

全国高职高专教育规划教材

电子技术基础

(第2版)

唐程山 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

全国高职高专教育规划教材

电子技术基础

Dianzi Jishu Jichu

(第2版)

唐程山 主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书第1版自2004年出版以来,得到了很多院校师生的认可,为更好地适应当前高职高专教育改革的需要,本书在第1版基础上进行了修订,更加淡化理论,注重应用,增加一些新知识、新技术,使之更符合当前教学的需求。

本书共分15章,主要内容为半导体二极管及其应用、半导体三极管及其放大电路、负反馈放大电路、集成运算放大器及其应用、功率放大电路、正弦波振荡电路、直流稳压电路、数字电路基础知识、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲波形的产生与变换、数/模和模/数转换、数字电路的综合训练。每章有思考题与习题,章末有本章小结。书后有附录,介绍半导体集成电路型号及参数、常用逻辑符号对照、常用数字集成电路产品明细等内容。

本书可作为高等职业院校、高等专科院校、成人高校、民办高校及本科院校举办的二级职业技术学院电类相关专业(电气自动化、电子信息、通信工程、应用电子技术、机电一体化等专业)的教学用书,也适用于五年制高职、中职相关专业,并可作为社会从业人员的业务参考书及培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础 / 唐程山主编. —2版. —北京: 高等教育出版社, 2012. 5
ISBN 978 - 7 - 04 - 034790 - 6

I. ①电… II. ①唐… III. ①电子技术 - 高等职业教育 - 教材 IV. ①TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 051238 号

策划编辑 孙 杰	责任编辑 王莉莉	封面设计 张志奇	版式设计 王艳红
插图绘制 杜晓丹	责任校对 陈旭颖	责任印制 韩 刚	

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街4号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	北京市朝阳区展望印刷厂		http://www.landaco.com.cn
开 本	787mm × 1092mm 1/16	版 次	2004年5月第1版
印 张	21.25		2012年5月第2版
字 数	520千字	印 次	2012年5月第1次印刷
购书热线	010 - 58581118	定 价	32.00元
咨询电话	400 - 810 - 0598		

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 34790 - 00

前 言

为了进一步适应我国高等职业教育教学改革的需要,本书在第1版的基础上,经过教学改革和实践,对其内容作了修改和更新。在修订过程中,本书把“淡化理论、注重应用”放在更突出的地位,具体修改如下:

1. 集成电路(包括集成运放、集成功放、数字集成电路等)内部电路的分析基本不作介绍。本书把集成电路的重点放在外部功能和应用上,帮助学生熟悉和掌握各种集成器件的功能和使用方法。

2. “场效应管及其放大电路”一章取消,将场效应管有关知识放在第2章介绍。

3. “负反馈放大电路”一章删去部分计算内容,只保留原理分析。“正弦波振荡电路”一章删去不常用的“变压器反馈振荡电路”内容。

4. “光电子器件及其应用”一章取消,将发光二极管和光电二极管有关内容放在第1章“特殊二极管”中介绍,其余内容留待学生在今后的有关专业课中学习,本书不作介绍。

5. 由于集成电路制造技术已达到非常高的水平,数字逻辑函数的化简显得不是十分重要,因此本书在“数字电路基础知识”一章中,只把卡诺图作为表示逻辑函数的一种方法介绍,不再保留卡诺图化简法的内容。

6. “触发器”和“时序逻辑电路”中删减了部分内容,增加了中规模组合逻辑电路和中规模时序逻辑电路应用分析举例的内容。

7. 取消“存储器和可编程逻辑器件简介”一章,其内容留待学生在今后的有关专业课中进一步学习。

8. 增加了“数字电路的综合训练”一章,主要介绍数字系统的功能分析、调试、故障诊断与排除等内容,帮助学生解决在数字电路实际应用中出现的问题,培养学生分析问题和解决问题的能力。

9. 对第1版教材附录的内容作了补充,以便读者在实际应用中查阅。

本书的修改工作由唐程山完成,赵永英、钟超蓉、杜瑜、尚锐、王新耀、侯学、马海云等参与了改编工作。高等教育出版社的孙杰和使用本教材的许多老师对本书的修改提出了十分宝贵的意见,在此一并表示衷心的感谢。

编者

2011年11月于成都

第 1 版前言

本书是根据国家教育部最新制定的高职高专教育电子技术基础课程教学基本要求编写而成的,可作为高职高专电气、电子信息、自动化、机电一体化、计算机等专业“电子技术”(包括“模拟电子技术”和“数字电子技术”)课程的教材,也可供从事电子技术工作的工程技术人员参考。

21 世纪是一个科学技术高速发展的信息时代,从事电气电子类岗位工作的各类人员都必须熟悉和掌握电子技术的基础知识和基本技能。高职高专学校电气电子类专业应该把“电子技术基础”作为一门必修的主干技术基础课。

