



卓越系列·

21世纪高等职业教育创新型精品规划教材

电子技术实用教程

主 编 孙惠芹



天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS



21 世纪高等职业教育创新型精品规划教材

电子技术实用教程

主 编 孙惠芹



天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书系统介绍了模拟电子技术和数字电子技术的基本理论与应用的知识。模拟电子技术篇包括二极管及其应用、三极管及其放大电路、场效应管及其放大电路、负反馈放大电路、集成运算放大器、正弦波振荡电路、功率放大器、直流稳压电源共 8 章内容;数字电子技术篇包括数字电路基础、集成逻辑门电路、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲波形发生器与整形电路、模数转换器共 6 章的内容。本书旨在引导读者系统掌握电子技术知识及应用,解决实际问题。

本书适于高职院校的应用电子、电气自动化、通信工程、嵌入式技术和计算机应用等专业在校使用,也可作为电子自动化类的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术实用教程/孙惠芹主编. —天津:天津大学出版社,2010.3

(卓越系列)

21 世纪高等职业教育创新型精品规划教材

ISBN 978-7-5618-3403-9

I. ①电… II. ①孙… III. ①电子技术—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 034274 号

出版发行 天津大学出版社

出 版 人 杨欢

地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)

电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742

网 址 www.tjup.com

印 刷 昌黎太阳红彩色印刷有限责任公司

经 销 全国各地新华书店

开 本 169mm × 239mm

印 张 23.5

字 数 488 千

版 次 2010 年 3 月第 1 版

印 次 2010 年 3 月第 1 次

印 数 1—3 000

定 价 42.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

前 言

根据高职教育“理论以够用为本,突出技能应用”的特点,本教材编写中突出了以下特点。

(1)教材定位于理论以够用为本,加强应用技术能力的培养。在注重讲解基本概念、基本原理和分析方法的同时,通过生产实例强化实际应用能力的训练,避免烦琐的数学公式的推导和大篇幅的理论分析。

(2)教材内容以技术应用为主旨,贴近生产实践。每单元在讲解基本理论后都安排了相应的技能训练。使学生在打下牢固的理论基础上,与生产实践相联系,提高分析问题与解决问题的能力。

(3)注重内容的实用性、先进性。电子元器件主要介绍其结构,学会合理选择,正确使用;单元电路主要介绍基本原理和使用中的调试方法;习题的选择注重对基本理论的理解与实践的应用,兼顾学生自学能力的培养。

本教材由天津职业大学孙惠芹任主编,韩彬彬、李新任副主编。第一篇的第1、2、7单元由天津职业大学李新编写,第3、4单元由天津职业大学孙惠芹编写,第5单元由李玲编写,第6单元由天津狮职业技术学院赵琳编写,第8单元由天津狮职业技术学院韩彬彬编写;第二篇的第9、10、12单元由天津狮职业技术学院韩彬彬编写,第11单元由天津职业大学李新编写,第14单元由李玲编写,第13单元由天津职业大学孙惠芹编写,并负责全书的统稿。

本书编写过程中得到了天津师范大学和天津大学多位教授帮助指导,在此表示感谢。

由于水平有限,时间仓促,书中缺点和不足在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者
2010年1月

目 录

第一篇 模拟电子技术

1 半导体二极管及其基本应用	(3)
1.1 半导体基本知识	(3)
1.2 半导体二极管	(6)
1.3 特殊二极管	(12)
本单元小结	(15)
习题	(16)
实训 1.1 常用电子仪器的使用方法	(18)
实训 1.2 二极管的识别与检测	(20)
实训 1.3 二极管伏安特性曲线的测试	(21)
2 半导体三极管及其基本放大电路	(23)
2.1 半导体三极管	(23)
2.2 基本放大电路的组成及其性能指标	(30)
2.3 放大电路的分析	(33)
2.4 静态工作点的稳定	(44)
2.5 共集电极和共基极放大电路	(46)
2.6 多级放大电路	(50)
2.7 放大电路的频率特性	(52)
本单元小结	(58)
习题	(59)
实训 2.1 三极管输入输出特性曲线的测试	(62)
实训 2.2 单管共射极放大电路的组装与测试	(63)
实训 2.3 分压式偏置放大电路的组装与测试	(66)
3 场效应管及放大电路	(68)
3.1 结型场效应管	(69)
3.2 绝缘栅场效应管	(71)
3.3 场效应管的主要参数	(74)
3.4 场效应管的检测与命名方法	(75)
3.5 场效应管放大电路	(77)
本单元小结	(79)
习题	(80)

