

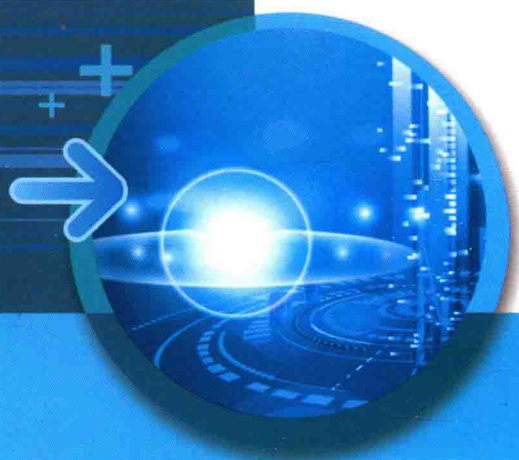


教育部 财政部职业院校教师素质提高计划职教师资培养资源开发项目  
《电子信息工程》专业职教师资培养资源开发 (VTNE021)

# 模拟电子技术基础

*Monidianzi Jishu Jichu*

教育部 财政部 组编  
侯勇严 李天利 编著



中国工信出版集团



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY  
<http://www.phei.com.cn>



教育部 财政部职业院校教师素质提高计划职教师资培养资源开发项目

《电子信息工程》专业职教师资培养资源开发 (VTNE021)

# 模拟电子技术基础

教育部 财政部 组编

侯勇严 李天利 编著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

## 内 容 简 介

本书是教育部、财政部职业院校教师素质提高计划职教师资培养资源开发项目研究成果之一。教材紧密结合职教师资本科电子信息工程专业教学对模拟电子技术基础知识的要求,内容主要包括常用半导体器件、基本放大电路分析、负反馈放大电路和集成运算放大器的应用、功率放大电路、直流稳压电源等。每章设置的实训项目均为日常生活中耳熟能详的电子技术实际应用案例,突出了电子技术的实践性和理论性紧密结合的理实一体化思想。例题、习题配置齐全,难易度适中。

本书将师范教育与专业教育相结合,突出“专业性、职业性、师范性”三性融合的培养目标,可以作为职教师资本科电子信息工程等专业及应用型大学各电子信息类专业《模拟电子技术基础》课程的教材或教学参考书,也可供有关技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有,侵权必究。

### 图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础 / 侯勇严, 李天利编著. —北京: 电子工业出版社, 2017.1  
ISBN 978-7-121-30387-6

I. ①模… II. ①侯… ②李… III. ①模拟电路—电子技术—高等职业教育—教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 277818 号

策划编辑: 赵玉山

责任编辑: 李蕊

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 15 字数: 384 千字

版 次: 2017 年 1 月第 1 版

印 次: 2017 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 38.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 [zltz@phei.com.cn](mailto:zltz@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

本书咨询联系方式: (010) 88254556, [zhaoy@phei.com.cn](mailto:zhaoy@phei.com.cn)。

教育部 财政部职业院校教师素质提高计划成果系列丛书

## 项目专家指导委员会

主 任：刘来泉

副主任：王宪成 郭春鸣

成 员：（按姓氏笔画排列）

|     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 刁哲军 | 王继平 | 王乐夫 | 邓泽民 | 石伟平 | 卢双盈 | 汤生玲 | 米 靖 |
| 刘正安 | 刘君义 | 孟庆国 | 沈 希 | 李仲阳 | 李栋学 | 李梦卿 | 吴全全 |
| 张元利 | 张建荣 | 周泽扬 | 姜大源 | 郭杰忠 | 夏金星 | 徐 流 | 徐 朔 |
| 曹 晔 | 崔世钢 | 韩亚兰 |     |     |     |     |     |

教育部 财政部职业院校教师素质提高计划成果系列丛书

## **《电子信息工程》专业职教师资培养资源开发 ( VTNE021 )**

项目牵头单位：陕西科技大学

项目负责人：党宏社

## 出版说明

《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020 年）》颁布实施以来，我国职业教育进入加快构建现代职业教育体系、全面提高技能型人才培养质量的新阶段。加快发展现代职业教育，实现职业教育改革发展新跨越，对职业学校“双师型”教师队伍建设提出了更高的要求。为此，教育部明确提出，要以推动教师专业化为引领，以加强“双师型”教师队伍建设为重点，以创新制度和机制为动力，以完善培养培训体系为保障，以实施素质提高计划为抓手，统筹规划，突出重点，改革创新，狠抓落实，切实提升职业院校教师队伍整体素质和建设水平，加快建成一支师德高尚、素质优良、技艺精湛、结构合理、专兼结合的高素质专业化的“双师型”教师队伍，为建设具有中国特色、世界水平的现代职业教育体系提供强有力的师资保障。

