

21世纪高职高专新概念规划教材

电子技术基础

(第二版)

主 编 李中发 邓 晓
副主编 彭敏放 黄清秀 朱彦卿 江亚群



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

21 世纪高职高专新概念规划教材

电子技术基础

(第二版)

主编 邓 晓
副主编 朱彦卿 江亚群

常州大学图书馆藏



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书系统地介绍了电子技术的基本概念、基本理论、基本方法及其在实际中的应用。全书共 10 章, 主要内容包括: 半导体器件、单级交流放大电路、多级放大电路、集成运算放大器的应用、直流稳压电源、门电路与逻辑代数、组合逻辑电路、触发器与时序逻辑电路、存储器与可编程逻辑器件、模拟量与数字量的转换。

本书充分体现了职业教育特色, 集电子技术与应用为一体。全书叙述简明, 概念清楚, 知识架构合理, 重点突出, 难点不难; 内容精炼, 深入浅出, 图文并茂, 通俗易懂; 每章前有学习要求, 后有归纳小结; 例题、习题丰富, 并附有部分习题参考答案, 易于教学, 方便自学。

本书可作为各类职业院校非电专业电子技术课程的教材或参考书, 也可供有关工程技术人员参考。

本书为授课教师和读者免费提供 PowerPoint 电子教案, 教师可以根据教学需要任意修改, 读者可以从中国水利水电出版社网站和万水书苑上下载, 网址为: <http://www.waterpub.com.cn/softdown/>和 <http://www.wsbookshow.com>。

图书在版编目 (C I P) 数据

电子技术基础 / 李中发, 邓晓主编. -- 2版. -- 北
京: 中国水利水电出版社, 2016.5
21世纪高职高专新概念规划教材
ISBN 978-7-5170-4311-9

I. ①电… II. ①李… ②邓… III. ①电子技术—高
等职业教育—教材 IV. ①TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第101956号

策划编辑: 雷顺加

责任编辑: 宋俊娥

封面设计: 李 佳

书 名	21 世纪高职高专新概念规划教材 电子技术基础 (第二版)
作 者	主 编 李中发 邓 晓 副主编 彭敏放 黄清秀 朱彦卿 江亚群
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	北京正合鼎业印刷技术有限公司
规 格	170mm×227mm 16 开本 20.25 印张 376 千字
版 次	2004 年 3 月第 1 版 2004 年 3 月第 1 次印刷 2016 年 5 月第 2 版 2016 年 5 月第 1 次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	38.00 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

第二版前言

《电子技术基础》一书自 2004 年出版以来,经各类职业院校教学使用近 10 余年,深受师生们的好评与欢迎。广大师生们普遍反映,本教材叙述简明,内容深入浅出,通俗易懂;编写思路紧扣教学要求,基本概念讲述清楚,重点突出,难点不难;对问题的讨论注重物理概念的阐述,分析清晰透彻,举例具有典型性且有工程实际观点;每章前有学习要求,后有归纳小结,例题丰富、习题配置齐全,且部分习题提供参考答案,易于教学,方便自学。

编者在本书第一版的基础上,根据多年的教学经验和对课程改革的实践尝试,听取众多使用本教材师生提出的宝贵意见和建议,结合目前电子技术的发展和应用情况,教学上的灵活性以及因材施教的需要,对教材进行了适当的修订。修订后的教材,更加切合理工科职业院校非电类专业的教学层次及教学特点,概念更加清晰、简明,读者更易于掌握电子技术的规律,提高应用能力。

本书的修订是在中国水利水电出版社的指导下完成的。主要修订人员分工如下:彭敏放(第 1 章)、邹津海(第 2 章)、姜燕(第 3 章)、朱彦卿(第 4 章)、黄清秀(第 5 章)、谭阳红(第 6 章)、江亚群(第 7 章)、李中发(第 8 章)、邓晓(第 9 章)、张晚英(第 10 章)。本书由李中发、邓晓担任主编,负责全书的组织、修改和定稿工作;彭敏放、黄清秀、朱彦卿、江亚群担任副主编。

