



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
电子信息、电气控制应用技术培训用书

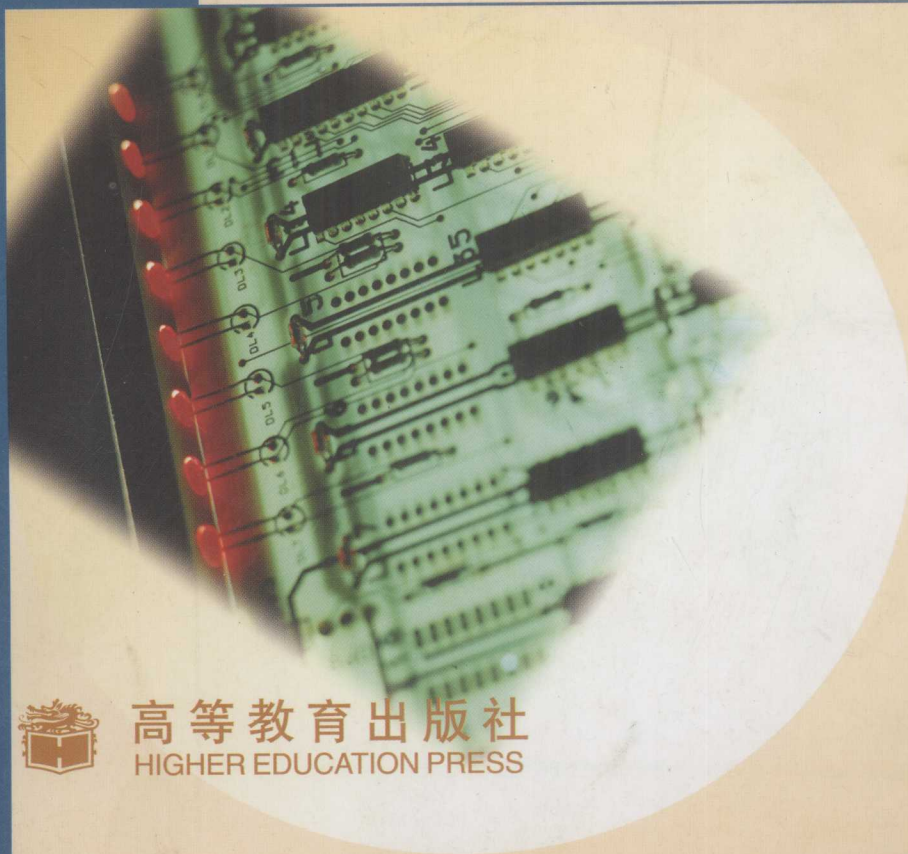
国家信息化
计算机教育认证

CEAC

指定教材

电子技术

余孟尝 陆小珊 王胜元 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

教育部职业教育与成人教育司推荐教材
电子信息、电气控制应用技术培训用书

电子技术

余孟尝 陆小珊 王胜元 主编
刘蕴陶 吴锡龙 主审

高等教育出版社

内容简介

本书是电气智能技术应用系列用书,是教育部职业教育与成人教育司推荐教材,并被信息产业部指定为“CEAC 电气智能技术应用工程师”认证专用培训教材。

本书为适应 21 世纪对电气智能技术应用型人才的需要而编写。教材分为上、下两篇,上篇“模拟电子技术”介绍了二极管及三极管基础知识、基本放大电路、负反馈放大电路、集成运算放大器、功率放大电路、波形发生器、直流电源等知识;下篇“数字电子技术”介绍了数字电路的基础知识、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲的产生与变换、数模和模数转换、可编程逻辑器件等知识。

本教材深入浅出,结合与之配套的电子教材,可以把抽象的知识形象地表现出来。本书可作为电子信息、电气控制应用技术培训用书、“CEAC 电气智能技术应用工程师”认证培训教材以及全国职业院校电类专业教学用书,也可供相关工程人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电子技术 / 余孟尝, 陆小珊, 王胜元主编. —北京:
高等教育出版社, 2005. 6 (2007 重印)
ISBN 978 - 7 - 04 - 017040 - 5

I. 电... II. ①余... ②陆... ③王... III. 电子技术 - 教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 051385 号

策划编辑	王卫民	责任编辑	李葛平	封面设计	于 涛	责任绘图	朱 静
版式设计	胡志萍	责任校对	胡晓琪	责任印制	毛斯璐		

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 - 58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司

印 刷 国防工业出版社印刷厂

开 本 787 × 1092 1/16

印 张 16.5

字 数 400 000

购书热线 010 - 58581118

免费咨询 800 - 810 - 0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

网上订购 <http://www.landaco.com>

<http://www.landaco.com.cn>

畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2005 年 6 月第 1 版

印 次 2007 年 5 月第 3 次印刷

定 价 27.50 元 (含光盘)

