

高等学校工程专科教材

电子技术

吕国泰 主编

高等教育出版社



(京)112 号

内 容 简 介

本书是在国家教育委员会高教司组织指导下,根据《高等学校工程专科电子技术课程教学基本要求》编写的基本教材,经全国高等学校工程专科电工学课程教材编审组审查通过,作为高等学校工程专科非电类专业教材出版,可与席时达主编的《电工技术》教材配套使用。

本书从高等学校工程专科培养应用型技术人才这一总目标出发,以《电子技术课程教学基本要求》为依据,以应用为目的,以必需够用为度。全书共八章,包括模拟电子技术和数字电子技术。

书中有丰富的例题和思考题,每章后有小结和习题,书末有附录及部分习题答案,还附有中英文名词对照表。

责任编辑 金春英

高等学校工程专科教材

电 子 技 术

吕国泰 主编

*

高等教育出版社出版

新华书店总店科技发行所发行

河北省香河县印刷厂印装

*

开本850×1168 1/32 印张 14.125 字数 350 000

1993年4月第1版 1993年4月第1次印刷

印数 0001—5 045

ISBN 7-04-004110-3/TM·213

定价 5.25 元

前 言

本书是在国家教育委员会高教司组织指导下,根据《高等学校工程专科电子技术课程教学基本要求》编写的基本教材,经全国高等学校工程专科电工学课程教材编审组审查通过,作为高等学校工程专科非电类专业教材出版,可与席时达主编的《电工技术》教材配套使用。

本书从高等工程专科学校培养应用型技术人才这一总目标出发,以《电子技术》课程教学基本要求为依据,以应用为目的,以必需够用为度,组织编写教材的内容和结构。全书共八章,包括模拟电子技术和数字电子技术。其中第一、二、三、五、六、七章覆盖了《电子技术》课程教学基本要求,并适当拓宽(标“*”部分为选学内容);第四章和第八章是在《电子技术》课程教学基本要求之外,为供某些特殊专业选学而编写的。本书以电子技术的基本知识、基本技能及其相应的基础理论为主,也适当反映或介绍现代电子科学技术发展的新成就。在电子技术中,以分立元件为基础,以集成电路为重点,加强数字电路。在模拟电子技术中,加强集成运算放大器及其应用;在数字电子技术中,侧重集成数字电路及其应用。为体现专科教学“掌握概念,强化应用”的原则,本书在保证内容科学性的前提下,简略了某些原理的论证及繁琐公式的推导。对于电子器件,重点讲述外部特性,对内部电路或机理一般不作精细描述,或者从略;对于电子电路,以定性分析为主;应用力求联系工程实际。为适应当前工程实践的发展需要,本书图形符号及产品型号采用国家最新标准。为便于教学和自学,本书编写层次按教学

程序安排,每章开头有概述,每节有练习与思考题,每章末有小结和习题,书末有部分习题参考答案,并有本书教学时必需的资料附录。考虑教师使用及学生阅读方便,本书叙述力求语言通顺,说理清楚,深入浅出,通俗易懂。

本书参考学时为 54~63 学时(第四章和第八章除外),其中实验为 16~20 学时。

参加本书编写的是:哈尔滨机电专科学校吕国泰(编写第一章、第四章、第五章、第六章和第七章),郑州机械专科学校魏玉清(编写第二章、第三章和第八章)。吕国泰担任主编。

本书由汕头大学黄义源副教授主审。

参加《电子技术》杭州审稿会议的有北京轻工业学院孙骆生教授,汕头大学黄义源副教授,上海交通大学孙文卿教授、朱承高高级工程师,上海机械专科学校席时达副教授,哈尔滨机电专科学校吕国泰副教授,山东水利专科学校邱少岳副教授,湖南省纺织专科学校易源屏副教授、武汉冶金建筑专科学校沈时伦高级工程师,江南大学刘琴芳副教授,郑州机械专科学校王文胜副教授、魏玉清讲师,上海纺织专科学校周瑞华讲师,浙江工学院林镜钊副教授、俞荣泉副教授,合肥联合大学金树德副教授。

在本书编写过程中,还得到了许多学校的老师和同学的大力支持和帮助,在此一并致谢。

由于编者水平有限,书中可能有错误和不妥之处,殷切期望使用本书的师生和广大读者提出批评和修改意见。

编 者

1991 年 11 月

目 录

前言	1
第一章 半导体二极管和三极管	1
1-1 半导体的导电特性	1
一、半导体的物质结构和两种载流子	2
二、N型半导体和P型半导体	6
练习与思考	8
1-2 PN结	9
一、PN结的形成	9
二、PN结的单向导电性	11
练习与思考	14
1-3 半导体二极管	15
一、二极管的结构	15
二、二极管的伏安特性	16
三、二极管的主要参数	19
四、半导体二极管应用举例	20
练习与思考	22
1-4 稳压管	22
一、硅稳压二极管及其特性	22
二、硅稳压二极管的主要参数	23
练习与思考	25
1-5 半导体三极管	25
一、三极管的结构	25
二、三极管的电流分配关系和电流放大作用	28

