



卓越系列·21世纪高等教育“十二五”精品规划教材



# 模拟电子技术

ANALOG ELECTRONIC TECHNOLOGY

主编 刘英泽



天津大学出版社  
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

卓越系列·21 世纪高等教育“十二五”精品规划教材

# 模拟电子技术

## ANALOG ELECTRONIC TECHNOLOGY

主 编 刘英泽  
副主编 陈金波 高文璇  
主 审 何天荣

## 内 容 简 介

本教材从晶体管开始,讲述了放大电路、功率放大电路、整流稳压电路、反馈电路、振荡电路、调制电路等电子技术的基础内容,是模拟电子技术的基础理论课教材。在叙述上,注意知识的连贯性,各部分相对独立,加强了实验教学,各章均安排了适当的实验,为以后的学习打下良好的基础。

本教材可作为工科类电子专业的技术基础课教学用书,也可供电子工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术/刘英泽主编. —天津:天津大学出版社,  
2011. 8

(卓越系列)

21 世纪高等教育“十二五”精品规划教材

ISBN 978-7-5618-4025-2

I. ①模… II. ①刘… III. ①模拟电路 - 电子技术  
IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 162758 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   | 河北省昌黎县第一印刷厂                       |
| 经 销   | 全国各地新华书店                          |
| 开 本   | 185 mm × 260 mm                   |
| 印 张   | 15. 75                            |
| 字 数   | 393 千                             |
| 版 次   | 2011 年 8 月第 1 版                   |
| 印 次   | 2011 年 8 月第 1 次                   |
| 印 数   | 1 - 2 000                         |
| 定 价   | 30. 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

## 本书编写人员

|     |     |     |
|-----|-----|-----|
| 主 编 | 刘英泽 |     |
| 副主编 | 陈金波 | 高文璇 |
| 参 编 | 周巨青 | 杨佳木 |
|     | 聂晋秋 | 郑羽球 |
| 主 审 | 何天荣 |     |

## 前 言

《模拟电子技术》是高职高专电子专业的基础理论教材,适用于通信、电子技术、汽车电子维修等电类专业使用。

随着全国高等学校教学改革的逐步深入发展,现代工业技术对电子技术提出了更高的要求,为了适应这种形势,我们认真总结各院校的教学改革经验,参考了兄弟学校的诸多著作文献,编写了本教材。本教材对电子技术的基础理论阐述力求语言简明、概念准确、原理正确,对电子技术的发展,注重深入浅出、循序渐进。我们注重实验教学,每章都安排了适当的实验,适当调整教学难度,立足基础,突出电子电路实际应用技术的培养。

本教材选用了适量的例题和习题,充分考虑其针对性、实用性,学生通过例题的讲解和对习题的解答,能巩固所学的知识和原理。

本教材共分8章,第1章由刘英泽编写,第2章和第6章由周巨青编写,第3章和第4章由杨佳木编写,第5章由高文璇编写,第7章和第8章由陈金波编写。郑羽球、聂晋秋参与了部分插图的绘制工作。全书由刘英泽统稿,由何天荣副教授担任主审。本书在编写过程中,得到了广东省广州涉外经济职业技术学院全体领导和老师的大力支持和帮助,在此表示衷心感谢!特别鸣谢广州涉外经济职业技术学院康正董事长,郑庆璋书记,寻立祥院长,蔡茂生、梁素芳副院长,富凤英主任等有关领导,他们为本书的编写做了大量的指导工作。

由于编者水平有限,本书在编写过程中参考了大量有关电子方面的资料,引用了部分实验数据和结论,在此向有关资料的编著者表示衷心的感谢和崇高的敬意!书中若有错误的地方,恳请广大读者批评指正。