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 17040 - 00

出版说明

随着电子信息、自动控制技术的发展,特别是计算机技术的广泛应用,电气设备逐渐向智能化方向发展。21世纪,我国工业控制水平逐渐达到了世界发达国家的智能水平,我国工业水平已经迈向了自动化,但能够综合掌握电工、电子、单片机、可编程序控制器(PLC)、变频器、计算机、网络通信等技术的电气智能技术应用型人才十分短缺。多数职业院校目前开设的电工技术、电子技术、电力拖动等课程内容仍较为传统,注重学科体系的理论性与完整性;单片机、PLC、变频器的实践教学环节较为薄弱,与实际生产中的操作与应用结合不够紧密;对新知识、新技术、新工艺、新方法体现不足,职业教育的实践性特色不明显,无法满足工业自动化发展对技能型人才的需要。

为落实《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》,促进国家实施制造业信息化工程和培养、培训技能型人才工程,科学技术、教育、劳动和社会保障部门联合创建了电气智能实验教学公共平台,即以职业技术学院为依托,协调地方(科技局)生产力促进中心,由企业提前介入教学过程,开发学校与企业共建平台。该平台是企业 and 学校紧密合作、共同开发贴近生产实践的教学环境的成果,平台中的电气智能实验教学系统融合了电工、电子、单片机、PLC、变频器等的实训功能,通过平台培训企业员工和培养职业院校的学生,可以深化职业教育改革,推进职业资格证书制度,帮助企业培训生产一线的电气智能技术人才。

结合平台中济南星科公司生产的XK-2001型电气智能实验教学系统,高等教育出版社与济南星科公司共同组织编写了这套电气智能技术应用教材。该套教材包括《电工技术》、《电子技术》、《单片机技术》、《PLC技术》和《变频器技术》5本。教材的开发是“国家发改委2004年度信息化装备专项”、“科技部科技型中小企业创新基金”、“国家级火炬计划”及“国家重点新产品推广计划”支持项目。教材按照《2004—2007年职业教育教材开发编写计划》的有关精神,从全国遴选多年从事职业教育、经验丰富的优秀教师,结合企业生产一线技术人员的实际经验,坚持以就业为导向,以能力为本位的原则进行编写。本套教材为教育部职业教育与成人教育司立项推荐教材,并被信息产业部指定为“CEAC电气智能技术应用工程师”认证专用培训教材。

本套教材的主要特点有:

1. 以“必需”和“够用”为度,采用模块化结构

教材内容打破学科型教学模式,采用模块化结构,以本专业通用部分构筑能力平台,通过灵活的模块化结构来满足不同的能力需求,满足企业员工培训和职业院校学生培养的需求。

2. 了解企业需求,反映企业新技术

教材旨在为国家实施制造业信息化工程培养电气技术应用人才和开展企业职工电气技术应用培训服务,所以在教材编写过程中注意了解企业技术发展动向,教材内容与企业新技

术挂钩,力求实现培养培训工作与企业需求的无缝连接。

3. 与电气智能实验教学系统相结合,注重技能的培养

教材内容结合电气智能实验教学系统,注重理论联系实际,把提高学生的职业能力放在突出的位置,加强实践性教学环节。

4. 配有多媒体光盘

教材配有多媒体光盘,内含电子教案和多媒体演示,形象生动地展现电气智能实验教学系统的模拟、仿真画面,使读者真实感受企业电气操作的信号流程,有利于教师备课和学生独立学习。多媒体光盘的配备也使得没有配置电气智能实验教学系统的企业和职业院校能方便地使用本教材,体现了教材的独立性。

在教材编写过程中得到了中国科协的大力支持,在此表示谢意。

本套教材的不足之处,敬请广大读者批评指正。

高等教育出版社

2005年3月

前 言

为落实《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》，实施《2003—2007 年教育振兴行动计划》中提出的“制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训计划”，高等教育出版社联合研发电气智能教学系统的企业（济南星科公司）组织教育专家、职业教育一线的骨干教师、企业的工程技术人员和培训工程师，编写了一套电气智能技术应用教材。该套教材根据技能型人才培养模式的要求，结合电气智能教学系统，在内容上强调所学知识与生产实际相结合，着重培养培训企业需求的技能型人才。

电子技术是一门技术基础课，它的主要任务是为学习后续的相关专业课程和从事电气智能技术应用工作打好基础，并使读者受到必要的基本技能的训练。本教材按照教育部职业教育与成人教育司《2004—2007 年职业教育教材开发编写计划》的精神，从全国遴选多年从事职业教育、经验丰富的优秀教师，按照面向实用、重视实践、便于理解的原则编写。本书包括模拟电子技术和数字电子技术两部分，主要内容如下：

