

高等学校教材

电工学基本教程

第三版 下册
孙骆生 主编

Fundamental Course of

ELECTRICAL

ENGINEERING

 高等教育出版社

高等学校教材

电工学基本教程

(第三版)

下 册

孙骆生 主编

高等教育出版社

内容简介

本书适用于高等院校、大专院校、高职、成人教育的非电类各专业。本书第一版 1987 年获国家教委一等奖, 第二版 1999 年获国家教育部科技进步三等奖。第三版仍保持前两版的特色, 阐述问题比较充分, 有根有据, 深入浅出, 便于自学, 同时字数、内容限制在中等学时篇幅。下册(电子技术)共分 8 章, 主要内容包括: 半导体二极管和晶体管、基本放大电路、集成运算放大器及其应用、正弦波振荡器、电力电子技术、逻辑门和组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路、大规模集成电路。

图书在版编目(CIP)数据

电工学基本教程. 下册/孙骆生主编.—3 版.—北京:
高等教育出版社, 2003.8
ISBN 7-04-011863-7

I. 电… II. 孙… III. 电工学-教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 037496 号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-82028899		http://www.hep.com.cn
经 销	新华书店北京发行所		
印 刷	河北新华印刷一厂		
		版 次	1984 年 4 月第 1 版
开 本	787×960 1/16		2003 年 8 月第 3 版
印 张	20.25	印 次	2003 年 8 月第 1 次印刷
字 数	370 000	定 价	23.40 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

第三版前言

本书第三版是按照教育部 1995 年颁发的《电工技术》(电工学 I)课程教学基本要求和《电子技术》(电工学 II)课程教学基本要求,在第二版的基础上,总结教学和教改经验,进行全面修订和改编。主要的改进和更新如下:

1. 保持中等学时电工学基本教材的性质和篇幅,保持本书原有的特色,适当加强电工和电子电路基本分析能力的培养(如含受控源、含反馈电路的分析)和增加新技术(如可编程控制器,可编程逻辑器件,电力电子技术)及其应用的介绍,以适应科学技术发展和社会主义建设的需要。

2. 贯彻“少而精”原则,分“章”、扩“节”[全书从十五章改编为十九章,每章的节数减少,每一节(含小节)的内容较为完整和相对独立]、编好书后的“索引”,便于教师选讲、学生选学,以适应不同院校,不同专业(含文、经、管、商),不同学时进行“模块化”教学的需求。

3. 根据 1996 年编写出版《电工学基本教程学习辅导》使用情况和经验,将每章习题前的“本章小结”改为习题后的“问题简答”,像辅导答疑时那样同读者“对话”,选讲课程的基本问题和较难的思考题与较典型的习题的答案,澄清常见的模糊概念,把“传道”、“授业”和“解惑”结合起来,让同学在学习负担不致过重的情况下把“基本要求”规定的知识和能力真正学到手。讲述的内容及问题根据各章具体情况安排。

4. 精选内容,理论联系实际,力求问题讲解充分到位,文字简明,结论有根有据,让同学感到具体、实在、不“玄”,便于自学;让教师感到好用。

5. 按国家标准的规定,修改订正全书的文字符号和图形符号。

本书第三版的章节划分和具体内容安排详见目录,其中标有“△”号的非共同性基本内容和标有“*”号的选讲内容是对高校本科非电类工程专业中等学时电工学课程而言的,不同院校,不同性质专业,按各自需要选讲。

本版教材由清华大学王鸿明教授审稿,他认真负责、逐章、逐节、逐句、详尽细致地审阅了书稿,提出了许多宝贵意见和修正、修改建议,在此表示衷心感谢。

本书第十章“可编程控制器”由陈岩同志编写;第十九章中“可编程逻辑器件”由张宏建同志编写。

多年教学和教材工作中,深感自己知识面不宽,精力有限,书中肯定有疏

漏、不妥乃至错误之处，恳切希望使用本书的教师、同学和读者提出批评和建议，以便继续改进。

孙骆生于北京工商大学

2003年1月27日

第二版前言

本书第二版是按照下述要求进行改写和修订的。

1. 符合高等学校工科电工学课程指导小组 1986 年制订、国家教育委员会批准的《高等工业学校电工技术(电工学 I)课程教学基本要求》和《高等工业学校电子技术(电工学 II)课程教学基本要求》的规定。书中内容能覆盖这两门课程的教学基本要求。

2. 保持原 120 学时类型电工学基本教材的性质, 精选内容、在篇幅和份量上能适用于上述两门课程按所规定的下限学时($55 + 55 = 110$ 学时)进行教学。

