

高等职业教育电子技术技能培养规划教材

Gaodeng Zhiye Jiaoyu Dianzi Jishu Jineng Peiyang Guihua Jiaocai

模拟电子技术 应用基础

赵景波 主编 于亦凡 朱海斌 副主编



The Basis of Analog Electronic Technique Application

降低理论难度，内容通俗易懂

反映先进技术，贴近学科前沿

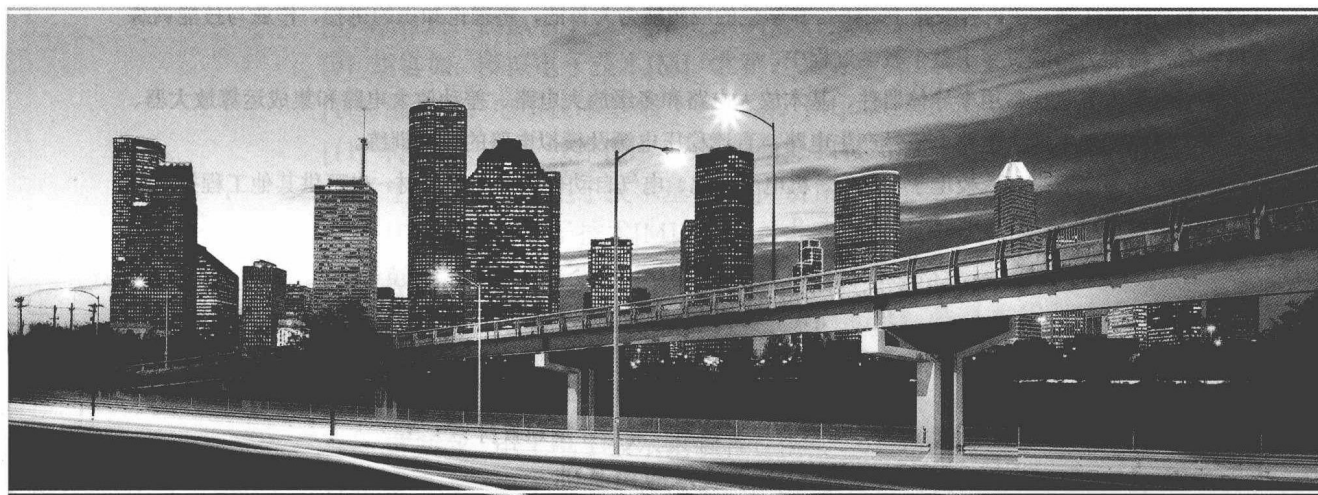
提供丰富资源，培养实用技能

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

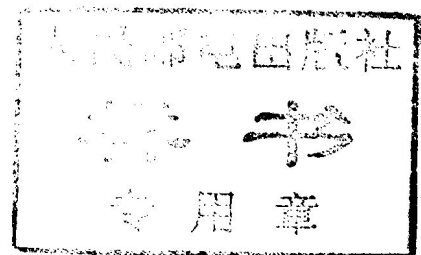
高等职业教育电子技术技能培养规划教材
Gaodeng Zhiye Jiaoyu Dianzi Jishu Jineng Peiyang Guihua Jiaocai

模拟电子技术 应用基础

赵景波 主编 于亦凡 朱海斌 副主编



The Basis of Analog Electronic
Technique Application



人民邮电出版社
北京

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术应用基础 / 赵景波主编. — 北京 : 人民邮电出版社, 2009. 10

高等职业教育电子技术技能培养规划教材
ISBN 978-7-115-21386-0

I. ①模… II. ①赵… III. ①模拟电路—电子技术—高等学校: 技术学校—教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第175875号

内 容 提 要

本书以现代模拟电子技术的基本知识、基本理论为主线,将模拟电子技术的基本理论与各种新技术有机结合在一起;以应用为目的,在保证科学性的前提下,从工程观点考虑,删繁就简,使理论分析重点突出、概念清楚、实用性强。在内容安排上,以培养学生的应用能力为目的,将理论知识的讲授、作业与技能训练有机结合,将能力培养贯穿于整个教学过程中。

本书主要内容包括常用半导体器件、基本放大电路和多级放大电路、差动放大电路和集成运算放大器、反馈放大电路、功率放大电路、信号产生电路、直流稳压电源及模拟电路的综合训练。

本书可作为高职高专院校电子、通信、机电一体化、电气自动化等专业的教材,也可供其他工程技术或维修人员参考使用。

高等职业教育电子技术技能培养规划教材

模拟电子技术应用基础

-
- ◆ 主 编 赵景波
副 主 编 于亦凡 朱海斌
责任编辑 赵慧君
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京鑫正大印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787 × 1092 1/16
印张: 15.5
字数: 378千字
印数: 1—3 000册
- 2009年10月第1版
2009年10月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-21386-0

定价: 26.00元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

前 言

高职高专教育培养的人才是面向生产、管理第一线的技术型人才，基础课程的教学应以必需、够用为原则，以掌握概念、强化应用为教学重点，注重岗位能力的培养。本书在编写的过程中按照“保证基础知识，突出基本概念，注重技能训练，强调理论联系实际，加强实践性教学环节”的原则，力求避免复杂的数学推导和计算。

本书具有以下特点。

(1) 内容适度、易懂。在内容取舍方面，一是把握了基础理论以必需和够用为度；二是力求体现电子技术发展的最新情况。在进行理论分析时，简化理论推导，注重分析方法、结论及其应用。全书配有大量的图解分析，让学生易学、易懂。

(2) 注重实用性。为培养学生的动手能力和加强职业训练，本书专门编写了实验和实训。通过实验、实训，一方面使学生搞清楚模拟电路的原理；另一方面，使学生感性认识电子元器件、掌握电子线路分析和设计等知识，提前得到一定的职业技能训练。