“模拟电子技术” 第 1 章介绍了半导体二极管、三极管两个非常实用的器件，使读者了解这两个器件的工作原理。第 2 章、第 3 章着重介绍了基本放大电路的组成及放大原理，使读者对基本放大器的应用有所认识。第 4 章重点介绍集成运算放大器的工作原理，使读者对运放的使用有较全面的了解。第 5 章介绍了功率放大器的原理和应用。第 6 章介绍了常用的几种电压波形的产生原理。第 7 章介绍了直流电源的工作原理。

“数字电子技术” 第 1 章介绍了数字电路的基础知识，包括数字逻辑及运算。第 2 章、第 3 章介绍了门电路及使用门电路进行组合逻辑电路设计的方法，使读者了解如何使用门电路实现自己的设计。第 4 章、第 5 章介绍时序逻辑电路的基础知识，使读者了解触发器的工作原理，掌握集成时序逻辑器件的使用。第 6 章介绍数字电路中常用波形的产生方法及波形整形的方法。第 7 章介绍了 A/D 和 D/A 转换器的工作原理，通过实例使读者了解这两个器件的应用。第 8 章介绍了常用可编程逻辑器件 GAL 的应用。

本书配有多媒体助学、助教光盘，形象生动地展示了电气智能实验教学系统的模拟、仿真画面，使读者真实感受企业电气操作的信号流程。使用本书有助于改变过去单纯以传授知识为主的教学观念和教学方法，打破传统的授课模式，充分利用现代化的教学手段，使教学内容更加形象、直观。同时，重视实践环节，有利于提高读者对知识的应用能力和创新能力。

本课程是中等职业院校电气电子类专业的基础课程，学校可以根据自己的实际情况安排教学和实验的学时。建议该课程的学时数为 106 学时，其中模拟电子技术的总学时数为 52 学时，具体各章节的学时分配为：6、10、8、8、8、6、6；数字电子技术的总学时数为 54 学时，具体各章节的学时分配为：6、6、8、6、8、6、6、4、4。对于非电类相关专业的学生，可以根据自己专业的需要，适当删减部分章节的内容，学时数也可适当减少。

II 前言

本书由余孟尝(清华大学)、陆小珊(山东大学)、王胜元(山东经济学院)任主编,唐建峰、张祥洪、周海航、戴宗文、梁灏、彭克发、王来军、曹义广、黄菲、苏虹等参加了编写。其中模拟电子技术的第4章、第5章、第6章由枣庄经济学校的唐建峰、张祥洪、邓辉、张从箴老师编写;第1章、第7章由通辽市技工学校的周海航老师编写;第2章、第3章由重庆市科能高级技工学校的戴宗文、梁灏老师编写;数字电子技术的第1章、第3章、第4章、第5章由重庆市垫江县职业教育中心的彭克发老师编写。第2章、第7章由山西大同电力高级技校的王来军、曹义广老师编写。第6章、第8章由北京商务科技学校的黄菲、苏虹老师编写。刘蕴陶、吴锡龙二位老师审阅了书稿,在此向他们表示感谢!

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免会有错误和不妥之处,恳切希望使用本书的广大读者批评指正。

编 者
2005 年 3 月

目 录

上篇 模拟电子技术

第1章 半导体器件	2	2.2 基本放大电路的工作原理	28
1.1 半导体的基本知识	2	2.2.1 静态工作点的分析及稳定	28
1.1.1 导体、绝缘体和半导体	2	2.2.2 基本放大电路交流分析	33
1.1.2 半导体的特性	2	2.3 放大电路的耦合方式及频率特性	39
1.1.3 本征半导体	2	2.3.1 基本放大电路的耦合方式	39
1.1.4 杂质半导体	3	2.3.2 放大电路的频率特性	42
1.2 PN 结	4	2.4 基本放大电路的应用	43
1.2.1 PN 结的形成	4	2.4.1 电子滤波器	43
1.2.2 PN 结的单向导电性	4	2.4.2 发光二极管检测器	43
1.3 半导体二极管	6	2.4.3 三极管在 LM317 中的应用	44
1.3.1 二极管的结构	6	习题	45
1.3.2 二极管的分类	6	第3章 负反馈放大电路	48
1.3.3 二极管的伏安特性	7	3.1 反馈的基本概念	48
1.3.4 二极管的主要参数	8	3.1.1 反馈的定义	48
1.3.5 二极管型号的命名	8	3.1.2 反馈的分类与判断	48
1.3.6 二极管的判断	10	3.2 负反馈放大电路	50
1.3.7 二极管的应用	11	3.2.1 负反馈放大电路的组成	50
1.4 半导体三极管	12	3.2.2 负反馈放大电路的四种组态	51
1.4.1 三极管的结构与类型	12	3.3 负反馈放大电路放大倍数的一般表达式	53
1.4.2 三极管的放大原理及开关作用	13	3.4 负反馈对放大电路性能的影响	53
1.4.3 三极管的三种工作状态	15	3.5 深度负反馈放大电路的计算	56
1.4.4 三极管的主要参数	16	3.6 仿真实验 负反馈对放大电路性能的影响	57
1.4.5 三极管的判断	17	习题	58
1.5 场效应晶体管	18	第4章 集成运算放大器	60
1.5.1 与三极管的比较	18	4.1 基本运算放大器的特性	60
1.5.2 结型场效应晶体管	18	4.1.1 集成运放电路的组成	60
1.5.3 绝缘栅型场效应晶体管	21	4.1.2 集成电路的分类	61
1.5.4 场效应晶体管的主要参数	23	4.1.3 集成电路的特点	61
习题	23	4.1.4 集成运放的性能指标	62
第2章 基本放大电路	26	4.1.5 集成运放的电压传输特性	63
2.1 基本放大电路的组成	26		
2.1.1 电路的组成	26		
2.1.2 放大电路的主要性能指标	27		

