

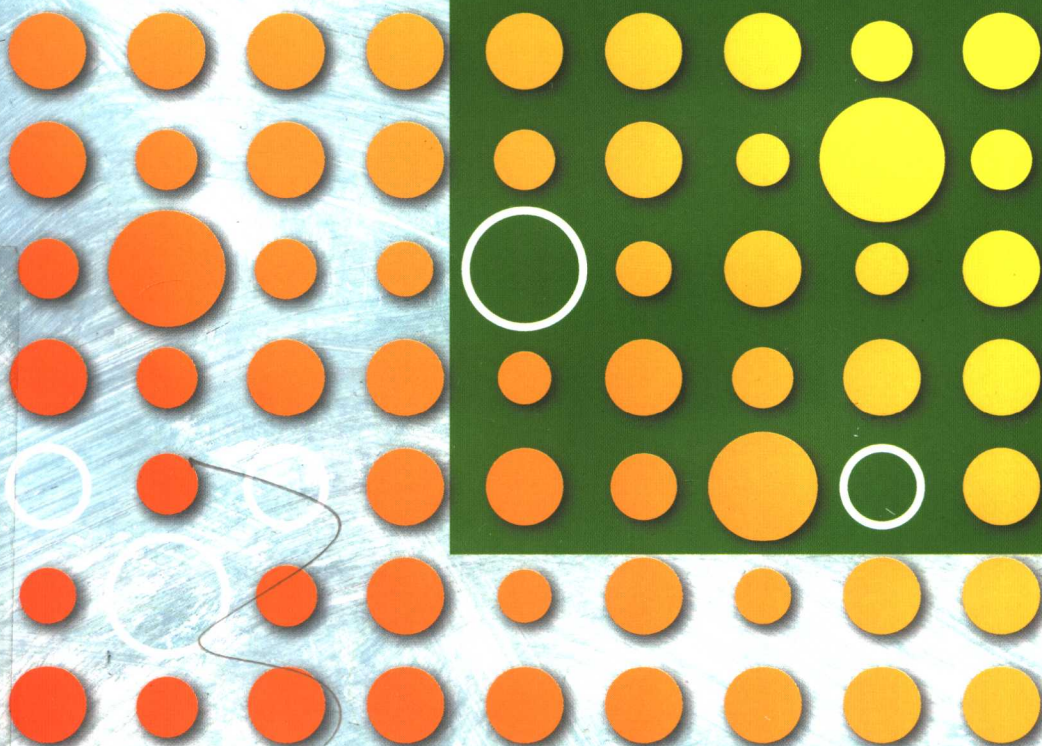


面向21世纪高等院校课程规划教材

数字电子技术

靳孝峰 主编

Digital Electronic Technology



北京航空航天大学出版社

TN79/156

2007



面向 21 世纪高等院校课程规划教材

数字电子技术

靳孝峰 主编

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书依据高等学校“数字电子技术”课程教学内容的基本要求而编写。在编写过程中充分考虑到现代数字电子技术的飞速发展,重点介绍了数字电子技术的新理论、新技术和新器件及其应用。

本书主要内容包括半导体器件、数字电路基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲信号的产生与整形、半导体存储器、可编程逻辑器件、数/模和模/数转换等10章内容。书中包含了大量的例题和习题,书后给出了附录,以便于学生自学。

本书适合高等院校本科的电子、电气、信息技术和计算机等专业作为“数字电子技术”课程教材使用,也适合高职高专相关专业作为教材以及工程技术人员作为技术参考书使用。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术/靳孝峰主编. —北京:北京航空航天大学出版社,2007.9

ISBN 978-7-81124-069-6

I. 数… II. 靳… III. 数字电路—电子技术—高等学校—教材 IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 124959 号

© 2007, 北京航空航天大学出版社, 版权所有。

未经本书出版者书面许可,任何单位和个人不得以任何形式或手段复制或传播本书内容。

侵权必究。

数字电子技术

靳孝峰 主编

责任编辑 吴中和

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路37号(100083) 发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail: bhpresse@263.net

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:24.5 字数:627千字

2007年9月第1版 2007年9月第1次印刷 印数:5 000册

ISBN 978-7-81124-069-6 定价:38.00元

前 言

数字电子技术课程是电子、电气、信息技术和计算机等专业必须开设的一门专业基础课。本书依据高等院校数字电子技术课程教学内容的基本要求而编写,并充分考虑到数字电子技术的飞速发展,加强了数字电子技术新理论、新技术和新器件及其应用的介绍。本书的编写原则是知识面宽、知识点新、应用性强,有利于学生的理解和自学。

