

21 世纪高职高专系列规划教材 > 电类基础课

高职高专“十二五”规划教材

电子线路分析与应用

DIANZI XIANLU FENXI YU YINGYONG

主 编 © 姜树杰



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

21 世纪高职高专系列规划教材 > 电类基础课
高职高专“十二五”规划教材

电子线路分析与应用

DIANZI XIANLU FENXI YU YINGYONG

主 编 ◎ 姜树杰
参 编 ◎ 任 伟 李光兰 张耀锋
耿青涛 葛彗杰



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电子线路分析与应用 / 姜树杰主编. —北京: 北京师范大学出版社, 2012.2

(21世纪高职高专系列规划教材)

ISBN 978-7-303-13964-4

I. ①电… II. ①姜… III. ①电子电路—电路分析—
高等职业教育—教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第282250 号

出版发行: 北京师范大学出版社 www.bnup.com.cn

北京新街口外大街19号

邮政编码: 100875

印 刷: 保定市中国画美凯印刷有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 184 mm × 260 mm

印 张: 15

字 数: 300千字

版 次: 2012年2月第1版

印 次: 2012年2月第1次印刷

定 价: 27.00元

策划编辑: 周光明

责任编辑: 周光明

美术编辑: 高 霞

装帧设计: 国美嘉誉

责任校对: 李 菡

责任印制: 孙文凯

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话: 010—58800697

北京读者服务部电话: 010—58808104

外埠邮购电话: 010—58808083

本书如有印装质量问题, 请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话: 010—58800825

前言

《电子线路分析与应用》是在高等职业教育改革思想的指引下遵循理论“必需、够用”的原则,坚持以“学生为中心、能力培养为本位”的职业教育思想的基础上编写的。

本书对教材内容重新整合,以应用为目的,突出理论与实践的结合。叙述简练,力求新颖,突出重点,同时,进一步加强实践性教学内容,以满足企业对技能型人才的需要。教材从高职高专学生的学习特点和岗位需求出发,教材内容的选择及体系结构适应于应用型教学的需要。在教材编写安排上力争由浅入深、循序渐进,图文并茂、通俗易懂。理论分析以适度、够用为限,突出重点,注重实用性。

本书由天津冶金职业技术学院教师姜树杰、任伟、李光兰、张耀锋、耿青涛、葛慧杰共同编写。其中,姜树杰编写任务三、任务六,任伟编写任务八、任务十一,李光兰编写任务二,张耀锋编写任务五、任务七,耿青涛编写任务九、任务十、附录,葛慧杰编写任务一、任务四。全书由姜树杰担任主编并统稿。

在本书编写过程中,作者参阅了许多同行专家们的论著和文献,还得到了北京师范大学出版社领导和编辑的大力支持和帮助,在此一并真诚致谢。

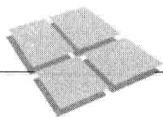
本书可作为高职电气自动化技术专业、应用电子技术、机电一体化技术、电子信息工程技术、通信技术等专业电子线路分析与应用、模拟电子技术、数字电子技术等课程教材,亦可作为机电类、电子信息类专业的培训教材,还可作为从事电子工程技术工作的工程技术人员的参考书。

电子技术的发展十分迅速,加之编者的水平所限书中难免存在一些问题或不妥之处敬请有关专家和读者批评指正。

编者
2011.12

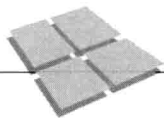
目 录

任务一 半导体元件及特性	(1)	任务二 基本放大电路分析与安装	
1.1 半导体基础知识与 PN 结	(1)	(30)
一、半导体及其特性	(1)	2.1 单级交流小信号放大电路的	
二、PN 结及其单向导电性	(3)	分析安装与检测	(30)
1.2 二极管	(4)	一、放大电路的组成	(30)
一、二极管的单向导电性	(4)	二、放大电路的原理分析	(31)
二、二极管的伏安特性	(5)	三、放大电路的组成原则	(31)
1.3 晶体三极管	(8)	四、静态工作点的分析	(32)
一、三极管的结构	(9)	五、静态工作点的稳定	(33)
二、三极管的电流放大作用	(10)	六、放大电路的交流性能分析	(34)
三、三极管的主要参数、分类及型号	(12)	七、单级交流小信号放大电路的	
1.4 MOS 型场效应晶体管	(13)	安装与检测	(36)
一、N 沟道增强型 MOS 管	(14)	2.2 射极输出器电路分析与	
二、N 沟道耗尽型 MOS 管	(15)	安装	(37)
三、特性曲线	(15)	一、静态分析	(37)
四、主要参数	(17)	二、动态分析	(37)
五、场效应晶体管的特点及使用注意		三、射极输出器电路安装与检测	(38)
事项	(18)	2.3 多级放大电路的分析与	
1.5 万用表的使用	(18)	安装	(39)
一、指针式万用表的结构	(18)	一、阻容耦合	(39)
二、指针式万用表的使用(以 500 型		二、变压器耦合	(40)
为例)	(19)	三、直接耦合	(41)
三、数字万用表使用	(20)	四、两级放大电路分析与安装	(42)
四、二极管检测方法	(21)	2.4 放大电路中负反馈环节的	
五、用万用表测试三极管	(22)	分析与电路安装	(42)
1.6 示波器	(23)	一、反馈的基本概念	(42)
输入通道和输入耦合	(24)	二、负反馈的类型	(43)