4 负反馈放大电路	(82)
4.1 反馈放大电路的类型与判别	(83)
4.2 四种基本负反馈放大电路	(86)
4.3 负反馈对放大电路性能的影响	(89)
4.4 深度负反馈放大电路的估算	(93)
4.5 负反馈放大电路的自激与消除	(95)
本单元小结	(96)
习题	(97)
实训 4.1 负反馈放大电路的性能测试	(99)
5 集成运算放大器	(103)
5.1 差动放大电路	(103)
5.2 集成运放概述	(107)
5.3 集成运放的应用	(110)
5.4 集成运放应用中的注意事项	(120)
本单元小结	(121)
习题	(122)
实训 5.1 比例运算电路的组装与测试	(124)
实训 5.2 集成运算放大电路的非线性运用	(127)
实训 5.3 有源滤波器的组装与测试	(129)
6 正弦波振荡电路	(132)
6.1 自激振荡器	(132)
6.2 RC 振荡器	(133)
6.3 LC 振荡器	(138)
6.4 石英晶体振荡器	(145)
本单元小结	(147)
习题	(148)
实训 6.1 正弦波振荡电路的组装与测试	(150)
实训 6.2 RC 音频振荡电路的组装与测试	(153)
7 功率放大电路	(156)
7.1 功率放大电路的特点及分类	(156)
7.2 变压器耦合功率放大电路	(157)
7.3 互补对称功率放大电路	(162)
7.4 集成功率放大电路	(165)
本单元小结	(168)
习题	(168)
实训 7.1 推挽式功率放大电路的组装与测试	(170)

8 直流稳压电源	(172)
8.1 整流及滤波电路	(172)
8.2 硅稳压管稳压电路	(178)
8.3 串联反馈型线性稳压电路	(179)
本单元小结	(181)
习题	(181)
实训 8.1 直流稳压电源的组装与调试	(183)

第二篇 数字电子技术

9 数字电路基础	(189)
9.1 数字电路概述	(189)
9.2 数制和码制	(190)
9.3 逻辑代数	(196)
本单元小结	(215)
习题	(216)
10 集成逻辑门电路	(218)
10.1 二极管、三极管的开关特性	(218)
10.2 TTL 集成门电路	(223)
10.3 CMOS 集成门电路	(233)
本单元小结	(237)
习题	(238)
实训 10.1 基本门电路的测试	(240)
11 组合逻辑电路	(246)
11.1 组合逻辑电路的分析与设计	(246)
11.2 编码器和译码器	(250)
11.3 数据选择器和数值比较器	(261)
11.4 算术运算电路	(264)
11.5 组合逻辑电路中的竞争冒险	(267)
本单元小结	(270)
习题	(271)
实训 11.1 组合逻辑电路的设计与测试	(272)
实训 11.2 编码器的组装与测试	(273)
实训 11.3 译码器的组装与测试	(275)
12 时序逻辑电路	(277)
12.1 触发器	(278)
12.2 时序逻辑电路的分析方法	(287)