本教材参考教学学时为 72~90 学时,可以根据教学要求适当调整。本教材具有以下特点:其一,本书反映了数字电子技术的新发展,重点介绍了数字电路的新技术和新器件。例如,本书用一章的篇幅介绍了应用越来越广泛的可编程逻辑器件及其应用;其二,本书重点介绍数字电路的分析方法和设计方法,以及常用集成电路的应用。在掌握分析方法和设计方法的前提下,对于数字集成电路的内部结构不进行过多地分析和繁杂的数学公式推导,力求简明扼要、深入浅出、通俗易懂;其三,本书内容编排上力求顺序合理,逻辑性强,可读性强,使读者更易学习和掌握;其四,对加宽、加深的内容均注有“*”号,以便于选讲和自学;其五,教材正文与例题、习题紧密配合。例题是正文的补充,某些内容则有意让读者通过习题来掌握,以调节教学节律,利于理解深化;其六,本书电路中所用逻辑符号均采用国标符号和国际流行符号。另外,本书可以与模拟电子技术教材配合使用,也可单独使用。考虑到不同学校不同专业,两门课程的开设顺序不同,本教材增加了模拟电子技术和数字电子技术的共同基础——半导体器件(第 1 章)。若已开设过模拟电子技术课程的专业,第 1 章可以省略;而对于只开设或者先开设数字电子技术的专业,必须首先讲解第 1 章。

本书由靳孝峰担任主编,负责制定编写要求和详细的内容编写目录,并对全书进行统稿和定稿。刘海昌、武超、陈英担任副主编。参加本书编写的人员均为长期从事数字电子技术教学的一线教师,具有丰富的教学经验。第 1 章由弓亚超、李慧共同编写,第 2 章和第 10 章由靳孝峰编写,第 3 章由陈英编写,第 4 章由刘海昌编写,第 5 章和第 6 章由李鸿征、郑文杰共同编写,第 7 章由侯丰泽编写,第 8 章和附录由刘云鹏、武超共同编写,第 9 章由赵锋、宋小乐共同编写。本书由河南理工大学付子义教授、李泉溪副教授主持审阅。两位老师在百忙中认真细致地审阅全书,并提出了宝贵建议。本书的编写得到了北京航空航天大学、郑州大学、

河南理工大学、焦作大学、中原工学院、平顶山工学院等兄弟院校的大力支持和热情帮助,北京航空航天大学出版社的工作人员为本书的成功出版付出了艰辛的劳动。编者在此对为本书成功出版做出贡献的所有工作人员表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中的错误与不当之处在所难免,敬请读者指正,以便不断改进。

作 者

2007年6月

目 录

绪 论

第 1 章 半导体器件

1.1 半导体的基本知识	3
1.1.1 本征半导体	3
1.1.2 杂质半导体	4
1.1.3 PN 结的形成和特性	5
1.2 半导体二极管	9
1.2.1 半导体二极管的结构	9
1.2.2 半导体二极管的伏安特性	9
1.2.3 半导体二极管的主要参数	10
1.2.4 半导体二极管的应用	12
1.2.5 特殊二极管	12
1.3 双极型半导体三极管	15
1.3.1 三极管的结构	16
1.3.2 三极管的电流分配与放大作用	17
1.3.3 共射极电路的特性曲线	20
1.3.4 三极管的主要参数	22
1.4 场效应管	24
1.4.1 结型场效应管	25
1.4.2 绝缘场效应管	28
1.4.3 场效应管的主要参数	32
1.4.4 场效应管的特点及应用	33
本章小结	34
习 题	34

第 2 章 数字逻辑基础

2.1 数字电路概述	37
2.1.1 数字信号和数字电路	37
2.1.2 数字电路的分类和特点	37
2.1.3 数字电路的研究方法	38
2.2 数的进制和二进制代码	38
2.2.1 常用的数制	38