编者

2011年3月



# 目 录

|                              |      |
|------------------------------|------|
| 第1章 晶体管的构造 .....             | (1)  |
| 1.1 半导体基础知识 .....            | (1)  |
| 1.1.1 本征半导体 .....            | (1)  |
| 1.1.2 杂质半导体 .....            | (2)  |
| 1.1.3 漂移与扩散形成的电流 .....       | (2)  |
| 1.2 PN结及其单向导电性 .....         | (3)  |
| 1.2.1 PN结的形成 .....           | (3)  |
| 1.2.2 PN结的单向导电性 .....        | (3)  |
| 1.3 二极管及其特性 .....            | (5)  |
| 1.3.1 二极管的结构 .....           | (5)  |
| 1.3.2 二极管的分类 .....           | (5)  |
| 1.3.3 二极管的特性及主要参数 .....      | (5)  |
| 1.4 三极管及其特性 .....            | (8)  |
| 1.4.1 三极管的结构 .....           | (8)  |
| 1.4.2 三极管的工作原理 .....         | (8)  |
| 1.5 场效应管及其电路分析 .....         | (11) |
| 1.5.1 场效应管的分类及工作原理 .....     | (11) |
| 1.5.2 场效应管的特点及主要参数 .....     | (18) |
| 1.5.3 场效应管的应用电路及其分析 .....    | (19) |
| 本章小结 .....                   | (23) |
| 习题1 .....                    | (24) |
| 实验1 晶体二极管的特性测试 .....         | (25) |
| 实验2 晶体三极管的特性测试 .....         | (27) |
| 实验3 晶体管放大电路 .....            | (29) |
| 第2章 放大电路性能及分析 .....          | (31) |
| 2.1 放大电路的类型 .....            | (31) |
| 2.1.1 共发射极放大电路及其分析 .....     | (31) |
| 2.1.2 共集电极和共基极放大电路及其分析 ..... | (38) |
| 2.2 多级放大电路及其调试 .....         | (41) |
| 2.2.1 放大器的直流偏置电路 .....       | (41) |
| 2.2.2 多级放大器级间耦合及其调试方法 .....  | (44) |



|                              |      |
|------------------------------|------|
| 2.3 放大电路的频率特性 .....          | (51) |
| 2.3.1 放大电路的频率失真与补偿 .....     | (51) |
| 2.3.2 放大电路的频率特性分析及改善方法 ..... | (52) |
| 2.3.3 通频带与选择性 .....          | (55) |
| 2.3.4 谐振与耦合电路 .....          | (55) |
| 2.4 反馈放大电路 .....             | (58) |
| 2.4.1 反馈的基本概念 .....          | (59) |
| 2.4.2 反馈放大电路分析 .....         | (60) |
| 2.4.3 负反馈对放大电路性能的影响 .....    | (62) |
| 2.4.4 正反馈放大电路分析 .....        | (64) |
| 本章小结 .....                   | (65) |
| 习题2 .....                    | (66) |
| 实验4 晶体管收音机两级中放电路安装 .....     | (69) |
| <br>第3章 功率放大器.....           | (74) |
| 3.1 功率放大器的特点及分类 .....        | (74) |
| 3.1.1 功率放大器的特点 .....         | (74) |
| 3.1.2 功率放大器的分类 .....         | (75) |
| 3.2 低频功率放大器 .....            | (76) |
| 3.2.1 推挽变压器功率放大器 .....       | (76) |
| 3.2.2 OTL 功率放大器 .....        | (77) |
| 3.2.3 OCL 功率放大器 .....        | (80) |
| 3.2.4 先进的功率放大器介绍 .....       | (82) |
| 3.3 集成功率放大器 .....            | (84) |
| 3.3.1 集成功率放大器简介 .....        | (84) |
| 3.3.2 典型集成功率放大器 .....        | (84) |
| 本章小结 .....                   | (85) |
| 习题3 .....                    | (86) |
| 实验5 集成功率放大器 .....            | (87) |
| <br>第4章 直流稳压电源 .....         | (89) |
| 4.1 整流电路 .....               | (89) |
| 4.1.1 半波整流电路 .....           | (89) |
| 4.1.2 全波整流电路 .....           | (90) |
| 4.1.3 桥式整流电路 .....           | (91) |
| 4.1.4 倍压整流电路 .....           | (94) |
| 4.2 滤波电路 .....               | (95) |
| 4.2.1 电容滤波电路 .....           | (95) |
| 4.2.2 电感滤波电路 .....           | (96) |