(3) 书中总结了近年来的教学实践经验，突出电子技术理论的应用和分析，同时也汲取了国内外的先进技术，强调线性集成电路的原理和应用。

(4) 为了方便学生自学和复习，书中每章都有本章学习目标、小结和习题。

(5) 本书配有丰富的教学资源，教师可登录人民邮电出版社教学服务与资源网 (<http://www.ptpedu.com.cn>) 下载。

在讲授本书内容时，可根据实际情况做适当增减（见学时分配建议表）。

章 节	课 程 内 容	学 时 分 配	
		讲 授	实 训
第 1 章	常用半导体器件	6	2
第 2 章	基本放大电路和多级放大电路	8	2
第 3 章	差动放大电路和集成运算放大器	8	2
第 4 章	反馈放大电路	4	2
第 5 章	功率放大电路	4	2
第 6 章	信号产生电路	4	2
第 7 章	直流稳压电源	4	4
第 8 章	模拟电路的综合训练	2	8
课时总计		40	24

本书由赵景波主编，于亦凡、朱海斌任副主编，参加本书编写工作的还有沈精虎、黄业清、宋一兵、谭雪松、向先波、冯辉、郭英文、计晓明、田晓芳、董彩霞、郝庆文、滕玲。

由于作者水平有限，书中难免存在疏漏之处，敬请广大读者批评指正。

编者
2009年7月

目 录

第 1 章 常用半导体器件 1	2.2.1 放大电路的静态分析..... 33
1.1 半导体的基本知识..... 1	2.2.2 放大电路的动态分析..... 35
1.1.1 半导体的定义及分类..... 1	2.2.3 图解分析与微变等效电路 分析比较..... 38
1.1.2 PN 结及其导电性..... 2	2.3 放大电路工作点稳定..... 39
1.2 二极管..... 4	2.3.1 工作点稳定电路的组成及 稳定 Q 的原理..... 39
1.2.1 二极管的结构及符号..... 4	2.3.2 工作点稳定电路的分析..... 39
1.2.2 二极管的特性..... 5	2.4 共集电极和共基极放大电路..... 40
1.2.3 二极管的主要参数..... 6	2.4.1 共集电极放大电路..... 40
1.2.4 二极管的应用电路..... 7	2.4.2 共基极放大电路..... 41
1.3 三极管..... 8	2.4.3 三种基本放大电路的比较..... 42
1.3.1 三极管的结构、分类及型号..... 8	2.5 场效应管放大电路..... 42
1.3.2 三极管的放大原理..... 10	2.5.1 场效应管放大电路的构成..... 42
1.3.3 三极管的特性..... 11	2.5.2 场效应管放大电路的分析..... 43
1.3.4 三极管的主要参数..... 12	2.6 多级放大电路..... 45
1.4 场效应管..... 13	2.6.1 多级放大电路的组成..... 45
1.4.1 结型场效应管..... 13	2.6.2 多级放大电路的级间耦合 方式..... 45
1.4.2 绝缘栅型场效应管..... 15	2.6.3 多级放大电路的分析..... 47
1.4.3 场效应管的使用..... 16	2.7 知识拓展..... 48
1.4.4 场效应管和三极管..... 17	2.7.1 放大电路的频率响应..... 48
1.5 知识拓展..... 17	2.7.2 放大电路的实际应用电路..... 52
1.5.1 二极管电路的识图..... 17	2.7.3 三极管放大电路的识图..... 54
1.5.2 半导体器件型号命名方法及 各部分的意义..... 18	2.8 实训 单管电压放大电路组装与 调试..... 55
1.6 实训 半导体器件的识别和测试..... 19	小结..... 57
小结..... 26	习题..... 58
习题..... 26	第 3 章 差动放大电路和集成运算 放大器 61
第 2 章 基本放大电路和多级放大电路 29	3.1 差动放大电路..... 61
2.1 基本共发射极放大电路..... 29	3.1.1 直流放大电路的问题..... 61
2.1.1 三极管放大电路中的三种 方式..... 29	3.1.2 差动放大电路的基本形式..... 62
2.1.2 基本共发射极放大电路的组 成和工作原理..... 29	3.1.3 差动放大电路的输入、输出
2.1.3 放大电路的主要性能指标..... 32	
2.2 基本放大电路的分析方法..... 33	



方式.....	65	4.1.2 反馈放大电路的表达式.....	102
3.1.4 差动放大电路的应用.....	66	4.2 反馈的类型及其判定方法.....	102
3.2 集成运算放大器.....	68	4.3 负反馈对放大电路性能的影响.....	107
3.2.1 集成电路的基本知识.....	68	4.4 深度负反馈放大电路.....	111
3.2.2 集成运算放大器的组成.....	69	4.4.1 深度负反馈放大电路的特点.....	111
3.2.3 集成运算放大器的理想模型 和基本特点.....	70	4.4.2 深度负反馈放大电路的估算.....	111
3.2.4 集成运算放大器的主要技术 指标.....	71	4.5 负反馈放大电路的应用.....	112
3.3 集成运算放大器的基本单元 电路.....	72	4.6 知识拓展 负反馈放大电路的 识图.....	114
3.3.1 反相比例运算电路.....	72	4.7 实验 单级负反馈放大电路的 测试.....	115
3.3.2 同相比例运算电路.....	73	小结.....	117
3.3.3 反相输入加法电路.....	74	习题.....	117
3.3.4 减法运算电路.....	74	第5章 功率放大电路	121
3.3.5 积分电路.....	75	5.1 功率放大电路的基本概念.....	121
3.3.6 微分电路.....	76	5.1.1 功率放大电路的特点及 要求.....	121
3.4 集成运算放大器信号处理电路.....	76	5.1.2 功率放大电路工作状态的 分类.....	122
3.4.1 有源滤波器.....	76	5.2 几种常见的功率放大电路.....	123
3.4.2 电压比较器.....	79	5.2.1 OCL 乙类互补对称功率放大 电路.....	123
3.5 集成运放的实际应用电路.....	82	5.2.2 OCL 甲乙类互补对称功率 放大电路.....	127
3.6 集成芯片的封装识别及使用.....	82	5.2.3 单电源互补对称电路.....	128
3.6.1 集成芯片的封装及识别.....	82	5.2.4 采用复合管的互补对称功率 放大电路.....	129
3.6.2 特殊集成运算放大电路.....	84	5.3 集成功率放大电路及其应用.....	130
3.6.3 集成运算放大电路的保护与 使用.....	85	5.4 知识拓展.....	132
3.7 知识拓展.....	86	5.4.1 集成功率放大电路的识图.....	132
3.7.1 集成运算放大器的单元电路 识图.....	86	5.4.2 D类功率放大器.....	134
3.7.2 集成电路器件命名及集成运 算放大器型号知识.....	88	5.4.3 TDA2030A 音频集成功率 放大器.....	135
3.8 实验 集成运算放大电路功能 测试.....	89	5.5 实验 集成功率放大器的应用.....	137
3.9 实训 集成运算放大器参数测试.....	93	5.6 实训 OTL 电路的组装、调试与 测量.....	138
小结.....	98	小结.....	140
习题.....	98	习题.....	140
第4章 反馈放大电路	101	第6章 信号产生电路	145
4.1 反馈的基本概念.....	101		
4.1.1 反馈放大电路的方框图.....	101		



