

21世纪高等学校规划教材 | 电子信息



电子技术基础

(第2版)



清华大学出版社

21世纪高等学校规划教材 | 电子信息

电子技术基础 (第2版)

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书全面地介绍了电子技术的基本理论、分析方法和实际应用。全书共分10章,第1章介绍半导体器件,第2、3章介绍基本放大电路和集成运算放大电路,第4章介绍数字逻辑基础,第5、6章介绍组合逻辑电路和时序逻辑电路,第7、8章介绍半导体存储器件和可编程逻辑器件,第9章介绍信号发生与变换,第10章介绍电力电子技术。

本书适合作为高等院校电子技术课程的教材,也可作为高等职业教育和成人教育的电子课程的教材。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础/霍亮生主编. —2版. —北京:清华大学出版社,2011.1

(21世纪高等学校规划教材·电子信息)

ISBN 978-7-302-22909-4

I. ①电… II. ①霍… III. ①电子技术 IV. ①TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第100211号

责任编辑:魏江江 顾 冰

责任校对:李建庄

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦A座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62795954, jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京市清华园胶印厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:20.25 字 数:501千字

版 次:2011年1月第2版 印 次:2011年1月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:29.50元

产品编号:031100-01

编审委员会成员

(按地区排序)

清华大学

周立柱 教授

覃 征 教授

王建民 教授

冯建华 教授

刘 强 副教授

北京大学

杨冬青 教授

陈 钟 教授

陈立军 副教授

北京航空航天大学

马殿富 教授

吴超英 副教授

姚淑珍 教授

中国人民大学

王 珊 教授

孟小峰 教授

陈 红 教授

北京师范大学

周明全 教授

北京交通大学

阮秋琦 教授

赵 宏 教授

北京信息工程学院

孟庆昌 教授

北京科技大学

杨炳儒 教授

石油大学

陈 明 教授

天津大学

艾德才 教授

复旦大学

吴立德 教授

吴百锋 教授

杨卫东 副教授

同济大学

苗夺谦 教授

徐 安 教授

华东理工大学

邵志清 教授

华东师范大学

杨宗源 教授

应吉康 教授

上海大学

陆 铭 副教授

东华大学

乐嘉锦 教授

孙 莉 副教授

浙江大学

扬州大学

南京大学

南京航空航天大学

南京理工大学

南京邮电学院

苏州大学

江苏大学

武汉大学

华中科技大学

中南财经政法大学

华中师范大学

江汉大学

国防科技大学

中南大学

湖南大学

西安交通大学

长安大学

哈尔滨工业大学

吉林大学

山东大学

中山大学

厦门大学

仰恩大学

云南大学

电子科技大学

成都理工大学

西南交通大学

吴朝晖 教授

李善平 教授

李 云 教授

骆 斌 教授

黄 强 副教授

黄志球 教授

秦小麟 教授

张功萱 教授

朱秀昌 教授

王宜怀 教授

陈建明 副教授

鲍可进 教授

何炎祥 教授

刘乐善 教授

刘腾红 教授

叶俊民 教授

郑世珏 教授

陈 利 教授

颜 彬 教授

赵克佳 教授

刘卫国 教授

林亚平 教授

邹北骥 教授

沈钧毅 教授

齐 勇 教授

巨永峰 教授

郭茂祖 教授

徐一平 教授

毕 强 教授

孟祥旭 教授

郝兴伟 教授

潘小轰 教授

冯少荣 教授

张思民 教授

刘惟一 教授

刘乃琦 教授

罗 蕾 教授

蔡 淮 教授

于 春 讲师

曾华桑 教授

出版说明

随着我国改革开放的进一步深化,高等教育也得到了快速发展,各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度,通过教育改革合理调整和配置了教育资源,优化了传统学科专业,积极为地方经济建设输送人才,为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是,高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要,不少高校的专业设置和结构不尽合理,教师队伍整体素质亟待提高,人才培养模式、教学内容和方法需要进一步转变,学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007年1月,教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》,计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程(简称‘质量工程’)”,通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容,进一步深化高等学校教学改革,提高人才培养的能力和水平,更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中,各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势,对其特色专业及特色课程(群)加以规划、整理和总结,更新教学内容、改革课程体系,建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上,经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议,清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程,分别规划出版系列教材,以配合“质量工程”的实施,满足各高校教学质量和教学改革的需要。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上;精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展,顺应并符合21世纪教学发展的规律,代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版

