



新世纪本科生系列教材

电子技术

陈国联 王建华 夏建生 编著

西安交通大学出版社

新世纪本科生系列教材

电 子 技 术

陈国联
王建华 编著
夏建生

西安交通大学出版社

内 容 简 介

本书是在近年来面向 21 世纪教学内容和课程体系改革研究的基础上,依据原国家教育委员会 1995 年颁布的“电工技术”和“电子技术”两门课程的教学基本要求编写的。并列入西安交通大学 2000 年重点教材出版规划。全套书分为《电工技术》和《电子技术》共两册,每册均配有完整的多媒体课件。

《电子技术》内容包括半导体器件、基本放大电路、集成运算放大器、波形产生电路、直流电源、集成逻辑门和组合逻辑电路、集成触发器和时序逻辑电路、数字技术中常用的应用电路、大规模集成电路共 9 章。各章均配有丰富的例题、习题,每节有练习与思考题。每章前面有概述,后面有小结。

本书可作为高等学校工科非电类专业本科生,大专生及成人教育相关专业的教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术/陈国联等编著. —西安:西安交通大学出版社,2002.8
ISBN 7-5605-1529-0

I. 电… II. 陈… III. 电子技术 IV. TN
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 034578 号

*

西安交通大学出版社出版发行

(西安市兴庆南路 25 号 邮政编码:710049 电话:(029)2668315)

陕西宝石兰印务有限责任公司印装

各地新华书店经销

*

开本:727 mm×960 mm 1/16 印张:29.125 字数:543 千字

2002 年 8 月第 1 版 2002 年 8 月第 1 次印刷

印数:0 001~3 000 定价:42.00 元

发行科电话:(029)2668357,2667874

前 言

本书是西安交通大学电工、电子教学实验中心在多年进行电工、电子系列课程教学改革,面向本科生、研究生先后开出“非电量电测技术”、“可编程序控制器原理及应用”、“高级电工、电子技术实验”课程的基础上,并进行“全国普通高校电工学(电子技术)试题库的研制以及开发制作“电工技术”、“电子技术”授课型多媒体课件的同时,为了适应 21 世纪教学内容、教学体系改革发展的需要而编写的。本书已列入西安交通大学 2000 年重点教材出版规划。全套书分为《电工技术》和《电子技术》共两册。参考学时为 120~150。

《电子技术》在满足非电类电子技术课程教学基本要求的基础上,还具有以下特点:

(1) 贯彻少而精的原则,精选内容。教材份量适中,与教学学时相符。教学内容紧扣教学大纲,在突出基本概念,基本原理、基本分析方法的基础上加强工程应用。

(2) 加强集成电路的应用,减少分立电路的内容。模拟电路部分,在保证教学基本要求的前题下,尽量减少分立放大电路的内容,加强集成运算放大器的分析和应用;数字电路部分则直接由小规模集成电路入门,重点介绍中规模集成电路的应用。

(3) 注意反映电子技术领域的新技术和发展方向,把“大规模集成电路”作为一章内容加以介绍,特别是对数字电路的发展方向可编程逻辑器件作了初步介绍。同时还介绍了光敏二极管、发光二极管、光电三极管和光电耦合器件、VMOS 功率管、利用卡诺图化简逻辑函数、利用中规模集成译码器、多路选择器实现逻辑函数等内容。