本书是新世纪高职高专教改项目成果教材。编者在多年教学改革与实践的基础上,对原有教材内容及编写方法作了较大改动,以适应电子技术发展和高职高专教学改革的需要。在编写过程中,根据高职高专培养应用性人才的基本要求,充分考虑了适用范围、内容深度、应用性以及有利于能力培养等方面,力求做到“内容新、覆盖面宽,淡化理论、注重应用,深入浅出、通俗易懂”。本书有以下几个特点:

1. 全书内容以集成电路为主。模拟电路以集成运放、集成功放、集成稳压器等为主;数字电路以中规模集成电路为主,压缩小规模集成电路的篇幅,大规模集成电路作适当介绍。少量介绍分立元件内容主要是帮助读者理解基本电路的工作原理。

2. 大幅度减少集成电路内部电路分析的内容,把重点放在外部特性和应用上;主要讲清基本原理,大幅度压缩半导体基本知识的内容;主要讲清物理概念,尽量减少理论推导和计算,只保留必不可少的工程估算。

3. 突出应用,注意综合能力的培养。本书在模拟电子技术部分和数字电子技术部分都增加了一些应用实例。

4. 努力反映现代电子技术的新技术、新成果,使教材尽可能跟上电子技术的新发展。

5. 有利于教学。全书在内容的安排顺序上,充分考虑了组织课堂教学的需要。

“电子技术基础”是一门实践性较强的课程。本书在各章都对实践教学安排了具体内容,各校可以根据实验室仪器设备配置的实际情况配套编写实验实习指导书。

本书由成都航空职业技术学院唐程山副教授担任主编,九江职业技术学院孙丽霞副教授和成都航空职业技术学院林训超副教授任副主编。其中,林训超编写第 6、7、8 章,孙丽霞编写第 1、4、9、14 章,陕西工业职业技术学院讲师贺天柱编写第 17 章,唐程山编写第 2、3、5、10、11、12、15、16 章,第 13 章由孙丽霞和唐程山共同编写。全书由唐程山负责统稿。

北京理工大学刘蕴陶教授仔细审阅了本书的数字部分,成都航空职业技术学院刘崇华副教授仔细审阅了本书的模拟部分,他们提出了许多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

由于我们的水平有限,加之时间比较仓促,书中的错误和不妥之处在所难免,殷切希望使用本教材的师生及其他读者,给予批评指正。

编者

2003 年 12 月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010)58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

目 录

绪论	1	2.4.1 多级放大电路的组成框图	42
第1章 半导体二极管及其应用	3	2.4.2 阻容耦合多级放大电路	42
1.1 半导体二极管	3	2.5 放大电路的频率响应	43
1.1.1 半导体基本知识	3	2.5.1 频率响应和通频带的概念	43
1.1.2 PN结的单向导电性	6	2.5.2 单级阻容耦合放大电路的 频率响应	45
1.1.3 半导体二极管的结构	8	2.5.3 三极管的频率参数	45
1.1.4 半导体二极管的伏安特性	9	2.6 场效应管	46
1.1.5 半导体二极管主要参数	10	2.6.1 结型场效应管	46
1.2 整流与滤波电路	12	2.6.2 绝缘栅场效应管	49
1.2.1 单相半波整流电路	12	本章小结	52
1.2.2 单相桥式整流电路	13	实训 半导体三极管的简单测试和 放大电路的测试与调整	53
1.2.3 滤波电路	15	思考题与习题	53
1.3 特殊二极管	18	第3章 负反馈放大电路	57
1.3.1 稳压二极管	18	3.1 反馈的基本概念与分类	57
1.3.2 发光二极管	19	3.1.1 反馈的基本概念	57
1.3.3 变容二极管	22	3.1.2 反馈的基本形式及其判别	58
1.3.4 光电二极管	22	3.2 负反馈放大电路的组态和 方框图表示法	61
本章小结	23	3.2.1 负反馈放大电路的组态	61
实训 半导体二极管的简单测试	23	3.2.2 负反馈放大电路的方框图	64
思考题与习题	24	3.3 负反馈对放大电路性能的影响	64
第2章 半导体三极管及其放大电路	27	3.3.1 提高电路放大倍数的稳定性	64
2.1 三极管基本知识	27	3.3.2 减少非线性失真	65
2.1.1 三极管的结构	27	3.3.3 扩展通频带	66
2.1.2 三极管的电流分配与放大作用	28	3.3.4 改变输入电阻和输出电阻	66
2.1.3 三极管的特性曲线	30	3.3.5 引入负反馈的一般原则	67
2.1.4 三极管的主要参数	31	3.4 深度负反馈放大电路	67
2.2 共发射极放大电路	32	3.4.1 深度负反馈的特点	67
2.2.1 共射基本放大电路的组成及 工作原理	32	3.4.2 深度负反馈放大电路的估算	68
2.2.2 共射基本放大电路的基本 分析方法	33	3.5 负反馈放大电路的稳定性	70
2.2.3 共射放大电路工作点的稳定	37	3.5.1 负反馈电路的自激振荡	70
2.3 共集电极、共基极放大电路	40	3.5.2 负反馈放大电路自激振荡的 消除方法	70
2.3.1 共集电极放大电路	40	本章小结	72
2.3.2 共基极放大电路	41		
2.4 多级放大电路	42		