12.3 寄存器	(292)
12.4 计数器	(298)
本单元小结	(311)
习题	(312)
实训 12.1 触发器功能测试	(315)
实训 12.2 移位寄存器的组装与测试	(317)
13 脉冲波形发生器与整形电路	(320)
13.1 多谐振荡器	(320)
13.2 单稳态触发器	(326)
13.3 施密特触发器	(333)
本单元小结	(338)
习题	(339)
实训 13.1 单稳态触发器的组装与测试	(340)
实训 13.2 多谐振荡器的组装与测试	(342)
14 A/D 与 D/A 转换器	(345)
14.1 A/D 转换器	(346)
14.2 D/A 转换器	(354)
本单元小结	(359)
习题	(360)
实训 14.1 D/A 转换器的应用	(360)
实训 14.2 A/D 转换器的应用	(363)
参考文献	(367)

第一篇 模拟电子技术

1

半导体二极管及其基本应用

本单元对半导体中的电子的功能、半导体晶体的种类及其构成等进行分析,并且介绍有关由 P 型半导体和 N 型半导体构成的 PN 结制成的二极管的特性曲线和主要参数及其应用。在此基础上,对发光二极管和稳压二极管的特性与应用也进行了简要的介绍。

1.1 半导体基本知识

物体根据导电能力的不同划分为导体、半导体和绝缘体。半导体是介于导体和绝缘体之间的物质。典型的半导体有硅(Si)、锗(Ge)以及砷化镓(GaAs)等。

利用半导体材料可制造出晶体二极管、晶体三极管、集成电路等器件,它们被广泛地应用于家电、汽车、计算机等各个领域。

1.1.1 自由电子

电子存在于原子之中,原子核和电子的大小与原子相比只有数万分之一。因此,当认为原子是内部为空心的球时,电子则可以在原子中自由地运动。

如图 1.1 所示,电子在原子核的周围形成数层轨道并沿轨道旋转着,进入这些轨道的电子数,由各个轨道决定,最外层轨道中的电子被称为价电子。对硅原子和锗原子而言,其价电子数是 4 个。

靠近原子核的轨道中的电子,受到原子核的强力吸引。最外层轨道中的价电子,却因为与原子核之间的引力较弱,可以容易地脱离轨道。像这样从原子核的束缚中挣脱出去的价电子称

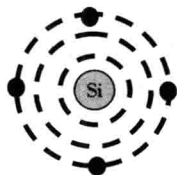


图 1.1 原子的平面模型

为自由电子(参照图 1.2)。

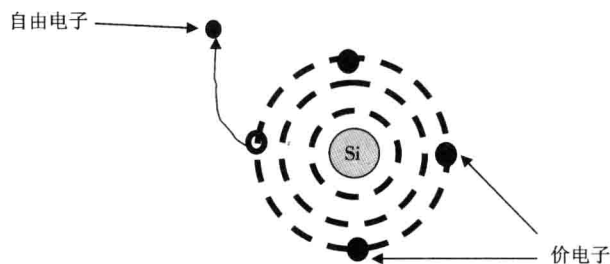


图 1.2 硅原子的价电子和自由电子

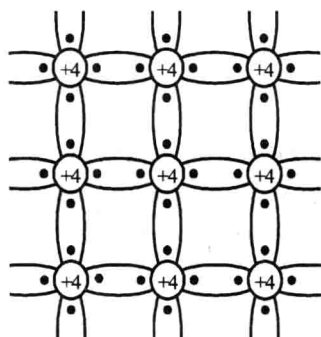


图 1.3 硅的晶体

由于带有负电荷的电子的逸出,使价电子变成自由电子后留下的空位,从电中性的状态变成带有正电荷。这个带有正电荷的空位称为空穴。空穴一旦产生,由于其带有正电荷,所以会吸引附近的带有负电荷的价电子,而被吸引走的价电子留下的空位又形成其他新的空穴,其产生过程如图 1.4 所示。