三、反馈极性与类型的判断	(44)	二、理想集成运放的传输特性	(63)
四、负反馈的一般关系式	(46)	3.4 集成运放的线性应用	(64)
五、深度负反馈放大电路的特点	(47)	一、比例运算	(64)
六、负反馈对放大器性能的影响	(47)	二、求和运算电路(加法运算)	(66)
七、引入负反馈的一般原则	(48)	三、减法运算	(67)
八、放大电路中负反馈环节的分析	(48)	四、积分、微分运算电路	(68)
与电路安装	(48)	3.5 集成运放的非线性应用	(69)
2.5 功率放大器的电路分析与	(49)	一、电压比较器	(70)
安装	(49)	二、迟滞电压比较器	(71)
一、功率放大电路的基本要求	(49)	3.6 集成运放应用的一些实际	(72)
二、放大电路的工作状态与效率	(49)	问题	(72)
三、OTL 互补对称功率放大电路	(50)	一、调零	(72)
四、OCL 互补对称功率放大电路	(52)	二、消除自激	(72)
五、D 类放大器	(52)	三、保护措施	(72)
六、低频功率放大器的分析与电路	(53)	任务四 正弦波振荡电路	(75)
安装	(53)	4.1 正弦波振荡电路的基本原理	(75)
任务三 集成放大电路	(57)	一、产生振荡的条件	(75)
3.1 集成运放基本概念	(57)	二、起振与稳幅过程	(75)
一、集成运放的组成	(57)	三、正弦波振荡电路的组成和分析	(76)
二、集成运放分类及特点	(58)	方法	(76)
三、直接耦合放大器中的特殊问题	(58)	4.2 RC 正弦波振荡电路	(77)
3.2 差分式放大电路	(59)	一、文氏电桥振荡电路的组成	(77)
一、基本差分放大电路的组成及	(59)	二、RC 选频网络的特性	(77)
抑制零漂的原理	(59)	三、振荡频率和起振条件	(78)
二、输入信号类型及电压放大倍数	(60)	四、稳幅措施	(79)
三、差分放大器的几种接法	(61)	4.3 LC 振荡器	(79)
四、集成运放 F007 简介	(62)	一、LC 并联谐振回路的主要特性	(79)
3.3 集成运放的主要技术指标	(63)	二、变压器反馈式正弦波振荡电路	(80)
及特性	(63)	三、三点式正弦波振荡电路	(81)
一、集成运放的主要技术指标	(63)	4.4 石英晶体振荡电路	(82)
		一、英晶体的特点	(82)
		二、石英晶体正弦波振荡电路	(83)

任务五 直流稳压电源	(86)	五、还原律	(114)
5.1 概述	(86)	六、摩根定理	(114)
5.2 整流电路	(86)	七、逻辑代数的两条重要规则	
一、单相半波整流电路	(87)	(114)
二、单相桥式整流电路	(88)	6.5 逻辑函数及其表示方法	
5.3 滤波电路	(90)	(114)
一、电容滤波电路	(90)	一、逻辑变量与逻辑函数	(114)
二、电感滤波电路	(92)	二、真值表	(115)
三、复式滤波	(93)	三、逻辑函数式	(115)
5.4 直流稳压电路	(94)	四、逻辑图	(116)
一、简单稳压电路	(94)	五、卡诺图	(116)
二、串联型稳压电路	(95)	6.6 逻辑函数的化简	(116)
5.5 三端集成稳压器	(97)	一、化简逻辑函数的意义	(116)
一、固定式三端集成稳压器	(97)	二、逻辑函数式的几种常见形式	
二、可调式三端集成稳压器	(99)	和变换	(117)
5.6 开关型稳压电源	(100)	三、逻辑函数的公式化简法	(117)
一、开关型稳压电源的分类及特点		四、逻辑函数的卡诺图化简法	
.....	(100)	(118)
二、开关型稳压电源的组成	(100)	五、具有约束项的逻辑函数的化简	
三、工作原理	(101)	(121)
任务六 数字电路基础	(103)	6.7 集成门电路	(123)
6.1 数字电路概述	(103)	一、分立元件门电路	(123)
一、数字信号和模拟信号	(103)	二、集成门电路	(125)
二、数字电路的特点	(104)	三、集成门电路的使用	(126)
三、数字电路的发展和分类	(104)	任务七 组合逻辑电路	(130)
6.2 数制和码制	(104)	7.1 概述	(130)
一、几种常用的数制	(104)	7.2 组合逻辑电路的分析	
二、数制间的转换	(106)	(130)
三、码制	(107)	7.3 组合逻辑电路的设计	
四、算术运算和逻辑运算	(108)	(132)
6.3 逻辑运算	(109)	7.4 加法器	(134)
一、基本逻辑运算	(109)	一、半加器	(135)
二、复合逻辑运算	(111)	二、全加器	(135)
6.4 逻辑代数的基本定律及		三、多位数加法器	(136)
常用公式	(113)	7.5 编码器	(136)
一、与普通代数相似的定律	(113)	一、二进制编码器	(137)
二、吸收律	(113)	二、二—十进制编码器	(137)
三、互补律	(113)	三、优先编码器	(138)
四、重叠律	(113)	7.6 译码器	(139)



