2.7.3 三极管的 I_{ceo} 和 β 值的简易测量	100

2.8 半导体三极管的选用、代换及使用注意事项	102
2.8.1 半导体三极管的选用	102
2.8.2 半导体三极管使用注意事项	104
2.8.3 半导体三极管的代换	104
识图与制作 低压微型直放式耳塞收音机	105
小结	108
第3章 三极管基本放大电路	110
3.1 三极管放大电路的功能、分类和主要指标	110
3.1.1 放大电路的功能及分类	110
3.1.2 放大电路的主要性能指标	111
知识链接 电平的概念	113
分贝 (dB)	114
电压增益或电流增益 G (dB)	114
3.2 基本放大电路的组成及其工作原理	115
3.2.1 共发射极放大电路的组成	115
3.2.2 共发射极放大电路的工作原理	116
知识链接 放大电路按信号频率的高低分类	119
3.3 放大电路的分析方法	119
3.3.1 放大电路的直流通路和交流通路	120
3.3.2 放大电路静态工作点的合理设置和估算方法	120
3.3.3 放大电路的静态图解分析	122
3.3.4 放大电路的动态图解分析	123
3.3.5 交流负载线及交流信号的放大	125
3.3.6 静态工作点对信号输出波形的影响	127
3.4 微变等效电路分析法	129
3.4.1 三极管的微变等效电路	129
3.4.2 固定偏流式共发射极放大电路的微变等效电路	131
应用导读 放大电路按工作点分类及其特征	134
3.5 能自动稳定工作点的分压偏置式共发射极放大电路	135
3.5.1 温度变化对静态工作点的影响	135
3.5.2 分压偏置式共发射极放大电路及其工作点稳定过程分析	136
3.5.3 分压偏置式共发射极放大电路的交流分析及性能估算	140
应用导读 共发射极放大电路的 $h_{FE}(\beta)$ 和 $h_{fe}(\beta)$ 的含义及数值	144

3.6 共集电极放大电路(射极输出器)	145
3.6.1 共集电极放大电路的组成及其工作原理	146
3.6.2 共集电极放大电路的直流分析	147
3.6.3 共集电极放大电路的交流分析	147
3.6.4 共集电极放大电路的特点和应用	149
3.7 共基极放大电路	151
知识链接 共基极电流放大系数 $\bar{\alpha}$ 和 α	153
共基极电流放大系数 α 与共发射极电流放大系数 β 之间的 关系	154
应用导读 三种基本放大电路比较	154
放大倍数 A 与增益 G	154
小结	157
第4章 场效应晶体管(单极型晶体管)	158
4.1 概述	158
4.2 结型场效应晶体管	159
4.2.1 结型场效应晶体管的结构及电路图形符号	159
4.2.2 结型场效应晶体管的工作原理	160
4.2.3 结型场效应晶体管的特性曲线和主要技术参数	162
4.2.4 常用小功率结型场效应晶体管及其性能参数	164
4.3 绝缘栅场效应晶体管	166
4.3.1 N沟道增强型绝缘栅场效应晶体管	167
4.3.2 N沟道耗尽型绝缘栅场效应晶体管	170
应用导读 各种场效应晶体管的电路图形符号及特性比较	171
4.4 场效应晶体管的偏置及其基本放大电路	172
4.4.1 场效应晶体管的偏置电路	173
4.4.2 场效应晶体管基本放大电路	176
4.5 场效应晶体管放大电路的动态分析	178
4.5.1 场效应晶体管的微变等效电路	178
4.5.2 共源极场效应晶体管放大电路分析和参数估算	179
应用导读 三种场效应晶体管基本放大电路比较	180
4.6 功率型 MOS 场效应晶体管	182
4.6.1 功率型 VMOS 场效应晶体管	182
4.6.2 功率型 L-MOS 场效应晶体管	184