6.1 正弦波振荡电路·····	145	7.8.1 焊接训练·····	179
6.1.1 正弦波振荡电路的基本 概念·····	145	7.8.2 串联型稳压电源的制作·····	180
6.1.2 LC 正弦波振荡电路·····	147	小结·····	183
6.1.3 RC 正弦波振荡电路·····	149	习题·····	183
6.1.4 石英晶体振荡器·····	151	第 8 章 模拟电路的综合训练 ·····	186
6.2 正弦波振荡电路的应用·····	152	8.1 模拟电路识图·····	186
6.3 非正弦信号发生器·····	153	8.1.1 单元电路识图·····	186
6.3.1 矩形波发生器·····	153	8.1.2 整机电路识图·····	187
6.3.2 三角波发生器·····	154	8.1.3 集成电路的应用电路识图·····	188
6.3.3 锯齿波发生器·····	155	8.1.4 修理识图·····	190
6.4 知识拓展·····	156	8.1.5 模拟电路识图的应用·····	191
6.4.1 信号产生电路的识图·····	156	8.2 模拟电路调试·····	192
6.4.2 集成函数发生器 8038 简介·····	157	8.2.1 模拟电路调试的步骤·····	193
6.5 实训 RC 桥式振荡电路的调试与 测量·····	159	8.2.2 模拟电路调试的注意 事项·····	194
小结·····	161	8.3 模拟电路故障的诊断与排除·····	195
习题·····	162	8.3.1 故障诊断与排除的一般 步骤·····	195
第 7 章 直流稳压电源 ·····	165	8.3.2 模拟电路的故障分类·····	196
7.1 单相整流电路·····	165	8.3.3 模拟电路故障查找的常用 方法·····	196
7.1.1 单相半波整流电路·····	165	8.3.4 电子节能灯电路的维修·····	198
7.1.2 单相桥式整流电路·····	166	8.4 综合实训·····	200
7.2 滤波电路·····	168	8.4.1 指针式万用表的装配与故障 排除·····	200
7.2.1 电容滤波电路·····	169	8.4.2 超外差式收音机的组装、调试 与维修·····	204
7.2.2 电感滤波电路·····	170	小结·····	209
7.3 稳压电路·····	170	附录 A EWB 软件简介及简单应用 ·····	210
7.3.1 硅稳压管稳压电路·····	170	附录 B 常用二极管参数 ·····	219
7.3.2 串联型稳压电路·····	171	附录 C 常用晶体管参数 ·····	224
7.4 集成稳压器·····	172	附录 D 常用运算放大器型号及功能 ·····	226
7.4.1 固定式三端集成稳压器·····	172	附录 E 常用电压比较器 ·····	228
7.4.2 可调式三端集成稳压器·····	173	附录 F 常用电源芯片 ·····	232
7.5 开关稳压电源·····	174	附录 G 常用场效应管参数 ·····	236
7.6 知识拓展·····	175	附录 H 国际和欧洲半导体元器件型号 命名方法 ·····	239
7.6.1 直流稳压电源电路的识图·····	175	参考文献 ·····	241
7.6.2 常用集成稳压器型号与性能 指标·····	176		
7.7 实验 三端集成稳压器的应用·····	177		
7.8 实训·····	179		

第 1 章

常用半导体器件

半导体器件是现代电子技术的重要组成部分，具有体积小、质量轻、使用寿命长、功率转换效率高等优点，因而得到了广泛应用。

本章学习目标

- 了解半导体的基本知识，理解 PN 结的单向导电性。
- 掌握二极管的电路符号和特性，理解二极管的应用，了解其他类型的二极管。
- 掌握三极管的电路符号、放大作用及伏安特性，了解三极管的主要参数。
- 了解场效应管的结构、电路符号、伏安特性和主要参数，掌握场效应管的使用。

1.1 半导体的基本知识

自然界中的物质按导电能力强弱的不同，可分为导体、绝缘体和半导体三大类。下面将介绍半导体的基本知识。

1.1.1 半导体的定义及分类

半导体是导电能力介于导体和绝缘体之间的物质。常用的半导体材料有锗 (Ge)、硅 (Si) 和砷 (As) 等。完全纯净的、不含杂质的半导体叫做本征半导体。如果在本征半导体中掺入其他元素，则称为杂质半导体。