思考题与习题	72	6.2.5 应用实例	110
第4章 集成运算放大器及其应用	76	6.3 LC 正弦波振荡电路	111
4.1 集成运放的特点及组成原理	76	6.3.1 LC 并联谐振回路的主要特性	111
4.1.1 集成运放的特点	76	6.3.2 三点式正弦波振荡电路	112
4.1.2 集成运放的组成原理	77	6.4 石英晶体振荡器	114
4.2 集成运放简介	77	本章小结	115
4.2.1 通用型集成运放	78	实训 正弦波振荡电路测试	116
4.2.2 集成运放的主要参数	78	思考题与习题	116
4.2.3 专用型集成运放	79	第7章 直流稳压电源	118
4.3 集成运放的应用电路	80	7.1 概述	118
4.3.1 集成运放的理想化条件	80	7.2 直流稳压电路	119
4.3.2 集成运放的三种基本电路	81	7.2.1 硅稳压二极管直流稳压电路	119
4.3.3 集成运放的其他应用电路	83	7.2.2 串联型稳压电路	121
本章小结	89	7.3 三端集成稳压器	122
实训 集成运放及其应用	89	7.3.1 三端集成稳压器的原理及 主要参数	122
思考题与习题	89	7.3.2 三端集成稳压器的典型应用	125
第5章 功率放大电路	94	7.4 开关稳压电源	127
5.1 功率放大电路的一般问题	94	本章小结	128
5.2 低频功率放大电路	95	实训 集成直流稳压电源的测试	129
5.2.1 低频功率放大电路的基本类型	95	思考题与习题	129
5.2.2 OTL 电路	96	第8章 数字电路基础知识	131
5.3 集成功率放大器及其应用	99	8.1 数字电路概述	131
5.3.1 集成功率放大器的性能及主要 参数	99	8.1.1 数字电路与模拟电路	131
5.3.2 集成功放的应用举例	100	8.1.2 数字电路的分类和学习方法	131
本章小结	104	8.2 数制及编码	132
实训 OTL 电路参数测试和集成功放的 应用	104	8.2.1 数制	132
思考题与习题	105	8.2.2 数制转换	133
第6章 正弦波振荡电路	106	8.2.3 编码	135
6.1 正弦波振荡电路的基本原理	106	8.3 逻辑函数及其化简	136
6.1.1 产生振荡的条件	106	8.3.1 逻辑代数的基本运算	136
6.1.2 起振与稳幅过程	106	8.3.2 逻辑函数及其表示法	140
6.1.3 正弦波振荡电路的组成和分析 方法	107	8.3.3 逻辑代数的公式和运算法则	141
6.1.4 正弦波振荡电路的分类	107	8.3.4 逻辑函数的公式化简法	144
6.2 RC 正弦波振荡电路	108	8.3.5 逻辑函数的卡诺图表示法	146
6.2.1 文氏电桥振荡电路的组成	108	本章小结	149
6.2.2 RC 选频网络的特性	108	思考题与习题	150
6.2.3 振荡频率和起振条件	109	第9章 逻辑门电路	152
6.2.4 稳幅措施	110	9.1 二极管及三极管的开关特性	152
		9.1.1 二极管的开关特性	152
		9.1.2 三极管的开关特性	153

9.2 基本逻辑门电路	155	10.4.2 8选1数据选择器 74LS151	192
9.2.1 二极管与门	155	10.4.3 应用举例	193
9.2.2 二极管或门	156	10.5 加法器	194
9.2.3 关于高、低电平的概念及状态赋值 ..	156	10.5.1 全加器	194
9.2.4 非门(反相器)	157	10.5.2 多位加法器	195
9.2.5 关于正逻辑和负逻辑的概念	157	10.6 数值比较器	195
9.3 TTL反相器	157	10.7 中规模组合逻辑电路的分析	197
9.3.1 TTL反相器的工作原理	158	10.7.1 分析步骤	198
9.3.2 TTL反相器的电压传输特性	159	10.7.2 分析举例	198
9.3.3 TTL反相器的输入特性和输出特性	160	本章小结	201
9.3.4 TTL反相器的主要参数	162	实训 组合逻辑电路	201
9.4 其他类型TTL门电路	164	思考题与习题	202
9.4.1 TTL与非门	164	第11章 触发器	205
9.4.2 集电极开路门(OC门)	165	11.1 基本RS触发器	205
9.4.3 三态输出门电路(TS门)	167	11.1.1 电路组成	205
9.5 CMOS门电路	168	11.1.2 工作原理	205
9.5.1 CMOS反相器	168	11.1.3 应用举例	207
9.5.2 其他类型的CMOS门电路	171	11.2 同步触发器	208
9.6 CMOS门电路和TTL门电路的使用知识及相互连接	173	11.2.1 同步RS触发器	208
9.6.1 CMOS门电路的使用知识	173	11.2.2 CMOS主从D触发器	209
9.6.2 TTL门电路的使用知识	173	11.2.3 边沿触发器	211
9.6.3 TTL门电路和CMOS门电路的相互连接	173	11.3 触发器的逻辑功能	212
本章小结	175	11.3.1 RS触发器	212
实训 测试集成门电路的逻辑功能和主要参数	176	11.3.2 D触发器	213
思考题与习题	176	11.3.3 JK触发器	214
第10章 组合逻辑电路	179	11.3.4 T触发器	215
10.1 组合逻辑电路的分析和设计	179	11.4 集成触发器及其应用	218
10.1.1 组合逻辑电路的分析方法	179	11.4.1 集成JK触发器	218
10.1.2 组合逻辑电路的设计方法	181	11.4.2 集成D触发器	219
10.2 编码器	182	11.4.3 集成触发器的应用举例	220
10.2.1 普通编码器	182	本章小结	221
10.2.2 优先编码器	183	实训 集成触发器逻辑功能测试	222
10.3 译码器	185	思考题与习题	222
10.3.1 二进制译码器	185	第12章 时序逻辑电路	226
10.3.2 二-十进制译码器	188	12.1 寄存器	226
10.3.3 显示译码器	189	12.1.1 数码寄存器	226
10.4 数据选择器	191	12.1.2 移位寄存器	228
10.4.1 数据选择器的工作原理	192	12.1.3 寄存器的应用实例	232
		12.2 二进制计数器	233
		12.2.1 异步二进制计数器	233
		12.2.2 同步二进制计数器	237