由于编者水平有限,书中疏漏和错误之处在所难免,恳请广大读者提出宝贵意见,以便修改。

编 者

2016 年 1 月

第一版前言

电子技术是研究电子器件、电子电路及其应用的科学技术。它是 20 世纪才发展起来的新兴学科。几十年来,电子技术以惊人的发展速度改变着它自身和整个现代科学技术的面貌,对整个科学技术的发展起了极大的推动作用。目前,电子技术应用十分广泛,并且已经渗透到国民经济、国防和日常生活的一切领域,在我国社会主义现代化建设中占有极其重要的地位。

电子技术课程是高等工业学校非电类专业的一门技术基础课。它的任务是使学生通过本课程的学习,获得电子技术必要的基本理论、基本知识和基本技能,了解电子技术的应用和发展,为学习后续相关课程以及从事与本专业有关的工程技术和科学研究工作打下一定的基础。

本教材与《电工技术基础》(李中发主编,即将由中国水利水电出版社出版)作为电工学的一套教材,在章节安排和内容取舍上都作了仔细的协调。

本书集电子技术和应用于一体,在内容和结构上对电子技术课程进行了优化整合。在本书编写过程中,作者根据自己多年的教学经验及对课程改革的实践尝试,从时代发展、技术进步、知识结构、课程体系上进行总体考虑,力图实现以下目标:

叙述简明,内容深入浅出,通俗易懂,文图并茂,例题、习题丰富,各章均有学习要求、概述和小结,书后有附录和习题答案,便于教与学;内容精练,基本概念清楚,重点突出,难点不难;系统性强,使学生建立完整有序的概念;知识结构合理,为进一步学习有关后续课程和实际应用打下良好的基础;理论教学与实践教学紧密结合,注重学生的智力开发和能力培养;力图反映新技术、新动向,以适应电工电子技术发展和变化的需要。

本教材的理论教学时数约为 60 学时,实践教学时数约为 20 学时。在教学时可根据各专业的实际情况进行适当取舍。

本书是在教育部“高职高专教育电工课程教学内容体系改革、建设的确定与实践”(项目编号 III31-1)课题组和中国水利水电出版社指导下编写完成的。参加本书编写工作的有:许新民(第 1 章),邹津海(第 2 章),胡锦(第 3 章),谢胜曙(第 4 章),陈洪云(第 5 章),方厚辉(第 6 章),江亚群(第 7 章),李中发(第 8 章、第 9 章),向阳(第 10 章),杨华、周少华参加了部分习题的选编工作,陈玉英、李珊珊、陈南放等做了本书的文字录入和图表制作工作。本书由李

中发担任主编，负责全书的组织、修改和定稿工作；由方厚辉、谢胜曙、胡锦涛担任副主编。

限于编者水平，书中疏漏在所难免，恳请广大读者提出宝贵意见。作者的E-mail 地址为：li_zhongfa@163.net。

编 者

2004 年 1 月

目 录

第二版前言

第一版前言

第1章 半导体器件	1
本章学习要求	1
1.1 PN 结	1
1.1.1 半导体的导电特征	2
1.1.2 PN 结及其单向导电性	3
1.2 半导体二极管	4
1.2.1 半导体二极管的结构	4
1.2.2 半导体二极管的伏安特性	5
1.2.3 半导体二极管的主要参数	6
1.3 特殊二极管	8
1.3.1 稳压管	8
1.3.2 发光二极管	10
1.3.3 光电二极管	11
1.4 双极型三极管	11
1.4.1 三极管的结构及类型	11
1.4.2 三极管的电流分配和电流放大作用	13
1.4.3 三极管的特性曲线	14
1.4.4 三极管的主要参数	16
1.5 场效应晶体管	17
1.5.1 绝缘栅型场效应管的结构	17
1.5.2 绝缘栅型场效应管的工作原理和特性曲线	19
1.5.3 场效应管的主要参数	21
本章小结	21
习题一	22
第2章 单级交流放大电路	25
本章学习要求	25
2.1 放大电路的静态分析	25