4.7 场效应晶体管的简易检测、判别及使用	185
4.7.1 场效应晶体管的简易检测和质量判断	185
4.7.2 场效应晶体管的代换与使用注意事项	187
识图与制作 采用 MOS 型双栅场效应管的再生式收音机电路	189
4.8 场效应晶体管应用电路	190
4.8.1 采用场效应晶体管的驻极体传声器	191
4.8.2 场效应晶体管源极输出器阻抗变换电路	191
4.8.3 采用功率型场效应晶体管的宽范围稳压电源电路	192
4.8.4 场效应晶体管放大电路	192
知识链接 单极型场效应晶体管和双极型三极管的比较	193
小结	193
第5章 集成运算放大器和差动放大电路	195
5.1 集成运算放大器概述	195
5.2 直接耦合放大电路	196
5.2.1 直流放大电路的耦合方式	196
5.2.2 直接耦合放大电路的零点漂移	198
5.3 差动放大电路的基本形式和共模抑制比	199
5.3.1 基本差动放大电路	199
5.3.2 零点漂移抑制原理	200
5.3.3 差动放大电路的共模抑制比	201
5.4 常用差动放大电路	202
5.4.1 具有公共发射极电阻的差动放大电路	202
5.4.2 具有恒流源的差动放大电路	203
知识链接 四种不同接法的带恒流源的差动放大电路及其特性比较	204
5.5 集成运算放大器的组成和分类	206
5.5.1 集成运放的组成和电路图形符号	206
5.5.2 集成运放的分类、封装形式及引脚排列	207
5.6 集成运算放大器的主要参数	209
5.7 集成运算放大器的传输特性及理想化处理方法	211
5.8 集成运算放大器的线性应用	213
5.8.1 集成运放线性应用时的分析方法	214
5.8.2 反相输入式放大电路	214
5.8.3 同相输入式放大电路	215

5.8.4 双端输入式放大电路	216
知识链接 集成运放电路的四种负反馈类型的判别及特点	217
5.9 集成运算放大器在模拟运算方面的应用	219
5.9.1 模拟信号比例运算电路	219
5.9.2 加法运算电路(反相输入求和电路)	219
5.9.3 减法运算电路	220
5.9.4 积分运算电路	220
5.9.5 微分运算电路	221
知识链接 集成运放六种模拟信号运算电路及其运算关系	222
5.10 集成运算放大器的非线性应用	224
5.10.1 集成运放非线性应用时的分析方法	224
5.10.2 集成运放在电压比较方面的应用	224
知识链接 集成运放六种电压比较电路及其特性	229
5.10.3 集成运放在信号产生方面的应用	230
应用导读 采用场效应管稳幅的桥式正弦波振荡器	235
5.11 常用集成运算放大器的性能参数及典型应用	236
5.11.1 典型及常用集成运放的型号及主要参数	236
5.11.2 优质价廉的通用型集成运放 CF741(μ A741)	240
5.11.3 CF741 的典型应用电路	244
5.11.4 通用型低功耗、高增益四运放 CF324 及其系列型号 CF124/224	246
应用导读 通用型四运放 CF324(LM324)应用实例与分析	247
5.12 集成运放的合理选用及使用时应注意的问题	250
5.12.1 集成运放的合理选用	250
5.12.2 集成运放的正确使用及防护措施	252
小结	257
第6章 功率放大器	259
6.1 功率放大器的任务、特点及分类	259
6.1.1 功率放大器的任务、特点及要研究的问题	259
6.1.2 功率放大器的分类及其工作状态	260
6.2 单管甲类功率放大器	262
6.2.1 静态工作点的选择	262
6.2.2 功率放大管交流负载阻抗(动态情况)的估算	264
6.2.3 单管甲类功率放大器的效率	265

