

DIANZI JISHU JIQI YINGYONG JICHU

电子技术及其应用基础

 化学工业出版社

高等学校“十三五”规划教材

电子技术及其应用基础

孙晓艳 华旭奋 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本着保证基础、加强集成、体现先进、联系实际、引导创新、便于教学的编写原则,本书内容共分两部分。第1部分为模拟电子技术篇,主要内容有常用半导体器件、单元电子电路放大电路基础、集成运算放大器、直流稳压电源。第2部分为数字电子技术篇,主要内容有组合逻辑电路、时序逻辑电路、模-数混合器件与电子系统。另外,为了加强EDA技术,增加了EDA技能训练——NI Multisim操作入门。全书参考学时48~120学时,教师可根据专业要求、学时数,以及学生层次的不同进行灵活处理。为了方便教师教学,每章有知识链接,并配套编写了练习册,将由化学工业出版社同时出版。

本书可供高等学校本科和高职高专电子信息、电气工程与自动化、机电类等不同专业和学时的学生选用,也可作为其他各专业的教材或教学参考书。

电子技术基础 ——EDA技能训练

图书在版编目(CIP)数据

电子技术及其应用基础/孙晓艳,华旭奋主编. —北京:
化学工业出版社, 2018.1

高等学校“十三五”规划教材

ISBN 978-7-122-30869-6

I. ①电… II. ①孙…②华… III. ①电子技术-高等学校-教材 IV. ①TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第261753号

责任编辑:王听讲

文字编辑:张绪瑞

责任校对:王素芹

装帧设计:韩飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:大厂聚鑫印刷有限责任公司

装订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张22 $\frac{3}{4}$ 字数612千字 2018年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:46.00元

版权所有 违者必究

前 言

本书是探索和实践基于职业岗位要求、工作过程导向和理论实践一体化教学改革的实用型教材,力求体现理工类专业对电子技术理论知识的要求,密切结合集成电路等半导体器件在工程实际中的应用,突出电子技术的基本概念和分析方法,注意对学生分析问题、解决问题能力的培养,适当介绍与电子发展新技术相关的知识,便于学生分层教育、拓展知识,教学内容理论难度小,突出实用性和针对性。

为符合课程的特点并方便广大学习者,我们将教材内容分为两部分。第1部分为模拟电子技术篇,主要内容有:常用半导体器件、单元电子电路放大电路基础、集成运算放大器、直流稳压电源。第2部分为数字电子技术篇,主要内容有:组合逻辑电路、时序逻辑电路、模-数混合器件与电子系统。另外,为了加强 EDA 技术,增加了 EDA 技能训练——NI Multisim 操作入门,这些内容几乎涵盖了电子技术的所有基础理论,可为学习者设计电子电路或电子系统提供丰富的专业知识。

本书部分章节配套了典型项目的仿真和实践制作,可引导学生在“教、学、做”一体的训练中,了解电子工艺基础知识、电子技术课程设计的方法,掌握常用电子仪器仪表的使用、电子产品制作的调试与检验工艺,学会电子线路仿真软件 Multisim 的使用,提高对电子线路故障的分析与处理能力。

本书内容可按照 48~120 学时安排,教师可根据不同的专业灵活安排学时。本书除附有大量工程案例外,还配套编写了练习册。练习册每章附有选择题、填空题、问答题等多种题型供学生练习。这些习题与教材内容紧密配合,深度适当,可安排学生课后练习,以检验对相关知识的掌握程度。

本书可作为高等院校电气、电子信息、计算机、机电一体化等专业的教材,同时也可供从事电子工程设计和研制工作的技术人员参考。我们将为使用本书的教师免费提供电子教案等教学资源,需要者可以到化学工业出版社教学资源网站 <http://www.cipedu.com.cn> 免费下载使用。

本书由无锡职业技术学院孙晓艳、华旭奋担任主编,赵勇、杨小平参编,其中,华旭奋编写了绪论、第1~3章,赵勇、杨小平编写了第4章,孙晓艳编写了第5~7章,杨小平编写了第8章。全书由赵翱东主审。