2.1.1	放大电路的组成	26
2.1.2	估算法	27
2.1.3	图解法	27
2.2	放大电路的动态分析	29
2.2.1	图解法	30
2.2.2	微变等效电路法	33
2.3	静态工作点的稳定	37
2.3.1	温度对静态工作点的影响	37
2.3.2	静态工作点稳定的放大电路	38
2.4	射极输出器	41
2.4.1	静态分析	42
2.4.2	动态分析	42
2.5	场效应晶体管放大电路	44
2.5.1	静态分析	44
2.5.2	动态分析	46
	本章小结	47
	习题二	48
第3章	多级放大电路	53
	本章学习要求	53
3.1	多级放大电路的耦合方式	54
3.1.1	阻容耦合放大电路	54
3.1.2	直接耦合放大电路	58
3.2	差动放大电路	61
3.2.1	差动放大电路的工作原理	61
3.2.2	差动放大电路的输入输出方式	65
3.3	互补对称功率放大电路	66
3.3.1	功率放大电路的特点及类型	66
3.3.2	互补对称功率放大电路	67
3.4	集成运算放大器	69
3.4.1	集成运算放大器的特点	70
3.4.2	集成运算放大器的组成	71
3.4.3	集成运放的主要参数及种类	71
3.4.4	集成运放的理想模型	72
3.5	放大电路中的负反馈	74

3.5.1	反馈的基本概念	74
3.5.2	负反馈的类型及其判别	76
3.5.3	负反馈对放大电路性能的影响	78
本章小结		80
习题三		81
第 4 章	集成运算放大器的应用	87
本章学习要求		87
4.1	模拟运算电路	87
4.1.1	比例运算电路	87
4.1.2	加法和减法运算电路	93
4.1.3	积分和微分运算电路	97
4.2	信号处理电路	100
4.2.1	有源滤波器	100
4.2.2	采样保持电路	103
4.2.3	电压比较器	104
4.3	正弦波振荡器	106
4.3.1	自激振荡条件	106
4.3.2	RC 正弦波振荡器	107
4.4	使用运算放大器应注意的几个问题	109
4.4.1	选用元件	109
4.4.2	消振	109
4.4.3	调零	109
4.4.4	保护	109
4.4.5	扩大输出电流	110
本章小结		111
习题四		111
第 5 章	直流稳压电源	119
本章学习要求		119
5.1	整流电路	120
5.1.1	单相半波整流电路	120
5.1.2	单相桥式整流电路	122
5.2	滤波电路	126
5.2.1	电容滤波电路	126
5.2.2	电感滤波电路	128

5.2.3 复合滤波电路	129
5.3 直流稳压电路	129
5.3.1 并联型直流稳压电路	130
5.3.2 串联型稳压电路	131
5.3.3 集成稳压器	132
本章小结	134
习题五	134
第6章 门电路与逻辑代数	138
本章学习要求	138
6.1 数字电路概述	138
6.1.1 数字信号与数字电路	138
6.1.2 数制及其转换	140
6.1.3 编码	142
6.2 分立元件门电路	143
6.2.1 与逻辑和与门电路	144
6.2.2 或逻辑和或门电路	145
6.2.3 非逻辑和非门电路	147
6.2.4 复合门电路	148
6.3 集成门电路	149
6.3.1 TTL 门电路	149
6.3.2 CMOS 门电路	151
6.4 逻辑代数	152
6.4.1 逻辑代数的公式和定理	153
6.4.2 逻辑函数的表示方法	154
6.4.3 逻辑函数的化简	161
本章小结	165
习题六	166
第7章 组合逻辑电路	171
本章学习要求	171
7.1 组合逻辑电路的分析与设计	171
7.1.1 组合逻辑电路的分析	171
7.1.2 组合逻辑电路的设计	176
7.2 加法器与数值比较器	180
7.2.1 加法器	180