2.2.2	不同进制数之间的相互转换	41
2.2.3	二进制代码	43
2.3	逻辑代数及其基本运算	46
2.3.1	逻辑代数的逻辑变量和正、负逻辑	46
2.3.2	逻辑代数的3种基本运算	46
2.4	逻辑代数的定律和规则	48
2.4.1	逻辑代数的基本公式	49
2.4.2	逻辑代数的三大规则	50
2.4.3	若干常用公式	51
2.5	常用的复合逻辑运算	52
2.6	逻辑问题的几种表示方法	54
2.6.1	逻辑表达式和逻辑真值表	54
2.6.2	逻辑图	56
2.6.3	波形图和卡诺图	56
2.7	逻辑函数的代数化简法	57
2.7.1	逻辑函数化简的意义和最简的概念	57
2.7.2	代数化简逻辑函数的常用方法	58
2.7.3	逻辑函数表达式不同形式的转换	60
2.8	逻辑函数的卡诺图化简法	62
2.8.1	逻辑函数的最小项及其最小项表达式	63
* 2.8.2	逻辑函数的最大项及其最大项表达式	64
2.8.3	逻辑函数的卡诺图表示方法	65
2.8.4	卡诺图化简逻辑函数的方法	67
2.8.5	逻辑函数式的无关项	71
2.8.6	具有无关项逻辑函数的化简	72
本章小结		73
习 题		73

第3章 逻辑门电路

3.1	逻辑门电路概述	75
3.1.1	逻辑门电路的特点及其类型	75
3.1.2	半导体器件的开关特性	75
3.2	基本逻辑门电路	79
3.2.1	二极管与门和或门电路	80
3.2.2	三极管非门电路	81
3.3	TTL集成逻辑门电路	82
3.3.1	TTL与非门的工作原理	82
3.3.2	TTL与非门的电气特性与参数	85
3.3.3	改进的TTL与非门	91

3.3.4 集电极开路与非门和三态与非门	93
3.3.5 TTL 数字集成电路的系列和特点	98
3.3.6 TTL 集成门电路的使用注意事项	100
* 3.4 其他类型的双极型数字集成电路简介	102
3.4.1 射极耦合逻辑电路(ECL)	102
3.4.2 集成注入逻辑电路(I ² L)	104
3.5 MOS 集成逻辑门电路	106
3.5.1 CMOS 非门	106
3.5.2 CMOS 传输门和双向模拟开关	109
3.5.3 CMOS 与非门和或非门	110
3.5.4 CMOS 漏极开路门和三态门	111
3.5.5 CMOS 数字集成逻辑电路的系列	112
3.5.6 CMOS 逻辑电路的特点	113
3.5.7 CMOS 逻辑门电路的使用注意事项	114
3.6 集成逻辑门接口技术	116
3.6.1 用 TTL 电路驱动 CMOS 电路	116
3.6.2 用 CMOS 电路驱动 TTL 电路	117
3.6.3 TTL(CMOS)电路驱动大电流负载	118
本章小结	119
习 题	119

第 4 章 组合逻辑电路

4.1 组合逻辑电路概述	122
4.1.1 组合逻辑电路的特点	122
4.1.2 组合逻辑电路的逻辑功能描述	122
4.1.3 组合逻辑电路的类型和研究方法	123
4.2 组合逻辑电路的分析方法和设计方法	123
4.2.1 组合逻辑电路的分析方法	123
4.2.2 组合逻辑电路的设计方法	124
4.3 组合电路的竞争冒险现象	127
4.3.1 竞争冒险的产生原因	128
4.3.2 竞争冒险的判断和识别	128
4.3.3 竞争冒险的消除	129
4.4 加法器和数值比较器	130
4.4.1 加法器	130
4.4.2 数值比较器	135
4.5 数据选择器和数据分配器	138
4.5.1 数据选择器	138
4.5.2 数据分配器	141

4.6 编码器和译码器	142
4.6.1 编码器	142
4.6.2 译码器	149
4.6.3 集成中规模译码器的应用	156
本章小结	159
习 题	159