4.2 差分放大电路	65	5.5.3 电路特点	97
4.2.1 零点漂移	65	5.5.4 工作原理	98
4.2.2 差分放大电路的组成	66	习题	98
4.2.3 差模信号和共模信号	66	第6章 波形发生器	102
4.2.4 差分放大电路的输入输出方式	67	6.1 正弦波发生器	102
4.2.5 典型差分放大电路	68	6.1.1 正弦波发生器的组成与分类	102
4.2.6 差分放大电路的动态分析	69	6.1.2 自激振荡的条件	103
4.3 集成运放的应用	71	6.1.3 RC 振荡电路	104
4.3.1 运算放大器在信号运算方面的应用	71	6.1.4 LC 正弦波振荡电路	105
4.3.2 运算放大器在信号处理方面的应用	76	6.1.5 石英晶体振荡电路	108
4.3.3 运算放大器使用注意事项	80	6.2 非正弦波发生器	110
习题	81	6.2.1 方波发生器	110
第5章 功率放大电路	83	6.2.2 三角波发生器	111
5.1 功率放大电路的任务与特点	83	6.2.3 锯齿波发生器	112
5.1.1 功率放大电路的任务	83	习题	112
5.1.2 功率放大电路的基本要求	83	第7章 直流电源	114
5.1.3 功率放大电路的分类	84	7.1 单相整流电路	114
5.1.4 功率放大电路的特点	85	7.1.1 半波整流电路	114
5.2 直接耦合互补对称电路		7.1.2 单相桥式整流电路	116
(OCL 电路)	86	7.2 滤波电路	118
5.2.1 OCL 电路的组成及工作原理	86	7.2.1 电容滤波电路	118
5.2.2 性能分析	87	7.2.2 电感滤波电路	121
5.2.3 交越失真	88	7.2.3 复式滤波电路	121
5.2.4 电路的改进	88	7.3 稳压管稳压电路	122
5.3 单电源互补对称电路		7.3.1 稳压二极管	122
(OTL 电路)	90	7.3.2 稳压二极管稳压电路	122
5.3.1 OTL 电路的结构	90	7.3.3 稳压管和限流电阻的选取	123
5.3.2 工作原理	91	7.4 集成稳压电源	124
5.3.3 单电源互补对称电路的改进	91	7.4.1 三端固定集成稳压器	125
5.4 集成功率放大器	92	7.4.2 三端可调输出集成稳压器	125
5.4.1 DG4100	93	7.4.3 三端集成稳压器的应用	125
5.4.2 LM386	95	7.5 开关稳压电源	127
5.5 变压器耦合推挽功率放大器	96	7.5.1 开关式串联稳压电路的基本结构与工作原理	127
5.5.1 最佳负载	96	7.5.2 开关式稳压电路的工作原理	128
5.5.2 阻抗变换原理	97	7.5.3 开关式稳压电路实例	128
		习题	129