- 一、二进制译码器····· (139)
- 二、二—十进制译码器····· (140)
- 三、显示译码器····· (141)
- 7.7 数据选择器与数据分配器····· (143)
 - 一、数据选择器····· (143)
 - 二、数据分配器····· (144)
- 7.8 数值比较器····· (145)
 - 一、一位二进制数码比较器····· (145)
 - 二、多位数值比较器····· (145)
- 任务八 时序逻辑电路**····· (149)
- 8.1 触发器····· (149)
 - 一、触发器的概述····· (149)
 - 二、RS 触发器····· (150)
 - 三、主从触发器····· (151)
 - 四、边沿型触发器····· (153)
- 8.2 时序逻辑电路的基本分析方法····· (154)
 - 一、时序逻辑电路的特点····· (154)
 - 二、时序逻辑电路的类型····· (155)
 - 三、时序逻辑电路的基本分析方法····· (155)
 - 四、同步时序逻辑电路的分析举例····· (155)
 - 五、异步时序逻辑电路的分析举例····· (157)
- 8.3 计数器····· (158)
 - 一、计数器的特点····· (158)
 - 二、计数器的分类····· (159)
 - 三、二进制异步计数器····· (159)
 - 四、二进制同步计数器····· (161)
 - 五、集成二进制计数器举例····· (162)
 - 六、8421BCD 码同步十进制加法计数器····· (164)
 - 七、8421BCD 码异步十进制加法计数器····· (166)
 - 八、集成十进制计数器举例····· (167)
- 8.4 时序逻辑电路的设计方法····· (168)

- 一、同步时序逻辑电路的设计方法····· (168)
- 二、异步时序逻辑电路的设计方法····· (170)
- 8.5 寄存器和移位寄存器····· (172)
 - 一、寄存器····· (172)
 - 二、移位寄存器····· (173)
- 任务九 脉冲信号的产生与整形电路**····· (176)
- 9.1 概述····· (176)
- 9.2 555 定时器····· (177)
- 9.3 单稳态触发器····· (178)
 - 一、单稳态触发器的工作特点····· (178)
 - 二、门电路组成单稳态触发器····· (178)
 - 三、用 555 定时器构成的单稳态触发器····· (180)
 - 四、集成单稳态触发器····· (181)
 - 五、单稳态触发器应用实例····· (183)
- 9.4 施密特触发器····· (183)
 - 一、施密特触发器的工作特点····· (183)
 - 二、用门电路组成的施密特触发器····· (184)
 - 三、集成施密特触发器····· (185)
 - 四、施密特触发器的应用····· (185)
 - 五、用 555 定时器构成的施密特触发器····· (187)
- 9.5 多谐振荡器····· (188)
 - 一、多谐振荡器····· (188)
 - 二、门电路构成多谐振荡器····· (188)
 - 三、门电路多谐振荡器····· (190)
 - 四、用 555 定时器构成的多谐振荡器····· (190)
- 任务十 数模与模数转换电路的应用**····· (193)
- 10.1 概述····· (193)

10.2 DA 转换器	(193)	一、概述	(203)
一、倒 T 型电阻网络 DA 转换器	(194)	二、multisim 的安装	(203)
二、集成 DA 转换器 AD7524	(195)	三、multisim 的基本界面	(204)
三、DA 转换器的技术指标	(195)	11.2 晶体管共射放大电路的设计与仿真	(206)
10.3 AD 转换器	(196)	一、电路原理图的设计	(206)
一、AD 转换的基本概念	(196)	二、编辑原理图	(206)
二、逐次比较式模数转换器(ADC)	(199)	三、电路的仿真分析	(215)
三、AD 转换器 ADC0804	(199)	10.3 计数器的设计与仿真	(216)
四、AD 转换器的转换精度与速度	(200)	一、电路原理图的设计	(216)
任务十一 计算机仿真技术应用	(203)	二、编辑原理图	(217)
11.1 基于 multisim 的电子线路计算机仿真技术	(203)	三、电路的仿真分析	(219)
		附录	(221)

任务一 半导体元件及特性



任务要求

1. 了解半导体材料的基本知识，理解 PN 结的形成及单向导电作用。
2. 了解半导体二极管、三极管、MOS 管的结构、类型、特性与参数。学会电子技术常用仪器、仪表的使用。