第5章 触发器

5.1 触发器概述	162
5.1.1 触发器的特点	162
5.1.2 触发器的分类	162
5.2 基本 RS 触发器	163
5.2.1 基本 RS 触发器的电路结构和工作原理	163
5.2.2 基本 RS 触发器的功能描述方法	164
5.2.3 基本 RS 触发器的工作特点	165
5.3 同步时钟触发器	166
5.3.1 同步 RS 触发器	166
5.3.2 同步 D 触发器	167
5.3.3 同步 JK 触发器	168
5.3.4 同步 T 触发器和 T' 触发器	168
5.3.5 同步触发器的工作特点	169
5.4 主从时钟触发器	169
5.4.1 主从 RS 触发器	170
5.4.2 主从 JK 触发器	171
5.4.3 主从触发器的工作特点	172
5.5 边沿触发器	172
5.5.1 维持-阻塞式 D 触发器	173
5.5.2 利用门延迟时间的边沿触发器	174
5.5.3 CMOS 传输门型边沿触发器	175
5.5.4 集成边沿触发器介绍	177
5.5.5 边沿触发器时序图的画法	178
5.6 集成触发器使用中应注意的几个问题	179
* 5.6.1 集成触发器的脉冲工作特性	179
5.6.2 集成触发器的参数	181
5.6.3 电路结构和逻辑功能的关系	182
5.6.4 触发器的选择和使用	183
5.6.5 不同类型时钟触发器之间的转换	183
本章小结	185
习 题	185

第 6 章 时序逻辑电路

6.1 时序逻辑电路概述	188
6.1.1 时序逻辑电路的概念和特点	188
6.1.2 时序逻辑电路的分类	189
6.1.3 时序逻辑电路的功能描述	189
6.2 时序逻辑电路的分析方法	190
6.2.1 分析时序逻辑电路的一般步骤	190
6.2.2 时序逻辑电路分析举例	191
6.3 计数器	195
6.3.1 二进制计数器	196
6.3.2 十进制计数器	201
6.3.3 集成计数器	205
6.3.4 任意进制计数器的构成	210
6.3.5 计数器的应用	217
6.4 寄存器	219
6.4.1 状态寄存器	220
6.4.2 移位寄存器	221
6.4.3 移位寄存器在数据传送系统中的应用	225
6.4.4 移位寄存器构成移存型计数器	226
* 6.5 顺序脉冲发生器和序列信号发生器	229
6.5.1 顺序脉冲发生器	229
6.5.2 序列信号发生器	232
6.6 时序逻辑电路的设计	234
6.6.1 同步时序逻辑电路设计的一般步骤	234
6.6.2 同步时序逻辑电路设计举例	235
* 6.7 时序逻辑电路中的竞争冒险	240
本章小结	241
习 题	242

第 7 章 脉冲信号的产生与整形

7.1 概 述	245
7.1.1 脉冲信号的特点及主要参数	245
7.1.2 脉冲产生与整形电路的特点	245
7.2 施密特触发器	246
7.2.1 门电路构成的施密特触发器	246
7.2.2 集成施密特触发器	248
7.2.3 施密特触发器的应用	248
7.3 单稳态触发器	250

7.3.1	门电路构成的单稳态触发器	250
7.3.2	集成单稳态触发器	252
7.3.3	单稳态触发器的应用	255
7.4	多谐振荡器	256
7.4.1	门电路构成的多谐振荡器	257
7.4.2	石英晶体多谐振荡器	259
7.4.3	施密特触发器构成的多谐振荡器	260
7.5	555 定时器及其应用	260
7.5.1	CC7555 的电路结构和工作原理	261
7.5.2	555 定时器构成的施密特触发器	262
7.5.3	555 定时器构成的单稳态触发器	263
7.5.4	555 定时器构成的多谐振荡器	265
7.5.5	555 定时器综合应用实例	267
本章小结		269
习 题		270

第 8 章 半导体存储器

8.1	半导体存储器概述	272
8.2	只读存储器	272
8.2.1	掩模 ROM	273
8.2.2	可编程只读存储器(PROM)	275
8.2.3	可擦除可编程只读存储器	276
8.2.4	只读存储器芯片简介	280
8.3	随机存储器	280
8.3.1	RAM 的基本电路结构	281
8.3.2	RAM 的存储单元	282
8.3.3	RAM 芯片简介	285
8.4	存储器容量的扩展	286
8.4.1	位数的扩展	286
8.4.2	字数的扩展	286
8.4.3	RAM 的字数、位数同时扩展	287
8.5	存储器的应用	288
8.5.1	存储器实现组合逻辑函数	288
* 8.5.2	存储数据、程序	290
本章小结		291
习 题		291