(4) 为便于教与学,各章均配有较丰富的例题,每节有练习与思考题和习题,每章前面有概述,后面有小结。

(5) 在例题和习题的编排上注重综合实例的分析,便于读者应用和创新能力的培养。

(6) 本书配有完整的多媒体课件,有利于减少授课学时,提高教学质量。

本书的第 1,2,5 章由陈国联编写,第 3,4 章由王建华编写,第 6,7,

8,9 章由夏建生编写,全书由陈国联统稿。

在编写过程中,作者借鉴了有关参考资料。在此,对参考资料的作者以及帮助本书出版的单位和个人一并表示感谢。

由于编者的水平有限,书中难免有错误和不妥之处,敬请批评指出。

编者

2002 年 5 月

目 录

第一章 半导体器件

1.1 半导体二极管	(1)
1.1.1 PN 结及其单向导电性	(1)
1.1.2 半导体二极管的结构	(5)
1.1.3 半导体二极管的伏安特性	(6)
1.1.4 半导体二极管的主要参数	(8)
1.1.5 半导体二极管的应用	(8)
1.1.6 硅稳压管	(12)
1.1.7 光敏二极管	(15)
1.1.8 发光二极管	(15)
1.2 半导体三极管	(17)
1.2.1 半导体三极管的结构和分类	(17)
1.2.2 半导体三极管的电流放大原理	(18)
1.2.3 半导体三极管的特性曲线	(21)
1.2.4 半导体三极管的主要参数	(25)
1.2.5 光电三极管和光电耦合器件	(28)
1.3 绝缘栅场效应管	(30)
1.3.1 N 沟道增强型场效应管	(30)
1.3.2 N 沟道耗尽型场效应管	(35)
1.3.3 各种 MOS 场效应管的比较及其参数	(35)
1.3.4 VMOS 功率管	(39)
本章小结	(40)
习题	(41)

第二章 基本放大电路

2.1 共射基本放大电路	(47)
2.1.1 放大的概念和放大电路的性能指标	(47)
2.1.2 共射基本放大电路的组成	(51)
2.1.3 放大电路的工作原理	(52)

2.2 静态工作点的设置和稳定	(61)
2.2.1 静态工作点的设置	(61)
2.2.2 静态工作点的稳定	(65)
2.3 放大电路的微变等效电路分析法	(69)
2.3.1 半导体三极管的微变等效模型	(69)
2.3.2 放大电路的微变等效电路分析法	(72)
2.4 射极输出器	(77)
2.4.1 射极输出器的静态分析	(77)
2.4.2 射极输出器的动态分析	(78)
2.5 MOS场效应管放大电路	(81)
2.5.1 直流偏置电路和静态分析	(81)
2.5.2 动态分析	(83)
2.6 阻容耦合多级放大电路	(86)
2.6.1 阻容耦合多级放大电路的分析	(86)
2.6.2 阻容耦合放大电路的频率特性	(88)
2.7 差动放大电路	(92)
2.7.1 直耦放大电路中的零漂	(93)
2.7.2 典型差动放大电路	(94)
2.8 互补对称功率放大电路	(105)
2.8.1 功率放大电路的特点	(105)
2.8.2 无输出电容的互补对称功率放大电路(OCL电路)	(107)
2.8.3 无输出变压器的互补对称功率放大电路(OTL电路)	(110)
本章小结	(116)
习题	(118)

第三章 集成运算放大器

3.1 集成运算放大器简介	(128)
3.1.1 集成运算放大器电路简介	(128)
3.1.2 集成运算放大器的符号、管脚	(129)
3.1.3 集成运算放大器的主要参数	(131)
3.1.4 理想运算放大器及其分析方法	(133)
3.2 放大电路中的负反馈	(135)

3.2.1 负反馈的基本概念·····	(135)
3.2.2 负反馈对放大器性能的影响·····	(138)
3.2.3 负反馈的类型及其判别方法·····	(141)
3.3 集成运算放大器的线性应用·····	(149)
3.3.1 运算放大器的三种组态·····	(149)
3.3.2 信号运算电路·····	(156)
3.3.3 运放在测量技术中的应用·····	(166)
3.3.4 有源滤波器·····	(170)
3.4 集成运算放大器的非线性应用·····	(172)
3.4.1 电压比较器·····	(172)
3.4.2 精密整流电路·····	(179)
3.5 集成运放实际使用中的一些问题·····	(180)
3.5.1 零点调整·····	(180)
3.5.2 消除自激振荡·····	(181)
3.5.3 保护措施·····	(181)
本章小结·····	(183)
习题·····	(183)

