

高等职业教育优质校建设轨道交通通信信号技术专业群系列教材

# 模拟电子技术及其应用 (活页式)

MONI DIANZI JISHU JI QI YINGYONG

主 编◎刘海燕  
副主编◎陈志红 马 蕾



西南交通大学出版社

高等职业教育优质校建设轨道交通通信信号技术专业群系列教材

# 模拟电子技术及其应用

(活页式)

主 编 ◎ 刘海燕

副主编 ◎ 陈志红 马 蕾

主 审 ◎ 付 涛

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

-----  
图书在版编目 (C I P) 数据

模拟电子技术及其应用：活页式 / 刘海燕主编. —  
成都：西南交通大学出版社，2023.2  
ISBN 978-7-5643-8925-3

I. ①模… II. ①刘… III. ①模拟电路 - 电子技术 -  
高等职业教育 - 教材 IV. ①TN710.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2022) 第 207801 号  
-----

高等职业教育优质校建设轨道交通通信信号技术专业群系列教材  
Moni Dianzi Jishu ji Qi Yingyong(Huoyeshi)

**模拟电子技术及其应用**  
(活页式)

主 编 / 刘海燕

责任编辑 / 穆 丰  
封面设计 / 吴 兵

西南交通大学出版社出版发行  
(四川省成都市金牛区二环路北一段 111 号西南交通大学创新大厦 21 楼 610031)  
发行部电话：028-87600564 028-87600533  
网址：<http://www.xnjdcbs.com>  
印刷：四川玖艺呈现印刷有限公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm  
印张 18 字数 417 千  
版次 2023 年 2 月第 1 版 印次 2023 年 2 月第 1 次

书号 ISBN 978-7-5643-8925-3  
定价 43.80 元

课件咨询电话：028-81435775  
图书如有印装质量问题 本社负责退换  
版权所有 盗版必究 举报电话：028-87600562

### 数字资源列表

序号	项目名称	任务名称	二维码名称	资源类型/ 数量	书籍页码
1	项目一 常用电子元器件	——	项目一-英文版本	文档	1
2		任务一 半导体和 PN 结	微课 本征半导体	视频	6
3			微课 杂质半导体	视频	6
4			微课 PN 结	视频	7
5			动画 PN 结的形成	视频	7
6			任务二 二极管及其应用	微课 二极管的结构、分类及特性	视频
7		微课 二极管的参数及测试		视频	10
8		微课 二极管在整流电路中的应用		视频	10
9		动画 单相桥式整流电路 (1)(2)(3)(4)(5)		视频	10
10		微课 滤波电路		视频	14
11		动画 电容滤波电路(1)(2) (3)(4)		视频	14
12		微课 二极管在稳压电路中的应用		视频	17
13		任务三 晶体三极管		微课 三极管的结构与电流放大原理	视频
14			动画 三极管内部载流子的运动(1)发射极电流的形成	视频	20
15			动画 三极管内部载流子的运动(2)基极电流的形成	视频	20
16			动画 三极管内部载流子的运动(3)集电极电流的形成	视频	20
17			微课 三极管的伏安特性曲线	视频	22
18			微课 三极管的主要参数及测试	视频	23
19		任务四 场效应管	微课 结型场效应管	视频	29
20			微课 绝缘栅型场效应管	视频	30
21		任务五 光电子器件	微课 光电子器件	视频	34

序号	项目名称	任务名称	二维码名称	资源类型/ 数量	书籍页码
22	项目二 基本放大电路	——	项目二英文版本	文档	61
23		任务一 共发射极放大电路	微课 共射极放大电路基本结构	视频	63
24			动画 基本放大电路组成	视频	63
25			微课 共射极放大电路静态工作点分析计算	视频	64
26			微课 单管共射极放大电路的放大原理	视频	65
27			动画 基本放大电路的放大原理	视频	65
28			任务二 图解分析法	微课 静态工作点图解分析	视频
29		微课 放大电路动态的图解分析		视频	68
30		微课 图解法分析信号失真		视频	68
31		动画 Q点与波形失真(1) Q点合适		视频	68
32		动画 Q点与波形失真(2) 饱和失真		视频	68
33		动画 Q点与波形失真(3) 截止失真		视频	68
34		任务三 微变等效电路分析法	微课 三极管的微变等效电路	视频	71
35			动画 微变等效电路的画法(1)(2)(3)	视频	72
36			微课 放大电路主要动态指标计算	视频	73
37		任务四 共集电极放大电路及共基极放大电路	微课 共集电极放大电路	视频	76
38			微课 共基极放大电路	视频	79
39			微课 放大电路的频率特性分析	视频	82
40		任务五 电子电路的稳定措施	微课 温度对工作点的影响,分压式偏置电路的结构	视频	84
41			动画 静态工作点稳定的放大电路	视频	84
42			微课 静态工作点的稳定措施	视频	85
43			微课 反馈的基本概念	视频	87

