



高等职业教育“十三五”规划教材 >>> 新能源课程群

技能型人才培养特色名校建设规划教材

模拟电子电路分析 与应用

主 编 ◇ 董圣英 闫学敏
副主编 ◇ 施秉旭 王东霞 陈圣林

G O G R E E N



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高等职业教育“十三五”规划教材（新能源课程群）

模拟电子电路分析与应用

主 编 董圣英 闫学敏

副主编 施秉旭 王东霞 陈圣林



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是作者在多年电子技术教学和实践的基础上,根据职业岗位知识和技能的需求,结合高职教育的办学定位,为高职高专新能源类专业编写的系列化教材。

本书将模拟电子技术知识和技能融入到五个典型任务中,内容涉及二极管及应用电路、晶体管基本放大电路、集成运算放大器的应用、信号产生电路及功率放大器电路等。各任务以典型应用电路分析与制作手段,通过学做合一训练达到掌握电子电路理论、训练实际操作技能、解决生产实际问题的目的。

本书适合作为高职高专、技师学院新能源及机电类专业的模拟电子技术教材,对从事电子技术相关方面工作的工程技术人员也有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子电路分析与应用 / 董圣英, 闫学敏主编

— 北京: 中国水利水电出版社, 2016.5

高等职业教育“十三五”规划教材. 新能源课程群

ISBN 978-7-5170-4302-7

I. ①模… II. ①董… ②闫… III. ①模拟电路—高等职业教育—教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第096919号

策划编辑: 祝智敏

责任编辑: 张玉玲

封面设计: 李 佳

书 名	高等职业教育“十三五”规划教材(新能源课程群) 模拟电子电路分析与应用
作 者	主 编 董圣英 闫学敏 副主编 施秉旭 王东霞 陈圣林
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (发行部)、82562819 (万水) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	三河市铭浩彩色印装有限公司
规 格	184mm×240mm 16开本 12.5印张 274千字
版 次	2016年5月第1版 2016年5月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	28.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

丛书编委会

主 任：陈章侠 殷淑英

副主任：梁 强 静国梁 王记生 董兆广

于洪水 姜金国 陈圣林

委 员：（按姓氏笔画排序）

王东霞 王冬梅 王 伟 方冬稳

曲道宽 闫学敏 李 飞 杨春民

肖晓雨 吴朝晖 邵在虎 邵 峰

黄小章 崔青恒 崔 健 彭 波

董圣英 景悦林 裴勇生

秘 书：祝智敏

序 言

第三次科技革命以来，高新技术产业逐渐成为当今世界经济发展的主旋律和各国国民经济的战略性先导产业，各国相继制定了支持和促进高新技术产业发展的方针政策。我国更是把高新技术产业作为推动经济发展方式转变和产业结构调整的重要力量。

新能源产业是高新技术产业的重要组成部分，能源问题甚至关系到国家的安全和经济命脉。随着科技的日益发展，太阳能这一古老又新颖的能源逐渐成为人们利用的焦点。在我国，光伏产业被列入国家战略性新兴产业发展规划，成为我国为数不多的处于国际领先地位，能够在与欧美企业抗衡中保持优势的产业，其技术水平和产品质量得到越来越多国家的认可。新能源技术发展日新月异，新知识、新标准层出不穷，不断挑战着学校专业教学的科学性。这给当前新能源专业技术人才培养提出极大挑战，新教材的编写和新技术的更新也显得日益迫切。

在这样的大背景下，为解决当前高职新能源应用技术专业教材的匮乏，新能源专业建设协作委员会与中国水利水电出版社联合策划、组织来自企业的专业工程师、部分院校一线教师，协同规划和开发了本系列教材。教材以新能源工程实用技术为脉络，依托企业多年积累的工程项目案例，将目前行业发展中最实用、最新的新能源专业技术汇集进专业方案和课程方案，编写入专业教材，传递到教学一线，以期各高职院校的新能源专业教学提供更多的参考与借鉴。