目前，我国共有 60 余所高校正在开展职教师资培养，但由于教师培养标准的缺失和培养课程资源的匮乏，制约了“双师型”教师培养质量的提高。为完善教师培养标准和课程体系，教育部、财政部在“职业院校教师素质提高计划”框架内专门设置了职教师资培养资源开发项目。中央财政划拨 1.5 亿元，用于系统地开发本科专业职教师资培养标准、培养方案、核心课程和特色教材等系列资源，其中，包括 88 个专业项目、12 个资格考试制度开发等公共项目。该项目由 42 家开设职业技术师范专业的高等学校牵头，组织近千家科研院所、职业学校、行业企业共同研发，一大批专家学者、优秀校长、一线教师、企业工程技术人员参与其中。

经过三年的努力，培养资源开发项目取得了丰硕成果。一是开发了中等职业学校 88 个专业（类）职教师资本科培养资源项目，内容包括专业教师标准、专业教师培养标准、评价方案，以及一系列专业课程大纲、主干课程教材及数字化资源；二是取得了 6 项公共基础研究成果，内容包括职教师资培养模式、国际职教师资培养、教育理论课程、质量保障体系、教学资源中心建设和学习平台开发等；三是完成了 18 个专业大类职教师资资格标准及认证考试标准开发。上述成果共计 800 多种正式出版物。总体来说，培养资源开发项目实现了高效益：形成了一大批资源，填补了相关标准和资源的空白；凝聚了一支研发队伍，强化了教师培养的“校—企—校”协同；引领了一批高校的教学

改革，带动了“双师型”教师的专业化培养。职教师资培养资源开发项目是支撑专业化培养的一项系统化、基础性工程，是加强职教教师培养培训一体化建设的关键环节，也是对职教师资培养培训基地教师专业化培养实践、教师教育研究能力的系统检阅。

自 2013 年项目立项开题以来，各项目承担单位、项目负责人及全体开发人员做了大量深入细致的工作，结合职教教师培养实践，研发出很多填补空白、体现科学性和前瞻性的成果，有力推进了“双师型”教师专门化培养向更深层次发展。同时，专家指导委员会的各位专家以及项目管理办公室的各位同志，克服了许多困难，按照两部对项目开发工作的总体要求，为实施项目管理、研发、检查等投入了大量时间和心血，也为各个项目提供了专业的咨询和指导，有力地保障了项目实施和成果质量。在此，我们一并表示衷心的感谢。

编写委员会

2016 年 3 月

## 前 言

本教材是作者承担的教育部、财政部职业院校教师素质提高计划职教师资培养资源开发项目（电子信息工程专业，VTNE021）的研究成果之一。教材紧密结合职教师资本科电子信息工程专业教学对模拟电子技术基础知识的要求，在内容的选择上，既保证了基本理论的系统性和完整性，又突出了理论和实践相结合的现实一体化思想，体现了职教师资“理论够用即可”的职业教育特色，注重对电子信息工程专业准中职专业教师的实践能力、应用能力的培养和综合素质的提高。

教材内容在保证基本概念和基本理论体系完整、系统、有序的同时，突出知识的新颖性和实用性。每章设置的实训项目均为一些在人们日常生活中耳熟能详的电子技术实际应用案例，突出了电子技术的实践性和理论性紧密结合的特点。例题和习题的选择尽可能贴近实际应用，尽量减少过于复杂的分析与计算，根据职教师资的学生学情特点，力求拓展其知识面，增加信息量。

教材内容主要包括常用半导体器件、基本放大电路分析、负反馈放大电路和集成运算放大器的应用、功率放大电路、直流稳压电源等。在各章节内容的选择上，突出重点，注重实践性和应用性。

在章节的安排上，首先介绍常用半导体器件；然后将分立元件放大电路放在一章中，包括晶体管放大电路、场效应管放大电路、负反馈放大电路等，重点讲解各单元电路的结构、原理、分析方法、应用及设计思路，为模拟电子技术的基本应用夯实基础；接着又介绍了各种集成电路的应用，包括集成运算放大器组成的信号运算与处理电路、信号产生电路和直流稳压电源等；最后简要介绍 Multisim 仿真软件在电子电路分析与设计中的应用。

