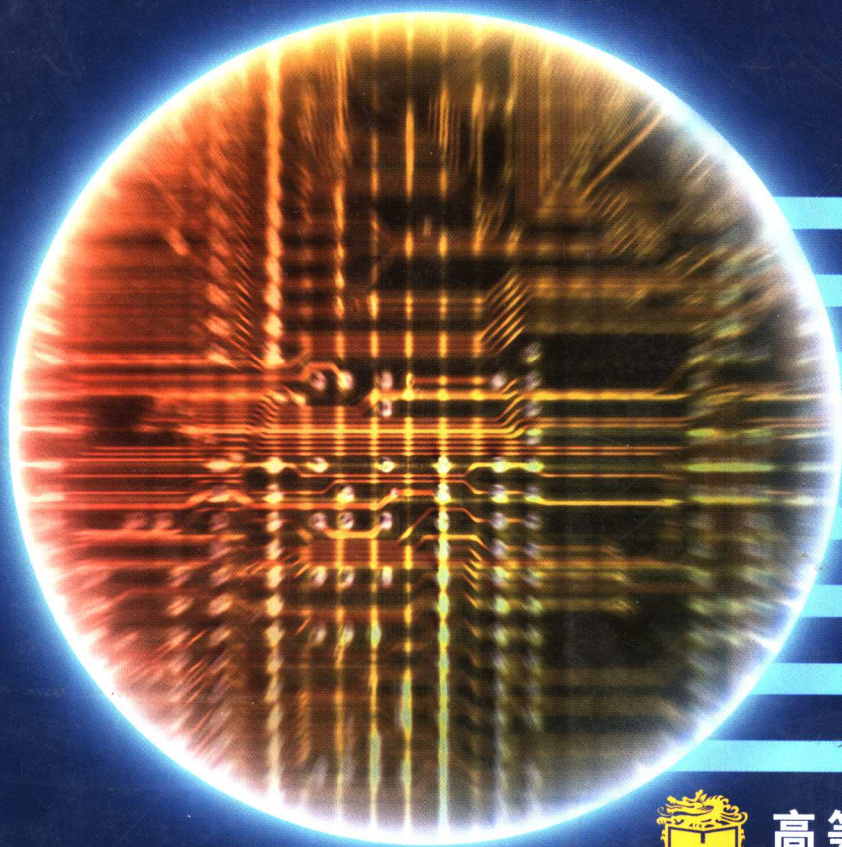




新世纪高职高专教改项目成果教材
Xinshiji Gaozhi Gaozhuan Jiaogai Xiangmu Chengguo Jiaocai

电子技术基础

唐程山 主 编



高等教育出版社

新世纪高职高专教改项目成果教材

电子技术基础

唐程山 主编

高等教育出版社

内容提要

本书是新世纪高职高专教改项目成果教材,是在多年教学改革与实践的基础上,依据教育部最新制定的“高职高专电子技术基础课程教学基本要求”编写而成。

本书内容分模拟电子技术和数字电子技术两大部分。模拟部分包括:半导体二极管及其应用、半导体三极管及其放大电路、场效应管及其放大电路、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、直流稳压电源、光电子器件及其应用等。数字部分包括: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、存储器和可编程逻辑器件简介等。

本书内容以集成电路为主,内容新、覆盖面宽,淡化理论、注重应用,深入浅出、通俗易懂,各章均有思考题和习题,并有实验和技能训练内容。

本书可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校、民办高校的电气、电子信息、自动化、机电一体化、计算机等专业的“模拟电子技术”、“数字电子技术”、“电子技术”、“电子技术基础”等课程的教材,也可供从事电子技术工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础/唐程山主编. —北京:高等教育出版社, 2004. 4

ISBN 7-04-014657-6

I. 电... II. 唐... III. 电子技术-高等学校:技术学校-教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 016621 号

策划编辑 尹 洪 责任编辑 刘 洋 封面设计 王凌波 责任绘图 朱 静
版式设计 金 伟 责任校对 存 怡 责任印制 孔 源

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-82028899

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
排 版 高等教育出版社照排中心
印 刷 北京星月印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 22.75
字 数 550 000