3. 保持本书第一版的特色, 继续在讲清基本概念、基本理论、基本分析方法、尽量联系实际应用、着重培养能力和便于自学上面下功夫。根据我院和外校在使用本书第一版过程中发现的问题和所提意见, 修改第一版中存在的缺点和不足之处。

4. 采用国家标准中规定的文字符号和图形符号。

这样, 书中就增补了一些内容, 如: 数字电子电路、电工测量、非线性电阻电路等; 还改变了一些内容的讲述系统和侧重点, 如: “交流放大电路”和“直流放大电路”两章改为“晶体管基本放大电路”和“集成运算放大器及其应用”(内含负反馈的系统讲解), 用零状态响应, 零输入响应和全响应讲解瞬变过程等; 相应的, 也删去和精简不少内容。例题、思考题、习题作了增补和删改。

本书仍由原主审单位北京航空航天大学(原北京航空学院)罗中仙教授和李郁芬教授负责审稿, 他们对本书修订稿进行了认真仔细的审阅, 逐章逐节提出了许多宝贵的修改意见, 在此对这两位老师和其他使用过或看过本书第一版并提出修改意见的老师们一并致以衷心的感谢!

我在进行全书的增补、改写和修订的工作中, 深感电工学课程涉及的面实在太宽, 各个部分的理论、应用和发展现状, 很难在短时间内一一搞清楚, 因此书中肯定存在不少不妥之处, 恳切希望使用本书的教师和同学以及其他读者提出批评和意见, 以便修改。

孙骆生于北京轻工业学院

1989 年 11 月

第一版前言

本书是根据 1980 年 6 月在成都召开的高等学校工科电工教材编审委员会扩大会议审订、教育部批准的高等工业学校 120 学时类型《电工学教学大纲(草案)》(四年制非电专业试用)编写的, 经过电工教材编审委员会电工学教材编审小组评选, 作为 120 学时类型电工学课程的基本教材。

本书分上、下两册。第一、四、五、十、十二章由北京轻工业学院孙骆生编写, 第二、三章, 第六、七、九、十三章, 第八、十一章分别由东北工学院汤肇善、邹笃镛、裴新才编写, 由孙骆生担任主编。

全书初稿经主审单位北京航空学院罗中仙、耿长柏、李郁芬三位同志审阅, 并在电工学编审小组主持召开的西安评选会议上, 按照 1980 年审订的 120 学时电工学教学大纲(草案)和 1982 年 11 月在南宁召开的电工学教学大纲讨论会提出的高等工业学校 120 学时《电工学教学大纲(草案)补充说明》的要求进行了认真的讨论, 提出了修改意见, 经编者修改、主编定稿后, 最后由主审单位进行了复审。

参加本书审稿会的还有西安交通大学的袁旦庆、沙烽等同志。

审稿会上提出的修改意见, 对于保证基本教材的质量十分宝贵, 我们在此表示衷心感谢。

按照编审小组和审稿会的意见和要求, 本书在编写和修改中, 注意了加强基本概念、基本理论的讲解和反复运用, 理论联系实际, 精简次要内容, 以便学生把基本内容学到手; 在讲述方法上力求循序渐进, 从具体到抽象, 从特殊到一般, 以便学生容易接受和进行自学; 在体例安排上, 主要章节有例题, 主要段落后面有思考题, 每章有一定分量的习题, 以便学生搞清基本概念, 掌握所讲理论, 锻炼分析解决问题的能力(供选做的难题打有 * 号, 有的习题只给出供自我检查、校核用的部分答案)。

由于我们水平有限, 书中难免存在不少缺点和错误, 殷切希望读者给予批评指正。

编者
1983 年 11 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给予严厉打击。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) 82028899 转 6897 (010)82086060

传真：(010) 82086060

E-mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社法律事务部

邮编：100011

购书请拨打读者服务部电话：(010)64054588

策 划	金春英
编 辑	王莉莉
封面设计	于文燕
责任绘图	朱 静
版式设计	马静如
责任校对	尤 静
责任印制	孔 源

目 录

下册 电子技术

第十二章 半导体二极管和晶体管	1
12-1 半导体的导电特性	1
一、半导体的导电机理	1
二、PN 结及其单向导电性	3
12-2 半导体二极管	5
一、伏安特性和主要参数	5
二、二极管非线性电路的分析计算和小信号电路模型	7
12-3 二极管整流电路	10
一、单相桥式整流电路	10
二、滤波电路	13
三、硅稳压管和简单稳压电路	19
12-4 半导体晶体管	21
一、晶体管的外形、结构和命名	21
二、晶体管的电流放大作用	23
三、晶体管的特性	26
四、晶体管的主要参数	29
12-5 晶体管的小信号电路模型和含受控源电路	32
一、晶体管的简化小信号电路模型	32
二、含受控源电路的分析方法	34
习题	37
问题简答	40
第十三章 基本放大电路	42
13-1 交流放大电路的基本工作原理	42
一、单管交流放大电路的组成及各元件的作用	42
二、固定偏置放大电路的工作状态	44
三、单管交流放大电路的小信号模型和电压放大倍数	47
四、放大电路的输入电阻和输出电阻	50