下篇 数字电子技术

第1章 数制及逻辑代数	132	3.1.1 组合逻辑电路的定义	162
1.1 数制与码制	132	3.1.2 组合逻辑电路的分析方法	162
1.1.1 数制	132	3.1.3 组合逻辑电路的设计及应用	164
1.1.2 码制	136	3.2 组合逻辑电路的设计与应用	165
1.2 逻辑代数的基本定律	137	3.2.1 编码器的设计	165
1.2.1 逻辑代数的基本概念	137	3.2.2 译码器的设计	167
1.2.2 逻辑代数的基本运算法则	138	3.2.3 数码显示器的设计	169
1.2.3 逻辑代数的基本定理	139	习题	173
1.2.4 逻辑代数公式的推广	139	第4章 触发器	175
1.3 逻辑函数的化简	139	4.1 RS 触发器	175
1.3.1 化简的意义	140	4.1.1 基本 RS 触发器	175
1.3.2 利用代数公式和定理进行化简	140	4.1.2 同步 RS 触发器	176
1.3.3 逻辑函数的卡诺图化简法	141	4.1.3 主从 RS 触发器	178
1.4 逻辑电路图、逻辑表达式与真值表 之间的互换	144	4.2 JK 触发器(全功能触发器)	179
习题	146	4.3 D 触发器和 T 触发器	181
第2章 逻辑门电路	148	4.3.1 D 触发器	181
2.1 二极管与门电路	148	4.3.2 T 触发器	182
2.1.1 基本逻辑关系	148	习题	183
2.1.2 与逻辑和二极管与门电路	148	第5章 时序逻辑电路	185
2.2 二极管或门电路	150	5.1 时序逻辑电路概述	185
2.2.1 或逻辑	150	5.1.1 时序逻辑电路的基本特征	185
2.2.2 二极管或门电路	151	5.1.2 时序逻辑电路的种类	186
2.3 非门电路和复合门电路	152	5.1.3 时序逻辑电路的分析方法	186
2.3.1 非逻辑和非门电路	152	5.2 寄存器	187
2.3.2 复合门电路	153	5.2.1 数码寄存器	187
2.4 集成逻辑门电路	154	5.2.2 移位寄存器	188
2.4.1 TTL 集成与非门电路	154	5.2.3 中规模集成移位寄存器	191
2.4.2 CMOS 集成门电路	157	5.3 计数器	191
2.4.3 CMOS 集成电路使用注意事项	159	5.3.1 异步二进制计数器	192
2.5 CMOS 电路与 TTL 电路的 连接	159	5.3.2 同步二进制计数器	193
2.5.1 匹配原则	160	5.3.3 十进制计数器	194
2.5.2 数字集成电路的型号识别	160	习题	196
习题	160	第6章 脉冲波形的产生与变换	198
第3章 组合逻辑电路	162	6.1 多谐振荡器	198
3.1 组合逻辑电路的分析与设计 方法	162	6.1.1 对称式多谐振荡器	198
		6.1.2 环形振荡器	199
		6.1.3 石英晶体振荡器	200
		6.2 单稳态触发器	200

6.2.1 用集成门电路构成的单稳态触 发器	200	7.1.2 D/A 转换器的主要技术指标	216
6.2.2 集成单稳态触发器	201	7.1.3 典型 D/A 转换器及其应用	218
6.2.3 单稳态触发器的应用	203	7.2 模数转换器(A/D)及其应用	223
6.3 双稳态触发器	203	7.2.1 A/D 转换器的基本原理与分类	223
6.3.1 用集成门电路构成的施密特 触发器	204	7.2.2 A/D 转换器的主要技术指标	229
6.3.2 集成施密特触发器	205	7.2.3 典型 A/D 转换器及其应用	230
6.3.3 施密特触发器的应用	206	习题	239
6.4 集成 555 定时器	207	第 8 章 可编程逻辑器件及其应用	240
6.4.1 集成 555 定时器	207	8.1 概述	240
6.4.2 用 555 定时器构成多谐振荡器	208	8.2 GAL 器件	241
6.4.3 用 555 定时器构成单稳态触 发器	209	8.3 GAL 的编程	242
6.4.4 用 555 定时器构成施密特触 发器	209	8.3.1 编程的具体步骤	242
习题	210	8.3.2 用 GAL 实现基本门电路	243
第 7 章 数模和模数转换	212	8.3.3 用 GAL 实现基本触发器	244
7.1 数模转换器(D/A)及其应用	213	8.3.4 用 GAL 实现 4 位可逆计数器	245
7.1.1 D/A 转换器的基本原理与分类	213	8.4 实例——汽车拐弯信号灯控制 系统	247
		8.5 GAL 数字系统设计注意事项	249
		习题	251
参考文献	252		

上 篇

模拟电子技术

半导体器件

1.1 半导体的基本知识

1.1.1 导体、绝缘体和半导体

自然界中存在的物质,就其导电性来说,可分为三类,即导体、绝缘体和半导体。原子结构决定物质的导电性能,导体一般为低价元素,它们的最外层电子极易挣脱原子核的束缚成为自由电子,在外电场的作用下产生定向移动,形成电流,因此导体具有良好的导电特性。导体一般为金属,如铜、铝、铁、银等,其电阻率很小,只有 $10^{-6} \sim 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 。高价元素或高分子物质的最外层电子受到的原子核束缚力很强,在外电场的作用下,很难形成电流,所以绝缘体几乎不导电,这类材料中几乎没有自由电子,电阻率很大,在 $10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上,如橡胶、陶瓷、玻璃、塑料等。还有一类物质,如硅、锗、硒、砷化镓等,均为四价元素,它们的最外层电子既不像导体那么容易挣脱原子核的束缚,也不像绝缘体那样被原子核束缚得很紧,因此它们的导电能力介于导体和绝缘体之间,电阻率通常为 $10^{-2} \sim 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ 。