版 次 2004 年 5 月第 1 版
印 次 2004 年 5 月第 1 次印刷
定 价 26.20 元

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

出版说明

为认真贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》和《面向 21 世纪教育振兴行动计划》，研究高职高专教育跨世纪发展战略和改革措施，整体推进高职高专教学改革，教育部决定组织实施《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》（教高[2000]3 号，以下简称《计划》）。《计划》的目标是：“经过五年的努力，初步形成适应社会主义现代化建设需要的具有中国特色的高职高专教育人才培养模式和教学内容体系。”《计划》的研究项目涉及高职高专教育的地位、作用、性质、培养目标、培养模式、教学内容与课程体系、教学方法与手段、教学管理等诸多方面，重点是人才培养模式的改革和教学内容体系的改革，先导是教育思想的改革和教育观念的转变。与此同时，为了贯彻落实《教育部关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》（教高[2000]2 号）的精神，教育部高等教育司决定从 2000 年起，在全国各省市的高等职业学校、高等专科学校、成人高等学校以及本科院校的职业技术学院（以下简称高职高专院校）中广泛开展专业教学改革试点工作，目标是：在全国高职高专院校中，遴选若干专业点，进行以提高人才培养质量为目的、人才培养模式改革与创新为主题的专业教学改革试点，经过几年的努力，力争在全国建成一批特色鲜明、在国内同类教育中具有带头作用的示范专业，推动高职高专教育的改革与发展。

教育部《计划》和专业试点等新世纪高职高专教改项目工作开展以来，各有关高职高专院校投入了大量的人力、物力和财力，在高职高专教育人才培养目标、人才培养模式以及专业设置、课程改革等方面做了大量的研究、探索和实践，取得了不少成果。为使这些教改项目成果能够得以固化并更好地推广，从而总体上提高高职高专教育人才培养的质量，我们组织了有关高职高专院校进行了多次研讨，并从中遴选出了一批较为成熟的成果，组织编写了一批“新世纪高职高专教改项目成果”教材。这些教材结合教改项目成果，反映了最新的教学改革方向，很值得广大高职高专院校借鉴。

新世纪高职高专教改项目成果教材适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校使用。

高等教育出版社

2002 年 11 月 30 日

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

目 录

绪论	1	2.5 放大电路的频率响应	41
第 1 章 半导体二极管及其应用	3	2.5.1 频率响应和通频带的概念	41
1.1 半导体二极管	3	2.5.2 单级阻容耦合放大电路的频率 响应	43
1.1.1 半导体基本知识	3	2.5.3 三极管的频率参数	43
1.1.2 PN 结的单向导电性	6	本章小结	44
1.1.3 半导体二极管的结构	8	实验 半导体三极管的简单测试和放大电路 的测试与调整	45
1.1.4 半导体二极管的伏安特性	9	思考题与习题	45
1.1.5 半导体二极管主要参数	10	第 3 章 场效应管及其放大电路	49
1.2 特殊二极管	12	3.1 结型场效应管	49
1.2.1 稳压二极管	12	3.1.1 结型场效应管的结构和工作原理	49
1.2.2 变容二极管	13	3.1.2 JFET 的特性曲线	51
1.3 整流与滤波电路	13	3.1.3 JFET 的主要参数	52
1.3.1 单相半波整流电路	14	3.2 绝缘栅场效应管	53
1.3.2 单相桥式整流电路	15	3.2.1 N 沟道增强型 MOSFET	53
1.3.3 滤波电路	16	3.2.2 各种场效应管的特性比较及使用 注意事项	55
本章小结	20	3.3 场效应管放大电路	56
实验 半导体二极管的简单测试	20	3.3.1 场效应管放大电路的直流偏置 电路	56
思考题与习题	20	3.3.2 场效应管放大电路的动态分析	58
第 2 章 半导体三极管及其放大电路	24	本章小结	59
2.1 三极管基本知识	24	思考题与习题	59
2.1.1 三极管的结构	24	第 4 章 负反馈放大电路	61
2.1.2 三极管的电流分配与放大作用	25	4.1 反馈的基本概念与分类	61
2.1.3 三极管的特性曲线	27	4.1.1 反馈的基本概念	61
2.1.4 三极管的主要参数	28	4.1.2 反馈的基本形式及其判别	62
2.2 共发射极放大电路	29	4.2 负反馈放大电路的组态和方框图 表示法	65
2.2.1 共射基本放大电路的组成及工作 原理	30	4.2.1 负反馈放大电路的组态	65
2.2.2 共射基本放大电路的基本分析 方法	30	4.2.2 负反馈放大电路的方框图	68
2.2.3 共射放大电路工作点的稳定	36	4.3 负反馈对放大电路性能的影响	69
2.3 共集电极、共基极放大电路	37	4.3.1 提高电路放大倍数的稳定性	69
2.3.1 共集电极放大电路	37	4.3.2 减少非线性失真	70
2.3.2 共基极放大电路	39	4.3.3 扩展通频带	70
2.4 多级放大电路	40		
2.4.1 多级放大电路的组成框图	40		
2.4.2 阻容耦合多级放大电路	40		