三、特性曲线	33
四、主要参数	38
练习与思考	42
本章小结	42
习题	43
第二章 交流放大电路	47
2-1 单管交流电压放大电路的组成	47
一、基本电压放大电路的组成	48
二、各元件的作用	49
练习与思考	50
2-2 放大电路的分析	51
一、静态分析	51
二、动态分析	55
三、波形失真与工作点的关系	57
练习与思考	58
2-3 静态工作点的稳定	59
一、温度对静态工作点的影响	59
二、分压式偏置放大电路	60
练习与思考	63
2-4 放大电路的微变等效电路分析法	64
一、晶体管的微变等效电路	65
二、电压放大倍数的计算	67
三、放大电路输入电阻和输出电阻的计算	70
练习与思考	72
2-5 阻容耦合多级放大电路	73
一、阻容耦合放大电路	74
二、多级放大电路电压放大倍数的计算	74
练习与思考	78

2-6 放大电路中的负反馈	78
一、负反馈的一般概念	78
二、常用的负反馈放大电路	80
三、负反馈对放大电路工作性能的影响	84
练习与思考	91
2-7 射极输出器	92
一、电路的组成	92
二、工作原理	93
三、射极输出器的应用	95
练习与思考	95
2-8 功率放大电路	96
一、概述	96
二、互补对称功率放大电路	99
三、集成功率放大器	104
练习与思考	105
2-9 场效应管及其放大电路	106
一、绝缘栅场效应管	106
二、场效应管放大电路	111
练习与思考	114
本章小结	114
习题	117
第三章 集成运算放大器	129
3-1 概述	129
练习与思考	130
3-2 差动放大电路	130
一、直接耦合方式	130
二、差动放大电路	132
练习与思考	138

3-3 运算放大器的电压传输特性和主要参数	138
一、集成运算放大器的符号	138
二、主要参数	139
三、电压传输特性	140
练习与思考	141
3-4 运算放大器的基本应用电路	142
一、理想运算放大器	142
二、反相输入运算电路	143
三、同相输入比例运算电路	145
练习与思考	146
3-5 运算放大器的线性应用	147
一、加法运算电路	147
二、减法运算电路	149
三、积分运算电路	151
四、微分运算电路	153
五、PI 调节器	154
六、交流电压表电路	156
七、有源低通滤波器	157
练习与思考	159
3-6 运算放大器的非线性应用	159
一、比较器	160
二、方波发生器	161
练习与思考	163
3-7 运算放大器的选用及使用注意问题	163
一、选用元件	163
二、使用时的注意问题	164
三、运算放大器的保护	165
练习与思考	167
本章小结	167

习题	168
第四章 正弦波振荡电路	175
4-1 自激振荡	175
一、自激振荡平衡条件	176
二、振荡的建立与稳定	178
三、正弦波振荡电路的基本组成部分	178
练习与思考	179
4-2 LC 正弦波振荡电路	180
一、变压器反馈式振荡电路	180
二、三点式振荡电路	183
三、应用举例	186
练习与思考	188
4-3 RC 正弦波振荡电路	189
一、 RC 串并联选频电路的选频特性	190
二、桥式 RC 振荡电路	190
三、应用举例	193
练习与思考	195
本章小结	196
习题	197
第五章 门电路和组合逻辑电路	199
5-1 数字电路概述	199
一、数字电路的主要特点	199
二、脉冲信号波形与参数	201
三、十进制数与二进制数	202
练习与思考	206
5-2 基本逻辑门电路	207
一、三种最基本的逻辑关系	207
二、与门电路	210
三、或门电路	212

四、非门电路	214
练习与思考	217
5-3 集成逻辑门电路	218
一、TTL 与非门	219
二、TTL三态输出与非门电路	222
三、CMOS 门电路	225
练习与思考	228
5-4 组合逻辑电路的分析	229
一、逻辑代数	229
二、组合逻辑电路的分析	235
*三、组合逻辑电路的设计	241
练习与思考	243
5-5 加法器	244
一、半加器	245
二、全加器	246
练习与思考	248
5-6 编码器	249
二-十进制编码器	249
练习与思考	252
5-7 译码器和数码显示	252
一、二进制译码器	252
二、二-十进制显示译码器	256
练习与思考	261
本章小结	261
习题	262
第六章 触发器和时序逻辑电路	267
6-1 双稳态触发器	267
一、 $R-S$ 触发器	268
二、 $J-K$ 触发器	274