限于水平和经验，加上时间仓促，书中难免有疏漏和不妥之处，敬请各位专家和读者提出宝贵意见。

目 录

模拟电子技术篇

绪论	3
0.1 电信号	3
0.1.1 信号	3
0.1.2 模拟信号和数字信号	3
0.2 电子信息系统	4
第 1 章 常用半导体器件	6
1.1 半导体二极管及其应用电路	7
1.1.1 半导体基本知识	7
1.1.2 半导体二极管	7
1.1.3 温度对二极管伏安特性的影响	11
1.1.4 整流电路	11
1.1.5 滤波电路	16
1.1.6 特殊二极管	21
1.2 晶体三极管	25
1.2.1 晶体三极管的结构与符号	25
1.2.2 晶体三极管的电流放大作用	26
1.2.3 晶体三极管的特性曲线	28
1.2.4 晶体管的主要参数	30
1.2.5 温度对晶体管三极管特性曲线的影响	32
1.3 场效应管	32
1.3.1 结型场效应管 (JFET)	32
1.3.2 绝缘栅场效应管 (MOS 管)	36
1.4 复合管	40
小结	41
思考题	41
第 2 章 单元电子电路放大电路基础	42
2.1 放大电路概述	43
2.1.1 放大电路的基本概念	43
2.1.2 放大电路的主要性能指标	44
2.2 基本放大电路	47

2.2.1	共发射极基本放大电路的组成	47
2.2.2	共发射极基本放大电路的静态分析和动态分析	48
2.2.3	分压式偏置电路——静态工作点稳定电路	61
2.2.4	三极管放大电路的其他组态	64
2.2.5	场效应管放大电路	70
2.2.6	多级放大电路的组成及分析方法	71
2.3	差分放大电路	74
2.3.1	基本差动放大电路的组成	74
2.3.2	差模信号和共模信号	76
2.3.3	提高共模抑制比的电路	79
2.3.4	差分放大电路的单端输入、输出方式	81
2.4	功率放大电路	82
2.4.1	功率放大电路的概述	82
2.4.2	双电源互补对称功率放大器	84
2.4.3	单电源互补对称功率放大电路	87
	小结	89
	思考题	90
第3章 集成运算放大器		91
3.1	集成运算放大器	93
3.1.1	集成运放电路的结构特点	93
3.1.2	集成运放电路的电压传输特性和参数	94
3.1.3	理想集成运算放大电路	96
3.2	反馈	98
3.2.1	反馈的基本概念	98
3.2.2	反馈的类型及判断方法	99
3.2.3	交流负反馈的4种组态	102
3.2.4	负反馈对放大电路性能的影响	106
3.3	集成运算放大器的应用电路	111
3.3.1	基本运算电路	111
3.3.2	电压比较器	119
3.3.3	波形的产生与变换电路	125
	小结	134
	思考题	134
第4章 直流稳压电源		135
4.1	稳压电路	136
4.1.1	直流稳压电路的性能指标	136
4.1.2	硅稳压管稳压电路	137
4.1.3	串联型稳压电路	140
4.2	集成稳压电路	141
4.2.1	集成稳压器的基本应用电路	142
4.2.2	扩大输出电流的电路	143

4.2.3 输出电压可调的电路	143
小结	144
思考题	144

数字电子技术篇

第 5 章 组合逻辑电路 147

5.1 数字逻辑基础	149
5.1.1 数制与编码	149
5.1.2 逻辑代数与逻辑门	152
5.1.3 逻辑函数的表示方法	160
5.1.4 逻辑代数的基本定律和常用公式	164
5.1.5 逻辑函数的卡诺图化简法	167
5.2 集成逻辑门	172
5.2.1 常用 IC 门简介	172
5.2.2 TTL 门电路	174
5.2.3 CMOS 门电路	180
5.3 组合逻辑电路的分析与设计	186
5.3.1 组合逻辑电路的分析	186
5.3.2 组合逻辑电路的设计	189
5.4 常用组合逻辑功能器件及其应用	192
5.4.1 编码器	192
5.4.2 译码器	196
5.4.3 加法器	206
5.4.4 数据分配器和数据选择器	209
5.4.5 数值比较器	215
5.5 病房呼叫系统的调试	218
5.5.1 仿真电路图的调试	218
5.5.2 实物制作与调试	220
小结	222
思考题	223