1.1 半导体基础知识与 PN 结

半导体器件是组成电子电路的核心器件。可分为分立器件和集成器件两大类。分立器件及其电路是集成器件及其电路的基础，自 20 世纪 50 年代问世以来，对电子产品的发展起到了重要的作用。导电能力介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体，例如：锗、硅等及多种金属氧化物。PN 结是两种不同导电类型半导体材料组成的，它具有单向导电性。半导体分立器件就是利用半导体材料和 PN 结的特殊性组成，它包括半导体二极管、三极管和 MOS 场效晶体管等。

一、半导体及其特性

导电能力介于导体和绝缘体之间的物质称半导体。常用的半导体材料有硅、锗、砷化镓。半导体的导电能力对温度、光照、磁场、电场等十分敏感，分别称为热敏性、光敏性等，统称为半导体的敏感特性。例如，环境温度每上升 1°C ，半导体的电阻率将下降百分之几到百分之几十。利用这些特性可以制成多种多样的半导体器件，如热敏电阻、光敏二极管等。但有些敏感特性会影响半导体器件的正常工作，例如环境温度严重影响半导体器件工作的稳定性，应用中必须注意。

1. 本征半导体

通俗地讲，完全纯净的半导体称为本征半导体。硅和锗都是四价元素，其原子核最外层有四个价电子如图 1-1(a)。它们都是由同一种原子构成的“单晶体”如图 1-1(b)，属于本征半导体。

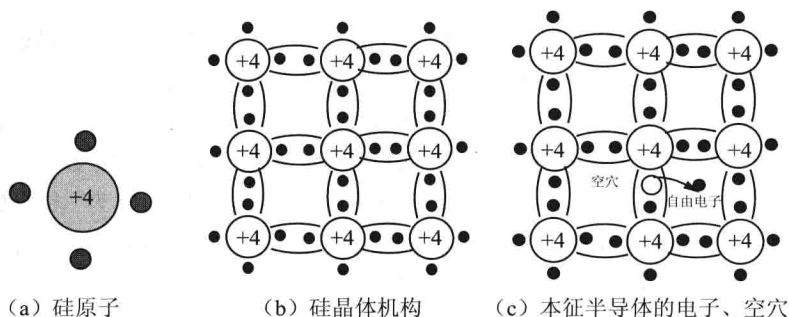
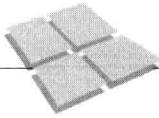


图 1-1 本征半导体的共价键结构



在 0K 温度下,所有的价电子都被共价键紧紧束缚在共价键中,不会成为自由电子,因此本征半导体的导电能力很弱,接近绝缘体。

当温度升高或受到光的照射时,被束缚在共价键中的电子能量增高,有的电子可以挣脱原子核的束缚,成为“自由电子”如图 1-1(c)所示。自由电子产生的同时,在其原来的共价键中就出现了一个空位,称为“空穴”。电子和空穴合称为“电子-空穴”对。这一现象称为本征激发,也称热激发。可见本征激发同时产生电子-空穴对。外加能量越高(温度越高),产生的电子-空穴对就越多。

上述产生的电子和空穴均能自由移动,成为自由载流子,它们在外电场作用下产生定向运动而形成电流。激发进行的同时半导体中的自由电子也会落入空穴,使“电子-空穴”对消失,这一过程称为复合。在一定温度下,“电子-空穴”对的产生与复合同时存在并达到动态平衡,此时本征半导体具有一定的载流子浓度,加热或光照会使半导体发生热激发增强,从而产生更多的电子-空穴对,这时载流子浓度增加,导电能力增强。半导体热敏电阻和光敏电阻等半导体器件就是根据此原理制成的。常温下本征半导体的电导率较小,载流子浓度对温度变化敏感,所以很难对半导体特性进行控制,因此实际应用不多。

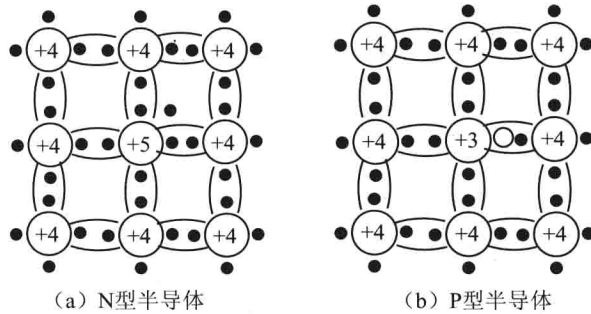


图 1-2 杂质半导体结构

2. 杂质半导体

本征半导体的导电能力很弱,热稳定性也很差,因此,不宜直接用它制造半导体器件。半导体器件多数是用含有一定数量的某种杂质的半导体制成。根据掺入杂质性质的不同,杂质半导体分为 N 型半导体和 P 型半导体两种。