12.3 任意进制计数器	239	第 14 章 数/模和模/数转换	280
12.3.1 任意进制异步计数器	240	14.1 D/A 转换	280
12.3.2 任意进制同步计数器	241	14.1.1 D/A 转换基本原理	280
12.4 中规模集成计数器及其应用	243	14.1.2 倒 T 形电阻网络 DAC	280
12.4.1 集成异步计数器 74LS290	244	14.1.3 DAC 的主要技术参数	282
12.4.2 集成同步计数器 74LS163	247	14.1.4 集成 D/A 转换器及其应用	282
12.4.3 计数器的应用实例	250	14.2 A/D 转换	284
12.5 中规模时序逻辑电路的分析	252	14.2.1 A/D 转换基本原理	284
12.5.1 MSI 时序逻辑电路的分析		14.2.2 A/D 转换器工作原理	286
步骤	252	14.2.3 ADC 的主要技术参数	290
12.5.2 分析举例	252	14.2.4 集成 A/D 转换器及应用举例	291
本章小结	254	本章小结	293
实训 中规模集成计数器及其应用	255	思考题与习题	293
思考题与习题	256	第 15 章 数字电路的综合训练	295
第 13 章 脉冲波形的产生与变换	260	15.1 数字电路系统的功能分析	295
13.1 RC 电路	260	15.2 数字电路系统的调试	298
13.1.1 常用脉冲波形及参数	260	15.2.1 电子线路的一般调试方法	299
13.1.2 RC 电路的应用	261	15.2.2 数字电路的调试方法	300
13.2 施密特触发器	262	15.2.3 数字电路调试举例	300
13.2.1 用集成门电路构成的施密特		15.3 数字电路故障的诊断与排除	301
触发器	262	15.3.1 数字电路故障的诊断与排除的	
13.2.2 集成施密特触发器	264	一般方法	302
13.2.3 施密特触发器的应用	264	15.3.2 数字电路故障的诊断与排除举例	304
13.3 单稳态触发器	266	本章小结	308
13.3.1 用集成门电路构成的单稳态		附录	309
触发器	266	附录 A 半导体集成电路型号及参数	309
13.3.2 集成单稳态触发器	267	一、国产半导体集成电路型号命名规则	309
13.3.3 单稳态触发器的应用	269	二、54/74 系列数字集成电路型号命名	
13.4 多谐振荡器	269	规则	310
13.4.1 对称式多谐振荡器	269	三、部分国外半导体公司生产集成	
13.4.2 环形振荡器	271	电路的型号命名表	310
13.4.3 石英晶体振荡器	272	附录 B 常用逻辑符号对照表	318
13.5 555 定时器及其应用	272	附录 C 常用数字集成电路产品明细表	319
13.5.1 555 定时器	272	一、TTL 数字集成电路产品明细表	319
13.5.2 555 定时器的应用举例	274	二、CMOS 数字集成电路产品明细表	326
本章小结	276	参考文献	329
实训 555 定时器的应用	276		
思考题与习题	277		

绪 论

一、电子技术的发展与应用

由于物理学的重大突破,电子技术在 20 世纪取得了惊人的进步,特别是近 40 年来,微电子技术和其他高新技术的飞速发展,使工业、农业、科技和国防等领域以及人们的社会生活发生了令人瞩目的变革。21 世纪是信息时代,作为其基础之一的电子技术必将以更快的速度发展。