第 6 章 时序逻辑电路 224

6.1 双稳态触发器	227
6.1.1 RS 触发器	227
6.1.2 边沿 JK 触发器	230
6.1.3 边沿 D 触发器	233
6.1.4 T 触发器和 T' 触发器	235
6.1.5 触发器功能的转换	235
6.1.6 触发器的应用	237
6.2 计数器	240
6.2.1 计数器的基本知识	240

6.2.2	时序逻辑电路的分析	240
6.2.3	二进制计数器	244
6.2.4	十进制计数器	253
6.2.5	N 进制计数器	268
6.3	寄存器	283
6.3.1	数码寄存器	283
6.3.2	移位寄存器	285
6.4	篮球 24s 倒计时器的调试	292
6.4.1	仿真电路图的调试	292
6.4.2	实物制作与调试	294
	小结	299
	思考题	300
第 7 章	模-数混合器件与电子系统	301
7.1	集成 555 定时器	303
7.1.1	集成 555 定时器概述	303
7.1.2	集成 555 定时器的应用	305
7.2	数/模和模/数转换	321
7.2.1	D/A 转换器	321
7.2.2	A/D 转换器	328
7.3	自动温控报警模拟电路的调试	336
7.3.1	仿真电路图的调试	336
7.3.2	实物制作与调试	337
	小结	339
	思考题	339
第 8 章	NI Multisim 操作入门	342
8.1	熟悉 NI Multisim 仿真软件	344
8.1.1	了解 NI Multisim 仿真软件	344
8.1.2	熟悉 NI Multisim 的用户界面及设置	345
8.2	掌握 NI Multisim 的基本操作	346
8.2.1	熟悉 Multisim 对元器件的管理	346
8.2.2	掌握 Multisim 输入并编辑电路的方法	347
8.2.3	掌握 Multisim 仪器仪表的基本操作	347
8.3	掌握 NI Multisim 的仿真方法	350
8.3.1	掌握仿真电路图的绘制	350
8.3.2	掌握仿真电路图的调试	351
	小结	354
	思考题	354
	参考文献	356

总 论

0.1 电 信

1.1.1 概 述

本书是供从事“电信”专业的大专院校师生及从事电信工程技术人员、模拟电子技术工作者参考的教材。本书可作为大专院校“电信”专业及相关专业的教材，也可作为从事电信工程技术人员、模拟电子技术工作者的参考书。

模拟电子技术篇

本书共分两篇。第一篇为“模拟电子技术”，第二篇为“数字电子技术”。第一篇主要介绍模拟电子技术的基本概念、基本理论和基本电路。第二篇主要介绍数字电子技术的基本概念、基本理论和基本电路。本书可作为大专院校“电信”专业及相关专业的教材，也可作为从事电信工程技术人员、模拟电子技术工作者的参考书。

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，力求做到概念清晰、重点突出、由浅入深、循序渐进。本书可作为大专院校“电信”专业及相关专业的教材，也可作为从事电信工程技术人员、模拟电子技术工作者的参考书。

1.1.2 模拟信号和数字信号

在电信系统中，信号是信息传输的载体。信号可以分为模拟信号和数字信号。模拟信号是连续变化的信号，数字信号是离散变化的信号。本书主要介绍模拟信号和数字信号的基本概念、基本理论和基本电路。

模拟信号的特点是连续变化，数字信号的特点是离散变化。模拟信号在传输过程中容易受到干扰，数字信号在传输过程中不容易受到干扰。本书主要介绍模拟信号和数字信号的基本概念、基本理论和基本电路。