(1)N 型半导体。在本征半导体硅(或锗)中掺入微量的 5 价元素,例如磷,则磷原子就取代了硅晶体中少量的硅原子,占据晶格上的某些位置。

由图 1-2(a),磷原子最外层有 5 个价电子,其中 4 个价电子分别与邻近 4 个硅原子形成共价键结构,多余的 1 个价电子在共价键之外,只受到磷原子对它微弱的束缚,因此在室温下,即可获得挣脱束缚所需要的能量而成为自由电子。在本征半导体中每掺入 1 个磷原子就可产生 1 个自由电子,而本征激发产生的空穴的数目不变。这样,在掺入磷的半导体中,自由电子的数目就远远超过了空穴数目,成为“多数载流子”(简称多子),空穴则为“少数载流子”(简称少子)。显然,参与导电的主要是电子,故这种半导体称为电子型半导体,简称 N 型半导体。

(2)P 型半导体。在本征半导体硅(或锗)中,若掺入微量的 3 价元素,如硼,这时硼原子就取代了晶体中的少量硅原子,占据晶格上的某些位置。

如图 1-2(b)，硼原子的 3 个价电子分别与其邻近的 3 个硅原子中的 3 个价电子组成完整的共价键，而与其相邻的另 1 个硅原子的共价键中则缺少 1 个电子，出现了 1 个空穴。在本征半导体中每掺入 1 个硼原子就可以提供 1 个空穴，当掺入一定数量的硼原子时，就可以使半导体中空穴的数目远大于本征激发电子的数目，成为多数载流子，而电子则成为少数载流子。显然，参与导电的主要是空穴，故这种半导体称为空穴型半导体，简称 P 型半导体。

无论 N 型半导体还是 P 型半导体，多子浓度主要由掺杂浓度决定，受温度影响较小。少子浓度主要由本征激发决定，所以受温度影响较大。

二、PN 结及其单向导电性

1. PN 结

在一块纯净半导体中，采用不同的掺杂工艺，使一半成为 P 型半导体；另一半成为 N 型半导体，则在交界处就会形成一种特殊的薄层。这种薄层称为 PN 结，如图 1-3 所示。PN 结是构成各种半导体器件的基础。

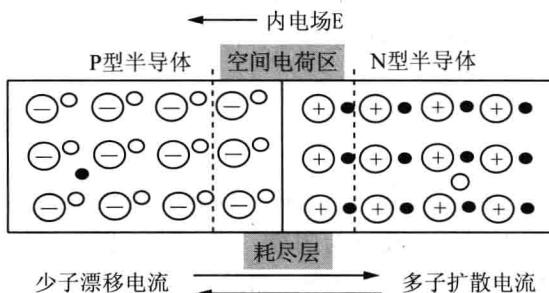


图 1-3 PN 结内部结构与 PN 结示意图

PN 结形成的原因为两种不同材料交界处多子浓度差造成的多子扩散形成的空间电荷区，这个空间电荷区又称为内电场，它阻止多子扩散，促使少子漂移。当扩散电流 = 漂移电流时内电场 E 不再变化。PN 结形成过程如图 1-4 所示。

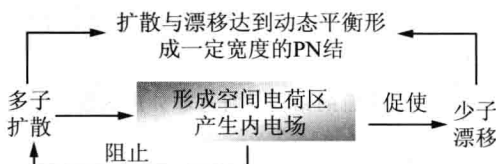


图 1-4 PN 结形成过程

2. PN 结的单向导电性

(1) 加正向电压(正向偏压)——电源正极接 P 区，负极接 N 区如图 1-5(a)。

此时外电场的方向与内电场方向相反。外电场削弱内电场，多子扩散得到加强形成正向电流 I 。

(2) 加反向电压(反向偏压)——电源正极接 N 区，负极接 P 区如图 1-5(b)。

外电场的方向与内电场方向相同。外电场加强内电场，多子扩散受到阻碍。少子漂移形成反向电流 I_R 。在一定的温度下，由本征激发产生的少子浓度是一定的，故 I_R

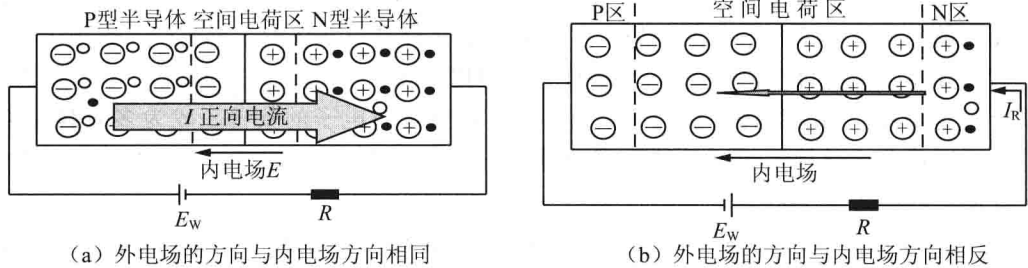
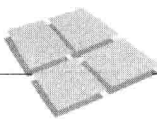