4.3.4 改变输入电阻和输出电阻	71	6.3.2 集成功放的应用举例	116
4.3.5 引入负反馈的一般原则	71	本章小结	121
4.4 深度负反馈放大电路	72	实验 OTL 电路参数测试和集成功放的	
4.4.1 深度负反馈的特点	72	应用	121
4.4.2 深度负反馈放大电路的估算	73	思考题与习题	122
4.5 负反馈放大电路的稳定性	75	第 7 章 正弦波振荡电路	124
4.5.1 负反馈电路的自激振荡	75	7.1 正弦波振荡电路的基本原理	124
4.5.2 负反馈放大电路自激振荡的消除		7.1.1 产生振荡的条件	124
方法	75	7.1.2 起振与稳幅过程	124
本章小结	77	7.1.3 正弦波振荡电路的组成和分析	
思考题与习题	78	方法	125
第 5 章 集成运算放大器及其应用	81	7.1.4 正弦波振荡电路的分类	125
5.1 集成运放的特点及组成原理	81	7.2 RC 正弦波振荡电路	126
5.1.1 集成运放的特点	81	7.2.1 文氏电桥振荡电路的组成	126
5.1.2 集成运放的组成原理	82	7.2.2 RC 选频网络的特性	126
5.2 集成运放的基本单元电路	82	7.2.3 振荡频率和起振条件	127
5.2.1 差分放大电路	83	7.2.4 稳幅措施	128
5.2.2 输出级电路	84	7.2.5 应用实例	128
5.3 集成运放简介	85	7.3 LC 正弦波振荡电路	129
5.3.1 通用型集成运放	86	7.3.1 LC 并联谐振回路的主要特性	129
5.3.2 集成运放的主要参数	87	7.3.2 变压器反馈式正弦波振荡电路	130
5.3.3 专用型集成运放	88	7.3.3 三点式正弦波振荡电路	131
5.4 集成运放的应用电路	89	7.4 石英晶体振荡器	133
5.4.1 集成运放的理想化条件	89	本章小结	134
5.4.2 集成运放的三种基本电路	90	实验 正弦波振荡电路测试	135
5.4.3 集成运放的其他应用电路	92	思考题和习题	135
5.5 集成运放的使用知识	99	第 8 章 直流稳压电源	137
5.5.1 集成运放的简单测试	99	8.1 概述	137
5.5.2 失调补偿	99	8.2 直流稳压电路	138
5.5.3 自激振荡的消除	99	8.2.1 硅稳压管直流稳压电路	138
本章小结	101	8.2.2 串联型稳压电路	140
实验 集成运放及其应用	101	8.3 三端集成稳压器	141
思考题与习题	101	8.3.1 三端集成稳压器的原理及主要	
第 6 章 功率放大电路	107	参数	141
6.1 功率放大电路的一般问题	107	8.3.2 三端集成稳压器的典型应用	144
6.2 低频功率放大电路	108	8.4 开关稳压电源	146
6.2.1 低频功率放大电路的基本类型	108	本章小结	147
6.2.2 OTL 电路	109	实验 集成直流稳压电源的测试	148
6.3 集成功率放大器及其应用	116	思考题与习题	148
6.3.1 集成功率放大器的性能及主要		第 9 章 光电子器件及其应用	150
参数	116	9.1 发光二极管	150