第 9 章 可编程逻辑器件

9.1	概 述	293
-----	-----------	-----

9.2 可编程逻辑器件(PLD)的基本结构和表示方法	294
9.2.1 PLD 的基本结构	295
9.2.2 PLD 器件的表示方法	295
* 9.3 现场可编程逻辑阵列(FPLA 或 PLA)	296
9.3.1 PROM 的结构	296
9.3.2 FPLA 的结构	297
9.3.3 FPLA 器件的应用	298
9.4 可编程阵列逻辑 PAL	299
9.4.1 PAL 的基本电路结构	299
9.4.2 PAL 的输出电路结构和反馈形式	300
* 9.4.3 PAL 器件的应用	302
9.4.4 PAL 的特点	306
9.5 通用阵列逻辑 GAL	306
9.5.1 常用 GAL 芯片的结构	306
9.5.2 GAL 的输出逻辑宏单元(OLMC)	309
9.5.3 GAL 器件的特点	313
* 9.6 高密度 PLD	314
9.6.1 可擦除的可编程逻辑器件(EPLD)	314
9.6.2 复杂的可编程逻辑器件(CPLD)	317
9.6.3 现场可编程门阵列(FPGA)	320
* 9.7 可编程逻辑器件的开发	324
9.7.1 在系统可编程技术	324
9.7.2 可编程逻辑器件的设计过程	325
9.7.3 边界扫描测试技术	327
本章小结	328
习 题	329

第 10 章 D/A 转换和 A/D 转换

10.1 概 述	330
10.2 D/A 转换器(DAC)	331
10.2.1 D/A 转换器的基本工作原理	331
10.2.2 D/A 转换器的主要电路形式	331
10.2.3 D/A 转换器的主要技术指标	335
10.2.4 常用集成 D/A 转换器简介	335
10.3 A/D 转换器(ADC)	338
10.3.1 A/D 转换器的基本工作过程	338
10.3.2 A/D 转换器的主要电路形式	340
10.3.3 A/D 转换器的主要技术指标	349
10.3.4 集成 A/D 转换电路	350



本章小结	354
习 题	355
附录 A 数字电路系统的设计	
A.1 数字电路系统的组成	356
A.2 数字电路系统的方框图描述法	357
A.3 多路可编程控制器的设计与制作	357
A.3.1 多路可编程控制器的电路设计	357
A.3.2 电路制作与测试	360
A.4 数字频率计的设计与制作	362
A.4.1 数字频率计电路设计	362
A.4.2 数字频率计的制作与调试	365
A.5 数字电路系统设计与制作的一般方法	366
A.5.1 数字电路系统设计的一般方法	366
A.5.2 数字电路系统的安装与调试	368
附录 B 数字系统一般故障的检查和排除	
B.1 常见故障	370
B.2 产生故障的主要原因	371
B.3 查找故障的常用方法	371
B.4 故障的排除	373
附录 C 国产半导体集成电路型号命名法(GB3430—82)	
C.1 型号的组成	374
C.2 实际器件举例	374
附录 D 本书常用文字符号	
D.1 晶体管符号	375
D.2 电压、电流和功率符号	375
D.3 电阻、电导和电容符号	377
D.4 时间和频率符号	377
D.5 逻辑器件及其他符号	378
D.6 其他参数符号	379
参考文献	380

绪 论

1. 电子技术的发展和应用

电子技术是一门研究电子器件及其应用的科学技术。自 20 世纪初第一只实用的电子器件——真空二极管问世以来,电子技术获得了巨大的发展。电子技术的广泛应用不仅有力地促进了生产力的发展,也使我们的生活变得更加丰富多彩。

电子技术的发展和进步是与新型电子器件的发明紧密联系在一起的。自从真空二极管发明以来,晶体管和集成电路等新型电子器件不断涌现。特别是集成电路的出现使得电子技术产生了质的飞跃,实现了电路的微型化,同时,电路可靠性也大大提高。随着集成电路的工艺日渐完善,集成规模越来越大,现在已能将上千万个甚至上亿个晶体管和元件集成于同一硅片上,这就是大规模和超大规模集成电路。

为了得到集成度更高、工作速度更快的电子器件,科学家们正在努力寻找新一代电子器件。

在大规模集成电路迅速发展的同时,大功率电子器件的研制也取得了突破性的进展。目前生产的大功率电子器件足以控制数千安培的电流,可承受数千伏的高电压。用大功率电子器件制成的驱动装置已经广泛地用于各行各业的自动化系统中。