7.2.2 数值比较器	184
7.3 编码器	185
7.3.1 二进制编码器	185
7.3.2 二—十进制编码器	187
7.3.3 优先编码器	188
7.4 译码器	190
7.4.1 二进制译码器	190
7.4.2 二—十进制译码器	194
7.4.3 显示译码器	195
7.5 数据选择器与数据分配器	199
7.5.1 数据选择器	199
7.5.2 数据分配器	203
本章小结	204
习题七	205
第 8 章 触发器与时序逻辑电路	212
本章学习要求	212
8.1 双稳态触发器	213
8.1.1 RS 触发器	213
8.1.2 D 触发器	217
8.1.3 主从 JK 触发器	219
8.1.4 触发器逻辑功能的转换	222
8.2 寄存器	223
8.2.1 数码寄存器	224
8.2.2 移位寄存器	224
8.2.3 集成移位寄存器	229
8.3 计数器	230
8.3.1 二进制计数器	230
8.3.2 十进制计数器	234
8.3.3 N 进制计数器	236
8.4 555 定时器	244
8.4.1 555 定时器的结构和工作原理	244
8.4.2 555 定时器的应用	246
本章小结	251
习题八	252

第9章 存储器与可编程逻辑器件	260
本章学习要求	260
9.1 只读存储器	261
9.1.1 ROM 的结构	261
9.1.2 ROM 的工作原理	262
9.1.3 ROM 的应用	267
9.2 随机存取存储器	270
9.2.1 RAM 的结构	271
9.2.2 RAM 容量的扩展	273
9.3 可编程逻辑器件	275
9.3.1 PLD 的结构	275
9.3.2 PLD 的分类	276
9.3.3 PLD 的应用	278
9.3.4 PLD 设计过程简介	280
本章小结	281
习题九	282
第10章 模拟量与数字量的转换	285
本章学习要求	285
10.1 数模转换器	286
10.1.1 T 型电阻网络数模转换器	286
10.1.2 倒 T 型电阻网络数模转换器	289
10.1.3 集成数模转换器及其应用	290
10.1.4 数模转换器的主要技术指标	291
10.2 模数转换器	292
10.2.1 逐次逼近型模数转换器	292
10.2.2 集成 A/D 转换器及其应用	295
10.2.3 模数转换器的主要技术指标	297
本章小结	297
习题十	298
附录	299
附录 1 半导体分立器件型号命名方法	299
附录 2 半导体集成电路型号命名方法	300
部分习题参考答案	301
参考文献	311

第 1 章 半导体器件



本章学习要求

- 了解半导体二极管、三极管的结构。
- 理解二极管的工作原理、伏安特性和主要参数。
- 理解双极型三极管的放大作用、输入和输出特性曲线及主要参数。
- 了解 MOS 场效应管的伏安特性、主要参数及其与双极型三极管的性能比较。

半导体器件是用半导体材料制成的电子器件，是构成各种电子电路最基本的核心元件。电子技术就是研究电子器件、电子电路及其应用的科学技术。

半导体器件具有体积小、重量轻、功耗低、使用寿命长等优点，在现代工业、农业、科学技术、国防等各个领域得到了广泛的应用。

半导体二极管和三极管是最常用的半导体器件。它们的基本结构、工作原理、伏安特性和主要参数是学习电子技术和分析电子电路必不可少的基础，而 PN 结又是构成各种半导体器件的共同基础。因此，本章首先介绍半导体的导电特性、PN 结及其单向导电性，然后介绍半导体二极管、双极型三极管和绝缘栅型场效应管的基本结构、工作原理、伏安特性和主要参数，为以后的学习打下基础。