本征半导体有两种导电的粒子，一种是带负电荷的自由电子，另一种是相当于带正电荷的粒子——空穴。自由电子和空穴在外电场的作用下都会定向移动形成电流，所以人们把它们统称为载流子。在本征半导体中，每产生一个自由电子，必然会有一个空穴出现，自由电子和空穴成对出现，这种物理现象称为本征激发，如图 1-1 所示。由于常温下本征激发产生的自由电子和空穴的数目很少，所以本征半导体的导电性能比较差。但当温度升高或光照增强时，本征半导体内的自由电子运动加剧，载流子数目增多，导电性能提高，这就是半导体的热敏特性和光敏特性。在本征半导体中掺入微量元素后，导电性能会大幅提高，这就是半导体的掺杂特性。在本征半导体中掺入不同的微量元素，就会得到导电性质不同的半导体材料。根据掺杂特性的不同，可制成两大类型的杂质半导体，即 P 型半导体和 N 型半导体。

1. P 型半导体

如果在本征半导体硅或锗的晶体中掺入微量三价元素硼 (或镓、铟等)，半导体内部空穴的数量将得到成千上万倍的增加，导电能力也将大幅提高，这类杂质半导体称为 P 型半导体，



也称为空穴型半导体，其结构示意图如图 1-2 所示。在 P 型半导体中，空穴成为半导体导电的多数载流子，自由电子为少数载流子。就整块半导体来说，它既没有失去电子也没有得到电子，所以呈电中性。

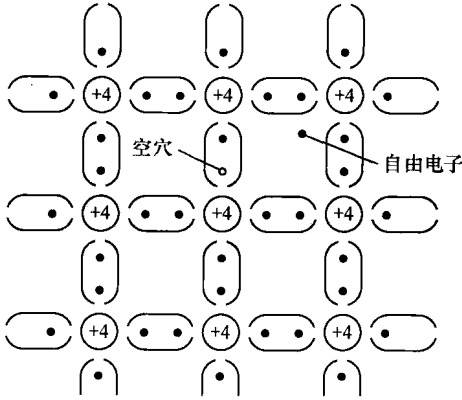


图 1-1 空穴与自由电子

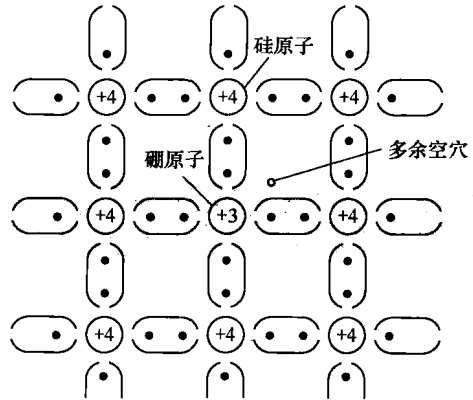


图 1-2 P 型半导体结构示意图

2. N 型半导体

如果在本征半导体硅或锗的晶体中掺入微量五价元素磷（或砷、锑等），半导体内部的自由电子的数量将增加成千上万倍，导电能力也将大幅提高，这类杂质半导体称为 N 型半导体，也称为电子型半导体，其结构示意图如图 1-3 所示。在 N 型半导体中，自由电子成为半导体导电的多数载流子，空穴成为少数载流子。就整块半导体来说，它同样既没有失去电子也没有得到电子，所以也呈电中性。

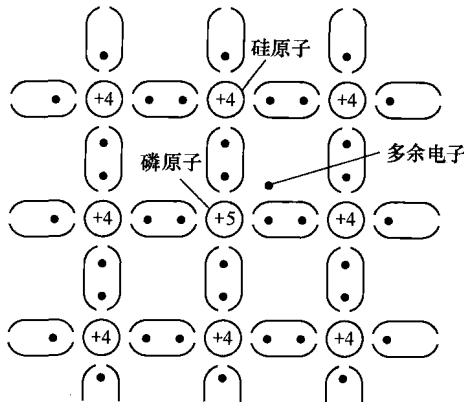


图 1-3 N 型半导体结构示意图

1.1.2 PN 结及其导电性

把一块 P 型半导体和一块 N 型半导体设法“结合起来”，在交界面处将形成一个特殊的带电薄层——PN 结。

P 型半导体中的多数载流子（空穴）和 N 型半导体中的多数载流子（电子）因浓度差将发生扩散，结果使 PN 结中靠 P 区的一侧带负电，靠 N 区的一侧带正电，形成了一个由 N 区



指向 P 区的电场，即 PN 结的内电场。内电场的存在将阻碍多数载流子继续扩散，所以又称为阻挡层，如图 1-4 所示。

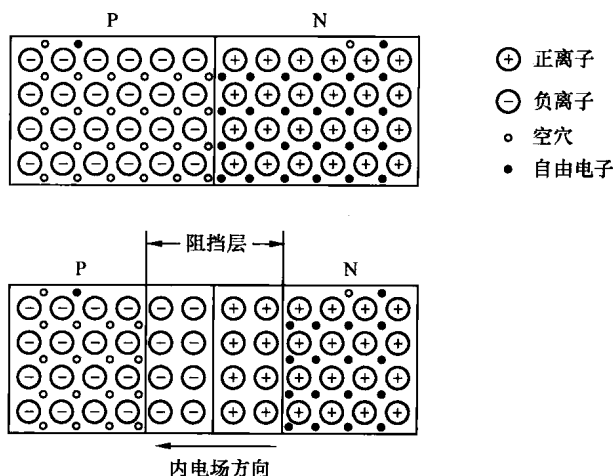


图 1-4 PN 结的形成

1. 正向偏置

在 PN 结两端加上电压，称为给 PN 结偏置。如果将 P 区接电源正极，N 区接电源负极，称为正向偏置，如图 1-5 所示。此时，外加电压对 PN 结产生的外电场与 PN 结的内电场方向相反，削弱了内电场及内电场对多数载流子扩散的阻碍作用，使扩散继续进行，形成较大的扩散电流，由 P 区流向 N 区，即在 PN 结内、外电路中形成了正向电流，这种现象称为 PN 结的正向导通。