Δ 13-2	交流放大电路的图解法	51
一、	静态工作点的图解	51
二、	动态工作状态的图解	52
三、	非线性失真的图解和静态工作点的选择	53
13-3	常用的基本放大电路	55
一、	稳定静态工作点的放大电路	55
Δ 二、	交流电流负反馈放大电路	58
三、	射极输出器	60
四、	场效晶体管放大电路(简介)	63
13-4	多级电压放大电路	67
一、	阻容耦合多级交流电压放大电路	68
Δ 二、	阻容耦合放大电路的频率特性	71
三、	直接耦合多级电压放大电路	73
13-5	差分放大电路	77
一、	基本电路	77
二、	具有射极电阻的差分放大电路	79
三、	差分放大电路的几种接法	81
13-6	功率放大器	84
Δ 一、	射极输出器的功放工作状态分析	84
二、	无输出变压器的互补对称式放大电路	86
三、	无输出电容器的互补对称式放大电路	90
	习题	92
	问题简答	97
第十四章	集成运算放大器及其应用	104
14-1	集成运放简介	104
一、	集成运放电路的组成	104
二、	集成运放电路的特点	106
三、	集成运放的图形符号、电压传输特性和线性区的等效电路模型	107
四、	理想集成运放的电路模型	108
14-2	集成运放的型号命名和主要参数	109
一、	型号命名	109
二、	主要参数	109
14-3	放大电路中的负反馈	112
一、	负反馈放大电路的放大倍数	112

	二、负反馈的基本类型及其典型运放电路	113
	三、负反馈对放大电路性能的改善	119
14-4	运算放大器的线性应用	122
	一、比例运算电路	122
	二、加、减运算电路	124
	三、积分运算电路	125
	四、微分运算电路	126
	△五、有源滤波器	127
	六、仪用放大器	128
	七、比例积分(PI)调节器	130
	八、串联型直流稳压电源	131
14-5	运算放大器的非线性应用	134
	一、比较器	134
	二、迟滞比较器	135
	三、方波发生器	137
	四、三角波和锯齿波发生器	138
	习题	140
	问题简答	145
第十五章	正弦波振荡器	152
15-1	自激振荡器的基本工作原理	152
△15-2	LC 振荡器	154
	一、LC 振荡电路及其选频特性	154
	二、变压器反馈 LC 振荡器	156
15-3	RC 振荡器	158
	一、RC 串并联网络的选频特性	158
	二、自激振荡的实现和振幅的稳定	159
	习题	159
	问题简答	160
第十六章	电力电子技术	162
16-1	晶闸管的结构、特性和参数	162
	一、晶闸管的结构和可控单向导电特性	162
	二、晶闸管的伏安特性	164
	三、晶闸管的主要参数	166
16-2	晶闸管可控整流电路	167
	一、单相半波电路	167

	二、单相半控桥式电路	169
	三、晶闸管的保护	172
16-3	单结晶体管触发电路	173
	一、单结晶体管的结构和特性	173
	二、单结晶体管的自振荡电路	175
	三、可控整流的单结晶体管触发电路	176
16-4	晶闸管交流调压电路及其应用	178
	一、电路的工作状态	178
	二、交流调压电炉的炉温自动控制电路	180
16-5	功率 MOS 场效晶体管及其逆变电路(简介)	182
	一、功率 MOS 场效晶体管的结构、性能和参数	182
	△ 二、VDMOS 逆变电路及应用举例	184
	习题	189
	问题简答	191
第十七章	逻辑门和组合逻辑电路	194
17-1	数字电路的基本知识和有关概念	194
17-2	逻辑门电路	196
	一、“与”门电路	196
	二、“或”门电路	197
	三、“非”门电路	199
	四、复合门电路	199
17-3	TTL 集成门电路	201
	一、TTL “与非”门的组成和工作原理	201
	二、TTL “与非”门的电压传输特性和主要参数	203
	三、TTL 集成电路的型号命名和管脚图	205
17-4	MOS 集成门电路	206
	一、CMOS “非”门(反相器)	207
	二、CMOS “与非”门	207
	三、MOS 集成电路的型号命名和性能比较	208
17-5	三态门电路	209
	一、TTL 三态门电路	209
	二、CMOS 三态门电路	210
17-6	逻辑代数及其在组合逻辑电路中的应用	211
	一、逻辑代数的基本运算规则和定理	212
	二、组合逻辑电路的分析	214