全书详略处理得当，例题、习题配置齐全，难易度适中，使得读者在学习过程中，既能体验理论知识的学习，又可完成实践能力的养成，满足电子信息工程专业准中职专业教师对模拟电子技术基础知识方面“专业性、职业性、师范性”三性融合的培养目标。

本书的使用对象是职教师资本科电子信息工程等专业及应用型大学各电子信息类专业的学生，期望学生通过理论学习与实训环节，培养从半导体器件认识到典型电路设

计性能测试的一看、二算、三选的能力。即能看懂典型电子设备的原理图，了解各部分的组成及工作原理，掌握对各个环节进行定性分析和定量估算的方法，初步具备对一般的电子电路设计能选定设计方案，确定器件，并能完成组装调试、测量等基本能力，为今后专业课程的学习和电子技术的应用打好基础。

本书由侯勇严确定编写架构和编写体例，并编写了第 2 章、第 3 章和第 4 章；由李天利编写第 1 章和第 7 章；由陈晓莉编写第 5 章；陈蓓和戴庆瑜编写了第 6 章和第 8 章。侯勇严负责全书的修改、补充和统稿。

本书在编写过程中，得到了电子工业出版社赵玉山老师的大力支持和鼓励，作者表示诚挚的感谢；项目组的多位同事参与了教材结构与呈现形式的讨论，提出了许多宝贵的意见和建议，也给予了不同形式的帮助和支持，在此一并表示衷心的感谢。

编著者

2016 年 3 月于陕西科技大学

# 目 录

|                              |      |
|------------------------------|------|
| 第 1 章 半导体器件 .....            | (1)  |
| 1.1 半导体基础知识 .....            | (2)  |
| 1.2 半导体二极管 .....             | (4)  |
| 1.2.1 半导体二极管的结构与类型 .....     | (4)  |
| 1.2.2 半导体二极管的特性与参数 .....     | (6)  |
| 1.2.3 二极管应用 .....            | (8)  |
| 1.3 半导体三极管 .....             | (12) |
| 1.3.1 三极管的结构、符号和类型 .....     | (12) |
| 1.3.2 三极管的电流放大作用 .....       | (15) |
| 1.3.3 三极管的共发射极特性曲线 .....     | (16) |
| 1.3.4 三极管的主要参数 .....         | (18) |
| 1.4 场效应管 .....               | (19) |
| 1.4.1 绝缘栅场效应管 .....          | (20) |
| 1.4.2 结型场效应管 .....           | (22) |
| 1.5 场效应管与三极管的应用特点 .....      | (23) |
| 复习与思考 .....                  | (24) |
| 习题 1 .....                   | (25) |
| 实训项目 .....                   | (27) |
| 项目 1 二极管与三极管的识别与测试 .....     | (27) |
| 项目 2 并联式稳压电路的制作与调试 .....     | (29) |
| 项目 3 LED 节能灯电路的制作与调试 .....   | (30) |
| 第 2 章 基本放大电路 .....           | (32) |
| 2.1 放大电路的主要性能指标 .....        | (32) |
| 2.2 放大电路的组成和工作原理 .....       | (36) |
| 2.2.1 放大电路的组成 .....          | (36) |
| 2.2.2 放大电路的工作原理 .....        | (37) |
| 2.3 放大电路的分析方法 .....          | (42) |
| 2.3.1 静态分析 .....             | (42) |
| 2.3.2 动态分析 .....             | (44) |
| 2.4 三种基本的晶体管放大电路 .....       | (50) |
| 2.4.1 静态工作点稳定的共射极放大电路 .....  | (51) |
| 2.4.2 共集电极放大电路和共基极放大电路 ..... | (55) |