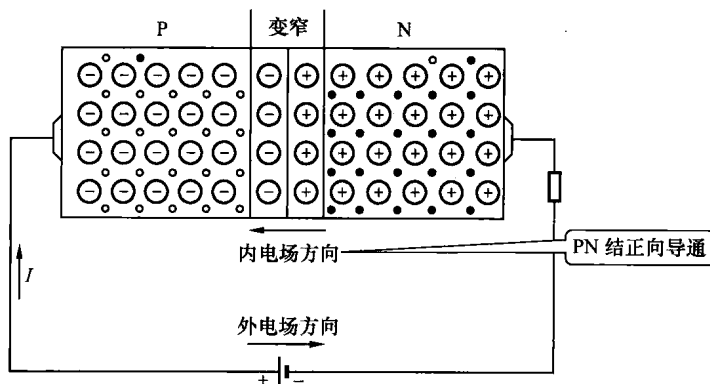


图 1-5 PN 结加正向电压

2. 反向偏置

如果 P 区接负极，N 区接正极，则称为反向偏置，简称反偏，如图 1-6 所示。此时，内外电场的方向相同，加强了内电场，也加强了内电场对多数载流子扩散的阻碍作用，反向电流极小，这种现象称为 PN 结的反向截止。

总之，PN 结加正向电压时，形成较大的电流，称为导通状态；加反向电压时，有很小的反向电流，称为截止状态。可见 PN 结具有单向导电性。



当 PN 结两端施加的反向电压增加到一定值时，反向电流急剧增大，称为 PN 结的反向击穿。如果反向电压电流未超过允许值，当反向电压撤除后，PN 结仍能恢复单向导电性；如果反向电压电流超出允许值，会使 PN 结烧坏而造成热击穿。这时，即使撤除反向电压，PN 结也不能恢复单向导电性。

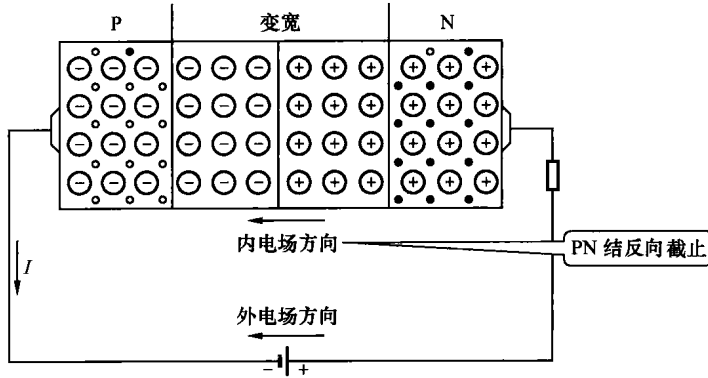


图 1-6 PN 结加反向电压

1.2 二极管

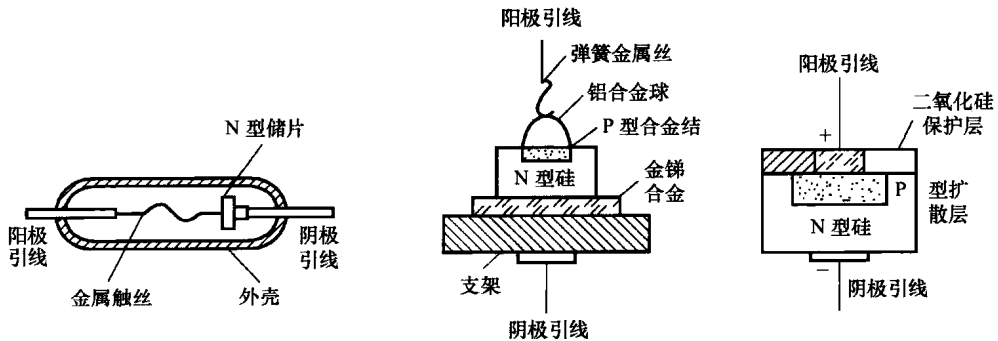
在 PN 结两端分别引出一个电极，外加管壳即构成晶体二极管，又称为半导体二极管，简称二极管。

1.2.1 二极管的结构及符号

按照内部结构的不同，二极管可分为点接触型二极管和面接触型二极管。

点接触型二极管的结构如图 1-7 (a) 所示，其特点是 PN 结的面积小、允许通过的电流小、结电容小，一般用作高频信号的检波和小电流的整流，也可用作脉冲电路的开关管。