9.1.1 发光二极管的工作原理	150	11.3.2 TTL 反相器的电压传输特性	195
9.1.2 发光二极管的应用	152	11.3.3 TTL 反相器的输入特性和输出特性	196
9.2 光电器件及其应用	153	11.3.4 TTL 反相器的主要参数	198
9.2.1 光电二极管及其应用	153	11.4 其他类型 TTL 门电路	200
9.2.2 光电三极管及其应用	154	11.4.1 TTL 与非门	200
9.2.3 光敏电阻器及其应用	155	11.4.2 集电极开路门(OC 门)	201
9.3 光电耦合器及其应用	157	11.4.3 三态输出门电路(TS 门)	203
9.3.1 光电耦合器及其分类	157	11.5 CMOS 门电路	204
9.3.2 光电耦合器的应用	158	11.5.1 CMOS 反相器	204
9.3.3 光电耦合型放大器	159	11.5.2 其他类型的 CMOS 门电路	207
本章小结	160	11.6 CMOS 门电路和 TTL 门电路的使用知识及相互连接	209
思考题与习题	161	11.6.1 CMOS 门电路的使用知识	209
第 10 章 数字电路基础知识	162	11.6.2 TTL 门电路的使用知识	209
10.1 数字电路概述	162	11.6.3 TTL 门电路和 CMOS 门电路的相互连接	209
10.1.1 数字电路与模拟电路	162	本章小结	211
10.1.2 数字电路的分类和学习方法	162	实验 测试集成门电路的逻辑功能和主要参数	211
10.2 数制及编码	163	思考题与习题	211
10.2.1 数制	163	第 12 章 组合逻辑电路	214
10.2.2 数制转换	164	12.1 组合逻辑电路的分析和设计	214
10.2.3 编码	166	12.1.1 组合逻辑电路的分析方法	214
10.3 逻辑函数及其化简	167	12.1.2 组合逻辑电路的设计方法	216
10.3.1 逻辑代数的基本运算	167	12.2 编码器	218
10.3.2 逻辑函数及其表示法	171	12.2.1 普通编码器	218
10.3.3 逻辑代数的公式和运算法则	173	12.2.2 优先编码器	219
10.3.4 逻辑函数的公式化简法	175	12.3 译码器	220
10.3.5 逻辑函数的卡诺图化简法	177	12.3.1 二进制译码器	221
本章小结	185	12.3.2 二-十进制译码器	223
思考题与习题	186	12.3.3 显示译码器	224
第 11 章 逻辑门电路	188	12.4 数据选择器	227
11.1 二极管及三极管的开关特性	188	12.4.1 数据选择器的工作原理	228
11.1.1 二极管的开关特性	188	12.4.2 8 选 1 数据选择器 74LS151	228
11.1.2 三极管的开关特性	189	12.4.3 应用举例	229
11.2 基本逻辑门电路	191	12.5 加法器	230
11.2.1 二极管与门	191	12.5.1 全加器	230
11.2.2 二极管或门	192	12.5.2 多位加法器	231
11.2.3 关于高、低电平的概念及状态赋值	192	12.6 数值比较器	232
11.2.4 非门(反相器)	193	本章小结	233
11.2.5 关于正逻辑和负逻辑的概念	193	实验 组合逻辑电路	233
11.3 TTL 反相器	193		
11.3.1 TTL 反相器的工作原理	194		

思考题与习题	234
第 13 章 触发器	236
13.1 基本 RS 触发器	236
13.1.1 电路组成	236
13.1.2 工作原理	237
13.1.3 应用举例	238
13.2 同步触发器	239
13.2.1 同步 RS 触发器	239
13.2.2 主从 RS 触发器	240
13.2.3 CMOS 主从 D 触发器	242
13.2.4 边沿触发器	243
13.3 触发器的逻辑功能	244
13.3.1 RS 触发器	244
13.3.2 D 触发器	245
13.3.3 JK 触发器	246
13.3.4 T 触发器	248
13.4 集成触发器及其应用	250
13.4.1 集成 JK 触发器	250
13.4.2 集成 D 触发器	251
13.4.3 集成触发器的应用举例	252
本章小结	253
实验 集成触发器逻辑功能测试	253
思考题与习题	254
第 14 章 时序逻辑电路	257
14.1 寄存器	257
14.1.1 数码寄存器	257
14.1.2 移位寄存器	259
14.1.3 寄存器的应用实例	263
14.2 二进制计数器	264
14.2.1 异步二进制计数器	264
14.2.2 同步二进制计数器	268
14.3 任意进制计数器	270
14.3.1 任意进制异步计数器	271
14.3.2 任意进制同步计数器	274
14.4 中规模集成计数器及其应用	276
14.4.1 集成异步计数器 74LS290	276
14.4.2 集成同步计数器 74LS163	280
14.4.3 计数器的应用实例	283
本章小结	285
实验 中规模集成计数器及其应用	285
思考题与习题	286