1.1 PN 结

自然界中存在着各种物质，按导电能力的强弱可分为导体、绝缘体和半导体。半导体的导电能力介于导体和绝缘体之间，主要有硅、锗、硒、砷化镓和氧化物、硫化物等。

半导体之所以被重视，是因为很多半导体的导电能力在不同的条件下有着显著的差异。例如，有些半导体如钴、锰、硒等的氧化物对温度的反应特别灵敏，环境温度升高时，它们的导电能力会明显增强。利用这种热敏特性可制成各种热敏元件。又如，有些半导体如镉、铝的硫化物和硒化物受到光照时，它们的导电

能力会变得很强;当无光照射时,又变得像绝缘体那样不导电。利用这种光敏特性可制成各种光敏元件。

更重要的是,如果在纯净的半导体中掺入微量的杂质元素,其导电能力会猛增到几千、几万甚至上百万倍。利用半导体的这种掺杂特性,可制成种类繁多的具有不同用途的半导体器件,如二极管、双极型三极管、场效应管等。

1.1.1 半导体的导电特征

常用的半导体材料是硅和锗,它们都是四价元素。纯净的半导体具有晶体结构,所以半导体又称为晶体。在这种晶体结构中,原子与原子之间构成共价键结构。纯净半导体材料在热力学温度为零度的情况下,电子被共价键束缚得很紧,没有导电能力。当温度升高时,由于热激发,一些电子获得一定能量后会挣脱束缚成为自由电子,使半导体材料具有一定的导电能力。同时在这些自由电子原来的位置上留下空位,称为空穴。空穴因失掉一个电子而带正电。由于正负电的相互吸引,空穴附近的电子会填补这个空位,于是又会产生新的空穴,又会有相邻的电子来递补,如此进行下去就形成空穴运动。由热激发产生的自由电子和空穴是成对出现的,称为电子空穴对。自由电子和空穴都称为载流子。

由此可见,半导体材料在外加电压作用下出现的电流是由自由电子和空穴两种载流子的运动形成的。这是半导体导电与金属导体导电机理上的本质区别。

在常温下,纯净半导体中自由电子和空穴的数量有限,导电能力并不很强。如果在纯净半导体中掺入某些微量杂质,其导电能力将大大增强。

在纯净半导体硅或锗中掺入磷、砷等五价元素,这类元素的原子最外层有 5 个价电子,故在构成的共价键结构中,由于存在多余的价电子而产生大量自由电子。这种半导体主要靠自由电子导电,称为电子半导体或 N 型半导体,其中自由电子为多数载流子,热激发形成的空穴为少数载流子。

在纯净半导体硅或锗中掺入硼、铝等三价元素,这类元素的原子最外层只有 3 个价电子,故在构成的共价键结构中,由于缺少价电子而形成大量空穴。这类掺杂后的半导体其导电作用主要靠空穴运动,称为空穴半导体或 P 型半导体,其中空穴为多数载流子,热激发形成的自由电子是少数载流子。

图 1-1 所示为 N 型半导体和 P 型半导体中载流子和杂质离子的示意图。图中 $\oplus$ 表示杂质原子因提供了一个价电子而形成的正离子, $\ominus$ 表示杂质原子因提供了一个空穴而形成的负离子。这些正、负离子不能移动,不能参与导电。

值得注意的是,无论是 P 型半导体还是 N 型半导体都是中性的,对外不显电性。



图 1-1 N 型半导体和 P 型半导体

1.1.2 PN 结及其单向导电性

采用适当工艺把 P 型半导体和 N 型半导体制作在同一基片上,使得 P 型半导体与 N 型半导体之间形成一个交界面。由于两种半导体中载流子种类和浓度的差异,将产生载流子的相对扩散运动,如图 1-2 (a) 所示。多数载流子在交界面处被中和而形成空间电荷区,这就是 PN 结。空间电荷区在 N 区一侧是正电荷区,在 P 区一侧是负电荷区,因此在 PN 结内存在一个内电场,其方向是从带正电的 N 区指向带负电的 P 区,如图 1-2 (b) 所示。