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，力求做到概念清晰、重点突出、由浅入深、循序渐进。本书可作为大专院校“电信”专业及相关专业的教材，也可作为从事电信工程技术人员、模拟电子技术工作者的参考书。

绪 论

0.1 电信号

0.1.1 信号

什么是信号?“信号”一词在人们的日常生活和社会活动中并不陌生,例如时钟报时、汽车喇叭的声音、交叉路口的红绿灯、战场上的信号弹、电子计算机内部,以及它和外围设备之间联络的电信号等,都是人们熟悉的信号。

信号是表示消息的物理量,如电信号可以通过幅度、频率、相位的变化来表示不同的消息。这种电信号有模拟信号和数字信号两类。按照实际用途区分,信号包括电视信号、广播信号、雷达信号、通信信号等。

信号是运载消息的工具,是消息的载体。从广义上讲,它包含光信号、声信号和电信号等。例如,古代人利用点燃烽火台而产生的滚滚狼烟,向远方军队传递敌人入侵的消息,这属于光信号;当我们说话时,声波传递到他人的耳朵,使他人了解我们的意图,这属于声信号;遨游太空的各种无线电波、四通八达的电话网中的电流等,都可以用来向远方表达各种消息,这属电信号。人们通过对光、声、电信号进行接收,才知道对方要表达的消息。

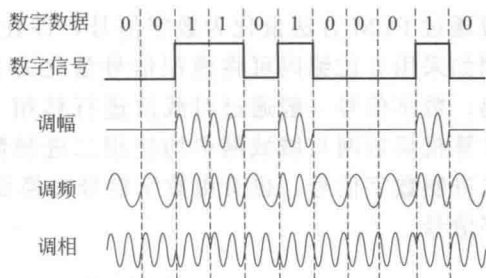


图 0-1 信号

对信号的分类方法很多,信号按数学关系、取值特征、能量功率、处理分析、所具有的时间函数特性、取值是否为实数等,可以分为确定性信号和非确定性信号(又称随机信号)、连续信号和离散信号(即模拟信号和数字信号)、能量信号和功率信号、时域信号和频域信号、时限信号和频限信号、实信号和复信号等。如图 0-1 所示。

0.1.2 模拟信号和数字信号

模拟信号是指信号波形模拟着信息的变化而变化,其主要特征是幅度是连续的,可取无限多个值;而在时间上则可连续,也可不连续。如图 0-2 所示,图(a)表示时间连续的信号,图(b)表示时间不连续的信号。

数字信号是指不仅在时间上是离散的,而且在幅度上也是离散的,只能取有限个数值的信号。如电报信号、脉冲编码调制(PCM, Pulse Code Modulation)信号等都属于数字信号。二进制信号就是一种数字信号,它是由“1”和“0”这两位数字的不同的组合来表示不同的信息。如图 0-3 所示。

人们依据在通信系统中传送的是模拟信号还是数字信号,把通信系统分成模拟通信系统和数字通信系统。如果送入传输系统的是模拟信号,则这种通信方式为模拟通信。如今所使

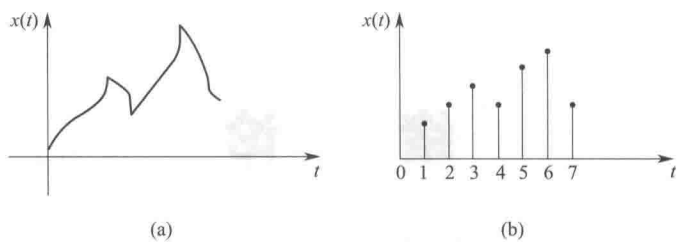


图 0-2 模拟信号

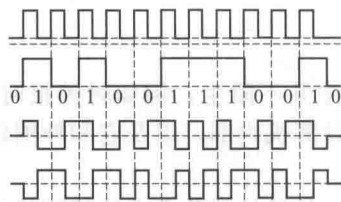


图 0-3 数字信号

用的大多数电话和广播、电视系统都是采用的模拟通信方式。

如果把模拟信号经过抽样、量化、编码后变换成数字信号后再进行传送，那么这种通信方式就是数字通信。

和模拟通信相比，数字通信虽然占用信道频带较宽，但它具有抗干扰能力强，无噪声积累，便于存储、处理和交换，保密性强，易于大规模集成，实现微型化等优点，正越来越得到广泛的应用。