这样的过程随时间依次连续地进行,可以认为好像空穴运载着正的电荷。正是由于自由电子运载负电荷,空穴运载正电荷的缘故,它们被称为载流子。

1.1.2 空穴

下面对原子聚集在一起形成晶体时的情况进行分析。图 1.3 所示的是硅(Si)原子整齐排列着的晶体的平面示意图。通常情况下,各个原子如图所示那样,相邻的原子分别有 1 个价电子,以相互共有价电子的形式结合在一起。

现在,若对这个晶体加上电压、热,或用光进行照射等,则由于能量的吸入,晶体中的价电子可以脱离原子核的束缚成为自由电子,在晶体中自由地运动。

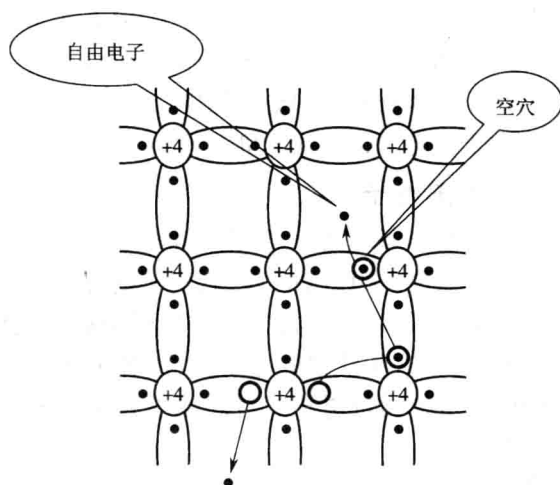


图 1.4 自由电子和空穴的产生

另外,电子的流动称为电子流,规定电流的方向与电子流的方向相反。

1.1.3 半导体晶体的分类

从半导体晶体的结构进行观察,可以成本征半导体和杂质半导体两类。

1. 本征半导体

本征半导体是指纯净的、不含杂质的半导体,在绝对零度时,本征半导体的价电子无法挣脱共价键的束缚,因此本征半导体中不存在自由电子,半导体处于绝缘状态。

硅和锗的结晶纯度必须高于 99.999 999 999 9%。在常温下若接受热能,则产生极少的数量相同的自由电子和空穴。若从外部对半导体施加电压、热、光等能量,则其电阻率将发生变化。同样,即使在半导体中混入极其微量的不纯物质,其电阻率也将发生很大的变化。

2. 杂质半导体

杂质半导体分为 N 型半导体和 P 型半导体。

在硅、锗的本征半导体结晶中,掺入一千万分之一到一百万分之一程度的某种确定的杂质后所得的半导体称为杂质半导体。根据表 1.1 所示的杂质原子的价电子的个数,杂质半导体分为 N 型半导体和 P 型半导体。

表 1.1 N 型半导体和 P 型半导体

本征半导体(价电子 4 个)	杂质	
	N 型半导体(价电子 5 个)	P 型半导体(价电子 3 个)
硅(Si) 锗(Ge)	砷(As)	铟(In)
	磷(P)	镓(Ga)
	锑(Sb)	铝(Al)

1) N 型半导体的形成

在硅的本征半导体中,掺入极少量的 5 价元素杂质,如磷,就形成 N 型半导体。相对于硅的 4 个价电子,因为磷有 5 个价电子,所以有 1 个多余的价电子不能构成共价键。这个价电子就变成了自由电子,全部载流子中与空穴相比带负电的自由电子的数量变多,这样的半导体取 Negative 的第一个字母 N,称为 N 型半导体,其晶体结构如图 1.5 所示。在 N 型半导体中自由电子是多数载流子,空穴是少数载流子。

2) P 型半导体的形成

在锗的本征半导体中,与 N 型半导体相对照,用 3 价的铟作为杂质掺入,就形成 P 型半导体。相对于硅的 4 个价电子,因为铟有 3 个价电子,所以构成共价键还缺少 1 个价电子。这一缺少价电子之处就形成空穴,全部载流子中与自由电子相比带正电的空穴数量变多,这样的半导体取 Positive 的第一个字母 P,称为 P 型半导体,其晶