社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。推出的特色精品教材包括:

(1) 21 世纪高等学校规划教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。

(2) 21 世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 21 世纪高等学校规划教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

(4) 21 世纪高等学校规划教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。

(5) 21 世纪高等学校规划教材·信息管理与信息系统。

(6) 21 世纪高等学校规划教材·财经管理与计算机应用。

(7) 21 世纪高等学校规划教材·电子商务。

清华大学出版社经过二十多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会

联系人:魏江江

E-mail:weijj@tup.tsinghua.edu.cn

再版前言

为了适应现代电子信息技术迅猛发展的需要,本书针对非电类专业学生的必修基础课程《电子技术(基础)》的内容和体系进行有机地整合,形成了新的教材体系。

在本书编写过程中,参考了国内外大量优秀教材,充分吸收新概念、新理论和新技术,力求处理好先进性和适用性的关系,处理好教材内容变化和基础内容相对稳定的关系。力求重点突出,概念清晰,理论联系实际。

在第一版5次印刷的基础上,本书拥有了大量读者,许多读者提出了很好的修改建议,这些建议均在这次再版中得到体现,修正了第一版中存在的问题,充实了部分章节,在此我们表示衷心感谢。根据相关技术的发展与进步,对“半导体存储器件”、“可编程逻辑器件”、“电力电子技术”及“信号发生与变换”等章节内容进行较多的更新,补充了第一版中各章没有习题的部分。

本书由霍亮生教授任主编并负责全书的内容编排和审核工作,刘美莲、吴雪、邵卫东参与了编写工作。第1、2章由吴雪编写,第4、5章由刘美莲编写,第3、6、7章由邵卫东编写,第8~10章由霍亮生编写,冯涛、熊光洁也给予了许多帮助。借此机会也向所有关心、支持和帮助过本书编写、修改、出版和发行工作的同志们致以诚挚的谢意!

由于水平有限,书中难免存在不妥及错误之处,恳请读者批评指正。

编 者

2010年11月

前言

为了适应现代电子信息科学技术迅猛发展的需要,本书针对非电类专业学生必修的基础课程《电子技术》的内容和体系进行有机的整合,形成新的教材体系。本书的主要特点表现在以下几个方面。

(1) 将“模拟电子技术基础”和“数字电子技术基础”课程的内容有机地结合在一起,注重培养学生分析问题和解决问题的能力,有利于提高学生综合利用各科知识讨论某些具体问题的能力。

(2) 兼顾经典理论与最新的现代电子技术,在保留传统电子学理论的基础上,介绍了大量现代电子技术的实际应用。

(3) 在叙述的过程中,注意引导学生对概念的理解,强化理论的推理过程,注意引导学生开放性的思维方法,有意识地培养学生从不同的渠道,利用不同的方法对同一个问题进行讨论,以加深学生对基本概念和基础知识的理解,培养学生分析问题和解决问题的能力,提高学生的综合素质。

本书在编写过程中参考了国内外优秀教材,充分吸收新概念、新理论和新技术,力求处理好先进性和适用性的关系,处理好教材内容变化和基础内容相对稳定的关系。力求重点突出,概念清晰,理论联系实际。

本书由霍亮生教授主编,刘美莲、吴雪参与了教材编写工作。第1~3、9章由吴雪编写,第4~7章由刘美莲编写,第8、10章由霍亮生编写,冯涛、熊光洁、于洪涛和吴亚玲也给予了许多帮助。借此机会向所有关心、支持和帮助过本书编写、修改、出版和发行工作的同志们致以诚挚的谢意!