模拟信号和数字信号之间可以相互转换：模拟信号一般通过 PCM 方法量化为数字信号，即让模拟信号的不同幅度分别对应不同的二进制值，例如采用 8 位编码可将模拟信号量化为 $2^8 = 256$ 个量级，实用中常采取 24 位或 30 位编码；数字信号一般通过对载波进行移相（phase shift）的方法转换为模拟信号。计算机、计算机局域网与城域网中均使用二进制数字信号，在计算机广域网中实际传送的则既有二进制数字信号，也有由数字信号转换而得的模拟信号。但是更具应用发展前景的是数字信号。

0.2 电子信息系统

电子信息系统可简称为电子系统，通常由电子元器件或部件组成的能够产生、传输或处理电信号及信息的客观实体组成，如通信系统、雷达系统、计算机系统、电子测量系统、自动控制系统等，它们都是能够完成某种任务的电子设备。一般把规模较小、功能单一的称为单元电路；把功能复杂，由若干个单元电路（功能块）组成规模较大的电子电路称为电子系统。电子系统一般包括输入/输出、信息处理和控制三大部分，可实现信号的处理、变换、控制或负载驱动。

图 0-4 所示为典型的电子系统示意图。系统首先采集信号，即进行信号的提取。通常，这些信号来源于测试各种物理量的传感器、接收器，或者来源于用于测试的信号发生器。对于实际系统，传感器或接收器所提供的信号的幅值往往很小，噪声很大，且易受干扰，有时甚至分不清什么是有用信号，什么是干扰或噪声。因此，在加工信号之前，需将其进行预处理。进行预处理时，要根据实际情况利用隔离、滤波、阻抗变换等各种手段将信号提取出来并进行放大。当信号足够大时，再进行信号的运算、转换、比较等不同的加工。最后，一般还要经过功率放大以驱动执行机构（负载）。若要进行数字化处理，则首先通过 A/D 转换电路将预处理后的模拟信号转换为数字信号，输入至计算机或其他数字系统，经处理后，再经过 A/D 转换电路将数字信号转换为模拟信号，以便于驱动负载。

若系统不经过数字化处理，则图 0-4 中的信号的预处理和信号的加工可合二为一，统称

为信号的处理。

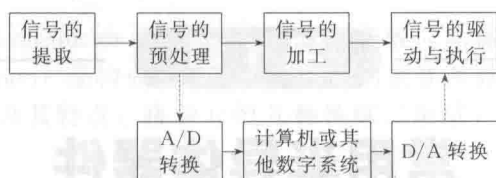


图 0-4 典型的电子系统

对模拟信号处理的电路称为模拟电路，对数字信号处理的电路称为数字电路。因此，图 0-4 所示电子系统是模拟-数字混合系统，信号的提取、预处理、处理、驱动由模拟电路组成，计算机或其他数字系统由数字电路组成，A/D、D/A 转换为模拟电路和数字电路的接口电路。

第 1 章

常用半导体器件

教学目标

认识半导体器件，熟悉半导体器件的概念和分类，熟悉半导体器件的特点及应用。

教学要求

能力目标	知识要点	能力目标	知识要点
熟悉半导体器件的概念和分类	认识半导体器件	熟悉各类半导体器件的特点及应用	了解各类半导体器件的特点
	熟悉半导体器件的分类		熟悉各类半导体器件的应用

导读

导体（conductor）指的是导电能力特别强的物质，例如银、铜、铝等金属。绝缘体（insulator）指导电能力非常差，几乎不导电的物质，例如陶瓷、胶木、空气。