序号	项目名称	任务名称	二维码名称	资源类型/ 数量	书籍页码
44	项目二 基本放大电路	任务五 电子电路的稳定措施	微课 反馈类型的判断	视频	88
45			动画 瞬时极性法(1)(2)	视频	88
46			微课 负反馈对放大电路的影响	视频	90
47			动画 负反馈对放大电路的影响	视频	90
48		任务六 多级放大器	微课 多级电路的级联方式	视频	92
49			微课 电容耦合多级放大电路的电路分析	视频	94
50			微课 单管共射极放大电路调整与测试	视频	111
51	项目三 模拟集成电路	——	项目三英文版本	文档	117
52		任务一 集成运算放大器	微课 集成运算放大器的结构及参数	视频	118
53			微课 差动放大电路	视频	120
54			动画 差动放大电路的构成及工作原理(1)(2)(3)	视频	120
55			动画 抑制温漂(1)(2)(3)	视频	120
56			微课 集成运算放大器概述	视频	128
57			动画 虚短与虚断	视频	131
58			动画 虚短与虚断简化电路的分析	视频	131
59			微课 集成运算放大器构成的基本运算电路	视频	132
60			微课 集成运放构成的信号处理电路	视频	138
61			任务二 集成功率放大器	微课 基本功率放大器	视频
62		微课 乙类功率放大电路的电路分析		视频	150
63		动画 交越失真(1)(2)(3)		视频	152
64		微课 甲乙类功率放大电路分析		视频	153
65		动画 功率放大电路(1)甲乙类功放结构		视频	153

序号	项目名称	任务名称	二维码名称	资源类型/ 数量	书籍页码
66	项目三 模拟集成电路	任务二 集成功率放大器	动画 功率放大电路(2)甲 乙类功放工作原理	视频	153
67			动画 功率放大电路(3)甲 乙类功放工作原理	视频	153
68			微课 LM386 集成功放器及 其应用	视频	155
69		任务三 集成稳压器	微课 串联型稳压电源	视频	156
70			微课 集成稳压电源及应用	视频	159
71			微课 开关电源	视频	161
72			微课 集成运算放大器构成 的基本运算电路的调试	视频	183
73		项目四 正弦波振荡器	——	项目四英文版本	文档
74	任务一 振荡器基本原理		微课 正弦波振荡器的结构 及自激振荡的条件	视频	191
75			动画 振荡电路(1); 振荡 电路(2)	视频	191
76			微课 RC 串并联网络和 LC 谐振回路的选频特性	视频	193
77	任务二 RC 正弦波振荡器及 LC 正弦波振荡器		微课 RC 桥式振荡器	视频	196
78			微课 LC 振荡器	视频	199
79			动画 LC 振荡器	视频	199
80	任务三 石英晶体振荡器		微课 石英晶体的特性	视频	206
81			微课 石英晶体正弦波振荡 电路	视频	209
82			微课 RC 振荡器组成与测试	视频	224

本书编写以国家对高等职业教育的办学定位为基本准则，考虑高职教育的教学规律、生源情况、岗位需求等因素，以培养学生能力和素养为出发点，突出重点，在保证必要的基本理论、基础知识、基本技能的基础上紧密结合专业人才培养目标和相关行业规范，注重应用能力的培养，改变理论分析长而深的编写模式，加强“做中学、学中做”的实验、实训内容，在应用能力培养的同时，融合学生综合素质、科学思维方式与可持续发展能力的培养。

本书具有以下特点：

（1）动静结合：本书包含大量的微课视频、动画，打破传统的文字教材模式，学生通过手机扫码即可打开视频，随时解决疑难问题，在书中插入动画让抽象难懂的知识点“动”起来，让学生更易消化吸收。