由于电子技术的影响面广、渗透力强、发展速度快和富于生命力,电子技术的应用非常广泛。在科学研究中,先进的仪器设备离不开电子技术;在传统的机械行业,先进的数控机床、自动化生产线离不开电子技术;在通信、广播、电视、医疗设备、新型武器、交通、电力、航空、宇航等领域离不开电子技术;人们日常生活不可缺少的家用电器也离不开电子技术。以电子技术为基础发展起来的电子计算机及信息技术,对当今世界的发展起到了极大的推动作用,计算机及信息技术的迅速发展和广泛应用,正深刻地改变着整个世界。

电子技术的每一全新的进展与突破,都和电子器件的改进与创新密不可分。1904 年发明的电真空器件(电子管),使电子技术进入兴旺发达的第一时代——电子管时代。从此,无线电信、广播、电视、雷达、导航和计算机相继出现,并得到迅速发展。但是,由于电子管组成的电子设备存在体积大、重量重、耗电多、寿命短和抗振性差等缺点,迫使人们去寻找新的电子器件。1948 年发明的半导体器件,使电子技术进入晶体管时代。晶体管具有体积小、重量轻、耗电省、抗振性好和电源电压低等优点,因此,在许多应用领域,晶体管迅速取代了电子管。20 世纪 60 年代,人类制造出集成电路,电子技术进入集成电路时代。集成电路是一种新型的半导体器件,它把晶体管和电阻、电容等元件以及它们之间的连线制作在一块很小的硅片上,构成不同功能的电子电路。由于集成电路的体积更小、重量更轻、耗电更省、可靠性更高,而且还具有成本低、性能优良和便于安装等一系列突出优点,它的发展速度十分迅速。集成电路的发展从小规模、中规模、大规模直到超大规模,现在电子技术已进入超大规模集成电路时代。集成电路的飞速发展,使电子设备的小型化和微型化成为现实,尤其在计算机、卫星通信、宇航和新型武器等领域,集成电路的发展对它们起着非常重要的作用。

二、课程的性质和任务

“电子技术基础”是高职高专学校电气电子类专业最重要的技术基础课之一,是一门实践性很强的课程。本课程的任务是使学生具备高端技能型人才所必需的电子技术的基本理论、基本知识和基本技能,并为后续课程的学习准备必要的知识,为今后从事实际工作打下必要的基础。

本课程将通过理论和实践教学,使学生掌握电子技术各种基本电路的组成、工作原理、性能

特点及常用电子仪器的正确使用方法;使学生具有查阅电子元器件手册并合理选用元器件的能力、阅读和应用常见电子电路的能力、测试常用电路功能及排除简单故障的能力。

本课程要结合教学,培养学生的辩证唯物主义观点、实事求是的科学态度、良好的职业道德以及分析问题和解决问题的能力。

三、课程的特点及学习方法

“电子技术基础”分为模拟电路和数字电路两大部分。电子技术主要研究各种电信号(电流和电压)的产生、传送和处理。模拟电路主要用于模拟信号的产生、传送和处理,数字电路则用于数字信号的产生、传送和处理。模拟电路和数字电路统称电子电路。

电子设备是由各种基本电子电路组成。半导体器件(如二极管、三极管)是构成各种基本电子电路的基础,了解它们的基本工作原理,对进一步深入学习很有帮助。但是,电子技术发展到今天,集成电路已占主导地位,本书在讨论各种电子电路的原理及应用时,将以集成电路为主。模拟电路部分重点讨论集成运算放大器、集成功率放大器、集成稳压器及其应用,数字电路部分主要讨论中规模数字集成电路及其应用。对于半导体器件和集成电路,应着重掌握它们的外部特性和功能,对其内部机理或内部电路不必深入探讨。

分析并掌握电子技术各种基本电路的组成和工作原理是本课程的重要任务。对于模拟电路,通常运用等效电路法(或图解法)进行工程估算,分析各种放大电路的静态工作点和动态工作时的性能指标(如放大倍数、输入电阻和输出电阻等);对于数字电路,则运用逻辑代数等工具分析各种电路的工作原理,并用真值表、逻辑表达式、逻辑图、状态转换表和时序图等方法来描述其逻辑功能。在学习时,应重点掌握分析模拟电路和数字电路的基本方法。

由于电子技术的应用电路种类繁多,本书不可能一一进行介绍,因此,学会查阅半导体器件和集成电路手册非常重要。通过查阅手册可以了解新的元器件和新的集成电路的性能,以便正确选择和应用。

电子技术是在科学和生产实践中发展起来的,电子技术实践是本课程必不可少的重要环节。通过实验和实习(最好能积极参加课外电子技术的实践活动),不仅能加深对理论知识的理解,更重要的是学会电子技术的基本技能和综合应用的能力。这对学生今后的专业课学习和从事实际工作都是非常有益的。

第1章

半导体二极管及其应用

半导体器件是现代电子技术的重要组成部分。由于半导体器件具有体积小、重量轻、使用寿命长、能量转换效率高等优点,因而得到了广泛的应用。本章主要介绍半导体的基本知识,PN结的单向导电性,半导体二极管结构、特性曲线、主要参数,特殊二极管和半导体二极管应用电路。