引例

图 1-1 中的 3 个半导体器件有什么不同？它们的特性有何区别？分别运用于何种设计场合？设计相关电路时应注意哪些方面？这些问题都涉及半导体器件的类型、特征等问题。

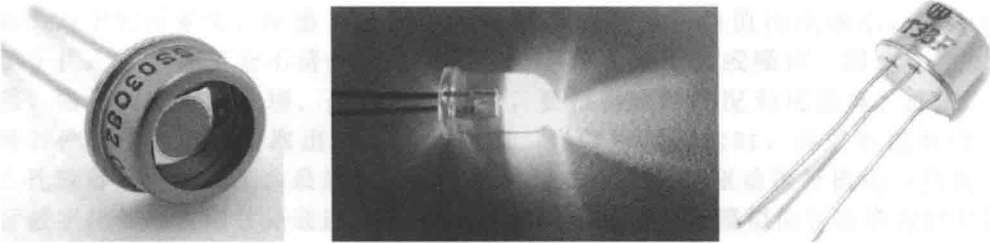


图 1-1 半导体器件

1.1 半导体二极管及其应用电路

半导体二极管 (semiconductor diode)、晶体管、场效应晶体管是电路中常用的半导体器件,PN 结 (PN junction) 是构成各种半导体器件的重要基础,本节首先讨论半导体的导电性和二极管的形成及其特点,接着介绍几种特殊二极管,最后介绍二极管的应用电路。

1.1.1 半导体基本知识

半导体 (semiconductor) 指导电能力介于导体和绝缘体之间的物质,例如锗、硅、硒、砷化镓等。

注意:导体与绝缘体均只是相对意义上的概念,像空气平时不导电,但在雷雨天气极有可能导电!

半导体有以下三大特性。

① 热敏特性:温度每升高 10°C ,半导体的电阻率减小为原来的二分之一。利用热敏特性可制成热敏电阻等热敏元件。

② 光敏特性:一种硫化镉半导体,在没有光照时,电阻高达几十兆欧,受到光照时,电阻可降到几十千欧,相差上千倍。利用光敏特性,可制成光敏电阻、光电三极管等。

③ 杂敏特性:在硅中掺入亿分之一的硼,其导电能力增加两万以上。利用控制掺杂方法,制造不同类型的半导体器件如二极管、三极管等。

纯净的半导体 (本征半导体, intrinsic semiconductor) 掺入微量元素后就成为杂质半导体。由于掺入的杂质不同,杂质半导体可分为 N 型半导体 (N-type semiconductor) 和 P 型半导体 (P-type semiconductor)。P 型和 N 型半导体的导电能力虽然较高,但并不能直接用来制造半导体器件。

PN 结是构成各种半导体的基础。PN 结是采用特定的制造工艺,使一块半导体的两边分别形成 N 型半导体和 P 型半导体,它们交界面就形成 PN 结。PN 结具有单向导电性 (unilateral conductivity),即在 PN 结上加正向电压时,PN 结电阻很低,正向电流 (forward current) 较大,PN 结处于导通状态 (turn-on state);加反向电压时,PN 结电阻很高,反向电流很小,PN 结处于截止状态 (cut-off state)。

1.1.2 半导体二极管

半导体二极管管芯是一个 PN 结。在管芯两侧半导体上分别引出电极引线,用管壳封装后制成二极管。由 P 型半导体引出的是正极 (又称阳极),由 N 型半导体引出的是负极 (又称阴极)。使用二极管时,极性不能接错 (常在管壳上标明色点,表示该端为正极;或标以二极管符号,箭头表示正向电流的方向)。如图 1-2 所示为常见二极管的外形。