（2）理实结合：本书各项目后均设置应用实践内容，列出若干实践项目。知识内容丰富、实用，训练多元化、层次化，有基本训练也有综合训练，有电路组装也有虚拟实验。

（3）讲练结合：本书编写突出基本知识、基本理论、基本技能，简化基本单元电路的理论分析，突出基本应用电路的讨论，加强实用电路的举例及应用知识的拓展；加强课后习题量，习题侧重实用电路的分析与设计，用以培养学生的知识应用能力和工程实践能力。

（4）虚实结合：本书各项目后设置有电路应用与电路的组装及调试知识，以提高学生的动手能力；书中介绍了模拟仿真实验软件，使学生轻松掌握实验室操作技巧。

（5）线上线下结合：本书各项目后设置有实验环节，此环节可通过网络注册登录自行研发的实验平台完成。该平台支持学生线上实验，使学生能够突破传统实验室物理条件的限制，无论何时何地，只要通过浏览器就能远程使用实验室资源来进行预定的实验。学生既能通过网络在客户端浏览器进行线上实验，也能在实验室里用传统方法进行线下实验，线上实验能实现智能测试，智能实验报告提交批改。线下实验采用活页式实验报告单，方便学生提交。

(6) 思维导图与知识点相结合：让学生在学之初对知识点进行全方位和系统的了解；使学生在短时间内建立知识体系架构，明确学习目标，提高学习效率，增加理解和记忆，更快学习新知识以及复习旧知识。

(7) 中、英双语结合：本书将英文教学和专业课程结合起来，使学生有效地掌握学科专业术语的英文表达，通过该形式提高学生阅读英文文献的水平，为日后进一步学习做好铺垫。

本书在贯彻课程目标的同时，深入挖掘课程中蕴含的思政教育，将课程内容中蕴含的思政教育元素融入教学过程当中，培养学生的爱国主义情怀、科研精神和社会责任感，以及严谨、实事求是的工作态度。

本书由郑州铁路职业技术学院付涛担任主审，提出了很多的宝贵意见和建议，在此表示诚挚的感谢。

本书由刘海燕担任主编，负责全书的策划和定稿。具体编写分工如下：罗丽宾编写绪论及项目一中的任务一至任务五；刘海燕编写项目一中的任务六、应用实践一、应用实践二及项目小结、思考与练习，并统一全书格式；马蕾编写项目二中的任务一至任务六；陈志红编写项目二中的任务七、任务八、应用实践一、应用实践二及项目小结、思考与练习；朱军涛编写项目三中的任务一至任务四，龙芯中科（南京）技术有限公司李浩宇编写项目三中的应用实践一至应用实践三及项目小结、思考与练习；吴昕编写项目四中的任务一至任务三、项目小结、思考与练习；刘素芳编写项目四中的应用实践一至应用实践三；附录一由陈志红编写；附录二由北京神州纪维科技发展有限公司刘佳帅整理。书中微课视频由陈志红、刘海燕、马蕾、张莉、高基豪、吴昕、刘素芳、罗丽宾、孙逸洁、朱力宏、冯笑、任全会、江兴盟等提供。本书英文书稿由吴昕翻译（以上编者均为郑州铁路职业技术学院教师，注明单位者除外）。

本书是郑州铁路职业技术学院、龙芯中科（南京）技术有限公司、北京神州纪维科技发展有限公司联合开发的校企合作教材，编写过程中得到了西南交通大学出版社、龙芯中科（南京）技术有限公司、北京神州纪维科技发展有限公司热情支持和帮助，在此表示衷心的感谢！由于编者水平有限，书中疏漏及不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

2022年11月



绪 论 .....	001
<b>项目一 常用电子元器件 .....</b>	<b>004</b>
任务一 半导体和 PN 结 .....	005
任务二 二极管及其应用 .....	008
任务三 晶体三极管 .....	018
任务四 场效应管 .....	028
任务五 光电子器件 .....	034
任务六 实用电路读图训练 .....	038
项目小结 .....	042
思考与练习 .....	043
应用实践一 EWB 仿真软件使用介绍 .....	048
应用实践二 半导体元器件识别与检测 .....	057
《半导体元器件识别与检测》实验报告 .....	060
<b>项目二 基本放大电路 .....</b>	<b>061</b>
任务一 共发射极放大电路 .....	062
任务二 图解分析法 .....	067
任务三 微变等效电路分析法 .....	071
任务四 共集电极放大电路及共基极放大电路 .....	076
任务五 电子电路的稳定措施 .....	084
任务六 多级放大器 .....	092
任务七 场效应管放大电路 .....	095
任务八 实用电路读图训练 .....	097
项目小结 .....	101
思考与练习 .....	102
应用实践一 EWB 仿真实验——单管放大电路的 仿真测试 .....	106
应用实践二 线上/线下实验——单管共射极放大 电路测试 .....	111
《单管共射极放大电路测试》实验报告 .....	115