6.3 变压器耦合乙类推挽功率放大器	266
6.3.1 推挽功率放大电路的由来及工作原理	266
6.3.2 乙类放大器及推挽放大图解分析	267
6.3.3 乙类推挽功率放大器的输出功率、效率和管耗	268
6.3.4 乙类推挽功率放大器的交越失真及克服办法	272
6.4 无输出变压器功率放大器(OTL 电路及 OCL 电路)	274
6.4.1 单端推挽 OTL 电路	275
6.4.2 单电源互补对称功率放大器	276
6.4.3 复合互补对称推挽 OTL 电路	277
6.4.4 双电源互补对称 OCL 功率放大电路	280
6.5 互补对称功率放大电路中功率管的配对和选择	282
6.6 集成功率放大器	285
6.6.1 常用单通道集成功率放大器	285
6.6.2 常用双声道集成音频功率放大器	288
6.6.3 大功率集成功率放大器	291
识图与制作 “傻瓜”型大功率集成功率放大器的典型应用	292
6.7 推荐几种具有特色的高性价比集成功率放大器	293
6.7.1 LA4100(CD4100)系列集成音频功率放大器	293
应用导读 LA4100(DF4100)的典型应用电路及分析	295
6.7.2 小功率集成音频放大器 LM386	296
6.7.3 小巧的低电压双声道集成功率放大器 TDA2822M	299
6.7.4 优质双声道 14W 集成音频功率放大器 TDA2030	302
6.7.5 性能优异的大功率集成功率放大器 LM1875	305
知识链接 BTL 电路的由来及实用 BTL 功率放大电路	307
应用导读 用两只 LA4100 构成的实用 BTL 功放电路	308
用两只 TDA2030 构成的 BTL 功放电路	310
小结	310

第 1 章

半导体器件基础和二极管

半导体器件是近代电子学的重大发明，是电子电路不可缺少的器件。本章首先介绍半导体的基本知识、半导体的特性、本征半导体和掺杂半导体在导电性能上的区别、PN 结的形成过程及其单向导电特性，然后介绍在电子技术中广泛应用的半导体二极管的工作原理、特性曲线及其主要参数。

1.1 半导体基本知识

要点

半导体是指导电能力介于导体和绝缘体之间的一类物质，如 4 价元素硅、锗等。在半导体中有自由电子和空穴两种载流子。半导体在外界温度升高、受到光照或掺入微量杂质时，它的导电能力会显著加强。利用半导体的这些特性可制造各种半导体器件。本征半导体是指完全纯净的具有完整的晶体结构的半导体。本征半导体在环境温度升高或受到光照时产生本征激发，形成自由电子和空穴，且成对出现。常温下本征半导体的导电能力不强。

1.1.1 半导体的概念

顾名思义，半导体是指导电性介于导体和绝缘体（非导体）之间的物质。铜、银、铝等金属是导电的物质，称为导体；玻璃、橡胶、云母等则是不导电的物质，称为绝缘体。除上述两类材料外，还有像硅（Si）、锗（Ge）等具有一定流通电流（较小）的物质，称为半导体。

表征电流流通难易程度的物理量是电阻率 ρ ，它定义为长度 $L = 1\text{cm}$ 、截面积 $S = 1\text{cm}^2$ 的固体两端的电阻值，单位为 $\Omega \cdot \text{cm}$ ，如图 1-1 所示。

电阻率是物质的固有特性。导体、半导体和绝缘体

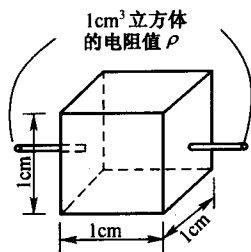


图 1-1 电阻率的定义

的电阻率是不同的。表 1-1 列出了部分物质的电阻率。

表 1-1 部分物质的电阻率 ρ

物质名称		电阻率 ρ ($\Omega \cdot \text{cm}$)
导体	银 (Ag)	1.6×10^{-10}
	铜 (Cu)	1.7×10^{-10}
	铝 (Al)	2.8×10^{-10}
半导体	锗 (Ge)	0.47×10^{-2}
	硅 (Si)	6.3
绝缘体	普通玻璃	$10^8 \sim 10^9$
	云 母	9×10^{12}
	橡 胶	$10^8 \sim 10^{10}$