第 15 章 脉冲波形的产生与变换	290
15.1 RC 电路	290
15.1.1 常用脉冲波形及参数	290
15.1.2 RC 电路的应用	291
15.2 施密特触发器	292
15.2.1 用集成门电路构成的施密特触 发器	292
15.2.2 集成施密特触发器	294
15.2.3 施密特触发器的应用	294
15.3 单稳态触发器	296
15.3.1 用集成门电路构成的单稳态触 发器	296
15.3.2 集成单稳态触发器	297
15.3.3 单稳态触发器的应用	299
15.4 多谐振荡器	299
15.4.1 对称式多谐振荡器	299
15.4.2 环形振荡器	301
15.4.3 石英晶体振荡器	302
15.5 555 定时器及其应用	302
15.5.1 555 定时器	302
15.5.2 555 定时器的应用举例	304
本章小结	306
实验 555 定时器的应用	306
思考题与习题	307
第 16 章 数/模和模/数转换	309
16.1 D/A 转换	309
16.1.1 D/A 转换基本原理	309
16.1.2 倒 T 形电阻网络 DAC	309
16.1.3 DAC 的主要技术参数	311
16.1.4 集成 D/A 转换器及其应用	311
16.2 A/D 转换	313
16.2.1 A/D 转换基本原理	313
16.2.2 A/D 转换器工作原理	315
16.2.3 ADC 的主要技术参数	319
16.2.4 集成 A/D 转换器及应用举例	320
本章小结	322
思考题与习题	322
第 17 章 存储器 and 可编程逻辑器件 简介	323
17.1 半导体存储器	323
17.1.1 随机存取存储器 (RAM)	323

17.1.2 只读存储器(ROM)	325
17.1.3 存储器的应用	328
17.1.4 其他类型存储器简介	332
17.2 可编程逻辑器件简介	333
17.2.1 概述	333
17.2.2 普通可编程逻辑器件	334
17.2.3 复杂的可编程逻辑器件(CPLD)	337
17.2.4 现场可编程门阵列(FPGA)	338
17.2.5 可编程逻辑器件的开发与应用 ...	339
本章小结	343
思考题与习题	344
参考文献	345
附录	346

附录 A 半导体器件型号及参数	346
一、国产半导体器件型号命名规则	346
二、常用国产半导体三极管的参数	347
三、几种场效应管的参数	348
四、几种常用进口半导体器件的主要 参数	349
附录 B 半导体集成电路型号及参数	350
一、国产半导体集成电路型号命名 规则	350
二、54/74 系列数字集成电路型号 命名规则	351
三、几种集成运放的主要参数	352
附录 C 常用逻辑符号对照表	353

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,无线电通信、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、寿命短和抗震性差等缺点,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、抗震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各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素质劳动者和高等技术应用性专门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。