<b>项目三</b>	<b>模拟集成电路</b> .....	117
任务一	集成运算放大器 .....	118
任务二	集成功率放大器 .....	148
任务三	集成稳压器 .....	156
任务四	实用电路读图训练 .....	164
项目小结	.....	168
思考与练习	.....	169
应用实践一	实用电路设计与制作——可调集成 稳压电源的制作 .....	176
应用实践二	EWB 仿真实验——集成运算 放大器的测试 .....	178
应用实践三	线上/线下实验——集成运算 放大器构成的基本运算电路 .....	183
	《集成运算放大器构成的基本运算电路》实验报告 .....	188
<b>项目四</b>	<b>正弦波振荡器</b> .....	190
任务一	振荡器基本原理 .....	191
任务二	RC 正弦波振荡器及 LC 正弦波振荡器 .....	196
任务三	石英晶体振荡器 .....	206
项目小结	.....	210
思考与练习	.....	210
应用实践一	实用电路设计与制作 .....	217
应用实践二	EWB 仿真实验——波形发生电路测试 .....	219
应用实践三	线上/线下实验——正弦波信号发生器 .....	224
	《正弦波信号发生器》实验报告 .....	227
<b>附录一</b>	<b>综合实训——HX118-2 型七管半导体调幅收音机     组装与调试</b> .....	229
<b>附录二</b>	<b>电子技术在线实验系统 v1.0 功能介绍</b> .....	265
<b>参考文献</b>	.....	279

# 绪 论

电子技术是根据电子学的原理,运用电子元器件设计和制造某种特定功能的电路以解决实际问题的科学,是十九世纪末到二十世纪初开始发展起来的新兴技术,在二十世纪发展最迅速、应用最广泛。电子技术成为近代科学技术发展的一个重要标志,在现代社会中起着不可估量的作用。

## 一、电子技术对人类的影响

20世纪可以说是电子技术的世纪,它创造了一个又一个科学技术奇迹,使人类真正享受到了科技对生活的巨大改变,也改变了人们对生活和时尚的追求。中国在改革开放后极短的时间内,使电视机、手机、计算机等一系列现代电子产品普及到千家万户,使人们的精神文化生活和物质生活发生了翻天覆地的变化。

电子技术的发展还推动了各个领域的技术发展,如医疗设备领域的B超机、心电图机、脑电图机等,使现代医疗诊断水平显著提高;现代工业和航天航空技术更是借助电子技术,使人类的活动范围不断扩大并向太空延伸;国防技术更是离不开电子技术。未来,电子技术将展现更加迷人的风采。

## 二、电子技术的发展史

电子技术的发展共经历了5个阶段,即真空电子管电路→晶体管电路→中小规模集成电路→大规模集成电路→超大规模集成电路。

1904年,英国的弗来明发明了真空电子二极管,1906年,美国的德福雷斯特发明了真空电子三极管,同年,美国的费森登开始用电子管调制无线电收、发音乐和演讲,出现了最早的电子管收音机。电子管的外形结构主要是真空玻璃管,代表近代电子技术的基础,目前仅能偶尔从一些古董式的木箱结构的台式收音机中看到,而电视机的显像管是一种专用电子管的结构。在20世纪的前半叶,电子管电路独领风骚,在军事、通信、交通等社会领域中,展现了其神通作用。1920年,美国建成了世界上第一座无线电台,1925年,英国人贝尔德发明了电视机,1946年在美国诞生了第一台电子管电子计算机,该计算机用了一万八千多个电子管,整机重达30t,功率为140kW,运算速度仅为5000次/s,且价格昂贵。

电子管具有体积大、工艺复杂、寿命短、不便运输等特点,因此对电子元件的改进成为电子技术发展的必需。巴亨、肖克莱和布拉克,这三位杰出的美国科学家在1947年成功研制出了晶体三极管,其用固体的晶体材料——半导体制作而成,各方面性能远远超过了真空玻璃管,使电子技术有了根本性的突破,世界科学技术也随之产生了巨变。1953年,晶体管收音机问世,1956年,第二代计算机——晶体管计算机诞生,1957年,苏联采用晶体管自动控制设备,发射了第一颗人造地球卫星。晶体管也使电视接收技术更加成熟实用,逐步在发达国家普及。