第四章 波形产生电路

4.1 正弦波振荡器·····	(197)
4.1.1 正弦波自激振荡的基本原理·····	(197)
4.1.2 RC 正弦波振荡电路·····	(199)
4.1.3 LC 正弦振荡电路·····	(203)
4.2 方波发生器·····	(211)
4.3 三角波发生器·····	(213)
本章小结·····	(215)
习题·····	(216)

第五章 直流稳压电源

5.1 整流与滤波·····	(221)
5.1.1 单相整流电路·····	(221)
5.1.2 滤波电路·····	(226)
5.2 稳压电路·····	(231)
5.2.1 硅稳压管稳压电路·····	(231)

5.2.2 串联型稳压电路·····	(233)
5.2.3 集成稳压器·····	(237)
5.2.4 开关型稳压电路·····	(241)
5.3 晶闸管和可控整流电路·····	(243)
5.3.1 晶闸管·····	(243)
5.3.2 单相可控整流电路·····	(248)
5.3.3 单结晶体管触发电路·····	(259)
本章小结·····	(264)
习题·····	(265)

第六章 集成逻辑门和组合逻辑电路

6.1 数制和码制·····	(273)
6.1.1 数制·····	(273)
6.1.2 2~10 进制(BCD)编码·····	(275)
6.2 脉冲波形及其主要参数·····	(277)
6.3 逻辑门电路·····	(278)
6.3.1 与门电路·····	(279)
6.3.2 或门电路·····	(280)
6.3.3 非门电路·····	(281)
6.4 TTL 集成门电路·····	(283)
6.4.1 TTL 与非门电路·····	(283)
6.4.2 其它类型的 TTL 门电路·····	(293)
6.5 MOS 集成门电路·····	(299)
6.5.1 CMOS 反相器(非门)·····	(300)
6.5.2 CMOS 集成与非门电路及或非门电路·····	(301)
6.5.3 CMOS 传输门和模拟开关·····	(303)
6.6 逻辑代数及其应用·····	(304)
6.6.1 逻辑代数的基本定律·····	(305)
6.6.2 逻辑函数的代数化简法·····	(306)
6.6.3 逻辑函数的卡诺图化简法·····	(308)
6.7 组合逻辑电路的分析与设计·····	(315)
6.7.1 组合逻辑电路的分析·····	(315)
6.7.2 组合逻辑电路的设计·····	(317)
6.8 典型的集成组合逻辑电路·····	(319)

6.8.1 半加器和全加器·····	(319)
6.8.2 编码器·····	(322)
6.8.3 译码器和数字显示电路·····	(327)
6.8.4 数码比较器·····	(335)
6.8.5 数据选择器·····	(337)
6.8.6 数据分配器·····	(341)
本章小结·····	(343)
习题·····	(344)

第七章 集成触发器和时序逻辑电路

7.1 双稳态触发器·····	(352)
7.1.1 RS 触发器·····	(352)
7.1.2 主从型 JK 触发器·····	(356)
7.1.3 边沿触发器·····	(359)
7.1.4 触发器逻辑功能的转换·····	(362)
7.2 寄存器·····	(364)
7.2.1 数码寄存器·····	(364)
7.2.2 移位寄存器·····	(365)
7.3 计数器·····	(371)
7.3.1 2 进制计数器·····	(371)
7.3.2 2~10 进制计数器·····	(376)
7.3.3 N 进制计数器·····	(379)
7.3.4 中规模集成计数器·····	(380)
本章小结·····	(387)
习题·····	(388)

第八章 数字技术中常用的应用电路

8.1 脉冲信号的产生与整形电路·····	(400)
8.1.1 单稳态触发器·····	(400)
8.1.2 多谐振荡器——无稳态触发器·····	(407)
8.1.3 施密特触发器·····	(410)
8.1.4 集成 555 定时器及其应用·····	(414)
8.2 模数和数模转换器·····	(420)
8.2.1 数模转换器(DAC)·····	(420)

8.2.2 模数转换器(ADC).....	(425)
本章小结.....	(433)
习题.....	(434)