1.1.2 半导体的特性

半导体具有如下独特的特性:

1. 杂敏性

半导体对杂质很敏感,例如,在半导体硅中掺入亿分之一的硼,电阻率就会下降到原来的几分之一。利用控制掺杂的方法,可以制造出不同性能、不同用途的半导体器件。

2. 热敏性

半导体的电阻率随温度的升高而显著减小,利用这一特性可以制成自动控制中常用的热敏元件,如热敏电阻。

3. 光敏性

半导体受光照射时,电阻率会显著减小,自动控制中用到的光敏二极管和光敏电阻都是利用这一特性制作而成的。

1.1.3 本征半导体

1. 本征半导体的原子结构

通常情况下,硅和锗是多晶体,即原子的排列无规则,不整齐。在制作半导体器件之前必须使这样的硅和锗在单晶炉里形成单晶体,即为本征半导体。晶体中的原子在空间形成排列整齐的点阵,称为晶格。常用的半导体材料有硅和锗,它们最外层都有 4 个价电子,如图 1.1 所示。

根据原子结构理论,原子最外层要有8个价电子才是稳定状态,所以每个硅(或锗)原子必须和四周相邻的4个原子组成4对共用的价电子,才能组成稳定状态,这种结构称为共价键结构,如图1.2所示。

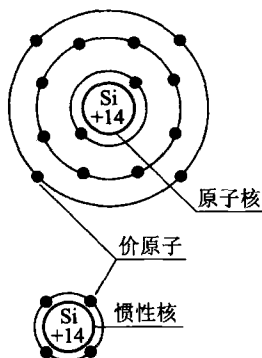


图 1.1 硅原子结构示意图

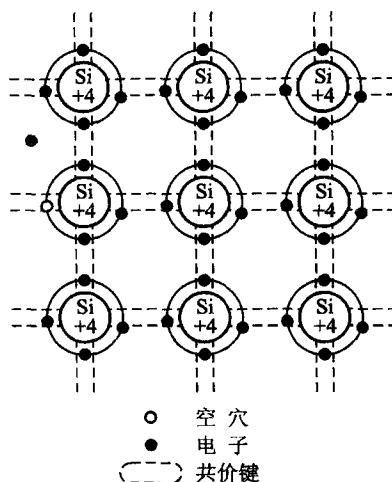


图 1.2 共价键结构示意图

2. 本征激发

半导体在热激发下产生自由电子和空穴对的现象称为本征激发。共价键中的一些价电子由于热运动获得一些能量,从而摆脱共价键的约束成为自由电子,同时在共价键上留下空位,这些空位称为空穴,它带正电,在外电场作用下,自由电子产生定向移动,形成电子电流。同时,价电子也要按一定的方向依次填补空穴,从而使空穴产生定向移动,形成空穴电流。因此,在晶体中存在两种载流子,即带负电的自由电子和带正电的空穴,它们是成对出现的,由于自由电子和空穴所带电荷极性不同,所以它们的运动方向相反,本征半导体中的电流是两种电流之和。

1.1.4 杂质半导体

在本征半导体中,两种载流子的浓度很低,因此导电性很差。向晶体中掺入特定的杂质能改变它的导电性,根据掺入杂质元素的不同,掺杂半导体可分为N型半导体和P型半导体。

1. N型半导体

在本征半导体中掺入五价元素(如磷),使晶体中某些原子被杂质原子代替,这样就形成了N型半导体。因为杂质原子最外层有5个价电子,它与周围原子形成共价键后,还多余一个自由电子,使其中空穴的浓度远小于自由电子的浓度。在N型半导体中,自由电子的浓度大于空穴的浓度,所以称自由电子为多数载流子,简称多子;空穴为少数载流子,简称少子。由于N型半导体可以提供自由电子,所以称之为施主原子,如图1.3所示。

2. P型半导体

在本征半导体中掺入三价元素(如硼),晶体中的某些原子被杂质原子代替,这样就形成了P型半导体。杂质原子的最外层有三个价电子,它与周围的原子形成共价键后,出现一个空穴,因

此其中的空穴浓度远大于自由电子的浓度。在 P 型半导体中,自由电子是少数载流子,空穴是多数载流子,因此,杂质原子的空位吸收电子,故称之为受主原子,如图 1.4 所示。