现在,电子技术应用极为广泛,几乎渗透到社会生产和生活的一切领域。例如,在通信方面,利用电子技术生产的现代化通信设备(如各种广播、电视的发送接收设备、录像机、传真机、无线电话、卫星通信设备等)琳琅满目。在工业控制方面,采用电子技术制作的传感器、测量仪表、控制器和驱动装置使系统更加灵敏、精确,从而有效地提高了自动控制系统的质量。采用大规模和超大规模集成电路工艺生产的微型计算机和单片机,在工农业生产、科学研究、经济管理、办公自动化以及日常生活的各个领域得到了广泛的应用。可以这样说,没有先进的电子技术就没有社会生产和生活的现代化。

2. 电子技术基础课程的性质和任务

电子技术发展迅速、应用广泛,地位十分重要,所有电类专业和其他许多专业都必须掌握这门技术,电子技术基础就是适应需要而为相关专业开设的课程。

电子技术基础课程是电子技术方面入门性质的技术基础课程,它具有自身的理论体系和很强的实践性。电子技术基础课程的任务是使学生获得电子技术方面的基本理论、基本知识和基本技能,培养学生分析问题和解决问题的能力,为今后从事电子技术的研究、开发工作奠定基础。同时,也为一些后续课程的学习提供必要的基础知识。

电子技术基础课程的内容包括数字电路和模拟电路两个组成部分。数字电路处理的信号都是数字量,在采用二进制的数字电路中,信号只有 0 和 1 两种状态。由于数字电路不仅能完成数值运算,还能实现逻辑运算,因而数字电路也称为逻辑电路或数字逻辑电路。

模拟电路处理的信号是在时间和数值上都连续变化的模拟信号。模拟电路主要用于微弱信号的放大、信号的自动产生和波形变换等。

由于这两种电路中工作信号性质不同,所以电路的工作状态以及分析方法、设计方法和实

验方法均有明显的差别。

3. 数字电子技术课程的特点和学习方法

本课程为数字电子技术部分。电子技术基础的特点之一是电子器件和电子电路的种类繁多,而且随着时间的推移还会不断有新的电子器件和电子电路产生。因此,在学习的过程中必须抓住它们的共性,要把重点放在掌握基本概念、基本分析方法和设计方法上。在学习各种集成电路的内容时,应以器件的外部特性和正确的使用方法为重点,而不要把注意力放在内部电路的具体结构和工作过程的分析和计算上。在分析具体电路时,要根据实际情况,紧抓主要因素,忽略次要因素,以使分析简化。

电子技术基础的另一个显著特点是它的实践性很强。我们所讨论的许多电子电路都是实用电路,即可以做成实际的装置。这就要求我们不仅需要掌握电子技术的基本理论知识,还应当学会用实验的方法组装、测试和调试电子电路,培养理论联系实际、解决实际问题的能力,为此,我们一定要加强实践环节。

第 1 章

半导体器件

半导体器件是以半导体(硅、锗)等为主要材料制作而成的电子控制器件,它的种类很多,二极管、三极管、场效应管以及集成电路都是重要的半导体器件。半导体器件具有体积小、重量轻、使用寿命长、输入功率小和功率转化效率高以及可靠性强等优点,得到极为广泛的应用。本章首先介绍半导体的基本知识,然后介绍半导体二极管、三极管、场效应管的结构、工作原理、特性曲线和主要参数,为后续各章的探讨准备必要的基础知识。

1.1 半导体的基本知识

根据导电性能的不同,物质可分为导体、绝缘体和半导体三大类。凡容易导电的物质(如金、银、铜、铝、铁等金属物质)称为导体;不容易导电的物质(如玻璃、橡胶、塑料、陶瓷等)称为绝缘体;导电能力介于导体和绝缘体之间的物质(如硅、锗、硒、砷化镓等)称为半导体。半导体之所以得到广泛的应用,是因为它具有热敏性、光敏性、掺杂性等特殊性能。

1.1.1 本征半导体

本征半导体是一种纯净的半导体晶体。常用的半导体材料是单晶硅(Si)和单晶锗(Ge)。半导体硅和锗原子结构中最外层轨道上有4个价电子,它们都是4价元素,其原子结构如图1.1(a)、(b)所示,简化原子结构模型如图1.1(c)所示。