1958年,美国研制成功了第一个集成电路,把一个具有完整功能的电子电路做在一块半导体晶片上,使电子电路的体积大大缩小,功能大大增强,成本大大降低,电子技术发生了又一次巨大的突破和变革。1962年,各种集成电路迅速发展,并在1964年出现了集成运算放大器,同时诞生了由中小规模集成电路制造的电子计算机,使计算机的功能、速度、体积、成本都有了重大突破。

到20世纪60年代末期,出现了第四代电子器件——大规模集成电路,它可以在一块 $5\text{ mm}^2$ 左右的晶体上制造出一千多个元件。乘借电子技术的东风,美国宇航局在1969年7月完成了人类首次登上月球的创举。1972年诞生了用大规模集成电路制造的第四代计算机,使得计算机进一步微型化,并开始应用于教育科研领域,电子技术也逐步广泛深入到社会的各个领域,使全球科学技术发展更加迅速。

1977年,美国研制成功了超大规模集成电路,可在 $30\text{ mm}^2$ 的硅晶片上造出十五万多个晶体管,同时日本的集成电子技术也进入了超大规模集成电路时代。由此产生了真正意义上的微型计算机,其成本大幅下降,开始向家庭普及。计算机可以说是现代社会的标志产物,是实现信息化和高效工作的前提,缩短了时空距离。电子计算机技术的发展速度可谓日新月异。

电子技术仅用一百多年的时间就取得了如此辉煌的成就,堪称奇迹。正如20世纪20年代,一位富于幻想的美国作家根斯巴克在其科幻小说中预言:“七百年后人们坐在家里可以观赏六千米以外的剧院演出”,当时许多人认为这是毫无根据的瞎想,岂料仅仅几年电视机就诞生了。

人们一直在期待着科学技术的新突破!

### 三、本课程研究的对象及内容

电子技术主要研究如何用电子器件构成实用电路去控制电子运动,即把电子运动产生的电流和电磁波等物理量作为一种信息来进行传输和处理。这种信息可以分为模拟信号和数字信号两大类。模拟信号是指幅度随时间连续变化的信号,如用电压或电流的变化模拟声波的变化。数字信号是指幅度随时间间断、离散变化的信号,如电报码和用电平的高与低表示的二值逻辑信号等。最早把电流作为信息来处理的是1844年5月美国的莫尔斯发明的有线电报,用电流分别构成点、横线和空格,组成“莫尔斯电码”,用其组合分别来表示26个英文字母等信息,这就是最早的数字信号。最早利用电流产生并传输模拟信号的是1875年6月美国的贝尔,其发明的电话通过把声音信号转换成同样变化规律的电流信号进行传输。

根据这两类信号,电子电路也分为模拟电子电路和数字电子电路两大类(简称为模电和数电)。模拟电子电路就是用来产生、传输和处理模拟信号的电路,典型设备有收音机、电视机、扩音机等。收音机和电视机系统是把原始的声音和图像信号模拟转换为以同样规律变化的电信号,再进行处理、传输和放大,由扬声器和显像管还原出声音和图像。数字电子电路是专门用来传输和处理数字信号以实现逻辑功能的,典型设备是电子计算机等。计算机系统主要是对各种数字信号进行逻辑运算及分析处理等。模拟电路和数字电路的结合越来越广泛,在技术上正趋向于将模拟信号数字化,

以获取更好的传输效果及抗干扰性能，如数码相机、数码电视机等。

本书研究的对象是模拟电子电路，其主要任务之一是对微弱的电信号进行模拟放大。在自动控制电路中，非电物理量经传感器转换成的电信号通常是比较微弱的，必须经过模拟电路进行放大才能驱动执行机构。本书的主要内容有常用电子元器件的结构与原理、基本放大电路、集成运算放大器、集成功率放大器、直流电压源、振荡器等。