一、整体规划全面系统，紧贴技术发展和应用要求

新能源应用技术系列教材主要包括光伏技术应用，课程的规划和内容的选择具有体系化、全面化的特征，涉及光电子材料与器件、电气、电力电子、自动化等多个专业学科领域。教材内容紧扣新能源行业和企业工程实际，以新能源技术人才培养为目标，重在提高专业工程实践能力，尽可能吸收企业的新技术、新工艺和案例，按照基础应用到综合的思路进行编写，循序渐进，力求突出高职教材的特点。

二、鼓励工程项目形式教学，知识领域和工程思想同步培养

倡导以工程项目的形式开展教学，按项目、分小组、以团队方式组织实施；倡导各团队成员之间组织技术交流和沟通，共同解决本组工程方案的技术问题，查询相关技术资料，组织

小组撰写项目方案等工程资料。把企业的工程项目引入到课堂教学中，针对工程中的实际技能组织教学，让学生在掌握理论体系的同时能熟悉新能源工程实施中的工作技能，缩短学生未来在企业工作岗位上的适应时间。

三、同步开发教学资源，及时有效地更新项目资源

为保证本系列课程在学校的有效实施，丛书编委会还专门投入了大量的人力和物力，为系列课程开发了相应的、专门的教学资源，以有效支撑专业教学实施过程中的备课授课，以及项目资源的更新、疑难问题的解决，详细内容可以访问中国水利水电出版社万水分社的万水书苑网站，以获得更多的资源支持。

本系列教材是出版社、院校和企业联合策划开发的成果。教材主创人员先后多次组织研讨会开展交流、组织修订，以保证专业建设和课程建设具有科学的指向性。来自皇明太阳能集团有限公司、力诺集团、晶科能源有限公司、晶科电力有限公司、越海光通信科技有限公司、山东威特人工环境有限公司、山东奥冠新能科技有限公司的众多专业工程师和产品经理于洪水、彭波、黄小章、姜金国等为教材提供了技术审核和工程项目方案的支持，并承担技术资料整理和企业工程项目审阅工作。山东理工职业学院的静国梁、曲道宽，威海职业学院的景悦林，菏泽职业学院的王记生，皇明太阳能职业中专的董兆广等都在教材成稿过程中给予了支持，在此一并表示衷心感谢。

本丛书规划、编写与出版过程历经三年时间，在技术、文字和应用方面历经多次修订，但考虑到前沿技术、新增内容较多，加之作者文字水平有限，错漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

丛书编委会

II

前言

本书根据教育部《关于加强高职高专教育教材建设的若干意见》及专业课程项目化教学改革的需求进行编写。

本书根据职业岗位的知识和技能要求，从典型职业工作任务中设计五个教学任务，通过学做合一的训练达到掌握知识、训练技能的目标。

本书具有以下特点：

(1) 强化学生动手实践能力的培养，充分调动学生学习的主动性和积极性，把“以学生为中心，以能力培养为本位”的职业教育思想贯穿到课程教学的全过程中。

(2) 采用典型工作任务的项目教学法，每个任务按照任务描述、相关知识、任务实施、知识拓展、任务训练的步骤进行。

(3) 教材内容设计从简单到复杂，符合职业成长规律的要求；注重基本概念阐述，降低理论分析的难度，加强应用技能和专业素质的培养。

全书共有 5 个工作任务，教学学时为 94 学时，各任务教学学时数如下表，供教学中参考。

参考学时分配表

序号	授课内容	学时分配	
		讲课	实践
任务一	简易充电器电路分析与制作	8	6
任务二	简易助听器电路分析与制作	20	8
任务三	音频电平指示电路分析与制作	10	6
任务四	正弦信号发生器电路分析与制作	14	6
任务五	便携式喊话器电路分析与制作	8	8
合计		60	34