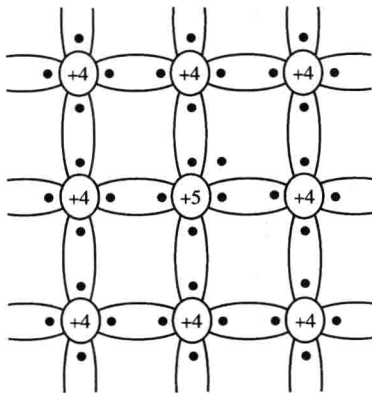


图 1.5 N 型半导体的晶体结构

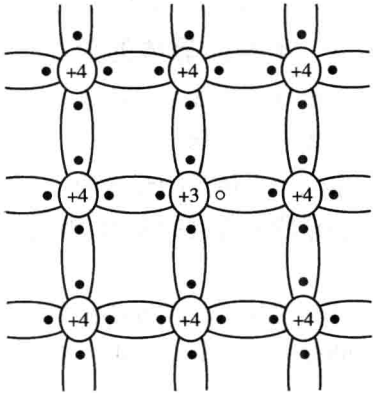


图 1.6 P 型半导体的晶体结构

体结构如图 1.6 所示。在 P 型半导体中空穴是多数载流子,自由电子是少数载流子。

1.2 半导体二极管

1.2.1 PN 结的形成与特性

1. PN 结的形成

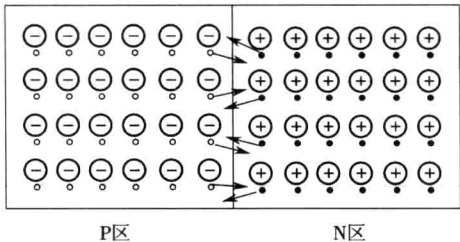


图 1.7 多数载流子的扩散

在一块本征半导体的两侧分别掺入 5 价、3 价元素形成 P 型、N 型半导体,在其接触面处,由于两侧半导体类型不同,出现了电子和空穴的浓度差,P 区的多数载流子空穴从 P 区向 N 区扩散,N 区的多数载流子自由电子从 N 区向 P 区扩散,如图 1.7 所示。由于扩散运动,使 P 区中剩余了带负电的离子,在 N 区中剩余了带正电的离子,在 P 区和 N 区的

接触面就产生了正负离子层,P 区一侧带负电,N 区一侧带正电,从而形成了由正电荷区指向负电荷区的内电场,内电场对扩散运动起阻碍作用(内电场的方向与多数载流子的扩散运动的方向相反),电子和空穴的扩散运动随着内电场的加强而逐步减弱,直至停止,在界面处形成一个稳定的空间电荷区,即 PN 结。其过程如图 1.8 所示。

2. PN 结的特性

当外加电压使 PN 结中 P 区的电位高于 N 区的电位,称为 PN 结正向偏置,反之称为 PN 结反向偏置。

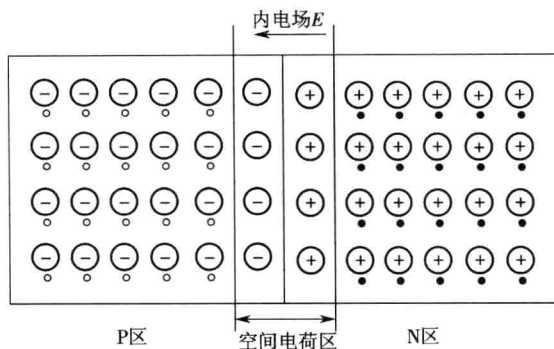


图 1.8 PN 结的形成

1) PN 结正向偏置

如图 1.9 所示,给 PN 结加上一个电压,P 区接高电位。在半导体中,电压 U 产生的外电场为 E_U ,方向与空间电荷区的内电场 E 方向相反。当外电场大于内电场时,外电场抵消内电场,使空间电荷区变薄,在 E_U 的作用下,PN 结的平衡状态被打破,P 区的空穴向 N 区移动,N 区的电子向 P 区移动。因此,发生了多数载流子的移动而使电流流通。流过的电流 I_F 称为正向电流。外电场越强,正向电流越大,这意味着 PN 结的正向电阻变小。