三、D触发器	277
练习与思考	280
6-2 寄存器	281
一、数码寄存器	282
二、移位寄存器	283
练习与思考	287
6-3 计数器	287
一、二进制加法计数器	288
二、十进制加法计数器	294
练习与思考	299
6-4 数/模和模/数变换器	300
一、数/模变换器	300
二、模/数变换器	303
练习与思考	305
6-5 555 定时器	306
一、555 定时器	306
二、555 定时器的应用举例	308
练习与思考	314
6-6 数字电路应用举例	314
一、优先裁决电路	315
二、脉冲顺序分配器	315
三、数字钟	317
本章小结	318
习题	319
第七章 直流电源	325
7-1 整流电路	326
一、单相桥式整流电路	326
* 二、三相桥式整流电路	330

练习与思考	335
7-2 滤波电路	335
一、电容滤波电路	336
二、电感滤波电路	339
三、复式滤波电路	340
练习与思考	342
7-3 稳压电路	342
一、稳压管稳压电路	343
二、串联型稳压电路	344
练习与思考	346
7-4 集成稳压电源	346
练习与思考	351
本章小结	351
习题	352
第八章 晶体闸流管及其应用	355
8-1 晶闸管	355
一、晶闸管的基本结构及工作原理	355
二、伏安特性和主要参数	358
练习与思考	361
8-2 晶闸管整流电路	362
练习与思考	364
8-3 单结晶体管触发电路	365
一、单结晶体管	365
二、单结晶体管多谐振荡电路	368
三、单结晶体管触发电路	369
四、应用举例	372
练习与思考	374
8-4 晶闸管的保护	374
一、晶闸管的过电流保护	374

二、晶闸管的过电压保护	376
练习与思考	377
本章小结	377
习题	377
附录	380
附录一 半导体器件型号命名方法	380
附录二 常用半导体器件的参数	382
附录三 集成电路型号命名(原部颁标准)	390
附录四 半导体集成电路型号命名方法(据国家标准 GB3430-82)	391
附录五 部分国标集成电路的品种、型号和管脚引线图	396
附录六 几种集成运算放大器和TTL电路的主要参数	399
附录七 常用电路图形符号新旧标准对照表	400
附录八 常用电阻、电容器型号	404
汉英名词对照	411
部分习题参考答案	431
参考文献	435

第一章 半导体二极管和三极管

半导体二极管和三极管是电子技术中最基本的半导体电子器件,它们的基本结构、工作原理、特性和参数是学习电子技术和分析电子电路的基础。而半导体的导电特性和PN结的基本原理,又是我们了解半导体二极管和三极管的基础。因此,本章首先简要地介绍半导体的导电特性和PN结的基本原理,然后介绍半导体二极管和三极管的结构、工作原理、特性曲线和主要参数,为后面各章的讨论打下必要的基础。

1-1 半导体的导电特性

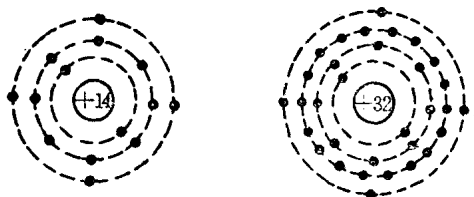
物质按导电能力强弱分为导体、绝缘体和半导体。半导体是一种导电能力介于导体和绝缘体之间的物质,如锗、硅、硒、砷化镓及大多数金属氧化物和硫化物等。

半导体获得广泛的应用,是由于它们具有一系列独特的性能。半导体的导电能力在不同条件下差别很大。例如某些半导体的导电能力随温度升高而显著增加,利用这种热敏特性可制成各种热敏元件。又如某些半导体受光照射时其导电能力也显著增加,利用这种光敏特性可制成各种光电元件。更为重要的特点是如果在纯净的半导体中掺入微量的某种杂质后,导电能力就会大大增加,利用这种特性可制成各种不同的半导体电子器件,如半导体二极管、三极管、场效应管、晶闸管等。

半导体为什么具有这些独特的导电特性呢？这是由半导体物质内部结构所决定的。下面我们以常用的半导体锗和硅来说明半导体的导电特性。

一、半导体的物质结构和两种载流子

图 1-1-1(a)和(b)是硅和锗的原子结构图。它们最外层轨道各有四个价电子,都是四价元素。



(a) 硅(Si)原子

(b) 锗(Ge)原子

图 1-1-1 硅和锗的原子结构

硅和锗半导体内部原子与原子之间是以共价键方式结合的。下面以硅为例来说明。每个原子最外层的价电子,既受原来的原子核中正电荷的吸引作用,又受到相邻原子核中正电荷的吸引作用。这样,每一个原子的一个价电子与另一个原子的一个价电子组成一个电子对,该电子对为两个相邻原子所共有。这对共有价电子受到两个相邻原子核的吸引作用而将这两个相邻原子束缚在一起。每两个相邻原子之间都共有一对价电子。我们把这种两个共有价电子所形成的束缚作用称为共价键,共价键内的两个价电子称为束缚电子。每个原子通过共价键与邻近的四个原子结合在一起。由于共价键有很强的结合力,而使所有原子按一定规则整齐排列,组成四角系统的晶体点阵,即每个原子是处于正四面体的中心,另四个原子位于四面体的顶点。图 1-1-2 和图 1-1-3 分别表示硅的平面结构图和立体结构图。半导体一般都具有这种晶体结