面接触型二极管的结构如图 1-7 (b) 所示，其特点是 PN 结的面积大、能承受较大的电流、结电容大，主要用于低频电路和大功率的整流电路。



(a) 点接触型二极管的结构

(b) 面接触型二极管的结构

图 1-7 二极管的结构类型

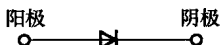


图 1-8 二极管的电路符号

二极管的电路符号如图 1-8 所示。P 型半导体一端的电极称为阳极（正极），N 型的一端称为阴极（负极）。根据所用半导体材料

的不同，二极管可分为硅二极管和锗二极管。

1.2.2 二极管的特性

由于二极管是将P型和N型半导体结合在一起做成PN结，再封装起来构成的，所以二极管本身就是一个PN结，具有单向导电性，如图1-9和1-10所示。

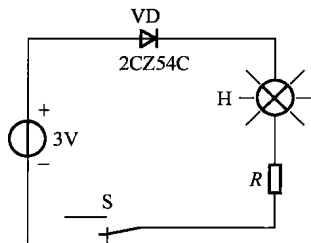


图 1-9 二极管正向导通

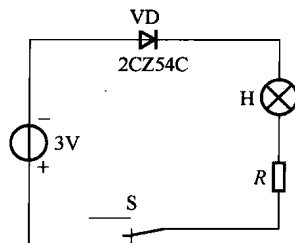


图 1-10 二极管反向截止

二极管的伏安特性是表示二极管两端的电压和流过它的电流之间关系的曲线，可用于说明二极管的工作情况。图1-11所示为锗二极管2CP10的伏安特性。

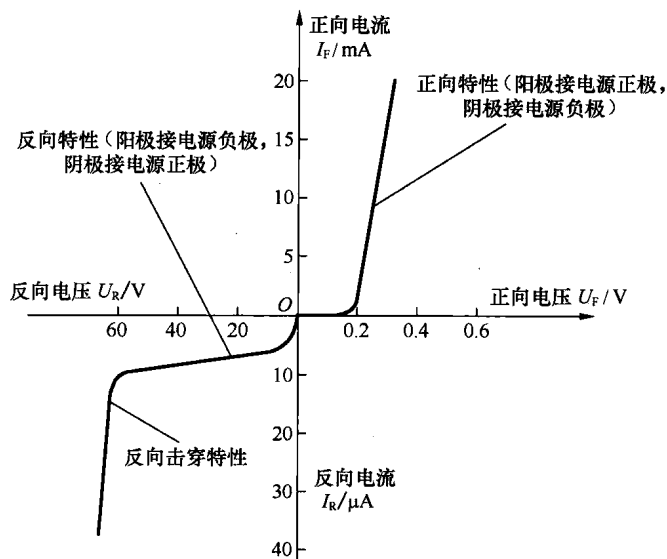


图 1-11 锗二极管 2CP10 的伏安特性

1. 正向特性

二极管的正向电压很小，但流过管子的电流却很大，因此管子的正向电阻很小。当所加正向电压较小时，正向电流很小，几乎为零。只有当电压超过某一值时，电流才显著增大，这一电压值常被称为死区电压或阈电压。常温下，硅二极管的死区电压约为0.5V，锗二极管的死区电压约为0.1V。

2. 反向特性

当二极管两端加反向电压时，反向电流很小，这个区域称为反向截止区。当电压增至零点几伏后，电流达到饱和，称为反向饱和电流或反向漏电流。反向饱和电流是衡量二极管质量优劣的重要参数，其值越小，二极管质量越好，一般硅管的反向电流要比锗管的反向电流



小得多。

3. 反向击穿特性

当反向电压继续增加到某一值时，电流将急剧增大，这种现象称为二极管的反向击穿，这时加在二极管两端的电压叫做反向击穿电压。如果反向电压和电流超过允许值而又不采取保护措施，将会导致二极管热击穿而损坏。二极管被击穿后，一般不能恢复性能，所以在使用二极管时，一定要保证反向电压小于反向击穿电压。

1.2.3 二极管的主要参数

二极管的主要参数如表 1-1 所示。

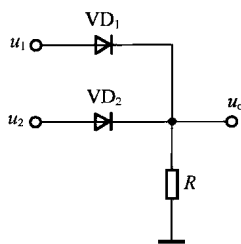
表 1-1 二极管的主要参数

参 数	名 称	说 明
I_F	最大整流电流	二极管长期运行时，允许通过的最大正向平均电流，其大小与二极管内 PN 结的面积和外部的散热条件有关。二极管工作时若超过 I_F ，将会因过热而烧坏
I_R	反向漏电流	指室温下加反向规定电压时流过的反向电流， I_R 越小管子的单向导电性越好，其大小受温度影响越大。硅二极管的反向电流一般在纳安 (nA) 级；锗二极管在微安 (μA) 级
U_R	最高反向工作电压	允许长期加在两极间反向的恒定电压值。为保证管子安全工作，通常取反向击穿电压的一半作为 U_R ，工作实际值不超过此值
U_B	反向击穿电压	发生反向击穿时的电压值
f_m	最高工作频率	二极管所能承受的最高频率，主要受到 PN 结的结电容限制，通过 PN 结的交流电频率高于此值，二极管将不能正常工作

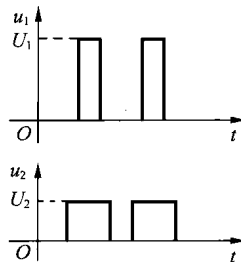
【例 1-1】 由两个二极管构成的电路如图 1-12 (a) 所示，输入信号 u_1 和 u_2 的波形如图 1-12 (b) 所示。忽略二极管的管压降，画出输出电压 u_o 的波形。

解

- ① 当 $u_1=0$ ， $u_2=0$ 时， VD_1 、 VD_2 均截止， $u_o=0$ 。
- ② 当 $u_1=0$ ， $u_2=U_2$ 时， VD_1 截止、 VD_2 导通， $u_o=U_2$ 。
- ③ 当 $u_1=U_1$ ， $u_2=U_2$ 时，因为 $U_1>U_2$ ，所以 VD_1 导通、 VD_2 截止， $u_o=U_1$ 。
- ④ u_o 波形如图 1-13 所示。



(a) 二极管电路图



(b) 输入信号波形图

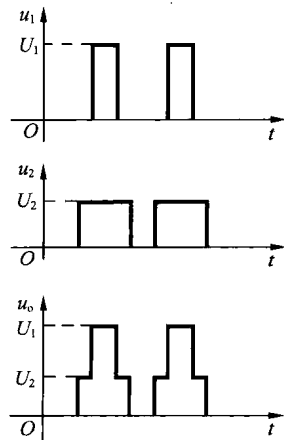


图 1-13 u_o 波形

图 1-12 例 1-1 图

1.2.4 二极管的应用电路

家庭生活中使用的家用电器，很多都带有显示屏，而显示屏中显示数字、符号的器件就是二极管，如图 1-14 所示。



图 1-14 显示屏

1. 常用各类二极管实物及应用

下面来认识一下常用的二极管实物。

(1) 普通二极管

普通二极管如图 1-15 所示，可用于高频检波、鉴频限幅、小电流整流等。

(2) 整流二极管

整流二极管如图 1-16 所示，可实现不同功率的整流。

(3) 开关二极管

开关二极管如图 1-17 所示，可用于电子计算机、脉冲控制和开关电路中。



图 1-15 普通二极管



图 1-16 整流二极管



图 1-17 开关二极管

(4) 稳压二极管

稳压二极管及电路符号如图 1-18 所示，是一种大面积结构的二极管，它工作于反向状态，当反向电压足够大时，由于齐纳和雪崩击穿，通过稳压二极管的反向电流值变化很大，稳压二极管的两端电压变化很小。稳压二极管一般在电路中起稳压作用。