1.1 半导体二极管

1.1.1 半导体基本知识

1. 物质的导电性

自然界的物体按其导电能力的强弱可分为导体、半导体和绝缘体三大类。

导体如铜、铝、银等,其内部存在大量的摆脱了原子核束缚的自由电子,在外电场作用下,这些自由电子将逆着电场方向定向运动而形成较大的电流,因此导体的导电能力很强。人们把在电场作用下,能运载电荷形成电流的带电粒子称为载流子。显然,自由电子是一种载流子。

绝缘体如云母、塑料、橡皮等,其原子核对最外层电子的束缚力很大,常温下自由电子很少,因此导电能力很差。

导电性能介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体。常用的半导体材料有硅(Si)、锗(Ge)、硒(Se)和砷化镓(GaAs)及其他金属氧化物和硫化物等,半导体一般呈晶体结构。半导体之所以引起人们的注意并得到了广泛的应用,主要原因是它的导电能力在不同条件下(如掺杂、光照、受热等)有很大差别,据此,可以制成各种半导体器件。

2. 本征半导体

纯净的不含任何杂质、晶体结构排列整齐的半导体叫做本征半导体。常用的半导体材料有硅和锗,它们都是四价元素,其最外层有四个价电子。硅或锗简化的原子结构模型如图1-1所示。以硅为例,在纯净的硅晶体中,由于原子之间的距离很近,原子的价电子不仅受到本原子的原子核作用,而且还受到相邻原子核的吸引,即一个价电子为相邻的两个原子核所共有。这样相邻原子之间通过共有价电子的形成而结合起来,即形成“共价键”结构。共价键是指两个相邻原子各拿出一个价电子作为共有价电子所形成的束缚作用。因此,每个硅原子都以对称的形式和其相邻的四个原子通过共价键紧密地联系起来,图1-2所示为硅原子间的共价键结构。这样,每个原子的每一个价电子除了受自身原子核的束缚外,还受到共价键的束缚,因此,每个价电子都处于较为稳定的状态。但是共价键的电子并不像绝缘体中的价电子被束缚的那样紧,在获得

一定能量(比如光照和温升)后,即可挣脱束缚成为自由电子。温度越高,晶体中产生的自由电子越多。

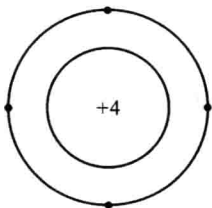


图 1-1 硅或锗简化的原子结构模型

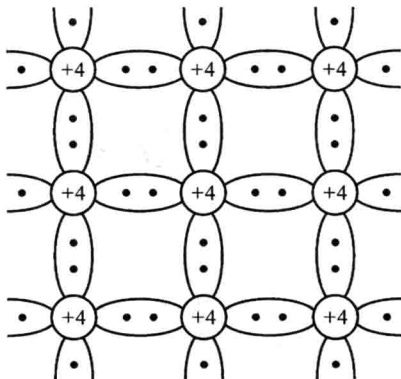


图 1-2 硅或锗晶体中共价键结构

当电子挣脱共价键的束缚成为自由电子后,共价键就留下一个空位,这个空位称为空穴,空穴的出现是半导体区别于导体的一个重要特点。在本征半导体中,有一个自由电子,就有一个空穴,它们成对出现,称为电子空穴对。由于温度使本征半导体产生电子空穴对的现象称为热激发或本征激发,温度升高,电子和空穴的浓度将增加。本征激发产生的电子空穴对如图 1-3 所示。

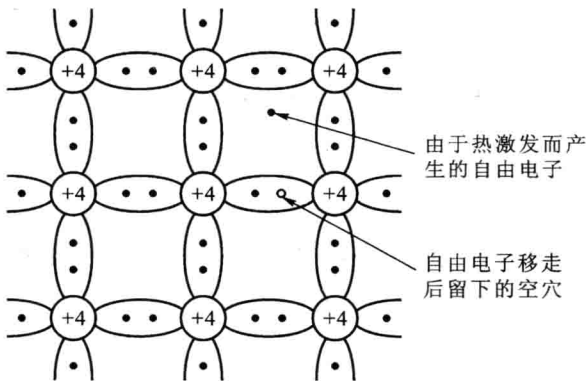


图 1-3 本征激发产生的电子空穴对

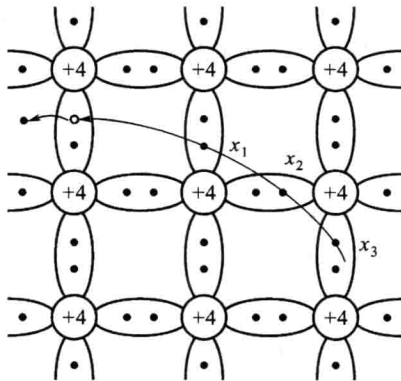


图 1-4 电子与空穴的移动

由于共价键中出现了空穴,在外电场或其他能源的作用下,相邻的价电子可以填补到这个空穴上,而在这个电子原来的位置上又留下新的空穴,新的空穴又会被其相邻的其他价电子填补,如图 1-4 所示。这个过程持续下去,在半导体中就出现了价电子填补空穴的运动(从 $x_3 \rightarrow x_2 \rightarrow x_1$),无论在形式上还是效果上,都与带正电荷的空穴作反向运动(从 $x_1 \rightarrow x_2 \rightarrow x_3$)相同。为了区别于自由电子的运动,就把价电子的运动视为空穴运动(方向相反),认为空穴是一种带正电的载流子。