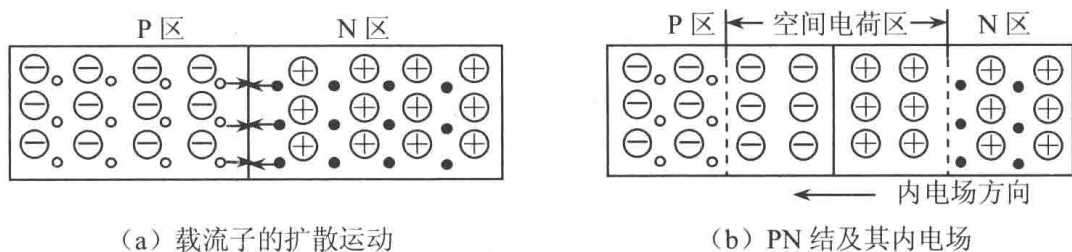


图 1-2 PN 结的形成

内电场对多数载流子的进一步扩散起阻挡作用,但对少数载流子的运动却起到推动作用。少数载流子在电场力作用下的定向运动称为漂移运动。显然,多子的扩散和少子的漂移是两类方向相反的运动。在一定的条件下,漂移运动和扩散运动达到动态平衡,PN 结处于相对稳定的状态。

如果给 PN 结施加正向电压,如图 1-3 (a) 所示,则外电场与内电场的方向相反,当外电场大于内电场时,内电场的作用被抵消,PN 结变薄,多数载流子的扩散运动增强,形成正向电流。外加电场越强,正向电流就越大,这意味着 PN 结的正向电阻变小。PN 结的这种工作状态称为导通状态。

如果给 PN 结施加反向电压,如图 1-3 (b) 所示,则外电场与内电场的方向一致,使内电场的作用增强,PN 结变厚,多数载流子的扩散运动难于进行。但内电场的增强有助于少数载流子的漂移运动,形成反向电流。由于常温下少数载流子数量很少,因此一般情况下反向电流很小,即 PN 结的反向电阻很大。PN 结的这种工作状态称为截止状态。