限于水平,书中难免存在不妥及错误之处,恳请读者批评指正。

编 者

2005年11月

目 录

第 1 章 半导体器件	1
1.1 半导体基础知识	1
1.1.1 本征半导体	1
1.1.2 杂质半导体	3
1.1.3 PN 结及其单向导电性	4
1.2 半导体二极管	6
1.2.1 半导体二极管的结构	6
1.2.2 二极管的伏安特性	7
1.2.3 二极管的主要参数	8
1.2.4 稳压管	9
1.3 双极型晶体管	11
1.3.1 晶体管的结构和类型	11
1.3.2 晶体管电流控制作用	12
1.3.3 晶体管的共射特性曲线	13
1.3.4 晶体管的主要参数	15
1.4 绝缘栅型场效应晶体管	16
1.4.1 基本结构和工作原理	16
1.4.2 绝缘栅型场效应晶体管的特性曲线	18
1.4.3 绝缘栅型场效应晶体管的主要参数	20
习题	20
第 2 章 基本放大电路	23
2.1 共射极放大电路	23
2.1.1 共射极放大电路的组成	23
2.1.2 直流通道和交流通道	24
2.2 放大电路的静态分析	25
2.3 放大电路的动态分析	26
2.3.1 图解法的动态分析	26
2.3.2 微变等效电路法的动态分析	29
2.4 静态工作点稳定的放大电路	33
2.4.1 温度对静态工作点的影响	33

2.4.2	分压式偏置电路	33
2.5	基本共集电极放大电路	35
2.6	场效应管基本放大电路	38
2.6.1	电路的组成	38
2.6.2	静态分析	38
2.6.3	动态分析	38
2.7	多级放大电路	40
2.7.1	多级放大电路的耦合方式	40
2.7.2	多级放大电路的动态分析	42
2.8	差动放大电路	42
2.8.1	电路组成	42
2.8.2	差动放大电路的分析	43
2.9	功率放大电路	46
2.9.1	功率放大电路的特点	47
2.9.2	功率放大器的工作状态	47
2.9.3	互补对称功率放大电路	49
2.9.4	OCL 电路	50
习题		53
第3章	集成运算放大电路	62
3.1	集成运算放大电路概述	62
3.1.1	集成运放的电路组成及其各部分的作用	62
3.1.2	集成运放的主要性能指标	63
3.1.3	集成运放的电压传输特性	64
3.1.4	理想集成运放	64
3.2	集成运放在信号运算方面的应用	66
3.2.1	比例运算电路	66
3.2.2	加减运算电路	67
3.2.3	微分、积分运算电路	69
3.2.4	对数和指数运算电路	71
3.2.5	乘法和除法运算电路	72
3.3	理想集成运放的非线性应用——电压比较器	74
3.3.1	单限电压比较器	74
3.3.2	滞回比较器	75
3.3.3	窗口比较器	75
习题		76

5.4.3 组合逻辑电路的设计	119
5.5 常用的组合逻辑电路	121
5.5.1 加法器	121
5.5.2 编码器	124
5.5.3 译码器	131
5.5.4 数据选择器	138
5.6 组合逻辑电路中的竞争-冒险现象	142
5.6.1 竞争-冒险现象	143
5.6.2 竞争-冒险现象的判断方法	143
习题	144
第6章 触发器和时序逻辑电路	148
6.1 概述	148
6.2 触发器的电路结构和动作特点	148
6.2.1 基本 RS 触发器	148
6.2.2 同步 RS 触发器	152
6.2.3 主从触发器	154
6.2.4 边沿触发器	159
6.3 触发器的逻辑功能及其描述方法	161
6.4 时序逻辑电路的分析方法	165
6.5 常用的时序逻辑电路	171
6.5.1 寄存器和移位寄存器	171
6.5.2 同步计数器	176
习题	187
第7章 半导体存储器件	193
7.1 只读存储器	193
7.1.1 ROM 的分类	193
7.1.2 ROM 的结构及工作原理	194
7.1.3 ROM 的应用举例	196
7.2 随机存取存储器	200
7.2.1 随机存取存储器简介	200
7.2.2 RAM 的存储单元	204
7.3 存储器容量的扩展	207
7.3.1 半导体存储器的主要技术指标	207
7.3.2 位扩展	208
7.3.3 字扩展	208