电子技术是一门实用性很强的技术课程，必须加强实践能力的培养。本书在各项目配有技能训练内容，作为教学参考内容及实践学习的资料，教学中可根据实训设备条件予以选用。



## 思维导图

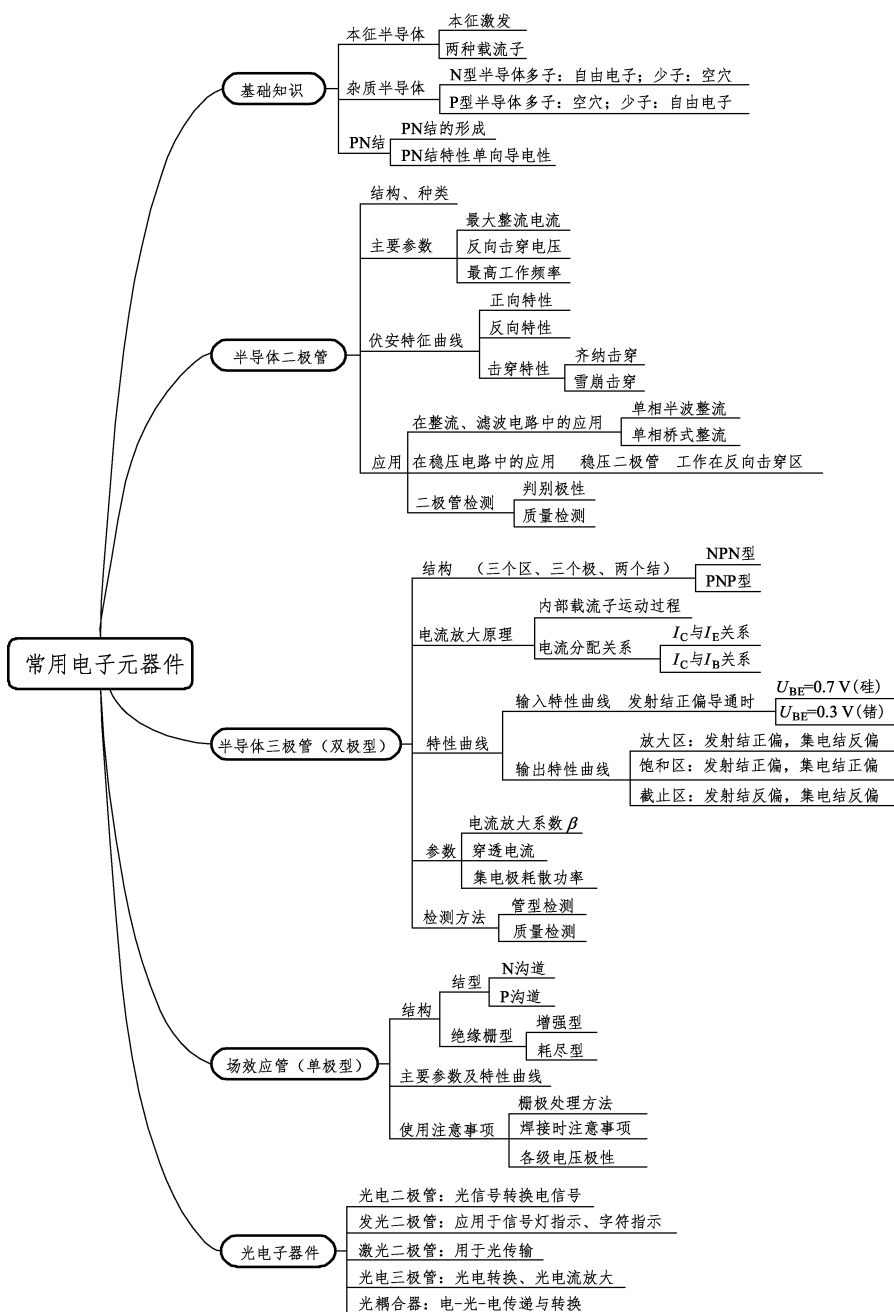


图 1-1 项目一思维导图

## 学习目标

认识半导体的性能及 PN 结的形成；熟练掌握由半导体构成的基本电子器件二极管、三极管、场效应管的特性、应用、测试、识别方法及使用常识；

通过“学中做”“做中学”培养学生记录、收集、处理、保存各类专业技术信息资料，利用网络技术获取新知识的能力；使学生具有良好的思想品德，以及爱岗敬业、热情主动的工作态度。