使用稳压管组成稳压电路时，需要注意几个问题。第一，应使外加电源的正极接稳压管的 N 区，电源的负极接 P 区，以保证稳压管工作在反向击穿区，如图 1-19 所示；第二，稳压管应与负载电阻 (R_L) 并联，由于稳压管两端电压的变化量很小，因而使输出电压比较稳定；第三，必须限制流过稳压管的电流 (i_Z)，使其不超过规定值，避免因过热而烧毁管子。

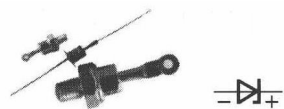


图 1-18 稳压二极管及电路符号

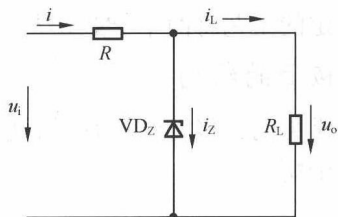


图 1-19 稳压二极管电路示意图

(5) 发光二极管

发光二极管如图 1-20 所示。当发光二极管的 PN 结上加正向电压时，自由电子与空穴的复合过程是以光的形式放出能量的。不同材料制成的发光二极管会发出不同颜色的光，目前的发光二极管可以发出从红外线到可见波段的光，它的电特性与一般二极管类似。



图 1-20 发光二极管

发光二极管具有亮度高、清晰度高、电压低 ($1.5 \sim 3V$)、反应快、体积小、可靠性高和寿命长等特点，是一种很有用的半导体器件，常用于信号指示、数字和字符显示。发光二极管的电路符号及实际连接



电路如图 1-21 所示。

2. 限幅电路

利用二极管的单向导电性和导通后两端电压基本不变的特点，可组成限幅（削波）电路，用来限制输出电压的幅度，限幅电路的原理图如图 1-22 所示（ u_i 为大于直流电源电压的正弦波）。

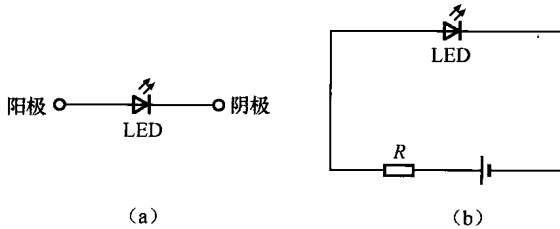


图 1-21 发光二极管的电路符号及实际连接电路

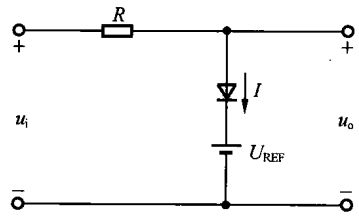


图 1-22 限幅电路的原理图

【例 1-2】 二极管构成的限幅电路如图 1-22 所示， $R=1k\Omega$ ， $U_{REF}=2V$ ，输入信号为 $u_i=4V$ 的直流信号，忽略二极管两端的压降，计算电路中的电流 I 和输出电压 u_o 。

解

$$I = \frac{u_i - U_{REF}}{R} = \frac{4V - 2V}{1k\Omega} = 2mA$$

$$u_o = U_{REF} = 2V$$

1.3 三极管

三极管具有放大作用，使用非常广泛，在生活中的电视机、收音机等中都有应用。

1.3.1 三极管的结构、分类及型号

通过一定的工艺将两个 PN 结结合在一起，就构成了三极管。

1. 三极管的结构

目前最常见的三极管结构有平面型和合金型两类，如图 1-23 所示。硅管主要是平面型，锗管多为合金型。

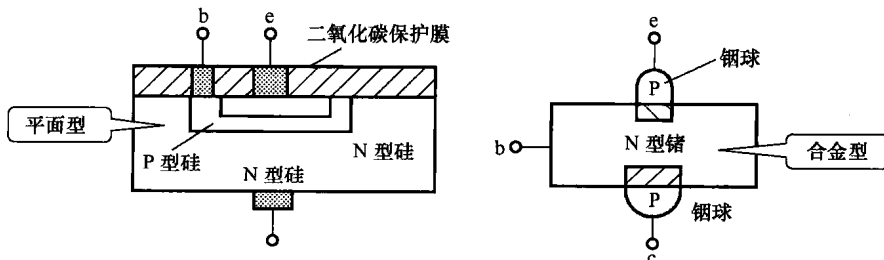


图 1-23 晶体三极管的结构

三极管由两个 PN 结构成，其连接方法有 NPN 和 PNP 两种，结构示意图及符号如图 1-24 所示。三极管有发射区、集电区和基区 3 个区域。发射区和基区之间的 PN 结称为发射结，



基区和集电区之间的 PN 结称为集电结。由 3 个区引入的 3 个电极分别称为发射极 (e)、集电极 (c) 和基极 (b)。如图 1-24 所示, 发射极的箭头方向就是该类型管子发射极正向电流的方向。