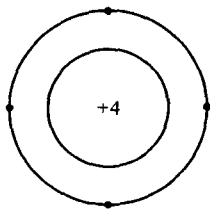


图 1-1 硅或锗简化的原子结构模型

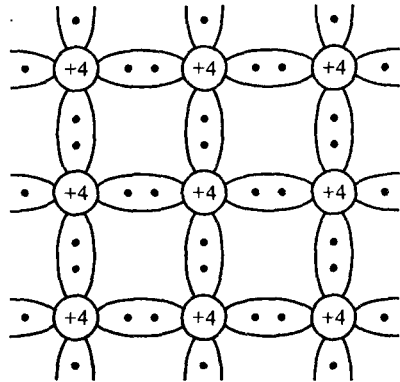


图 1-2 硅或锗晶体中共价键结构

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。

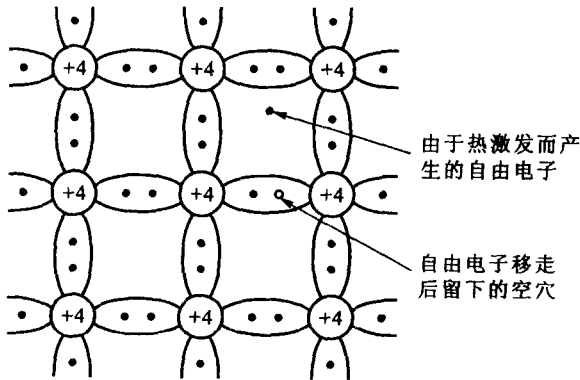


图 1-3 本征激发产生的电子空穴对

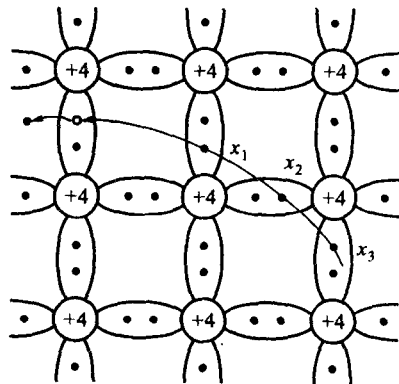


图 1-4 电子与空穴的移动

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一个空穴,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。

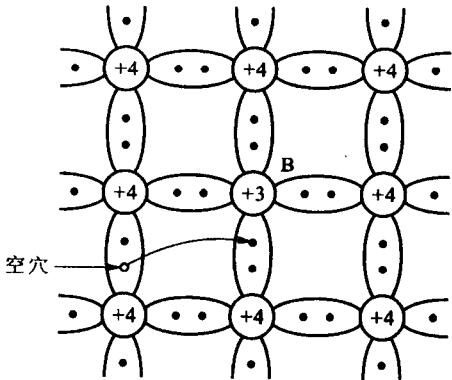


图 1-5 P 型半导体结构示意图

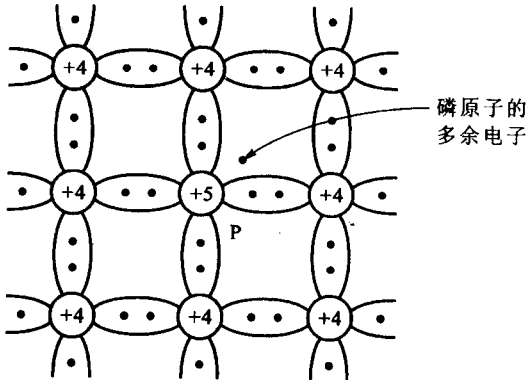


图 1-6 N 型半导体结构示意图

(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⊕代表正离子,⊖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。

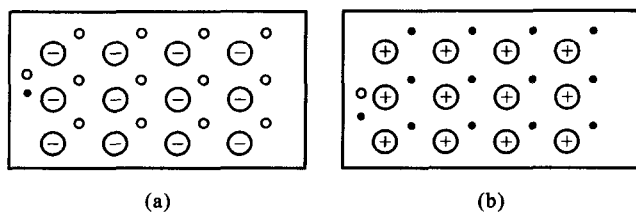


图 1-7 杂质半导体结构示意图

(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,由于交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。

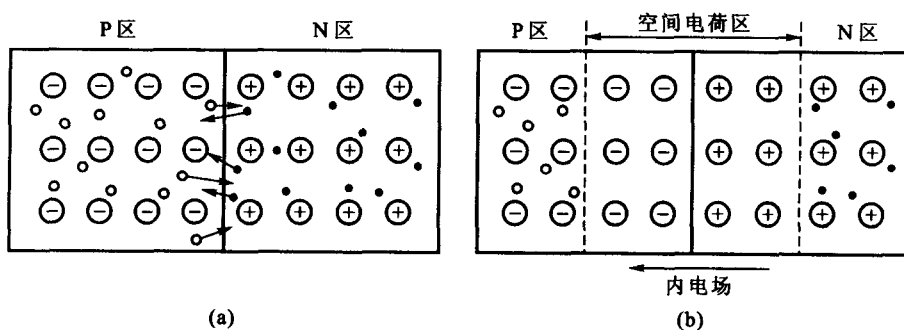


图 1-8 PN 结的形成

(a) 载流子的扩散 (b) 空间电荷区

结果,交界面附近 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。于是交界面附近的 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(大约 $10^{-6} \sim 10^{-4}$ 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,而不利于少数载流子的漂移。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,而不利于多数载流子的扩散。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 。