# 任务一 半导体和 PN 结

## 一、半导体

大自然的物质类别是极其丰富的，单从导电能力上可以分为导体、绝缘体和半导体。

导体是指电阻率很小且易于传导电流的物质，常见的导体有金、银、铜、铁、铝等金属类；绝缘体是指不善于传导电流的物质，常见的绝缘体有胶木、橡胶、陶瓷等。

半导体是导电能力介于导体和绝缘体之间的特殊物质，常用材料有锗（Ge）、硅（Si）、砷化镓（GaAs）等。这些材料在现代科学技术中扮演了极为重要的角色。

### （一）半导体的性质

半导体的导电能力具有一些独特的性能。主要表现为如下 3 个方面：

#### 1. 杂敏性

半导体对掺入杂质很敏感。在半导体硅中只要掺入亿分之一的硼（B），电阻率就会下降到原来电阻率的数万分之一。因此用控制掺杂浓度的方法，可人为地控制半导体的导电能力，制造出各种不同性能、用途的半导体器件。

#### 2. 热敏性

半导体对温度变化很敏感。温度每升高  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，半导体的电阻率减小为原来电阻率的二分之一。这种特性对半导体器件的工作性能有许多不利的影响，但利用这一特性可制成自动控制系统中常用的热敏电阻，它可以感知万分之一摄氏度的温度变化。

#### 3. 光敏性

半导体对光照很敏感。半导体受光照射时，它的电阻率显著减小。例如，半导体材料硫化镉（CdS），在一般灯光照射下，它的电阻率是移去灯光后的数十分之一或数百分之一。自动控制中用的光电二极管、光电三极管和光敏电阻等，就是利用这一特性制成的。

## (二) 本征半导体

完全纯净的半导体叫作本征半导体，又称为纯净半导体。

半导体中的原子是按照一定的规律整齐排列着的，并呈晶体结构，如图 1-2 所示，所以半导体管又称为晶体管。

常用的半导体材料是硅和锗。硅、锗原子的外层电子都是 4 个，它们在组成晶体时，晶体内部结构的组合方式是共价键结构，其简化原子模型如图 1-3 所示，每个价电子受到相邻两个原子核的束缚。



微课 本征半导体

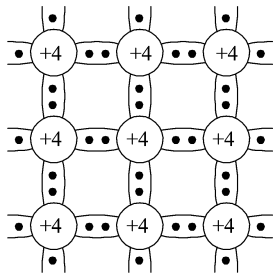


图 1-2 硅或锗晶体的共价键结构示意图

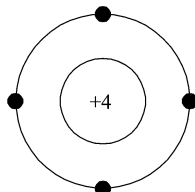


图 1-3 硅和锗的原子结构简化模型

在常温下，价电子获得足够的能量可挣脱共价键的束缚，成为自由电子，这种现象称为本征激发。这时，共价键中就留下一个空位，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。

在半导体中，有两种载流子，即空穴和自由电子。在本征半导体中，它们总是成对出现的。利用杂敏的特性，可以在本征半导体中掺入微量的杂质，就会使半导体的导电性能发生显著的改变。

## (三) 掺杂半导体

根据掺入杂质性质的不同，掺杂半导体可分为空穴（P）型半导体和电子（N）型半导体两大类。



微课 杂质半导体

N 型半导体是在纯净的半导体中掺入五价元素（如磷、砷和锑等）形成的（见图 1-4），使其内部多出了自由电子，自由电子就成为多数载流子，空穴为少数载流子。

P 型半导体是在硅（或锗）的晶体内掺入少量的三价元素形成的（见图 1-5），如硼（或铟）等，因硼原子只有三个价电子，在与周围硅原子组成共价键时，缺少一个电子，在晶体中便多产生了一个空穴。控制掺入杂质的多少，便可控制空穴数量。这样，空穴数就远大于自由电子数，在这种半导体中，以空穴导电为主，因而空穴为多数载流子，简称多子；自由电子为少数载流子，简称少子。

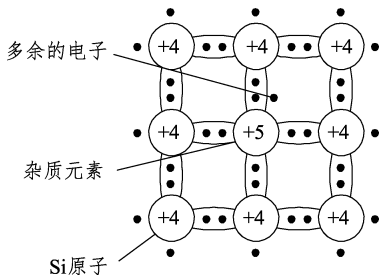


图 1-4 N 型半导体结构

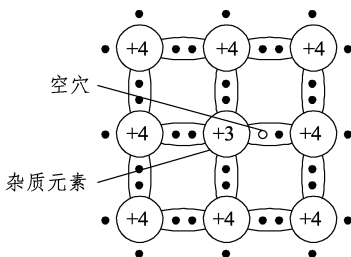


图 1-5 P 型半导体结构