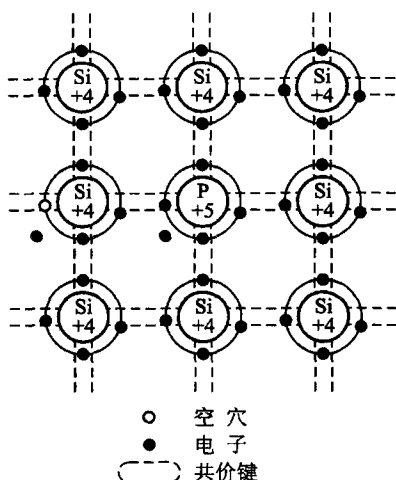


图 1.3 N 型半导体结构示意图

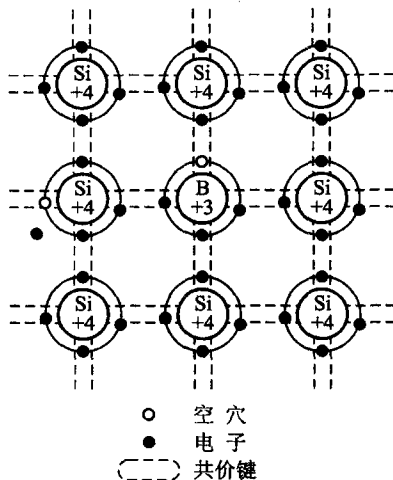


图 1.4 P 型半导体结构示意图

可见,无论是 N 型半导体还是 P 型半导体,其多数载流子的浓度都与掺杂浓度有关,而少数载流子的浓度只与温度有关,这就是一切半导体器件都是温度的敏感元件的原因。

1.2 PN 结

PN 结是构成半导体二极管、三极管、场效晶体管、晶闸管等半导体器件的基础,因此 PN 结的形成至关重要。下面介绍 PN 结的有关知识。

1.2.1 PN 结的形成

当 P 型半导体(又称 P 区)和 N 型半导体(又称 N 区)结合在一起时,在它们的交界处就出现了电子和空穴的浓度差,P 区中的空穴是多子,电子是少子,N 区中电子是多子,空穴是少子,电子和空穴都是从浓度高的地方向浓度低的地方运动,这就是扩散运动。N 区的电子向 P 区扩散与空穴复合消失,留下了施主正离子;P 区的空穴向 N 区扩散与电子复合消失,留下了受主负离子,如图 1.5 所示。结果出现了空间电荷区,这就是 PN 结。空间电荷区形成以后,在正负离子的作用下形成了内电场,其方向由 N 区指向 P 区。随着扩散运动的进行,空间电荷区加宽,内电场增强,阻碍了多子扩散,促使少子漂移。半导体中的少数载流子在电场力的作用下的运动称为漂移运动。当扩散运动与漂移运动达到动态平衡时,形成稳定的空间电荷区,称为 PN 结。由于空间电荷区内缺少载流子,所以又称为耗尽层或阻挡层。

1.2.2 PN 结的单向导电性

PN 结未加电压时,处于动态平衡状态,结电流为零。当两端外加电压时,破坏了原来的动态平衡,将有电流流过。所加电压极性不同,体现出不同的导电特性,即表现为单向导电性。

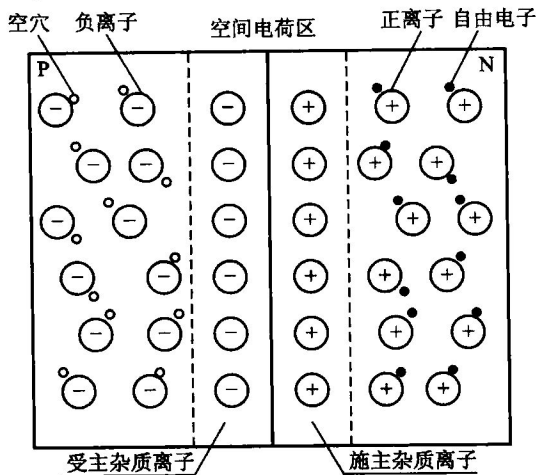


图 1.5 PN 结结构示意图

1. 正向偏置 PN 结导通

当电源正极接 P 区, 负极接 N 区时, 称为 PN 结加正向电压或正向偏置 (简称正偏), 如图 1.6 所示。

PN 结正偏时形成了外电场 V_F , 由于外电场方向与内电场方向相反, 削弱了内电场的作用, 使扩散运动增强, P 区的空穴和 N 区的电子都向 PN 结移动, 并且与原来的负离子和正离子中和, 使阻挡层 d 变薄, 扩散运动超过了漂移运动。扩散运动继续进行, 同时电源向 P 区补充正电荷, 向 N 区补充负电荷, 在电路中形成较大的正向电流 I_F , 这一电流等于空穴电流和电子电流之和, 且随正向电压的增大而增大。因此, PN 结正偏导通时, 意味着 PN 结的电阻很小。