由此可见,在半导体中存在两种载流子:带负电的自由电子和带正电的空穴。这是半导体导电方式的最大特点,也是半导体与金属导体在导电机理上的本质差别。

本征半导体中的自由电子和空穴总是成对出现,同时又不断复合。在一定温度下,电子空穴对的产生和复合达到动态平衡,这时半导体中维持一定数目的载流子。当温度升高或光照增强时,电子空穴对数目增多,导电能力增强,所以温度和光照对半导体器件性能影响很大。

3. 杂质半导体

本征半导体的导电能力很差,但如果在本征半导体中掺入某种微量元素(杂质)后,它的导电能力可增加几十万甚至几百万倍。根据掺入杂质的不同,杂质半导体可分为两类:P 型半导体和 N 型半导体。

(1) P 型半导体

在本征半导体(硅或锗)中掺入微量硼(或其他三价元素),硼最外层有 3 个价电子,当硅晶体构成共价键时,将因缺少一个电子而形成空穴,如图 1-5 所示。这样,在杂质半导体中形成大量空穴,空穴导电为这种杂质半导体的主要导电方式,故称这种杂质半导体为空穴型半导体或 P 型半导体。在 P 型半导体中,空穴为多数载流子,而自由电子为少数载流子。控制掺入杂质的多少,可以控制空穴的数量。

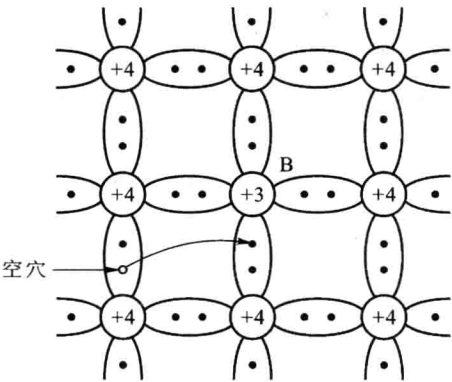


图 1-5 P 型半导体结构示意图

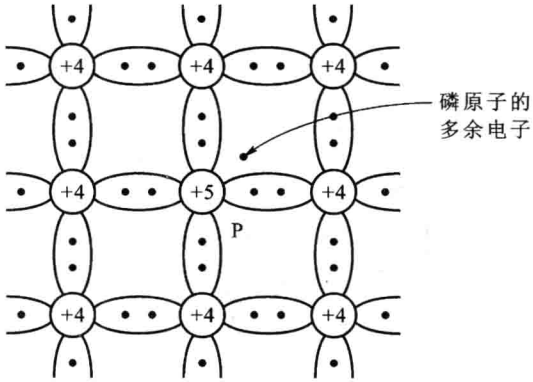


图 1-6 N 型半导体结构示意图

(2) N 型半导体

在本征半导体(硅或锗)中掺入微量磷(或其他五价元素),磷最外层有 5 个价电子,当其构成共价键时,将多出一个价电子,多余的一个价电子很容易挣脱磷原子的束缚而成为自由电子,如图 1-6 所示。于是,在杂质半导体中的自由电子数目大大增加,自由电子导电为这种杂质半导体的主要导电方式,故称这种杂质半导体为电子型半导体或 N 型半导体。在 N 型半导体中,自由电子为多数载流子,而空穴为少数载流子。控制掺入杂质的多少,可以控制自由电子的数量。

由上述分析可知,无论是 P 型半导体还是 N 型半导体,虽然它们都有一种载流子占多数,但总体上仍然保持电中性。杂质半导体结构示意图如图 1-7 所示(图中 $\oplus$ 代表正离子, $\ominus$ 代表负离子)。在外电场作用下,杂质半导体的导电能力有了较大的增强,但是它还没有实用价值。只有将两种杂质半导体做成 PN 结之后才能成为半导体器件。

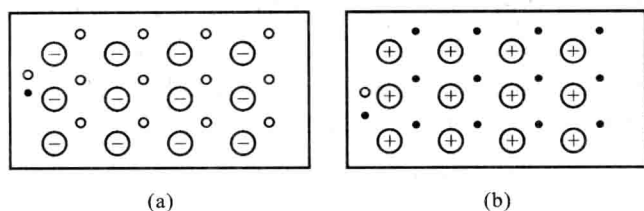


图 1-7 杂质半导体结构示意图
(a) P 型半导体 (b) N 型半导体

1.1.2 PN 结的单向导电性

单纯的 P 型或 N 型半导体是不能做成半导体器件的。如果通过一定的生产工艺把半导体的 P 区和 N 区部分结合在一起,则它们的交界处就会形成一个具有单向导电性的薄层,称为 PN 结。PN 结是构成各种半导体器件的基础。