第九章 大规模集成电路

9.1 存储器	(440)
9.1.1 只读存储器(ROM)	(441)
9.1.2 随机存取存储器(RAM)	(442)
9.2 可编程逻辑器件(PLD)	(446)
9.2.1 可编程只读存储器(PROM)	(447)
9.2.2 可编程逻辑阵列(PLA)	(449)
9.2.3 可编程阵列逻辑(PAL)	(451)
9.2.4 通用阵列逻辑(GAL)	(453)
本章小结.....	(454)
习题.....	(454)

第一章

半导体器件

电子技术发展到今天这样的水平,首先应归功于半导体器件的发展,各种各样的电子线路总是使用着不同的半导体器件。因此,半导体器件是电子技术的基础。

本章首先简要地介绍半导体的基础知识,接着讨论常用的二极管、稳压管、半导体三极管和绝缘栅场效应管的结构、工作原理、特性曲线和主要参数。对器件内部的微观物理过程只作简单地介绍,把讨论的重点放在外部特性及其具体应用上。

1.1 半导体二极管

1.1.1 PN 结及其单向导电性

自然界中的所有物质,按其导电能力的大小可以分为导体、半导体和绝缘体。铜、铝、银等金属导电能力很强,它们是导体;橡胶、陶瓷、塑料等有机物质导电能力很差,它们属于绝缘体;半导体的导电能力介于导体和绝缘体之间,硅、锗、硒等物质属于半导体,半导体元素的外层电子数目一般是 4 个。当纯净的半导体材料经过适当的加工,使所有的原子按一定规则整齐排列而形成晶体结构时,每一个原子的 4 个外层价电子与周围 4 个原子的外层价电子相结合而形成共价键,这就是本征半导体。当本征半导体被加热或受到光照时,共价键中的价电子将获得能量而挣脱共价键的束缚成为自由电子。自由电子带负电,同时,在共价键中留下一个空位,称之为空穴。具有空穴的原子因失去一个价电子而带正电,它可以吸引相邻原子中的价电子来填补这个空穴。与此同时,在相邻原子的共价键中形成了一个新的空穴,这样就随着价电子的迁移而形成了空穴的移动,空穴的移动实际上反映的是价电子的反方向移动。由于空穴移动到哪儿,哪儿的原子就因失去电子而带正电,所以可以等效地看作空穴带

有正电荷。在半导体中存在着自由电子和空穴两种载流子,这是半导体导电机理与导体导电机理的最大差别,通常把这两种带电粒子通称为载流子。

本征激发的自由电子和空穴总是成对出现的,同时也在不断地复合消失,在一定温度下,载流子的产生和复合达到动态平衡,半导体中的载流子数便维持不变。当温度升高时,由于本征激发加强,半导体中的载流子数目便增加,其导电性能会显著地提高,这一特性称为半导体的热敏性。在实际工作中常利用半导体的热敏性制成热敏电阻等热敏器件作为温度检测元件。

同样,当有光照射到半导体时,半导体的本征激发也会加强,这时不仅半导体的导电能力会增强,而且还会产生电动势,这一特性称为半导体的光敏性,利用光敏效应可以制成光敏电阻和光电池。

本征半导体的导电能力还随着掺入微量的其它元素而发生明显地变化。例如,在纯净的硅半导体中掺入 $1/10^6$ 的硼后,硅的电阻率就从大约 $2 \times 10^3 \Omega \cdot m$ 减小到约为 $4 \times 10^{-3} \Omega \cdot m$ 。这一特性称之为半导体的掺杂性。利用半导体的掺杂性可以制成各种不同用途的半导体器件。