习题	210
第 8 章 可编程逻辑器件	212
8.1 可编程逻辑器件概述	212
8.2 可编程阵列逻辑	215
8.2.1 PAL 的基本电路结构	215
8.2.2 PAL 的应用举例	216
8.3 通用阵列逻辑	218
8.4 可擦除的可编程逻辑器件	220
8.5 现场可编程门阵列	222
8.6 复杂可编程逻辑器件	226
8.7 PLD 的编程	230
8.8 在系统可编程逻辑器件	231
8.9 硬件描述语言	235
第 9 章 信号的发生与变换	238
9.1 正弦波振荡电路	238
9.1.1 正弦波振荡电路的基本工作原理	238
9.1.2 正弦波振荡电路	240
9.1.3 LC 正弦波振荡电路	241
9.2 非正弦波发生电路	242
9.2.1 矩形波发生电路	242
9.2.2 三角波信号发生器	244
9.2.3 锯齿波信号发生器	246
9.3 有源滤波器	246
第 10 章 电力电子技术	249
10.1 电力电子器件	249
10.1.1 晶闸管	249
10.1.2 派生晶闸管	253
10.1.3 电力晶体管 and 电力场效应管	254
10.1.4 绝缘栅双极型晶体管和 MOS 控制晶闸管	260
10.1.5 新型场控器件	265
10.2 整流电路	267
10.2.1 单相可控整流电路	267
10.2.2 三相可控整流电路	276
10.3 直流斩波电路	286

10.3.1	斩波电路的基本工作原理与控制方式	287
10.3.2	Buck 斩波电路	289
10.3.3	Boost 斩波电路	291
10.3.4	Buck-Boost 斩波电路和 Cuk 斩波电路	292
10.3.5	复合斩波电路	295
10.4	交流调速	297
10.4.1	交流变频调速和控制方式	297
10.4.2	异步电动机的调速系统	298
10.5	无源逆变电路	299
10.5.1	逆变电路的工作原理	300
10.5.2	换流方式分类	300
10.5.3	电压型逆变电路	301
参考文献		305

第1章

半导体器件

内容提要

半导体器件是组成各种电子电路的基础。本章首先介绍半导体基础知识,包括半导体材料的特性、半导体中载流子的运动、阐明 PN 结的单向导电性等;然后介绍半导体二极管、稳压管、双极型晶体管以及场效应管的结构、工作原理、特性曲线和主要参数。

1.1 半导体基础知识

自然界的物质,按照导电能力的强弱可分为导体、绝缘体和半导体 3 类。物质的导电性能决定于原子结构。导体一般为低价元素,例如银、铜和铝等金属材料都是良好的导体,它们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。高价元素(如惰性气体)或高分子物质(如橡胶),它们的最外层电子受原子核束缚力极强,很难成为自由电子,所以其导电性极差,称为绝缘体。常用的半导体材料有硅(Si)和锗(Ge),锗原子中共有 32 个电子围绕原子核旋转,最外层轨道上有 4 个电子,如图 1-1(a)所示。原子外层轨道上的电子通常称为价电子,因此硅和锗均为 4 价元素。硅的原子结构如图 1-1(b)所示。为了方便起见,常常用带 +4 价电荷的正离子和周围的 4 个价电子来表示一个 4 价元素的原子,如图 1-1(c)所示。硅和锗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那么紧,因此其导电性介于导体和绝缘体之间。