1. PN 结的形成

当 P 型和 N 型半导体结合在一起时,由于界面两侧载流子浓度的差别,N 区的电子必然向 P 区扩散,P 区的空穴也要向 N 区扩散,即发生多数载流子的扩散运动,如图 1-8(a) 所示。

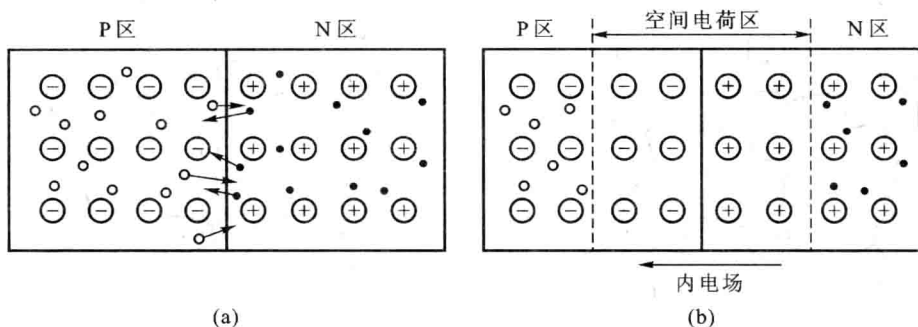


图 1-8 PN 结的形成
(a) 载流子的扩散 (b) 空间电荷区

结果,界面附近 P 区一侧因失去空穴而留下不能移动的负离子,N 区因失去电子而留下不能移动的正离子。同时,扩散到 P 区的电子将逐渐与 P 区的空穴复合,扩散到 N 区的空穴将逐渐与 N 区的自由电子复合。于是界面附近的 P 区和 N 区会出现数量相等的,不能移动的负离子区和正离子区,这些不能移动的带电离子形成了空间电荷区,如图 1-8(b) 所示,这就是 PN 结。

空间电荷区内多数载流子已扩散到对方,或被对方扩散过来的多数载流子复合,即多数载流子被耗尽了,所以空间电荷区也称为耗尽层。

空间电荷区靠近 P 区一侧带负电,靠近 N 区一侧带正电,因此产生一个由 N 区指向 P 区的电场。由于这个电场不是外加的,而是空间电荷区内部电荷产生的,所以称为内电场。根据内电

场的方向及电子、空穴的带电极性可以看出,内电场的形成将使多数载流子的扩散运动发生变化。内电场一方面将阻止多数载流子的继续扩散;另一方面又促进少数载流子的漂移(N区的少数载流子空穴向P区漂移,P区的少数载流子电子向N区漂移),载流子在内电场作用下的运动称为漂移运动。因此,在交界面两侧存在两种对立的运动,漂移运动使空间电荷区变窄,扩散运动使空间电荷区变宽。

这里多数载流子的扩散运动和少数载流子的漂移运动既有联系,又有矛盾。开始时,空间电荷区较小,内电场较弱,扩散运动占优势,随着扩散运动的进行,空间电荷区不断加宽,内电场不断增强,对多数载流子的阻力不断增大,同时少数载流子的漂移将不断增强,最后扩散运动和漂移运动达到动态平衡,空间电荷区的宽度不再变化,即PN结维持一定的宽度($10^{-6} \sim 10^{-4}$ cm)。达到动态平衡时,扩散运动产生的扩散电流和漂移运动产生的漂移电流大小相等,流过PN结的总电流为0。

2. PN结的单向导电性

当PN结无外加电压时,流过PN结的总电流为0,PN结处于平衡状态。当PN结有外加电压时,PN结具有单向导电性。

(1) 外加正向电压时导通

把PN结的P区接电源正极,N区接电源负极,这种接法称为正向接法或正向偏置(简称正偏),如图1-9(a)所示。正偏时,外电场与内电场方向相反,因此削弱了内电场,PN结原有平衡状态被打破,结果有利于多数载流子的扩散,而不利少数载流子的漂移。PN结中多数载流子的扩散电流通过回路形成正向电流 I_F 。其方向是从P区到N区。当外加电压增加到一定数值之后,正向电流将显著增加,PN结对外电路呈现很小的电阻,此时称为导通。

(2) 外加反向电压时截止

把PN结的N区接电源正极,P区接电源负极,这种接法称为反向接法或反向偏置(简称反偏),如图1-9(b)所示。反偏时,外电场与内电场方向相同,因此增强了内电场,空间电荷区变宽,结果有利于少数载流子的漂移,而不利多数载流子的扩散。反偏时,PN结中的电流主要是漂移电流(称为反向电流 I_R),其方向是从N区到P区,由于少数载流子的浓度很低,所以反向电流很小,一般为 μA 数量级。反向电流几乎不随外加反向电压变化,故又称为反向饱和电流 I_s 。