在本征半导体材料(主要是硅或锗)中掺入微量的三价杂质元素硼,因硼原子只有 3 个价电子,故在形成共价键结构时,将因缺少一个价电子而形成空位,硼原子就会吸引周围共价键上的价电子来填补这个空位,使硼原子得到一个价电子而成为负离子,同时在失去价电子的共价键上形成了一个带正电的空穴。虽然掺入的三价杂质相对数量较少,但绝对原子数却很多,所以在这种掺杂半导体中空穴数很多,称为空穴型半导体或 P 型半导体。由于空穴增多增加了载流子的复合机率,自由电子数便很少,故 P 型半导体中,空穴是多数载流子,电子是少数载流子。如果在本征半导体材料中掺入微量的五价杂质元素磷,因磷原子有 5 个价电子,而在形成共价键结构时只需 4 个价电子,这样多余的第 5 个价电子就很容易挣脱磷原子的束缚而成为自由电子,同时磷原子因失去一个价电子而成为正离子。在这种掺杂半导体中,自由电子是多数载流子,空穴是少数载流子,称为电子型半导体或 N 型半导体。多子是由掺杂产生的,多子数目取决于掺杂浓度;少子是由本征激发所产生,少子数目的多少与环境温度有很大关系。

无论是 P 型半导体还是 N 型半导体,从整体上看,其中的正、负电荷量总是相等的,对外保持电中性。

1. PN 结的形成

如果在 N 型(或 P 型)半导体基片上,经过特殊的工艺措施在局部区域掺入高浓度的三价(或五价)元素作为补偿杂质,使该区域形成 P 型(或 N 型)区,则在 P 区和 N 区之间的交界面附近,将形成一个很薄的空间电荷区(其厚度的典型值约为 $0.5\ \mu\text{m}$),称为 PN 结,如图 1.1(a)所示。为说明问题方便起见,把 PN 结附近的区域扩展为图 1.1(c)的形式。

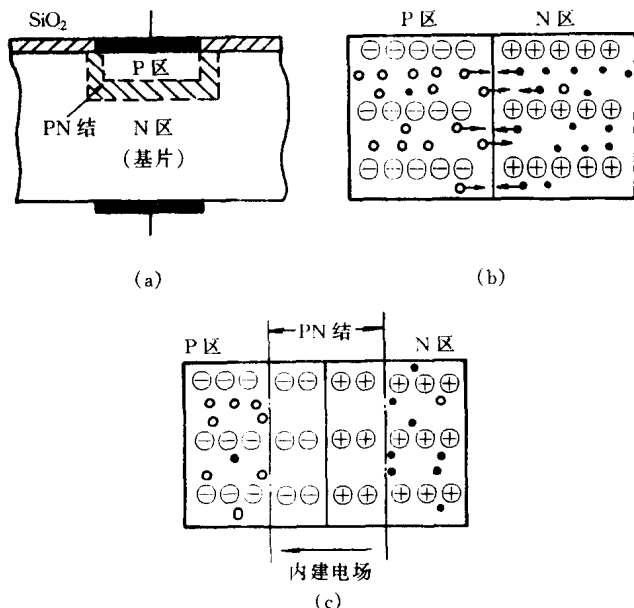


图 1.1 PN 结的形成

(a) 二极管芯剖面简图; (b) PN 结的形成过程;

(c) 扩展后的 P 区和 N 区交界面

PN 结的形成过程可解释如下:因为 P 型和 N 型半导体之间存在着多子浓度上的显著差异,P 区内有大量的空穴,而 N 区内空穴数目很少;N 区内有大量的电子,P 区内电子数目很少。因此 P 区的空穴要向 N 区扩散;N 区的电子要向 P 区扩散,扩散到对方的载流子便与该区的多子相遇而复合,如图 1.1(b)。这样,在 P 区一侧留下不能移动的负离子,在 N 区一侧留下不能移动的正离子,如图 1.1(c)。这个由正负离子组成的空间电荷区就是 PN 结,也称耗尽层。由于在 PN 结的 P 区一侧带负电,N 区一侧带正电,所以随着 PN 结的形成建立了由 N 区指向 P 区的内建电场。