本书由董圣英、闫学敏任主编，施秉旭、王东霞、陈圣林任副主编，具体编写分工如下：

陈圣林编写任务一，董圣英编写任务二，闫学敏编写任务三，施秉旭编写任务四，王东霞编写任务五，另外参加本书部分编写和电路调试工作的还有郭云、梁强、李建勇、韩烨华、张媛媛、崔青恒等。

由于编者水平有限，书中不妥甚至错误之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

2016 年 3 月

III

目 录

前言

任务一 简易充电器电路分析与制作	1
【任务描述】	1
一、任务目标	1
二、任务学习情境	2
【相关知识】	2
一、直流稳压电源简介	2
二、半导体基础知识	3
三、半导体二极管	7
四、单相整流电路	9
五、电容滤波电路	12
六、稳压二极管稳压电路	13
【任务实施】	16
一、任务分析	16
二、任务实施	17
三、任务评价	23
四、知识总结	24
【知识拓展】	24
一、二极管的其他应用	24
二、其他二极管及其应用	25
三、三端集成稳压器	26
【任务训练】	28
任务二 简易助听器电路分析与制作	31
【任务描述】	31

一、任务目标	31
二、任务学习情境	32
【相关知识】	32
一、放大电路的基本知识	32
二、三极管	33
三、三极管基本放大电路	40
四、多级放大电路	64
五、负反馈放大电路	67
【任务实施】	78
一、任务分析	78
二、任务实施	79
三、任务评价	83
四、知识总结	83
【知识拓展】	84
一、特殊三极管	84
二、结型场效应管	85
三、绝缘栅场效应管	88
四、场效应管的主要参数、特点及使用 注意事项	93
五、场效应管基本放大电路	95
六、串联型稳压电路	100
【任务训练】	102
任务三 音频电平指示电路分析与制作	107

【任务描述】	107	四、知识总结	147
一、任务目标	107	【知识拓展】	148
二、任务学习情境	108	一、LC 振荡电路	148
【相关知识】	108	二、石英晶体振荡电路	152
一、基本差动放大电路	108	三、非正弦波信号产生电路	154
二、集成运算放大器	113	【任务训练】	157
三、集成运放的分析方法及基本 运算电路	115	任务五 便携式喊话器电路分析与制作	161
【任务实施】	121	【任务描述】	161
一、任务分析	121	一、任务目标	161
二、任务实施	122	二、任务学习情境	162
三、任务评价	126	【相关知识】	162
四、知识总结	127	一、概述	162
【知识拓展】	127	二、乙类双电源互补对称功率放大 电路 (OCL 电路)	164
一、集成运放的非线性区应用	127	三、甲乙类互补对称功率放大电路	167
二、集成运放的保护	130	四、复合互补对称功率放大电路	170
【任务训练】	131	五、集成功率放大器	172
任务四 正弦信号发生器电路分析与制作	134	【任务实施】	174
【任务描述】	134	一、任务分析	174
一、任务目标	134	二、任务实施	176
二、任务学习情境	135	三、任务评价	178
【相关知识】	135	四、知识总结	179
一、正弦波振荡器	135	【任务训练】	179
二、RC 正弦波振荡电路	138	附录一 半导体器件型号命名方法	181
【任务实施】	142	附录二 部分整流二极管参数	184
一、任务分析	142	附录三 几种常用稳压管的主要参数	185
二、任务实施	143	附录四 部分三极管参数简介	186
三、任务评价	146	参考文献	188

简易充电器电路分析与制作

【任务描述】

交流电是使用最方便的电源，但日常生活中有些电气设备直接或间接使用直流电源才能工作，这就需要一种能够提供直流电源的装置，这种装置称为直流稳压电源。

本任务按照并联型直流稳压电源的组成制作一个用稳压二极管稳压的并联型直流稳压电源。

一、任务目标

1. 知识目标

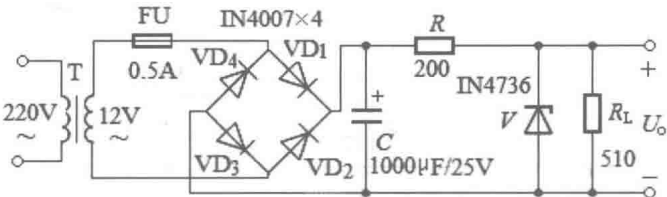
- (1) 熟悉二极管的结构、符号、分类与特性。
- (2) 了解电容滤波的原理。
- (3) 了解集成三端稳压器的型号含义。
- (4) 理解稳压二极管的稳压原理。
- (5) 掌握稳压电路的组成及工作原理。