通常, 金属的电阻率在 $10^{-9} \sim 10^{-10} \Omega \cdot \text{cm}$ 范围内, 绝缘体的电阻率在 $10^8 \sim 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ 范围内, 而半导体的电阻率在 $10^{-6} \sim 10 \Omega \cdot \text{cm}$ 范围内。

固体的电阻 R (Ω) 与电阻率 ρ ($\Omega \cdot \text{cm}$) 之间有如下关系:

$$R = \rho L / S \quad (1-1)$$

式中: L 为固体的长度, 单位为 cm ; S 为固体的截面积, 单位为 cm^2 。

有时, 也用电导率表示导电情况, 它是电阻率的倒数, 单位为 S/cm 。

1.1.2 半导体的性质

半导体不仅仅是电阻率与导体、绝缘体的不同, 且由于组成物质的内部结构不同, 半导体还具有如下特殊性质。

一、热敏特性

大多数半导体对温度的变化很敏感, 且其电阻会随温度的升高而减小。这与一般金属随温度升高, 其电阻值增大的特性是完全不同的。利用半导体的热敏特性可以制成各种电子元器件, 现有的热敏电阻器、热敏电阻温度计就是其应用之一。

二、光敏特性

许多半导体在受到光的照射后, 其电阻率会下降, 这种特性称为光敏特性。例如, 硫化镉在常态时的电阻值高达几十千欧, 而在受到光照后, 其电阻值可下降至几十欧。利用这种特性可制成各种光电元件或器件, 如光敏电阻、光电二极管、光电探测器件等。此外, 半导体还具有被光照射后会产生电动势的性质, 太

太阳能电池就是其应用实例。

三、接触作用及整流特性

实验证实,在半导体与金属的接触面上具有整流作用。在图 1-2 所示的 N 型半导体上竖立一根金属针,并如图接线施加交流电压,则电流从金属针向 N 型半导体方向的流动较易,而向反方向的流动则较难,将这样的接触作用称为整流作用。这对于检波二极管、整流二极管的制作有重要启示作用。

四、霍尔效应与霍尔电压

霍尔 (Hall) 效应是将半导体放在磁场中所发生的一种效应。如图 1-3 所示,将 N 型半导体置于一定磁场强度的磁场中,并在与半导体垂直的方向上通以电流,则在与电流和磁场成直角的方向,即上下方向上会产生电动势。这种磁效应现象称为霍尔效应。在半导体中产生的电动势称为霍尔电压。霍尔器件就是利用霍尔效应研制的。

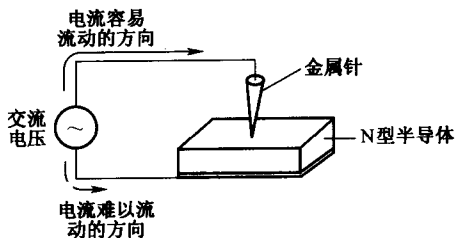


图 1-2 半导体的整流作用

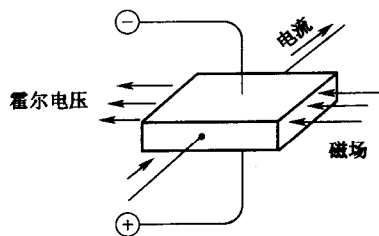


图 1-3 半导体的霍尔效应

五、掺杂特性

在纯净的半导体中掺入微量的某种杂质,则其电阻率就会急剧下降。例如,在纯硅中掺入百万分之一的硼,则半导体硅的电阻率就从约 $2 \times 10^3 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 减少到 $4 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 左右。半导体的这种特性称为掺杂特性。可利用这种特性制成两种类型的掺杂半导体,并以这两种半导体制成 PN 结,从而制作出各种半导体器件,如半导体二极管、三极管、场效应管等。