构，因此半导体也称为晶体。现在所用的半导体材料都要提纯制成晶体。完全纯净的具有晶体结构的半导体称为本征半导体。

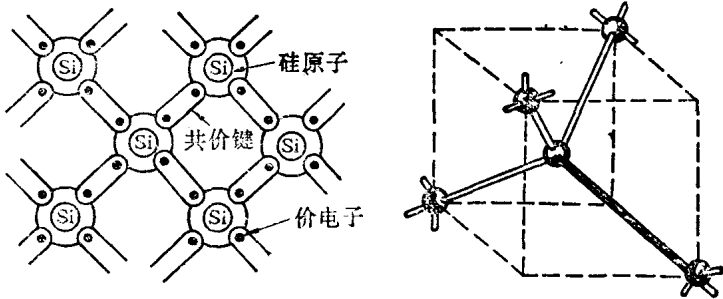


图 1-1-2 硅晶体共价键结构平面示意图 图 1-1-3 硅晶体中原子排列方式立体图

物质中参与导电的粒子称为载流子。物质导电能力取决于其中载流子的多少。金属中的载流子为自由电子，由于金属中的自由电子很多，所以金属导电能力强。在本征半导体中，在 $T=0^{\circ}\text{K}$ 和没有外界激发时，由于共价键中的价电子被束缚得很紧，没有自由电子，这时半导体不导电，相当于绝缘体。但是半导体共价键中的价电子并不像绝缘体中的价电子被束缚得那样紧。一个共价电子摆脱共价键所需要的能量，硅是 1.1 eV ，锗是 0.72 eV 。当半导体的温度升高或受到外界因素的影响(如光照)时，就会使共价键中的一些价电子获得足够的能量而挣脱共价键的束缚，成为自由电子，这个过程称为激发。在价电子挣脱共价键的束缚成为自由电子后，在它原来所在的共价键中就留下一个空位，这个空位称为空穴，如图 1-1-4 所示。在一般情况下，原子是中性的。当电子挣脱共价键的束缚成为自由电子后，原子的中性便被破坏，而显出带正电。所以可以认为空穴带正电。在本征半导体内，自由电子和空穴总是成对出现的，常称为电子-空穴对。也就是说，有一个自由电子，就必定有一个空穴，因此在任何时候，本征半导体中的自

由电子和空穴数总是相等的。

在有外电场作用时，自由电子和空穴均参与导电。自由电子逆着电场方向作定向运动而形成电流，这是由于自由电子导电而形成的电子电流。同时，由于空穴带正电，具有吸引电子的作用，在外加电场的作用下，邻近共价键中的价电子就可移过来填补，从而在这个价电子原来的位置出现新的空穴，而后邻近的其它价电子又可移过来填补，这样就产生了价电子定向连续填补运动。如图 1-1-5 所示，设空穴原来在 1 处，被 2 处的价电子移过来填补，

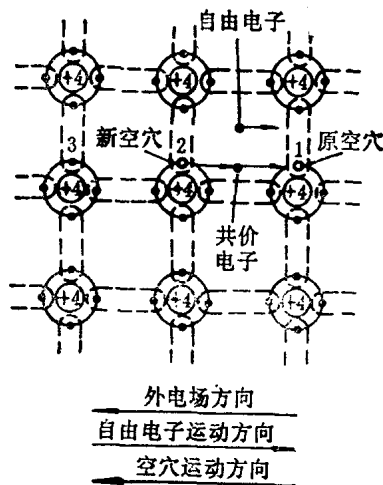
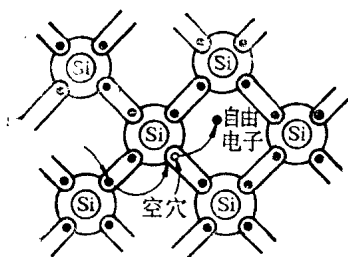


图 1-1-4 自由电子和空穴的形成 图 1-1-5 自由电子导电和空穴导电

于是 2 处出现空穴，又将被 3 处的价电子移过来填补，则 3 处又将出现新的空穴，依此类推。由此可见，价电子也是逆着电场方向作定向运动而形成电流。但这种导电方式不同于自由电子导电。这种导电是由空穴引起的，空穴的移动方向与价电子移动方向相反。因此为了区别起见，可把共价键中价电子的填补运动看作是空穴