2. 技能目标

- (1) 能够查阅二极管、稳压二极管等器件的技术资料。
- (2) 能对二极管、电容器、稳压二极管及小型变压器等器件进行检测和判别。
- (3) 能按照装配工艺进行直流稳压电源的安装。
- (4) 能排除直流稳压电源的各类故障。
- (5) 能正确应用三端稳压器。

二、任务学习情境

简易充电器电路分析与制作

名称	输出电压为 6V 的并联型直流稳压电源的制作
内容	简易充电器电路的分析与制作 
要求	1. 熟悉电路各元件的作用 2. 根据电路参数进行元器件的检测 3. 电路元件的安装 4. 电路参数测试与调整 5. 撰写电路制作报告

【相关知识】

一、直流稳压电源简介

1. 直流稳压电源的类型

直流稳压电源有很多类型，有并联型、串联型、集成稳压电源和开关稳压电源等。并联型稳压电源是由稳压二极管和负载并联而组成的直流稳压电源。

2. 直流稳压电源的组成及各部分作用

直流稳压电源的组成框图如图 1.2.1-1 所示。



图 1.2.1-1 直流稳压电源组成框图

(1) 变压电路。

使用降压变压器将 220V、50Hz 的交流电变换为大小适当的低压交流电。

(2) 整流电路。

使用整流二极管或整流模块将交流电变为脉动直流电。

(3) 滤波电路。

经常使用电解电容器或电感器把脉动的直流电变为较平滑的直流电。

(4) 稳压电路。

并联型稳压电源使用稳压二极管把波动的直流电压变为稳定的直流电压。

3. 直流稳压电源的主要技术指标

(1) 特性指标。

- 输入电压及其变化范围。
- 输出电压及其变化范围。
- 输出电流。

(2) 质量指标。

- 电压调整率：环境温度和负载电流不变，输入电压变化 10% 时输出电压的变化量，单位为 mV。
- 电流调整率：温度不变时，负载电流变化 10% 时输出电压的变化量，单位为 mV。
- 纹波电压：指叠加在直流输出电压上的交流电压分量，通常用有效值或峰值表示。

二、半导体基础知识

半导体是指导电能力介于导体和绝缘体之间的一种物质。常用的半导体材料有硅、锗、砷化镓等，其中硅和锗是最常用的半导体材料。

半导体具有不同于其他物质的独特性质，主要有以下三点：

- 热敏特性：半导体受到外界热的激发时，其导电能力显著增强。
- 光敏特性：半导体受到光的照射时，其导电能力明显增强。
- 掺杂特性：在纯净的半导体中加入微量杂质元素，其导电能力显著增强。

1. 半导体的类型及特性

半导体分为本征半导体和杂质半导体。

(1) 本征半导体。

纯净的具有晶体结构的半导体称为本征半导体。半导体最外层有 4 个电子称为价电子，硅或锗制成晶体后，每个原子的 4 个价电子不仅受自身原子核的吸引，还与相邻的 4 个原子相互作用，形成共价键结构，如图 1.2.2-1 所示。

本征半导体中的共价键结构使电子受到两个原子核的吸引被束缚，自由移动的电子数量很少。当温度升高或受光照射时，共价键结构中的价电子获得能量挣脱共价键的束缚成为自由电子，同时在共价键中留下一个空位，称为空穴，如图 1.2.2-2 所示。电子和空穴都可以看成是带电粒子，称为载流子。电子带负电，空穴带正电。