|              |                     |       |
|--------------|---------------------|-------|
| 2.4.3        | 三种基本放大电路的性能比较       | (58)  |
| 2.4.4        | 改进型放大电路             | (58)  |
| 2.5          | 场效应管放大电路            | (61)  |
| 2.5.1        | 共源极放大电路             | (61)  |
| 2.5.2        | 共漏极和共栅极放大电路         | (63)  |
| 2.6          | 多级放大电路              | (64)  |
| 2.6.1        | 多级放大电路的耦合方式         | (65)  |
| 2.6.2        | 多级放大电路的分析方法         | (65)  |
| 2.7          | 放大电路的频率响应           | (68)  |
| 2.8          | 负反馈放大电路分析           | (71)  |
| 2.8.1        | 反馈的基本概念和分类          | (71)  |
| 2.8.2        | 负反馈对放大电路性能的影响       | (76)  |
|              | 复习与思考               | (79)  |
|              | 习题 2                | (80)  |
|              | 实训项目                | (83)  |
|              | 项目 1 共发射极放大电路的制作与调试 | (83)  |
|              | 项目 2 三极管构成的两级放大电路   | (88)  |
| <b>第 3 章</b> | <b>集成运算放大器</b>      | (92)  |
| 3.1          | 差分放大电路              | (92)  |
| 3.2          | 集成运算放大器基础           | (100) |
| 3.2.1        | 集成运算放大器概述           | (100) |
| 3.2.2        | 集成运算放大器内部电路简介       | (101) |
| 3.2.3        | 集成运算放大器的主要参数        | (103) |
| 3.3          | 集成运算放大器的选择与使用       | (105) |
| 3.3.1        | 集成运算放大器的种类与选用       | (105) |
| 3.3.2        | 输出调零与单电源供电          | (107) |
| 3.3.3        | 保护与相位补偿             | (108) |
| 3.4          | 集成运算放大器的基本应用        | (110) |
| 3.4.1        | 理想运算放大器的特点          | (110) |
| 3.4.2        | 反相放大与同相放大           | (111) |
| 3.4.3        | 加法运算与减法运算           | (113) |
| 3.4.4        | 积分运算与微分运算           | (115) |
| 3.5          | 有源滤波器               | (118) |
| 3.6          | 集成运算放大器实用电路举例       | (123) |
|              | 复习与思考               | (126) |
|              | 习题 3                | (126) |
|              | 实训项目                | (129) |

|                                 |              |
|---------------------------------|--------------|
| 项目 1 差分放大电路的测试 .....            | (129)        |
| 项目 2 运算放大器基本应用电路测试 .....        | (133)        |
| 项目 3 音频前置放大电路设计与制作 .....        | (136)        |
| <b>第 4 章 波形的产生、变换与处理 .....</b>  | <b>(141)</b> |
| 4.1 正弦波信号发生器 .....              | (141)        |
| 4.1.1 RC 正弦波振荡电路 .....          | (144)        |
| 4.1.2 LC 正弦波信号发生器 .....         | (147)        |
| 4.2 电压比较器 .....                 | (152)        |
| 4.3 方波、三角波信号发生器 .....           | (155)        |
| 复习与思考 .....                     | (158)        |
| 习题 4 .....                      | (158)        |
| 实训项目 .....                      | (161)        |
| RC 正弦波振荡器制作与调试 .....            | (161)        |
| <b>第 5 章 功率放大电路 .....</b>       | <b>(164)</b> |
| 5.1 互补功率放大电路 .....              | (164)        |
| 5.1.1 功率放大电路的主要特点 .....         | (164)        |
| 5.1.2 互补对称功率放大器 .....           | (166)        |
| 5.1.3 单电源互补对称功率放大器 .....        | (168)        |
| 5.2 集成功率放大器 .....               | (169)        |
| 5.3 功率放大电路的安全运行 .....           | (173)        |
| 5.3.1 功放管的散热和安全使用 .....         | (173)        |
| 5.3.2 功率放大器的保护 .....            | (175)        |
| 复习与思考 .....                     | (175)        |
| 习题 5 .....                      | (175)        |
| 实训项目 .....                      | (179)        |
| 项目 1 小功率集成功率放大电路的制作与调试 .....    | (179)        |
| 项目 2 50W 音频功率放大器分析与制作 .....     | (182)        |
| <b>第 6 章 直流稳压电源 .....</b>       | <b>(184)</b> |
| 6.1 直流稳压电源介绍 .....              | (184)        |
| 6.1.1 整流电路 .....                | (185)        |
| 6.1.2 滤波电路 .....                | (189)        |
| 6.1.3 稳压电路 .....                | (191)        |
| 6.2 三端集成稳压器 .....               | (195)        |
| 6.3 开关电源 .....                  | (197)        |
| 6.3.1 串联型开关稳压电源的基本结构与工作原理 ..... | (198)        |
| 6.3.2 并联型开关稳压电源的基本结构与工作原理 ..... | (199)        |
| 复习与思考 .....                     | (201)        |

|                                    |       |
|------------------------------------|-------|
| 习题 6 .....                         | (201) |
| 实训项目 .....                         | (203) |
| 5V 直流稳压电源制作与调试 .....               | (203) |
| <b>第 7 章 电子信息系统的综合</b> .....       | (206) |
| 7.1 传感器简介 .....                    | (206) |
| 7.2 信号调理电路 .....                   | (209) |
| 7.2.1 信号调理电路简介 .....               | (209) |
| 7.2.2 信号调理电路技术 .....               | (209) |
| 实训项目 .....                         | (211) |
| 简易电子秤电路的安装调试 .....                 | (211) |
| <b>第 8 章 现代电子电路分析与设计技术介绍</b> ..... | (217) |
| <b>参考文献</b> .....                  | (228) |