按二极管结构不同,可分为点接触型、面接触型和平面型三种。点接触型二极管 PN 结面积很小,结电容小,适用于高频 (几百兆赫兹)、小电流 (几十毫安以下) 的场合,主要应用小功率整流、高频检波和开关电路,如图 1-3(a) 所示;面接触型二极管的 PN 结面积大,结电容也大,适用于低频 (几十千赫兹以下)、大电流 (几百毫安以上) 场合,主要应用于整流,如图 1-3(b) 所示;平面型二极管:结面积可小、可大,小的工作频率高,大的结允许的电流大,如图 1-3(c) 所示。如图 1-3(d) 所示为

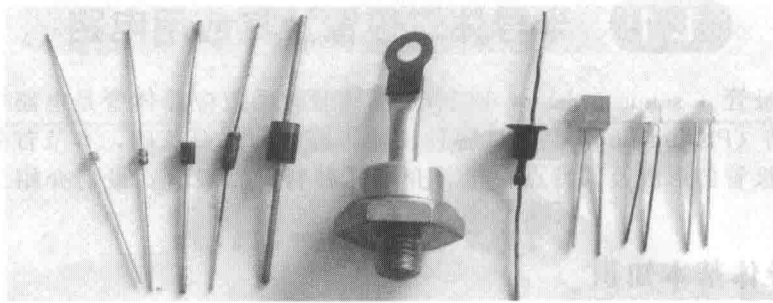


图 1-2 常见二极管的外形

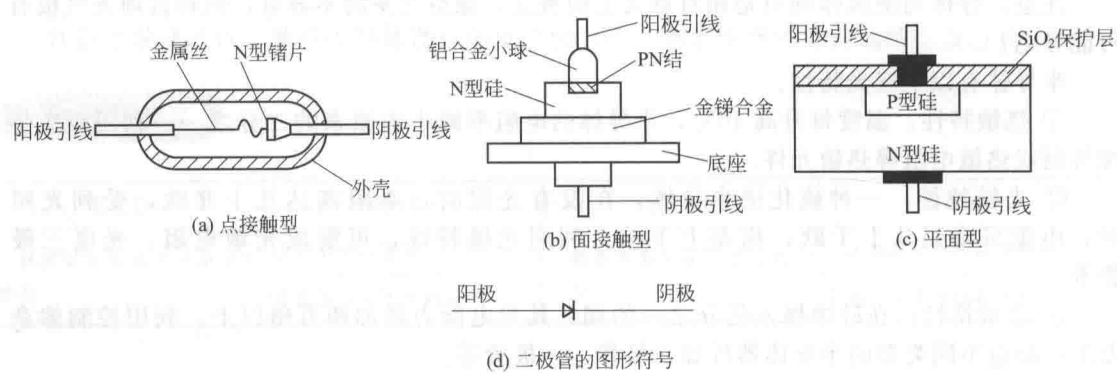


图 1-3 半导体二极管

二极管的图形符号。

1. 二极管的伏安特性

二极管的核心是 PN 结，因此它同样具有单向导电特性。常利用通过二极管的电流与加于二极管两端电压之间的关系绘制出伏安特性曲线，如图 1-4 所示为某硅二极管的伏安特性曲线。

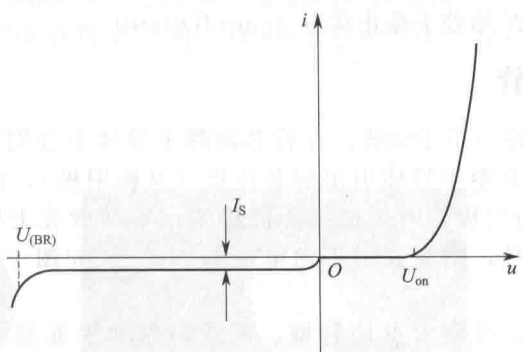


图 1-4 某硅二极管的伏安特性曲线

(1) 正向特性

外加正向电压很小时，几乎没有电流通过二极管。正向电压超过某数值后，才有正向电流流过二极管，这一电压值称为死区电压，又称门坎电压。锗管死区电压 U_T 约为 0.1V，硅管的死区电压约为 0.5~0.7V。