图 1-5 PN 结的单向导电性

基本上与外加反压的大小无关，所以称为反向饱和电流。但 I_R 与温度有关。

由上述的分析可见当 PN 结加正向电压时，具有较大的正向扩散电流，呈现低电阻，PN 结导通；而当 PN 结加反向电压时，只具有很小的反向漂移电流，呈现高电阻，PN 结截止。由此可以得出结论：PN 结具有单向导电性。即电流只能从 P 端流向 N 端，而不能从 N 端流向 P 端。它的这种单向导电性与机械设备中单向阀的单向流通性类似，例如，自行车的气门心、风箱的进气孔及出气孔、单向排风扇的通风道等。

1.2 二极管

从 PN 结的 P 区和 N 区各引出一个电极，用管壳封装即成二极管。由 P 区引出的电极称为阳极，由 N 区引出的电极称为阴极。半导体二极管简称二极管，主要用于整流、检波、稳压、开关及信号转换等电路，如图 1-6 所示。

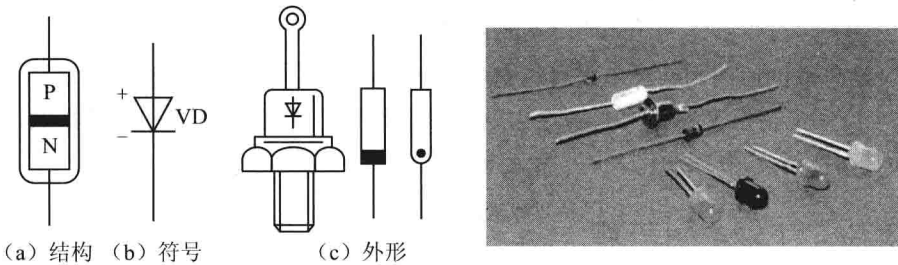


图 1-6 二极管的结构、符号和外形图及实物图

一、二极管的单向导电性

二极管的管芯就是一个 PN 结，当然具有单向导电性。其实验电路如图 1-7 所示。

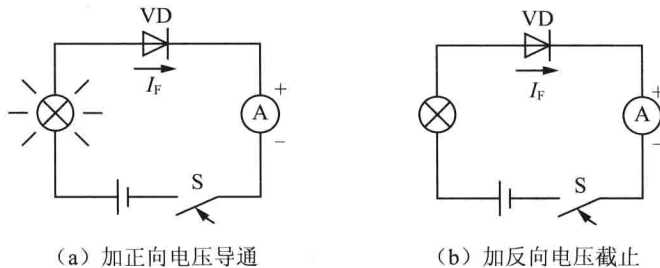


图 1-7 二极管单向导电电路

1. 加正向电压导通

如图 1-7(a) 所示。二极管阳极接电源正极，阴极接电源负极，称为给二极管加正向电压，也称使二极管正向偏置，简称正偏。这时指示灯亮。电流表指示电路中有较大电流。二极管中电流方向由阳极到阴极，这时称二极管正向导通。二极管正向导通时，正向电阻很小(为 $200\sim 400\Omega$)。

2. 加反向电压截止

如图 1-7(b) 所示，二极管正极接电源负极，负极接电源正极。称为给二极管加反向电压，也称使二极管反向偏置，简称反偏。这时指示灯不亮。电流表指示电路中电流几乎为零。二极管的这种状态称为反向截止。二极管反向截止时，反向电阻很大(约 $500\text{k}\Omega$ 以上)。

二、二极管的伏安特性

二极管两端的电压和管中电流关系的曲线称为二极管的伏安特性曲线。二极管的种类很多，参数也有差别，但它们的伏安特性曲线大致相似。图 1-8 是普通硅二极管的伏安特性曲线。

1. 正向特性

二极管的正向特性曲线分为正向死区和正向导通区两部分，如图 1-8 所示。

(1) 正向死区图中 $0A$ 段为死区。这个区域表明，所加正向电压较低时，正向电流近似为零，管子对外呈现高阻特性，二极管不导通。当正向电压超过某一数值后，二极管导通。该电压值称为死区电压(也称阈值电压或门槛电压)，通常用 U_T 表示。硅管死区电压约为 0.5V ，锗管死区电压约为 0.1V 。

(2) 正向导通区如图 ABC 段为正向导通区。当正向电压 U_F 大于死区电压 U_T 时，正向电流 I_F 随正向电压 U_F 的增加而急剧增大。二极管导通。图中 AB 段为非线性区。 BC 段为线性区。

在正向导通区，曲线陡直，说明即使 I_F 变化很大，二极管两端的正向压降 U_F 基本保持不变。硅管正向压降约为 0.7V 。锗管正向压降约为 0.3V 。正向导通时，二极管对外呈现低阻特性。

2. 反向特性

二极管两端加反向电压 U_R 时。特性曲线分为反向截止区和反向击穿区两部分，如图 1-8 所示。

(1) 反向截止区：图中 $0A'$ 段为反向截止区。在这个区域。二极管中的反向电流极小，且不随反向电压 U_R 变化，所以称为反向饱和电流，用 I_S 表示。由于 $I_S \approx 0$ ，二极管处于反向截止状态。对外呈很高的电阻。