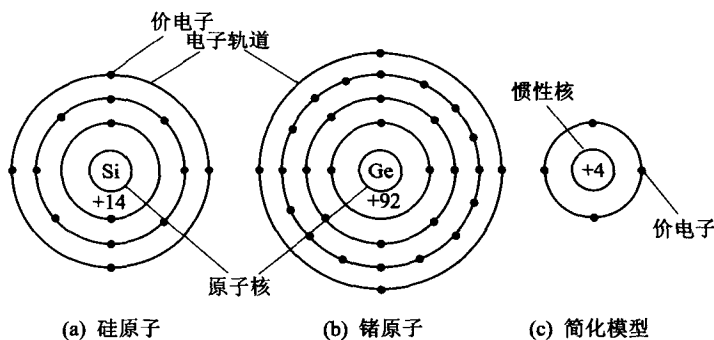


图 1.1 半导体的原子结构示意图

本征半导体晶体结构示意图如图1.2所示,各原子间整齐而有规则地排列着,每个原子的4个价电子不仅受所属原子核的吸引,而且还受相邻4个原子核的吸引,每一个价电子都为相邻原子核所共用,形成了稳定的共价键结构。每个原子核最外层等效有8个价电子,由于价电

子不易挣脱原子核束缚而成为自由电子,因此,本征半导体导电能力较差。

但是,如果能从外界获得一定的能量(如光照、温升等),有些价电子就会挣脱共价键的束缚而成为自由电子,在共价键中留下一个带电空位,称为“空穴”,如图 1.3 所示。空穴的出现使相邻原子的价电子离开它所在的共价键来填补这个空穴,在这个共价键中又产生一个新的空穴,同时,在这个空穴也会被相邻的价电子填补而产生新的空穴,这种电子填补空穴的运动相当于带正电荷的空穴在运动。可见,空穴可以视为一种带正电荷的载流子,空穴越多,半导体的载流子数目就越多,形成的电流就越大。

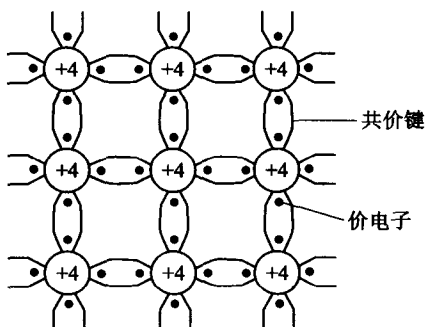


图 1.2 单晶硅的共价键结构图

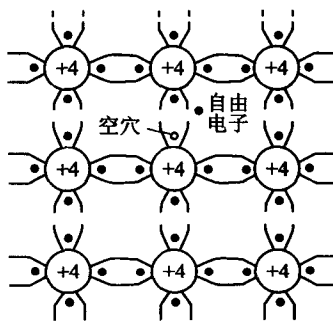


图 1.3 本征硅中的自由电子和空穴

在本征半导体中,自由电子和空穴数目总是相等的,空穴与电子是成对出现的,称为电子-空穴对。本征半导体在温度升高时产生电子-空穴对的现象称为本征激发。温度越高,产生的电子-空穴对数目就越多,这就是半导体的热敏性。本征半导体中空穴和自由电子浓度相等,即 $n_i = p_i$ (下标 i 表示为本征半导体)。理论分析表明,本征载流子的浓度与温度、材料、结构等有关。温度升高时,电子、空穴对的浓度加大,本征半导体导电性能明显提高。

在半导体中存在着自由电子和空穴两种载流子,而导体中只有自由电子这一种载流子,这是半导体与导体的不同之处。

1.1.2 杂质半导体

在本征半导体中掺入微量特定的杂质元素,就会使半导体的导电性能发生显著改变。根据掺入杂质元素的性质不同,杂质半导体可分为 P 型半导体和 N 型半导体两大类。

1. P 型半导体

P 型半导体是在本征半导体硅(或锗)中掺入微量的 3 价元素(如硼、铟等)而形成的。杂质原子只有 3 个价电子,它与周围硅原子组成共价键时,缺少 1 个电子,在晶体中便产生一个空穴。当相邻共价键上的电子受热激发获得能量时,就有可能填补这个空穴,使硼原子成为不能移动的负离子,而原来硅原子的共价键缺少了一个电子,便形成了空穴,这使得整个半导体仍呈电中性,如图 1.4 所示。在 P 型半导体中,原来的晶体仍会产生电子-空穴对,由于杂质的掺入,使得空穴数目远大于自由电子数目,成为多数载流子(简称多子),而自由电子则为少数载流子(简称少子),因而 P 型半导体以空穴导电为主。由于 3 价杂质原子可接受自由电子,故称为受主杂质。