内建电场是由多子扩散运动形成的。伴随着它的建立带来两种后

果:一是内建电场将阻碍多子的进一步扩散;二是P区和N区的少子一旦靠近PN结,便在内建电场的作用下漂移到对方。N区的少子(空穴)漂移到P区后将使P区的空间电荷区缩小,P区的少子(电子)漂移到N区后也将使N区的电荷区缩小,漂移运动使空间电荷区变窄。

由以上分析可见,在PN结内既有多子的扩散运动,也有少子的漂移运动。在PN结开始形成时,多子的扩散运动占优势,随着扩散运动的进行,空间电荷区逐渐加宽,内建电场也愈来愈大,于是多子的扩散运动减弱而少子的漂移运动加强,直到多子的扩散运动与少子的漂移运动达到动态平衡以后,空间电荷区的宽度才相对稳定下来,此时多子的扩散数与少子的漂移数相等,所以通过PN结的净电流等于零。

2. PN结的单向导电性

以上讨论的是PN结无外加电压时的情况,这时多子的扩散运动与少子的漂移运动处于动态平衡状态。下面讨论PN结在外加电压作用下的特性。

(1) 正向偏置

图1.2是PN结加正向电压时的情况,此时P区电位高于N区,这种情况称为正向偏置(简称正偏)。由图可见,外加电场方向与PN结内建电场方向相反,在外加电场作用下,PN结的动态平衡状态被打破,P区内的多子空穴和N区内的多子电子将在外电场的作用下向PN结内移动,当P区的空穴进入

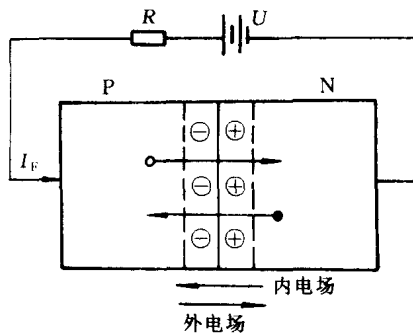


图1.2 外加正向电压时的PN结

PN结后,就要和负离子中和,使PN结内P区一侧的负电荷量减少。同样,当N区的电子进入PN结后也会使PN结内N区一侧的正电荷量减少。结果空间电荷区变窄,内建电场被削弱。这将有利于多子的扩散,不利于少子的漂移。P区的空穴不断扩散到N区,N区的电子也不断扩散到P区。PN结内的电流主要由扩散电流决定,在外电路上形成由P区流入、N区流出的正向电流 I_F 。随着外加电场的增大,PN结内建电场进一步减弱,扩散运动随之加强,正向电流急剧增加。此时PN结呈现低阻导通状态,正向电流 I_F 的大小受外电路限流电阻 R 的限制。

在PN结正偏时,由少子形成的漂移电流,其方向与扩散电流相反,

数值很小,可忽略不计。

(2) 反向偏置

图 1.3 是 PN 结加反向电压时的情况,此时 N 区电位高于 P 区。这种情况称为 PN 结的反向偏置(简称反偏)。由图可见,外加电场方向与 PN 结内建电场方向相同,在外加电场的作用下, P 区的空穴和 N 区的电子将进一步远离 PN 结,使空间电荷区加宽,空间电荷量增加,内电场加强,阻碍多子的扩散运动,扩散电流趋

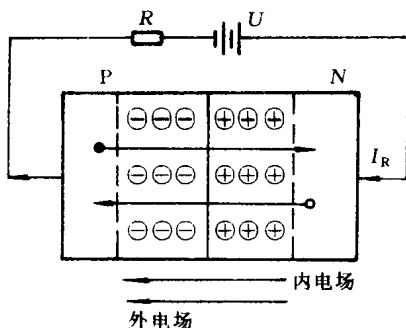


图 1.3 外加反向电压时的 PN 结

近于零。但是,内建电场的增加,却有利于少子的漂移运动,因此在外电路中形成了由 N 区流入、P 区流出的反向电流 I_R 。由于少子由本征激发所产生,其浓度很小,所以反向电流 I_R 数值很小,并且受环境温度影响很大。