(2) 反向击穿区：图中 $A'B'$ 段为反向击穿区。当反向电压 U_R 大于反向击穿电压

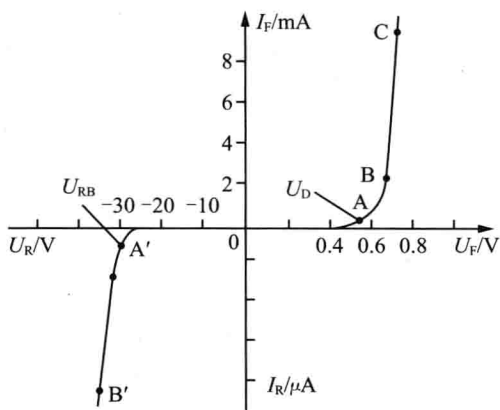
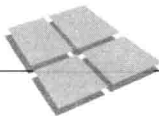


图 1-8 硅二极管伏安特性曲线



U_{RB} 时。反向电流 I_R 突然急剧增大，二极管失去单向导电性，这种现象称为反向击穿。普通二极管不允许工作在反向击穿区，因为反向击穿后，容易形成热击穿，造成管子永久性损坏。产生击穿时加在二极管上的电压 U_{RB} 称为反向击穿电压。

由以上分析可知，1)二极管具有单向导电性；2)二极管是非线性元件。二极管正向导通时，两端的压降很小。若忽略不计，可看成短路，与开关的接通类似；反向截止时。反向电流很小，若忽略不计，可看成开路，与开关的断开类似。具有这种理想特性的二极管称为理想二极管。理想二极管在电路中的作用类似于一个开关。因此在开关电路中有广泛地应用。

3. 二极管的主要参数

(1)最大整流电流 I_F ：是指管子长期运行时，允许通过的最大正向平均电流。因为电流通过PN结要引起管子发热，电流太大，发热量超过限度，就会使PN结烧坏。例如2AP1最大整流电流为16mA。

(2)反向击穿电压 U_{BR} ：指管子反向击穿时的电压值。击穿时，反向电流剧增，二极管的单向导电性被破坏，甚至因过热而烧坏。一般手册上给出的最高反向工作电压约为击穿电压的一半，以确保管子安全运行。

(3)反向电流 I_R ：指管子未击穿时的反向电流，其值越小，则管子的单向导电性越好。由于温度增加，反向电流会急剧增加，所以在使用二极管时要注意温度的影响。

(4)正向压降 U_D ：在规定的正向电流下，二极管的正向电压降。小电流硅二极管的正向压降在中等电流水平下，0.6~0.8V；锗二极管0.2~0.3V。

(5)动态电阻 r_d ：反映了二极管正向特性曲线斜率的倒数。显然， r_d 与工作电流的大小有关，即： $r_d = \Delta U_D / \Delta I_D$ 。

(6)极间电容 C_j ：二极管的极间电容包括势垒电容和扩散电容，在高频运用时必须考虑结电容的影响。二极管不同的工作状态，其极间电容产生的影响效果也不同。

4. 二极管的分类及常用二极管(如图 1-9 所示)

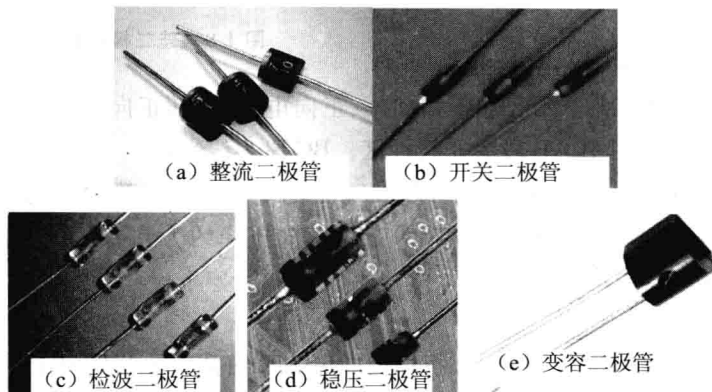


图 1-9 常见的二极管

(1)常用二极管一般按用途分类可参见表 1-1。

表 1-1 常用二极管的种类

种类	普通二极管	整流二极管	开关二极管	稳压二极管	发光二极管	光电二极管
型号	2AP 系列	2CZ 系列	2CK 系列	2CW 系列	LED 系列	2CU 系列
用途	高频检波等	大功率整流	开关电路	稳压电路	显示器件	光控器件
图形符号						

(2) 常用晶体二极管。

1) 整流二极管。

整流二极管是一种将交流电能转化成为直流电能的电路中常用的一种半导体器件，整流二极管具有明显的单向导电性，是一种大面积的功率器件，结电容大，工作频率较低，一般在几十千赫兹以下，反向电压从 25~3000V。