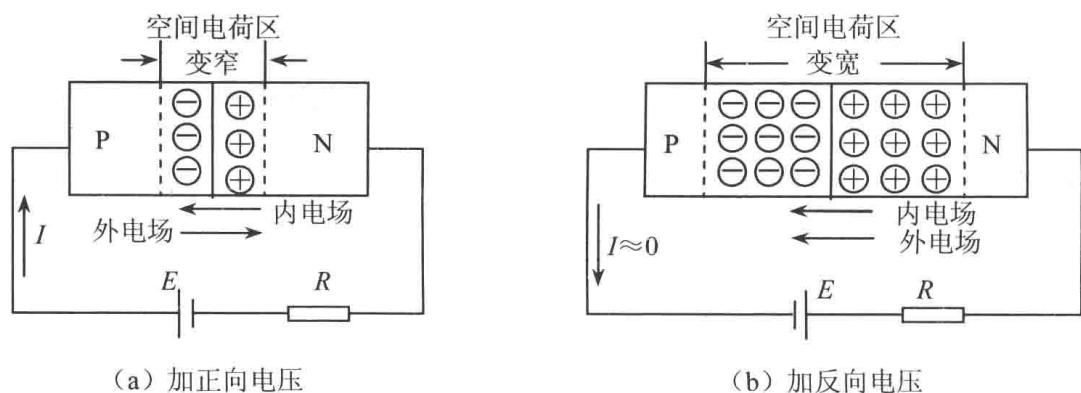


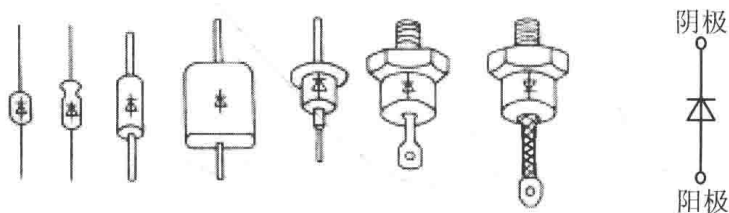
图 1-3 PN 结的单向导电性

综上所述, PN 结具有单向导电性, 即 PN 结加正向电压时, 正向电阻很小, PN 结导通, 可以形成较大的正向电流; PN 结加反向电压时, 反向电阻很大, PN 结截止, 反向电流基本为零。二极管、三极管等半导体器件的工作特性都是以 PN 结的单向导电性为基础的。

1.2 半导体二极管

1.2.1 半导体二极管的结构

在 PN 结两端各引出一个电极, 再封装在管壳里就构成半导体二极管。从 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。图 1-4 (a) 所示为几种二极管的外形。二极管的符号如图 1-4 (b) 所示。



(a) 二极管的外形

(b) 二极管的符号

图 1-4 二极管的外形和符号

按结构分, 二极管有点接触型和面接触型两类, 如图 1-5 所示。点接触型二极管 PN 结的结面积较小, 因而结电容很小, 且不能通过较大电流, 但其高频性能好, 故一般适用于高频和小功率电路的工作, 也可用于数字电路中作开关元件。

面接触型二极管的结面积较大，允许通过较大电流，但结电容较大，工作频率较低，适用于整流电路。

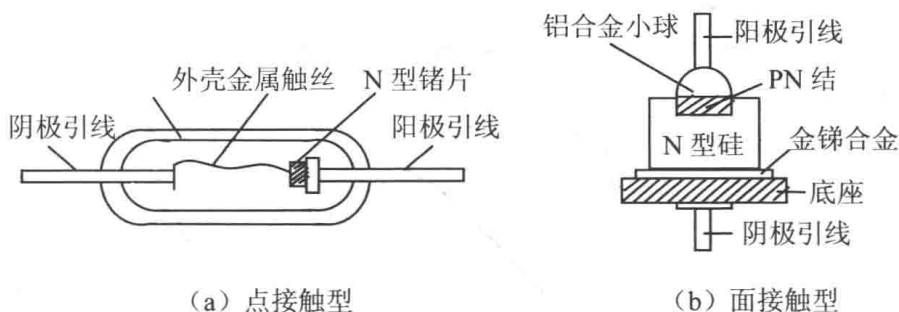


图 1-5 二极管的结构类型

1.2.2 半导体二极管的伏安特性

由于二极管内部是一个 PN 结，因此也具有单向导电性。实际二极管的伏安特性如图 1-6 所示。

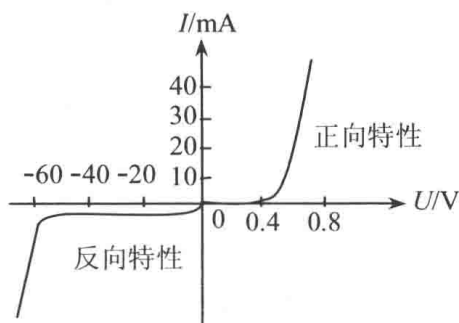


图 1-6 二极管的伏安特性

1. 正向特性

当二极管承受的正向电压（又称正向偏置）很低时，还不足以克服 PN 结内电场对多数载流子运动的阻挡作用，二极管的正向电流非常小。这一区域称为死区。通常硅二极管的死区电压约为 0.5V，锗二极管的死区电压约为 0.2V。

当二极管的正向电压超过死区电压后，PN 结内电场被抵消，正向电流明显增加。并且随着正向电压增大，电流迅速增大，二极管的正向电阻变得很小。当二极管充分导通后，二极管的正向压降基本维持不变，称为正向导通电压。硅二极管的正向导通电压约为 0.6~0.8V，锗二极管的正向导通电压约为 0.2~0.3V。这一区域称为正向导通区。