|                          |       |
|--------------------------|-------|
| 4.2.3 常用滤波电路 .....       | (97)  |
| 4.3 稳压电路 .....           | (97)  |
| 4.3.1 稳压电路的主要指标 .....    | (97)  |
| 4.3.2 硅稳压管稳压电路 .....     | (99)  |
| 4.4 集成稳压电路 .....         | (102) |
| 4.4.1 集成稳压器介绍 .....      | (102) |
| 4.4.2 三端集成稳压器的应用 .....   | (103) |
| 4.5 开关稳压电源 .....         | (103) |
| 4.5.1 开关稳压电源的基本结构 .....  | (103) |
| 4.5.2 串联型开关稳压电源 .....    | (105) |
| 4.5.3 并联型开关稳压电源 .....    | (106) |
| 本章小结 .....               | (107) |
| 习题4 .....                | (108) |
| 实验6 串联型直流稳压电源 .....      | (108) |
| 第5章 正弦波振荡电路 .....        | (112) |
| 5.1 正弦波振荡电路概述 .....      | (112) |
| 5.1.1 正弦波振荡电路的概念 .....   | (112) |
| 5.1.2 起振的条件 .....        | (112) |
| 5.2 LC 振荡电路 .....        | (114) |
| 5.2.1 电感反馈型振荡电路 .....    | (114) |
| 5.2.2 电容反馈型振荡电路 .....    | (114) |
| 5.2.3 三种 LC 振荡电路简介 ..... | (115) |
| 5.3 石英晶体振荡器 .....        | (116) |
| 5.3.1 石英晶体的特性 .....      | (116) |
| 5.3.2 三点式振荡电路缺点的改进 ..... | (117) |
| 5.3.3 石英晶体振荡电路 .....     | (117) |
| 5.4 RC 振荡电路 .....        | (118) |
| 5.4.1 RC 移相式振荡电路 .....   | (118) |
| 5.4.2 文氏电桥振荡电路 .....     | (119) |
| 本章小结 .....               | (119) |
| 习题5 .....                | (120) |
| 实验7 RC 正弦波振荡电路 .....     | (122) |
| 第6章 模拟集成电路 .....         | (125) |
| 6.1 电流源 .....            | (126) |
| 6.1.1 镜像电流源 .....        | (126) |
| 6.1.2 比例电流源 .....        | (126) |
| 6.1.3 微电流源 .....         | (127) |



|                         |       |
|-------------------------|-------|
| 6.1.4 有源负载 .....        | (128) |
| 6.2 差分式放大电路 .....       | (128) |
| 6.3 集成运算放大器 .....       | (137) |
| 6.3.1 集成运算放大器介绍 .....   | (137) |
| 6.3.2 集成运算放大器的应用 .....  | (143) |
| 本章小结 .....              | (148) |
| 习题6 .....               | (149) |
| 实验8 集成运算放大器的线性应用 .....  | (153) |
| 第7章 振幅调制与解调 .....       | (157) |
| 7.1 无线电通信概述 .....       | (157) |
| 7.1.1 无线电通信原理 .....     | (157) |
| 7.1.2 无线电通信系统的组成 .....  | (158) |
| 7.1.3 调制与解调 .....       | (159) |
| 7.2 幅度调制 .....          | (161) |
| 7.2.1 调幅(AM)波 .....     | (161) |
| 7.2.2 双边带调制(DSB) .....  | (165) |
| 7.2.3 单边带调制(SSB) .....  | (165) |
| 7.2.4 残留边带调制(VSB) ..... | (166) |
| 7.2.5 实用的调幅电路 .....     | (167) |
| 7.3 振幅解调 .....          | (168) |
| 7.3.1 小信号平方律检波 .....    | (168) |
| 7.3.2 大信号包络检波 .....     | (169) |
| 7.3.3 同步检波 .....        | (172) |
| 7.3.4 实用的检波电路 .....     | (173) |
| 7.4 混频器 .....           | (174) |
| 7.4.1 混频器原理 .....       | (175) |
| 7.4.2 混频器的主要性能指标 .....  | (176) |
| 7.4.3 混频电路 .....        | (176) |
| 7.4.4 混频器的干扰及消除 .....   | (179) |
| 7.5 调频和鉴频电路 .....       | (181) |
| 7.5.1 频率调制(FM) .....    | (181) |
| 7.5.2 调频电路 .....        | (182) |
| 7.5.3 鉴频电路 .....        | (183) |
| 7.5.4 实用的调频与鉴频电路 .....  | (185) |
| 本章小结 .....              | (187) |
| 习题7 .....               | (188) |
| 实验9 三极管混频电路 .....       | (188) |