硅整流二极管的击穿电压高，反向漏电流小，高温性能良好，通常高压大功率整流二极管都用高纯单晶硅制造，这种器件结面积大，能通过较大电流(通常可以达到数千安)，但工作频率不高，一般在几十千赫兹以下，整流二极管主要用于各种低频整流电路，如图 1-10 所示。

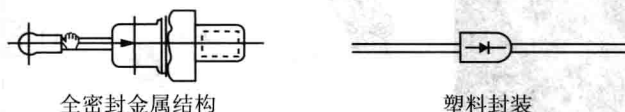


图 1-10 整流二极管结构及封装

2) 开关二极管。


开关二极管是半导体二极管的一种，是为在电路上进行“开”“关”而特殊设计制造的一类二极管。它由导通变为截止或由截止变为导通所需的时间比一般二极管短，常见的有 2AK、2DK 等系列。

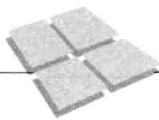
开关二极管具有开关速度快、体积小、寿命长、可靠性高等特点，广泛应用于电子设备的开关电路、检波电路、高频和脉冲整流电路及自动控制电路中。

3) 检波二极管。

检波二极管具有结电容低，工作频率高和反向电流小等特点，传统上用于调幅信号检波电路中。

4) 稳压二极管。

稳压二极管(又叫齐纳二极管)它的电路符号是： 此二极管是一种直到临界反向击穿电压前都具有很高电阻的半导体器件。在这临界击穿点上，反向电阻降低到一个很小的数值，在这个低阻区中电流增加而电压则保持恒定。也就是说稳压管反向电压在一定范围内变化时，反向电流很小，当反向电压增高到击穿电压时，反向电流突然猛增，稳压管从而反向击穿，此后，电流虽然在很大范围内变化，但稳压管两端的电压的变化却相当小。利于这一特性，稳压管就在电路起到稳压的作用了。稳压二极管是根据击穿电压来分档的，因为这种特性，稳压管主要被作为稳压器或电压基准



元件使用。其伏安特性与普通二极管相似，但反向击穿曲线比较陡，稳压二极管工作于反向击穿区，由于它在电路中与适当电阻配合后能起到稳定电压的作用，故称为稳压管。而且，稳压管与其他普通二极管不同之处是反向击穿是可逆性的，当去掉反向电压稳压管又恢复正常，但如果反向电流超过允许范围，二极管仍会发热击穿，所以，与其配合的电阻往往起到限流的作用。

5) 变容二极管。

变容二极管为特殊二极管的一种。当外加顺向偏压时，有大量电流产生，PN(正负极)接面的耗尽区变窄，电容变大，产生扩散电容效应；当外加反向偏压时，则会产生过渡电容效应。但因加顺向偏压时会有漏电流的产生，所以在应用上均供给反向偏压。

6) 发光二极管。

发光二极管简称为 LED。由镓(Ga)与砷(As)、磷(P)的化合物制成的二极管，当电子与空穴复合时能辐射出可见光，因而可以用来制成发光二极管。在电路及仪器中作为指示灯，或者组成文字或数字显示。磷砷化镓二极管发红光，磷化镓二极管发绿光，碳化硅二极管发黄光，如图 1-11 所示。

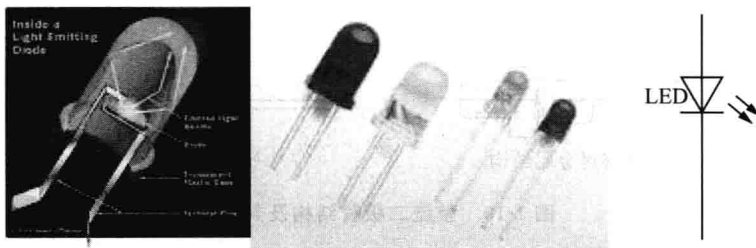


图 1-11 发光二极管外形、图形符号

发光二极管的两根引线中较长的一根为阳极，应接电源正极。有的发光二极管的两根引线一样长，但管壳上有一凸起的小舌，靠近小舌的引线是阳极。

与小白炽灯泡和氖灯相比，发光二极管的特点是：工作电压很低(有的仅一点几伏)；工作电流很小(有的仅零点几毫安即可发光)；抗冲击和抗震性能好，可靠性高，寿命长；通过调制通过的电流强弱可以方便地调制发光的强弱。由于有这些特点，发光二极管在一些光电控制设备中用作光源，在许多电子设备中用作信号显示器。把它的管心做成条状，用 7 条条状的发光管组成 7 段式半导体数码管，每个数码管可显示 0~9 的数目字。

发光二极管还可分为普通单色发光二极管、高亮度发光二极管、超高亮度发光二极管、变色发光二极管、闪烁发光二极管、电压控制型发光二极管、红外发光二极管和负阻发光二极管等。

1.3 晶体三级管

晶体三极管也称为双极型晶体管，它是一种电流控制型器件，由输入电流控制输