	三、组合逻辑电路的设计	217
17-7	编码、译码和数字显示	220
	一、数制和编码	220
	二、编码器	221
	三、译码器	222
	习题	226
	问题简答	229
第十八章	触发器和时序逻辑电路	234
18-1	双稳态触发器	234
	一、RS 触发器	234
	二、JK 触发器	239
	三、D 触发器和 T 触发器	242
	四、触发器的相互转换	243
	五、集成触发器的型号	245
18-2	计数器	245
	一、二进制加法计数器	246
	二、十进制加法计数器	248
	三、集成电路计数器	250
18-3	寄存器	252
	一、数码寄存器	253
	二、移位寄存器	253
18-4	集成定时器和单稳态触发器	255
	一、555 集成定时器	255
	二、单稳态触发器	257
18-5	多谐振荡器(无稳态触发器)	259
18-6	数字电路的应用	261
	习题	263
	问题简答	266
第十九章	大规模集成电路	271
19-1	模拟量和数字量的相互转换	271
	一、数/模转换器(DAC)	272
	二、模/数转换器(ADC)	275
19-2	可编程逻辑器件	276
	一、概述	276
	二、可编程逻辑的表示方法	277

三、可编程阵列逻辑(PAL)	278
四、通用阵列逻辑(GAL)	280
五、大规模可编程器件	282
习题	284
附录一 常用半导体二极管的型号和主要参数	286
附录二 常用晶体管的型号和主要参数	290
附录三 普通晶闸管的参数	295
附录四 国产半导体集成电路型号命名法(GB3430—82)	296
附录五 常用逻辑符号对照表	298
参考文献	300
索引	301

第十二章 半导体二极管和 晶体管

从本章开始，将讲解本书电子技术部分，主要讨论含各种半导体元器件的基本电子电路，首先介绍应用最广泛的基本电子元件——二极管和晶体管，讲述它们的结构、外部特性，主要参数和小信号电路模型，半导体物理中的有关理论，只作扼要复习。

按照管路结合、理论和实际应用相联系的原则，结合二极管电路，介绍非线性电阻电路、常用的整流电路和滤波电路的分析计算。并简要介绍硅稳压二极管及简单稳压电路；结合晶体管的小信号模型，介绍传递电信号的电子电路模型不可或缺的基本理想二端口电路元件——“受控源”，同时讲述含受控源电路的分析方法，为的是给学好电子技术、学会分析电子线路打下必备的基础。

12-1 半导体的导电特性

一、半导体的导电机理

常用的半导体，例如硅和锗，属于四价元素，即其原子的最外层轨道上有四个价电子。硅和锗的单晶体，原子排列非常整齐，且每个原子的四个价电子各为相邻的四个原子所分别共有，如图 12-1 所示。原子间的这种结合叫做共价键结构。在环境温度较高或受光的照射时，共价键中的束缚电子，有的吸收一定能量而冲破键的束缚，成为自由电子，这个过程叫做激发。被冲破的键，失去一个电子，就在键中出现一个电子的空位，通常叫做空穴，如图 12-2 所示。空穴是共价键失去电子的结果，呈正电性。一个共价键中出现的空穴，很容易被附近另一共价键中的电子移过来填充，从而又在移出电子的键中出现空穴，如此连续进行，表现为空穴的移动，即相当于正电荷的移动。如有外电场

作用，由激发产生的自由电子将逆着电场方向运动，而空穴则顺着电场方向连续移动，前者形成电子电流，后者形成空穴电流，二者方向相反，所带电荷符号也相反，但电流效应相同。可见，半导体中的电流是电子流和空穴流的总和。电子和空穴统称为半导体中的载流子。