2. 反向偏置 PN 结截止

将 P 区接电源的负极, N 区接电源的正极时, 称加在 PN 结上的电压为反向电压或反向偏置 (简称反偏), 如图 1.7 所示。

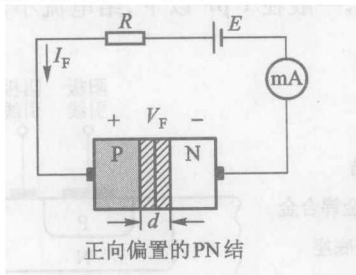


图 1.6 PN 结正向偏置

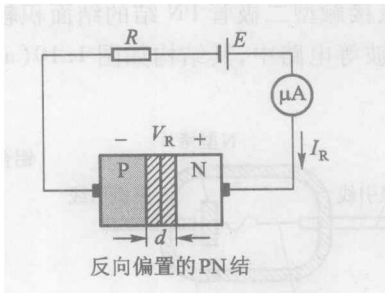


图 1.7 PN 结反向偏置

PN 结反偏时, 形成了外电场 V_R , 由于外电场方向与内电场方向相同, 加强了内电场, 使 P 区和 N 区的多数载流子进一步离开 PN 结, 使阻挡层加宽, PN 结呈现高阻性。同时, 漂移运动增加, P 区的少数载流子自由电子和 N 区的少数载流子空穴都向 PN 结移动, 并形成非常小的漂移

电流 I_R , 由于常温下少数载流子的数量不多, 故反向电流很小, 而且当外电压在一定范围内变化时, 它几乎不随外加电压的变化而变化, 因此, 反向电流又称为反向饱和电流。当反向电流可以忽略时, 可认为 PN 结处于截止状态。反向电流随温度的升高而成倍增长, 是产生电路噪声的主要原因之一, 因此, 设计电路时, 必须考虑温度补偿问题。

综上所述, PN 结正偏时, 正向电流较大, PN 结导通; 反偏时, 反向电流很小, PN 结截止。这就是 PN 结的单向导电性。

1.3 半导体二极管

1.3.1 二极管的结构

从半导体的 P 区和 N 区各引出一条引线, 然后再将这个 PN 结封装起来就构成了一个半导体二极管。接 P 型半导体的引线为正极 (或阳极), 接 N 型半导体的引线为负极 (或阴极), 如图 1.8 所示。二极管的电路符号如图 1.9 所示, 箭头表示正向电流的方向。

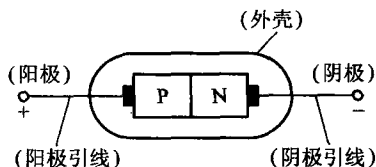


图 1.8 二极管的结构

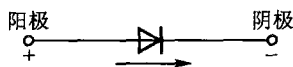


图 1.9 二极管的电路符号

1.3.2 二极管的分类

- ① 按材料分 有锗二极管、硅二极管等。
- ② 按用途分 有整流二极管、稳压二极管、开关二极管、检波二极管、发光二极管等。
- ③ 按结构分 有点接触型、面接触型和平面型。

点接触型二极管 PN 结的结面积较小, 结电容也很小, 一般在 1 pF 以下, 结电流小, 常用于高频、检波等电路中, 其结构如图 1.10(a) 所示。

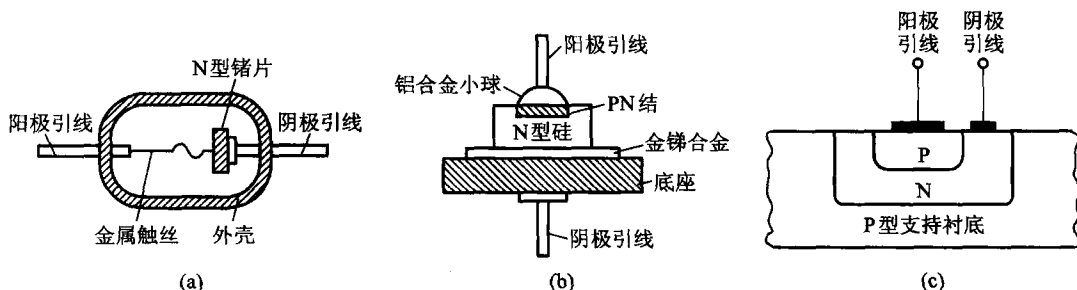


图 1.10 常用二极管的结构

(a) 点接触型; (b) 面接触型; (c) 平面型