半导体之所以具有上述的特殊性质,在于它的导电机构不同于其他物质。因此,我们有必要了解半导体的结构和导电机理。

1.1.3 本征半导体的晶体结构和导电原理

一、本征半导体的晶体结构

本征半导体,是指具有完全的晶体结构的纯净的半导体。在工程中最常用的

半导体材料是硅 (Si) 和锗 (Ge) 的单晶晶体 (简称单晶)。将半导体硅 (或锗) 经过拉单晶工艺提炼, 使硅 (或锗) 材料的原子按结晶方式规则地排列且对称, 形成硅 (或锗) 单晶体。如果半导体材料中的原子排列不规则, 则形成的半导体晶体叫做多晶硅 (或锗)。

锗和硅的单个原子结构示意图如图 1-4 所示。电子在原子核的周围形成轨道。根据原子的种类不同, 轨道可以有多层且不等, 每一层轨道中能够进入的电子个数是一定的。最外层轨道中的电子称为价电子, 价电子的个数称为原子价。由图 1-4 可见, 硅和锗原子最外层的电子数都是 4 个, 即有 4 个价电子, 因此, 硅和锗的原子价是 4 价。由于内层的电子受原子核的吸引力较大, 所以它们与原子核结合为一种相对稳定的实体, 称为惯性核。惯性核带正电荷, 其电量大小等于外层电子带电的总和。惯性核和最外层的价电子共同构成一个简化后的惯性核等效模型, 如图 1-4 (c) 所示。图中的 “+4” 表示除外层的价电子外所有内层电子和原子核所具有的电荷量, 而整个原子呈中性。外层电子受原子核的吸引力较小, 其自由度较大。因此, 物质的化学性质是由外层的价电子数决定的, 半导体的导电性质也与价电子有关。

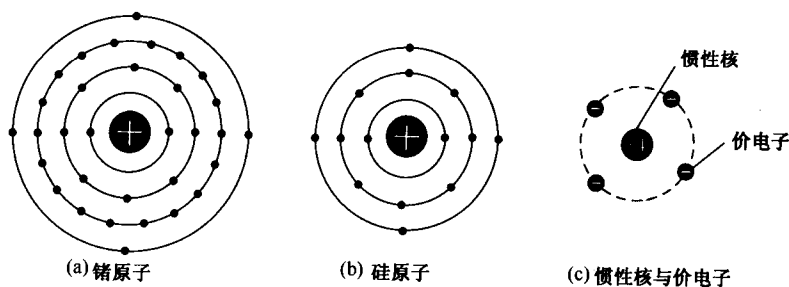


图 1-4 锗和硅单个原子的结构和惯性核等效模型示意图

本征半导体硅是纯净的晶体结构完整的单晶硅。在它的晶体结构中, 每个原子之间相互结合, 构成一种相对稳定的共价键结构, 如图 1-5 所示。单晶硅和单晶锗中每个原子最外层的 4 个价电子不仅受自身原子核的束缚, 而且还与周围相邻的 4 个原子发生联系。这时每两个相邻原子之间都共用一对电子, 使相邻的两个原子束缚在一起, 形成共价键结构。这样一来, 原子的最外层轨道上出现了如图 1-5 所示的 8 个价电子的稳定的原子结构。

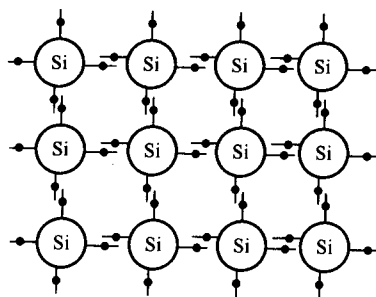


图 1-5 单晶硅 (Si) 的共价键结构二维模型