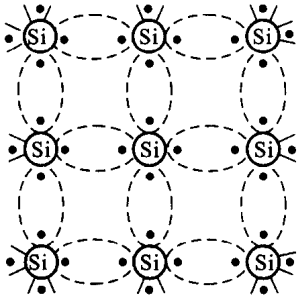


图 12-1 硅原子间的共价键结构

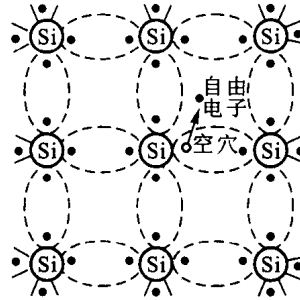


图 12-2 由激发产生的自由电子和空穴

在半导体中，自由电子如果同空穴相遇，可能放出吸收的能量而填充到空穴中去，这个过程叫做复合。

在结构完整和高度纯净的半导体中，电子和空穴总是成对出现，这样的半导体叫做本征半导体。在室温条件下，本征半导体的载流子数量很少，其导电性能远比导体差。

如在纯净的硅中掺入微量三价元素硼(或铝、镉等)，在硼原子(B)同周围四个硅原子(Si)组成的共价键结构中，因硼原子只有三个价电子而出现空穴，如图 12-3 所示，从而使空穴的数目相应增加，自由电子仍然很少。这种半导体主要靠空穴导电，叫做空穴型半导体，又称 P 型半导体。换句话说，P 型半导体中的多数载流子为空穴，少数载流子为电子。应当指出，因掺入三价元素而引起空穴数目的增加，并不使半导体带电，即半导体对外仍呈电中性。

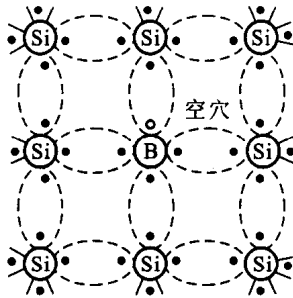


图 12-3 硅单晶体中掺入硼(B)元素形成空穴

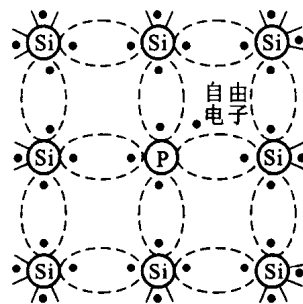


图 12-4 硅单晶体中掺入磷(P)元素提供自由电子

如果在硅的单晶体中掺入微量的五价元素磷(或锑),则在磷原子(P)同周围四个硅原子组成的共价键结构中,因磷原子有五个价电子而多出一个电子,如图 12-4 所示,从而使自由电子的数目相应增加,空穴仍然很少。这种半导体主要靠电子导电,或者说,它的多数载流子为电子,少数载流子为空穴,故叫做电子型半导体,又叫做N型半导体。同样,自由电子数目的增加,并不改变半导体的电中性。

上述两种掺杂半导体的多数载流子浓度,基本上取决于掺杂浓度,而少数载流子浓度则随着温度的升高而增大。

思考题 12-1 在半导体中,空穴的移动实质上也是电子的移动,它和自由电子的移动有何区别?

二、PN 结及其单向导电性

半导体器件都是由 PN 结构成的。常用的扩散法制造平面型 PN 结的工艺过程大致如图 12-5 所示,先用氧化法在 N 型硅片的表面生成一层二氧化硅薄膜,如图(a)。再用光刻法在二氧化硅薄膜上开出一个“窗口”,如图(b),然后通过窗口对 N 型硅片进行高浓度的硼扩散,如图(c),就能使靠近窗口的部分获得足够的硼原子而转化为 P 型硅,如图(d)。适当控制扩散温度和扩散时间,此 P 型区将有合适的杂质浓度和深度。

PN 结的形成如图 12-6 所示。在 P 区和 N 区交界面处由于两边多数载流子浓度上的差异, P 区的空穴要向 N 区扩散, N 区的电子也要向 P 区扩散。随着扩散的进行,在交界面附近, P 区的空穴和 N 区的电子都将消失。前面曾经指出,无论是 P 型半导体还是 N 型半导体都是电中性的,如图 12-6 (a)所示。现在,由于相互扩散的结果,交界面两侧将分别出现带电荷的薄层,如图 12-6 (b)所示。P 区的薄层带负电, N 区的薄层带正电,这个空间电荷区就是 PN 结。在这个区域内,电子和空穴都已复合,基本上没有载流子,有的只是不能移动的负离子和正离子, P 区中的负离子是获得了电子的三价杂质原子, N 区中的正离子是失去了电子的五价杂质原子,它们都处在半导体的晶格结构中,都是不能移动的。所以,空间电荷区有很高的电阻率,故又叫做阻挡层,

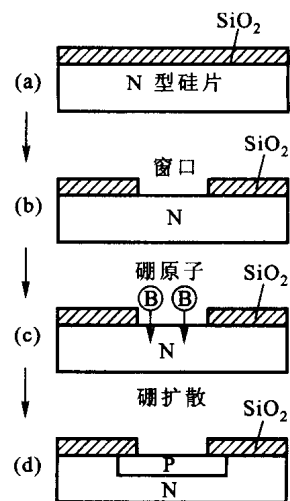


图 12-5 用扩散法制造 PN 结的过程示意