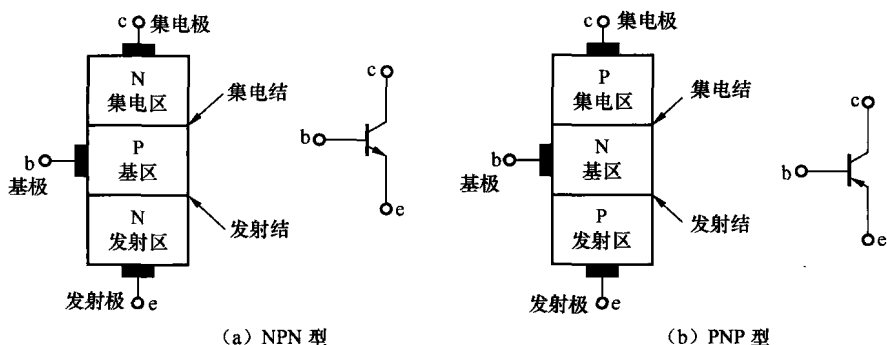


图 1-24 三极管的结构示意图及符号

三极管制作时, 有意使发射区掺杂浓度最高, 多数载流子浓度大, 用来发射多数载流子; 基区的掺杂浓度最低, 而且做得很薄, 其宽度小于载流子的扩散长度; 集电结的面积比发射结的大, 以便用来收集载流子。在实际使用时, 集电极和发射极是不可随意交换的。

2. 三极管的分类

三极管按所用半导体材料来分, 有硅管和锗管两种; 按导电极性来分, 有 PNP 型和 NPN 型两种; 按功率大小来分, 有小功率管、中功率管和大功率管 (功率在 1W 以上的为大功率管) 三种; 按频率来分, 有低频管和高频管 (工作频率在 3MHz 以上的为高频管) 两种; 按结构工艺来分, 主要有合金管和平面管两种; 按用途来分, 有放大管和开关管等。另外, 从三极管的封装材料来分, 有金属封装和玻璃封装两种。近年来多用硅铜塑料封装。常用三极管的外形如图 1-25 所示。

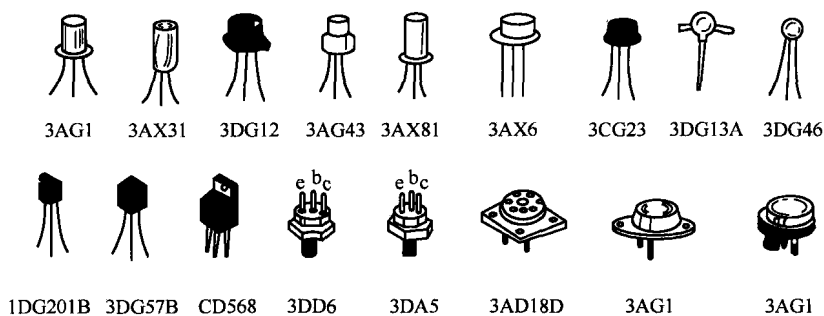


图 1-25 常用三极管的外形

3. 三极管的型号

国家标准对半导体器件型号的命名规则如下。

例如, 3DG110B:

3——三极管;

D——半导体材料 (A 表示锗 PNP 管、B 表示锗 NPN 管、C 表示硅 PNP 管、D 表示硅



NPN 管);

G——半导体器件的种类 (X 表示低频小功率管、D 表示低频大功率管、G 表示高频小功率管、A 表示高频大功率管、K 表示开关管);

110——同种器件型号的序号;

B——同一型号中的不同规格。

1.3.2 三极管的放大原理

三极管主要作用是实现电流放大, 下面来学习三极管的放大原理。

1. 三极管的偏置

三极管是电子技术中的核心元件之一, 它主要用于实现电流放大。三极管要起到放大作用 (工作在放大状态), 必须具备内部和外部两个条件。内部条件就是三极管自身的内部结构要具备如下特点: ①发射区和集电区虽然是同种半导体材料, 但发射区的掺杂浓度远远高于集电区的掺杂浓度, 集电区的空间比发射区的空间大; ②基区很薄, 并且掺杂浓度特别低。外部条件是要给三极管加合适的工作电压, 如图 1-26 所示。

2. 三极管的电流放大作用

三极管是一种电流控制器件, 可以实现电流的放大。下面通过实验来说明三极管的电流放大作用。

如图 1-27 所示, E_b 是基极电源, R_b 和 R_p 是基极偏置电阻, 基极通过 R_b 和 R_p 接电源, 使发射结有正向偏置电压 (U_{BE})。集电极电源 (E_c) 加在集电极与发射极之间, 以提供 U_{CE} 。 I_C 、 I_B 、 I_E 分别代表集电极电流、基极电流和发射极电流。

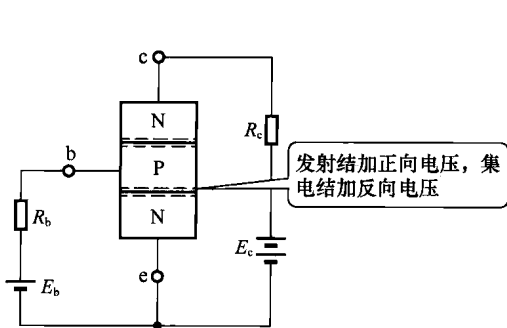


图 1-26 三极管放大作用的外部条件

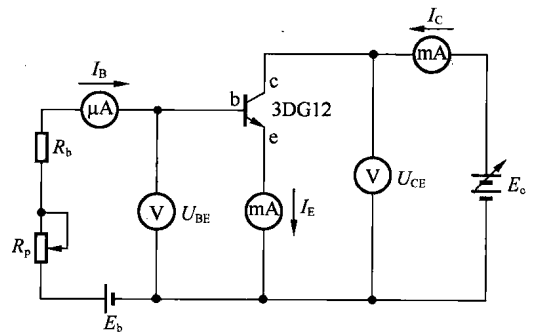


图 1-27 三极管的电流放大作用实验电路

若改变可变电阻 (R_p), 则基极电流 (I_B)、集电极电流 (I_C) 和发射极电流 (I_E) 都会随之变化, 测量结果如表 1-2 所示。

表 1-2

三极管的电流分配数据

(单位: mA)

项 目	1	2	3	4	5	6	7
I_B	0.0035	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
I_C	-0.0035	0.01	0.56	1.14	1.14	2.33	2.91
I_E	0	0.01	0.57	1.16	1.17	2.37	2.96