在本征半导体中，自由电子和空穴成对出现且数量相等，称它们为电子空穴对。这种在热或光的作用下，本征半导体产生电子空穴对的现象叫做本征激发。

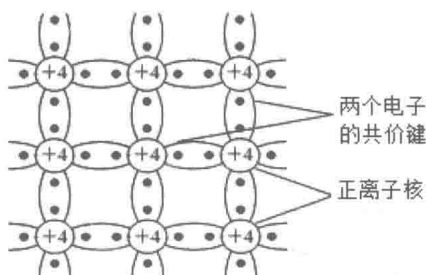


图 1.2.2-1 硅半导体的共价键结构

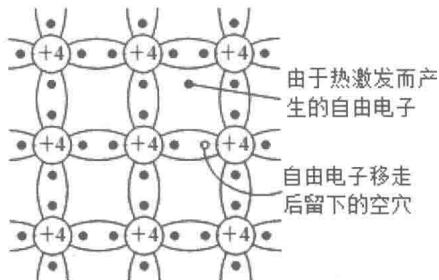


图 1.2.2-2 本征激发电子空穴对示意图

在一定的温度下，本征半导体中的电子空穴对的数目基本保持不变。温度升高，电子空穴数目增多，导电能力也越强。所以，温度是影响半导体导电能力的一个很重要的外部因素。

(2) 杂质半导体。

本征半导体中自由电子和空穴数量很少，导电能力很弱。如果在其中掺入微量的杂质（某种元素），其导电能力会显著增强。因掺入的杂质不同，杂质半导体可分为 N 型半导体和 P 型半导体。

1) N 型半导体。

在四价的硅（或锗）晶体中掺入少量五价元素磷（P），磷原子会占据某些硅原子的位置，如图 1.2.2-3（a）所示。磷原子有 5 个价电子，其中有 4 个和相邻的硅原子组成共价键结构，余下的一个电子因不受共价键的束缚而成为自由电子。这样，在半导体中除了因本征激发产生等量电子空穴对外，每掺入一个磷原子就会增加一个自由电子，使半导体的导电能力增强。

这种半导体主要靠自由电子导电，故称其为电子型半导体或 N 型半导体。N 型半导体中，自由电子数远大于空穴数，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）。不难理解，N 型半导体总体上对外仍呈电中性，其多子（电子）的浓度取决于所掺杂质的浓度。

2) P 型半导体。

在本征半导体中掺入微量的三价杂质元素硼（B），硼原子取代晶体中某些晶格上的硅（或锗）原子。硼元素的三个价电子与周围四个硅（或锗）原子形成共价键时缺少一个电子，从而产生了一个空位，如图 1.2.2-3（b）所示。邻近的硅（或锗）原子的价电子很容易来填补这个空位，于是在该价电子的原位上就产生了一个空穴。这样在半导体中除了因本征激发产生等量的电子空穴对外，每掺入一个硼原子就会增加一个空穴。半导体掺杂硼原子后，空穴数远大于自由电子数，空穴是多数载流子，自由电子是少数载流子，半导体导电主要靠空穴导电，故称空穴型半导体，简称 P 型半导体。与 N 型半导体相同，掺入的杂质越多，空穴的浓度越高，导电能力越强。