反偏时,PN 结中的反向电流很小,可以认为 PN 结基本上不导电,呈现高阻截止状态。

由以上分析可知,PN 结的正向电阻较小,反向电阻很大。正向偏置时,PN 结导通;反向偏置时,PN 结截止。这就是 PN 结的单向导电性。

1.1.2 半导体二极管的结构

把一个 PN 结的两端接上电极引线,外面用金属(或玻璃、塑料)管壳封装起来,便构成二极管。从 PN 结的 P 区引出的电极称为阳极(或正极),从 N 区引出的电极称为阴极(或负极)。二极管的电路符号如图 1.4(c)所示。

根据结构的不同,二极管有点接触型和面接触型两类。

1. 点接触型二极管

其结构如图 1.4(a)所示,一般为锗管。它的特点是 PN 结面积小,相应的结电容也小。适用于高频小电流场合,主要用在高频检波、脉冲电路和小电流整流电路中。

2. 面接触型二极管

其结构如图 1.4(b)所示,一般为硅管。它的特点是 PN 结面积较大,可通过较大的电流,但其结电容也较大,适用于低频大电流整流电路。

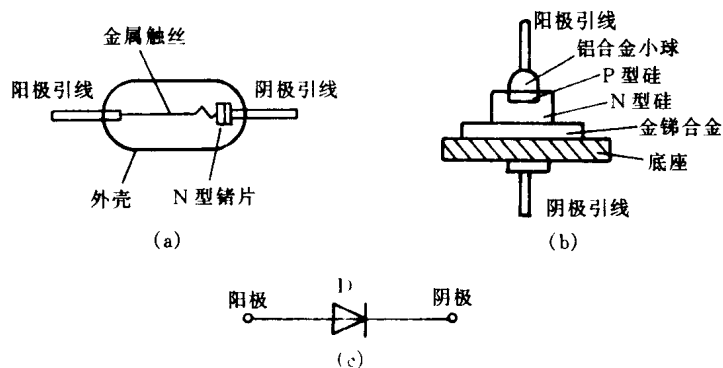


图 1.4 二极管的结构和电路符号

(a) 点接触二极管结构示意图; (b) 面接触二极管结构示意图;
(c) 二极管的电路符号

根据半导体材料的不同,二极管可分为硅管和锗管。

1.1.3 半导体二极管的伏安特性

二极管的伏安特性是指管子两端电压与流过管子的电流之间的关系曲线,如图 1.5 所示。

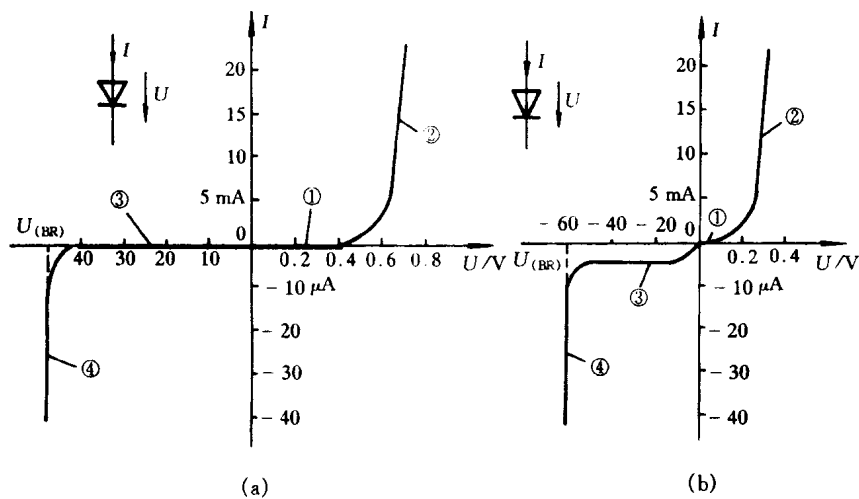


图 1.5 二极管的伏安特性

(a) 硅二极管 2CZ52A 的伏安特性; (b) 锗二极管 2AP15 的伏安特性