# 第 1 章 半导体器件

## 学习指导

本章首先介绍半导体的特性，在此基础上介绍本征半导体、两种杂质半导体（P 型半导体和 N 型半导体）的特性，应掌握 PN 结及其单向导电性，这些与二极管和三极管的特性有密切联系。

分析二极管电路时主要是确定它在不同工作条件下的模型。在学习本章时，必须理解半导体器件的工作原理、结构、伏安关系和主要参数，这样才能正确理解与应用。本章是全书的重要内容之一。

## 教学目标

(1) 理解半导体中电子和空穴两种载流子，半导体的导电特性与温度、光照等因素密切相关。

(2) 理解在纯净的半导体（本征半导体）中掺入不同杂质，可以得到两种杂质半导体：P 型半导体和 N 型半导体。P 型半导体中空穴是多数载流子，电子是少数载流子；N 型半导体中电子是多数载流子，空穴是少数载流子。

(3) 理解晶体二极管的构成。它是由一个 PN 结构成的，其最主要的特性是单向导电性，即加正向电压时二极管导通，加反向电压时二极管截止。该特性可由二极管特性曲线准确描述。选用二极管必须考虑最大整流电流、最高反向工作电压两个主要参数，高频工作时还应考虑最高工作频率。

(4) 理解稳压二极管工作于反向击穿状态才能起稳压作用。这时，即使流过稳压二极管的电流在很大范围内变化，其两端的电压也几乎不变。为了保证反向电流不超过允许范围，必须在电路中串接限流电阻。

(5) 理解三极管是一种电流控制器件，它有两个 PN 结，即发射结和集电结。三极管在发射结正偏、集电结反偏的条件下，具有电流放大作用；在发射结与集电结均反偏时，处于截止状态，相当于开关断开；在发射结和集电结均正偏时，处于饱和状态，相当于开关闭合。三极管的放大功能和开关功能在实际电路中都有广泛的应用。

(6) 理解三极管的特性曲线反映了三极管各极之间电流与电压的关系。

(7) 理解场效应管是一种电压控制器件，理解场效应管的特性曲线反映了场效应管各极之间电流与电压的关系。

## 1.1 半导体基础知识

### 1. 半导体的概念

物质按导电能力的强弱可分为导体、绝缘体和半导体三大类。半导体的导电能力介于导体和绝缘体之间。硅（Si）和锗（Ge）是最常用的半导体材料。

半导体之所以得到广泛的应用，是因为它的导电能力随着掺入杂质及温度、光照等条件的变化会发生很大的变化。人们正是利用它的这些特点制成了多种性能的电子元件，如半导体二极管、半导体三极管、场效应管、集成电路、热敏元件、光敏元件等。由于用作半导体材料的硅和锗必须是原子排列完全一致的单晶体，所以半导体管通常也称为晶体管。

### 2. 本征半导体

本征半导体即纯净的单晶半导体，其内部存在数量相等的两种载流子：一种是自由电子；另一种是自由电子逸出后形成的空穴。自由电子带负电，空穴带正电。在常温下，这两种载流子的数量都很少，所以本征半导体的导电性能很差。当温度升高或光照强度增强时，载流子数量增多，本征半导体的导电性也随之增强。

### 3. 杂质半导体

在纯净半导体（本征半导体）中掺入微量合适的杂质元素，可使半导体的导电能力大大增强。按掺入的杂质元素不同，杂质半导体可分为两类。

#### 1) N型半导体

N型半导体又称为电子型半导体，其内部自由电子数量多于空穴数量，即自由电子是多数载流子（简称多子），空穴是少数载流子（简称少子）。例如，在单晶硅中掺入微量磷元素，可得到N型硅。“N”表示负电的意思，取自英文 negative（负的）第一个字母。

#### 2) P型半导体

P型半导体又称为空穴型半导体，其内部空穴是多数载流子，自由电子是少数载流子。例如，在单晶硅中掺入微量硼元素，可得到P型硅。“P”表示正电的意思，取自英文 positive（正的）第一个字母。