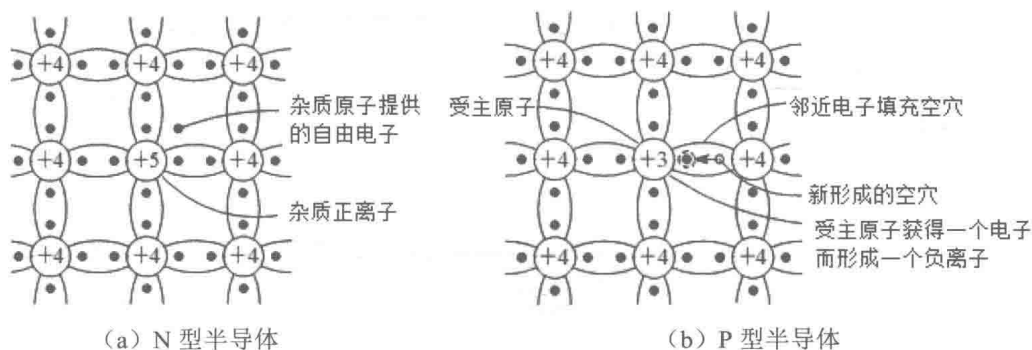


图 1.2.2-3 掺杂半导体的形成

2. PN 结及其单向导电性

用掺杂工艺使一个完整的半导体，一部分形成 P 型半导体，另一部分形成 N 型半导体，在它们的交界面上就形成了 PN 结，PN 结具有单向导电性。

(1) PN 结的形成。

在一块完整的晶体硅片上，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，在两种半导体交接面两侧，由于两种半导体载流子存在浓度差，使 P 区的空穴向 N 区扩散，并与 N 区中的自由电子复合；N 区的电子向 P 区扩散，并与 P 区中的空穴复合而消失，如图 1.2.2-4 (a) 所示。

载流子扩散运动的结果，使交界面 N 区一侧失去电子而留下不能移动的正离子；P 区一侧失去空穴而留下不能移动的负离子。这些不能移动的带电离子称为空间电荷，该区域称为空间电荷区。在空间电荷区形成了由 N 区指向 P 区的电场，如图 1.2.2-4 (b) 所示。为区别外加电压建立的电场，称该空间电荷区电场为内电场。

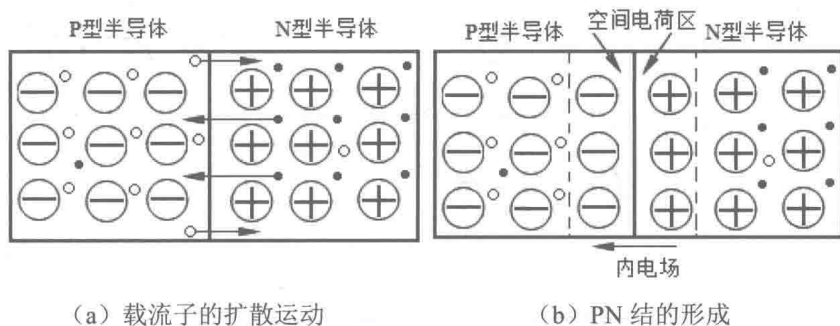


图 1.2.2-4 PN 结的形成

随着扩散运动的进行，空间电荷区加宽，内电场增强。内电场对多数载流子的扩散运动起到阻碍作用，但对少数载流子的运动起到增强作用，我们把在内电场作用下少数载流子的运动称为漂移运动。

由以上分析可见,载流子在P区和N区的交界面发生着扩散和漂移两种运动。开始时扩散运动强于漂移运动,随着内电场的逐渐增强,扩散运动减弱,漂移运动增强。最后,扩散运动和漂移运动达到动态平衡,空间电荷区宽度不再发生变化,形成了宽度相对稳定的空间电荷区,我们把这个空间电荷区称为PN结。

(2) PN结的单向导电性。

如果在PN结的两端外加电压,就将破坏原来的平衡状态。外加电压的极性不同PN结表现出截然不同的导电性能,即呈现出单向导电性。

1) PN结外加正向电压导通。

外加电源的正极接PN结的P区,负极接PN结的N区,称PN结外加正向电压,也称正向偏置。PN结正向偏置时,外电场方向与PN结内电场方向相反,使内电场削弱,空间电荷区变窄,多数载流子的扩散运动增强,而少数载流子的漂移运动减弱,从而形成较大的扩散电流,方向由P区流向N区(称为正向电流),PN结导通,如图1.2.2-5(a)所示。