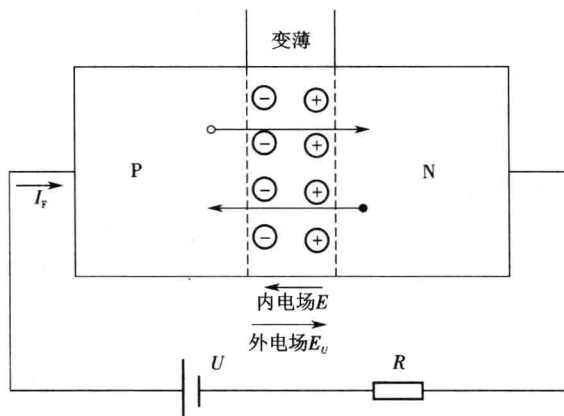


图 1.9 PN 结正向偏置

2) PN 结反向偏置

如图 1.10 所示,给 PN 结加上一个电压,N 区接高电位。电压 U 产生的外电场 E_U 方向与内电场 E 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以进行,而利于 P 区的少数载流子自由电子和 N 区的少数载流子空穴运动,形成电流 I_R ,由于少数载流子很少,电流很小,接近于零。这意味着 PN 结反向电阻很大。

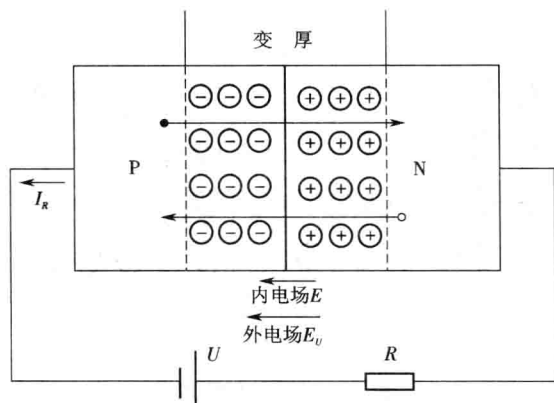


图 1.10 PN 结反向偏置

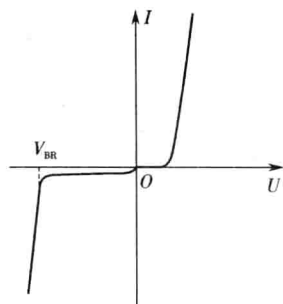


图 1.11 二极管的特性

从上述的情况可知:根据对二极管所施加电压极性的不同,二极管正向偏置时,PN 结变薄,导电能力增强;二极管反向偏置时,PN 结变厚,导电能力减弱,这种特性称为二极管的单向导电性。

当 PN 结加正向电压时,有导通压降,其中硅管为 $0.5 \sim 0.7 \text{ V}$,锗管为 $0.1 \sim 0.3 \text{ V}$ 。当外加电压 U 大于 PN 结的导通压降以后,通过 PN 结的电流 I 快速增加,称为击穿。当给 PN 结加反向电压时,通过 PN 结的电流近似为零,但当该反向电压增加到一定数值时,反向电流突然快速增加,此现象称为 PN 结的反向击穿。

此时的电压称为反向击穿电压 V_{BR} 。二极管的特性如图 1.11 所示。

产生 PN 结反向击穿的原因是,在强电场作用下,大大地增加了自由电子和空穴的数目,引起反向电流的急剧增加,这种现象的产生分为两种情况:雪崩击穿和齐纳击穿。

(1)雪崩击穿。雪崩击穿是指在轻掺杂的 PN 结中,当外加反向电压时,耗尽区较宽,少数载流子漂移通过耗尽区时被加速,动能增大。当反向电压大到一定值时,在耗尽区内被加速而获得高能的少数载流子,会与中性原子的价电子相碰撞,将其撞出共价键,产生电子、空穴对。新产生的电子、空穴被强电场加速后,又会撞出新的电子、空穴对。