在杂质半导体中，多数载流子起主要导电作用。由于多数载流子的数量取决于掺杂浓度，因而它受温度的影响较小；而少数载流子对温度非常敏感，这将影响半导体的性能。

4. PN 结

1) PN 结的形成

在一块完整的晶片上,通过一定的掺杂工艺,一边形成 P 型半导体,另一边形成 N 型半导体。

在界面两侧形成了一个带异性电荷的离子层,称为空间电荷区,它产生了内电场,其方向是从 N 区指向 P 区,内电场的建立阻碍了多数载流子的扩散运动,随着内电场的加强,多子的扩散运动逐步减弱,直至停止,使界面形成一个稳定的特殊的薄层,即 PN 结。因为在空间电荷区内多数载流子已扩散到另一方并被复合掉了,或者说消耗尽了,因此空间电荷区又称为耗尽层。

2) PN 结的单向导电特性

在 PN 结两端外加电压,称为给 PN 结以偏置电压。

(1) PN 结正向偏置。

给 PN 结加正向偏置电压,即 P 区接电源正极, N 区接电源负极,此时称 PN 结为正向偏置(简称正偏),如图 1.1 所示。由于外加电源产生的外电场的方向与 PN 结产生的内电场方向相反,削弱了内电场,使 PN 结变薄,因此有利于两区多数载流子向另一方扩散,形成正向电流,此时 PN 结处于正向导通状态。

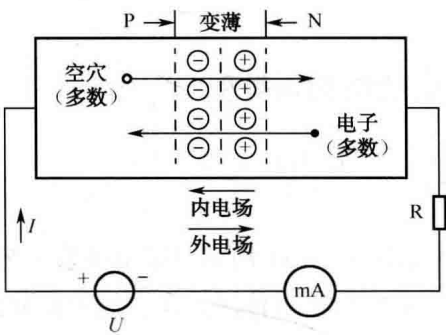


图 1.1 PN 结加正向电压

(2) PN 结反向偏置。

给 PN 结加反向偏置电压,即 N 区接电源正极, P 区接电源负极,称 PN 结反向偏置(简称反偏),如图 1.2 所示。

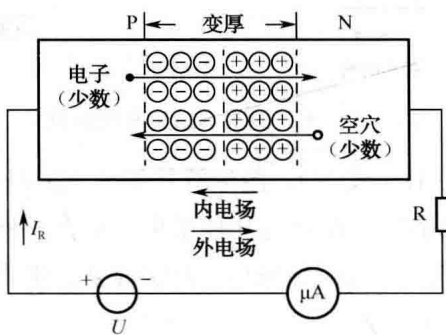


图 1.2 PN 结加反向电压

由于外加电场与内电场的方向一致，因而加强了内电场，使 PN 结加宽，阻碍了多子的扩散运动。在外电场的作用下，只有少数载流子形成的很微弱的电流，称为反向电流。

应当指出，少数载流子是由于热激发产生的，因而 PN 结的反向电流受温度影响很大。

综上所述，PN 结具有单向导电性，即加正向电压时导通，加反向电压时截止。

### 5. PN 结应用

应用 PN 结可以制作多种半导体器件，按照 PN 结的数量可以分为单 PN 结、双 PN 结及三 PN 结。

(1) 用单 PN 结制作的半导体器件有普通二极管、稳压二极管、变容二极管、发光二极管、光电二极管、肖特基二极管等。

(2) 用双 PN 结制作的半导体器件有双极型晶体管、结型场效应管等。

(3) 用三 PN 结制作的半导体器件有晶闸管等。

## 1.2 半导体二极管

### 1.2.1 半导体二极管的结构与类型

#### 1. 二极管的结构和符号

晶体二极管的基本结构如图 1.3 (a) 所示。采用掺杂工艺，使硅或锗晶体的一边形成 P 型半导体区，另一边形成 N 型半导体区，在它们的交界面就形成了 PN 结。将 PN 结用外壳封装起来，并加上电极引线就构成了晶体二极管，简称二极管。从 P 区引出的电极为正极，从 N 区引出的电极为负极。通常在外壳上都印有标志以便区分正、负电极。



图 1.3 二极管的基本结构和图形符号

二极管的文字符号为 VD (或 V)。图形符号如图 1.3 (b) 所示，图中箭头指向为二极管正向电流的方向。如图 1.4 所示为几种常见二极管的外形。如图 1.5 所示为两种特殊的片状二极管封装形式，它具有体积小、形状规整、便于自动化装配等优点，目前得到广泛的应用。