PN结导通时的结压降只有零点几伏,需要在回路中串联一个电阻以限制回路的电流,防止PN结因正向电流过大而损坏。

2) PN结外加反向电压截止。

外加电源的正极接PN结的N区,负极接PN结的P区,称PN结外加反向电压,也称反向偏置。PN结反向偏置时,外电场与PN结内电场方向相同,使内电场增强,空间电荷区变宽,多数载流子的扩散运动减弱,而少数载流子的漂移运动增强,形成了由N区流向P区的反向电流,也称为漂移电流,如图1.2.2-5(b)所示。由于少数载流子的数量极少,所以反向电流也非常小,可忽略不计,认为PN结外加反向电压时处于截止状态。

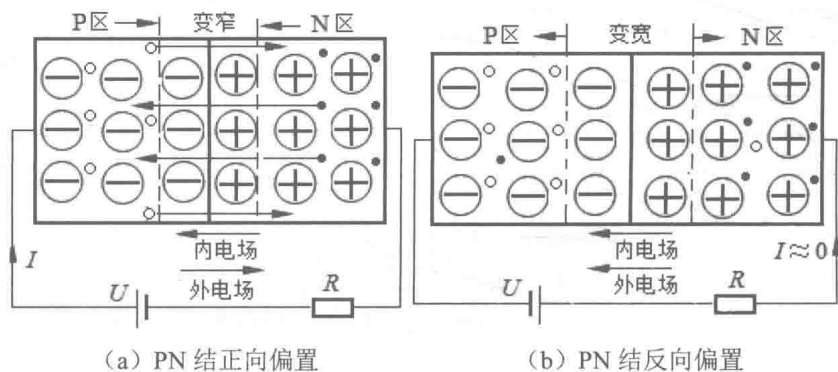


图 1.2.2-5 PN结的单向导电性

由上述分析可知:PN结外加正向电压时,具有较大的正向扩散电流,正向电阻很小,PN结导通;PN结外加反向电压时,只有很小的反向漂移电流,反向电阻很大,PN结截止。PN结具有单向导电性。

三、半导体二极管

1. 半导体二极管的结构、符号和类型

(1) 结构、符号。

从PN结的P区和N区各引出一根电极引线，并用外壳封装起来，就构成了二极管。其中从P区引出的电极为阳极，从N区引出的电极为阴极。二极管的结构外形及电路符号、文字符号如图1.2.3-1所示。图中箭头指向为正向导通时的电流方向。

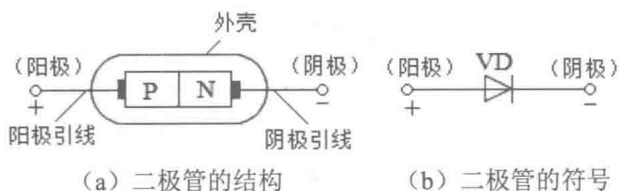


图 1.2.3-1 二极管的结构和符号

常见二极管的封装形式如图1.2.3-2所示。

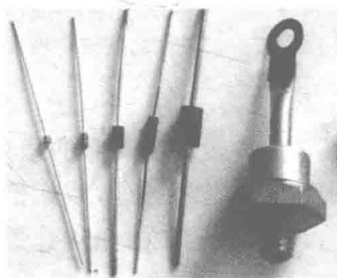


图 1.2.3-2 二极管常见的封装形式

(2) 类型。

按材料分，有硅二极管、锗二极管和砷化镓二极管等。

按结构分：根据PN结面积大小，有点接触型二极管、面接触型二极管和平面型二极管等。

- 点接触型二极管：PN结面积小，结电容小，用于检波和变频等高频电路。
- 面接触型二极管：PN结的结面积大，能通过较大的电流（可达几千安培），但结电容也大，适用于频率较低的整流电路。
- 平面型二极管：采用先进的集成电路制造工艺制成，特点是结面积较大时能通过较大的电流，适用于大功率整流电路；结面积较小时，结电容较小，工作频率较高，适用于开关电路。

按用途分，有整流、稳压、开关、发光、光电、变容、阻尼等二极管。

按封装形式分，有塑封及金属封等二极管。

按功率分，有大功率、中功率及小功率等二极管。