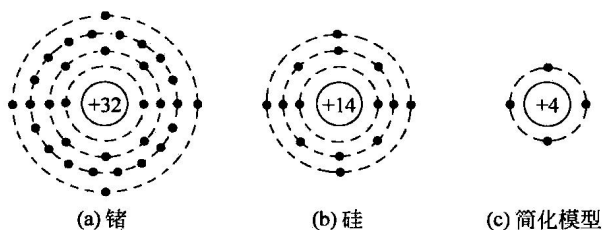


图 1-1 锗和硅的原子结构

1.1.1 本征半导体

将纯净半导体经过一定工艺过程制成的单晶体,称为本征半导体。

1. 本征半导体的晶体结构

在硅(或锗)的晶体中,原子在空间形成规则的晶体点阵,即每个硅(或锗)原子处于正四面体中心,而与其他4个原子位于四面体的顶点,如图1-2所示。其中每个原子最外层的价电子,不仅受到自身原子核的束缚,同时还受到相邻原子核的吸引。因此,价电子不仅围绕自身的原子核运动,同时也出现在围绕相邻原子核的轨道上。于是,两个相邻的原子共有一对价电子,即形成了晶体中的共价键结构。图1-3是硅晶体中共价键结构平面示意图。

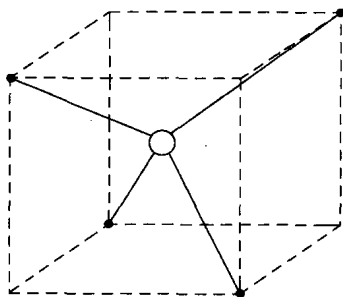


图1-2 晶体中原子的排列方式

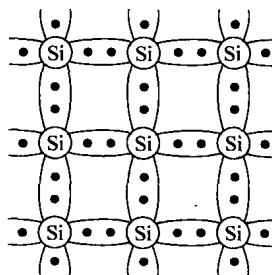


图1-3 共价键结构平面示意图

2. 本征半导体中的两种载流子

对于本征半导体来说,由于晶体中共价键的结合力很强,在热力学温度零度(即 $T=0\text{K}$, 相当于 $T=-273^{\circ}\text{C}$)时,共价键中电子的能量不足以挣脱共价键的束缚,因此,晶体中没有自由电子。所以,在 $T=0\text{K}$ 时,半导体不能导电,如同绝缘体一样。如果温度逐渐升高,例如在室温条件下,将有少数价电子获得足够的能量,以克服共价键的束缚而成为自由电子。

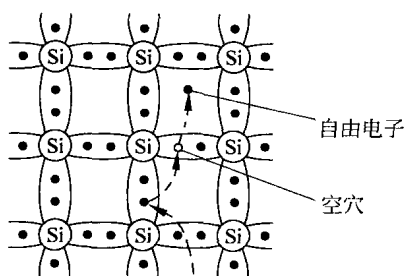


图1-4 空穴和自由电子

此时,本征半导体具有一定的导电能力,但因自由电子的数量很少,因此它的导电能力比较微弱。同时,在原来的共价键中留下一个空位,这种空位称为空穴,如图1-4所示。空穴能够吸引邻近共价键中的价电子来填补这个空穴,这时失去了价电子的邻近共价键中出现的空穴又可以吸引邻近的价电子来替补,从而又出现一个空穴。从效果上看,这种电子的填补运动,相当于带正电荷的空穴在运动一样,为了与自由电子的运动区别开来,称为空穴运动。

由此可见,半导体中存在着两种运载电荷的粒子,即载流子:带负电的自由电子和带正电的空穴。在本征半导体中,自由电子和空穴总是成对产生,成为电子-空穴对,因此,两种载流子浓度是相等的。同时,当自由电子填补空穴时,称为复合,而使电子-空穴对消失。在一定温度下,上述电子-空穴对产生和复合两种运动达到了平衡,使电子-空穴对的浓度稳定。

应当指出,本征半导体的导电性能很差,且与环境温度密切相关,随着温度的升高,载流