(2)齐纳击穿。在重掺杂的 PN 结中,耗尽区很窄,所以不大的反向电压就能在耗尽区内形成很强的电场。当反向电压大到一定值时,强电场足以将耗尽区内中性原子的价电子直接拉出共价键,产生大量电子、空穴对,使反向电流急剧增大。这种击穿称为齐纳击穿或场致击穿。

一般来说,对硅材料的 PN 结, $U_{\text{BR}} > 7 \text{ V}$ 时为雪崩击穿; $U_{\text{BR}} < 5 \text{ V}$ 时为齐纳击

穿; U_{BR} 介于5~7 V时,两种击穿都有。一般普通二极管掺杂浓度并不高,所以它的击穿多数是雪崩击穿造成的。齐纳击穿多数出现在特殊的二极管中,如稳压二极管。

1.2.2 半导体二极管的结构与类型

在PN结加上引线和封装,就成为二极管。接在PN结的P区的引线称为二极管的阳极,接在PN结的N区的引线称为二极管的阴极,二极管的电路符号如图1.12所示。二极管按所用材料分为硅二极管和锗二极管,按结构分为点接触型、面接触型和平面型三类,按用途分为开关二极管、稳压二极管、光电二极管和检波二极管等,二极管的结构如图1.13所示。



图 1.12 半导体二极管的符号

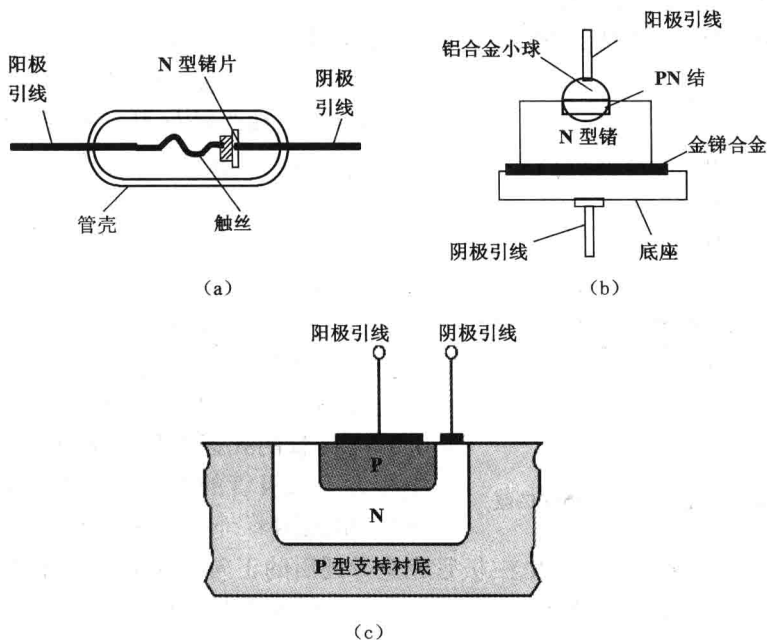


图 1.13 半导体二极管的结构
(a)点接触型;(b)面接触型;(c)平面型

1. 点接触型二极管

点接触型二极管是由一根很细的金属触丝和一块半导体(如锗)熔接在一起,金属触丝与锗结合处构成PN结,并做出相应的电极引线,外加管壳密封而成,如图1.13(a)所示,由于金属触丝很细,PN结面积小,结电容小,允许通过电流小,常用作检波和变频等高频电路的小功率管。

2. 面接触型二极管

面接触型二极管结构如图1.13(b)所示,由于这种二极管的PN结面积大,可承受较大的电流,可用作工频大电流整流电路大功率管。