|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| 第 8 章 模拟放大电路的应用 .....         | (191) |
| 8.1 基本运算放大电路 .....            | (191) |
| 8.1.1 双视频信号分配器 .....          | (191) |
| 8.1.2 喊话器 .....               | (192) |
| 8.1.3 优质音频功放电路 .....          | (192) |
| 8.2 信号发生电路 .....              | (192) |
| 8.2.1 实用的 $RC$ 振荡电路 .....     | (192) |
| 8.2.2 实用的 $LC$ 振荡电路 .....     | (193) |
| 8.2.3 实用的石英晶体振荡电路 .....       | (195) |
| 8.2.4 实用的比较器电路 .....          | (196) |
| 8.2.5 非正弦波发生电路 .....          | (197) |
| 8.2.6 锁相频率合成电路 .....          | (202) |
| 8.3 超外差式收音机电路 .....           | (216) |
| 8.3.1 超外差式收音机电路的组成及工作原理 ..... | (216) |
| 8.3.2 超外差式收音机电路的调整 .....      | (223) |
| 本章小结 .....                    | (227) |
| 习题 8 .....                    | (228) |
| 实验 10 超外差式收音机的安装调试及检修 .....   | (228) |
| 附录 晶体管使用常识 .....              | (234) |
| 参考文献 .....                    | (240) |



# 第 1 章

## 晶体管的构造

本章介绍半导体基础知识,二极管、三极管及场效应管的结构及工作原理。要求学完本章后能了解晶体管的构造,掌握放大电路的基本分析方法。

### 1.1 半导体基础知识

根据导电能力的不同,物质可分为导体、半导体和绝缘体三种。容易导电的物质叫导体,如金、银、铜、铁等金属及电离的气体、电解液等;不能导电的物质叫绝缘体,如塑料、陶瓷、橡胶、干木头、玻璃等;导电能力介于导体和绝缘体之间的物质叫半导体,如硅(Si)、锗(Ge)、砷化镓(GaAs)等。

#### 1.1.1 本征半导体

不含杂质的纯净的半导体叫本征半导体。其代表材料是硅和锗,它们的原子结构如图 1-1 所示。

硅和锗都是四价元素,它们的最外层都是 4 个电子,平时它们以共用电子对的形式,满足最外层 8 个电子的要求,这就形成了共价键,如图 1-2 所示。

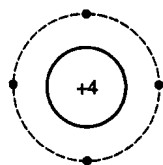


图 1-1 本征半导体原子简图

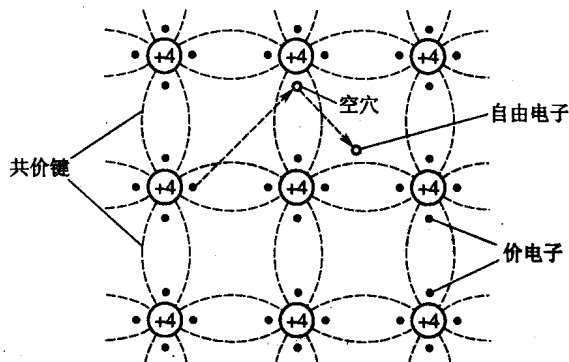


图 1-2 本征半导体共价键结构

本征半导体通过共价键,使其最外层拥有了 8 个电子,处于稳定状态,半导体内能自由运动的电子很少,故它的导电性很差,相当于绝缘体。

当有外部激发,如加热升温或光照时,最外层的电子获得能量,就会挣脱共价键的束缚成



为自由电子,这种现象叫本征激发。当价电子挣脱共价键束缚成为自由电子后,在共价键中就留下了一个空位,这个空位叫空穴。空穴带正电,自由电子带负电。

本征半导体激发后,会产生两种载流子:空穴和电子。它们是成对出现的,也称为“电子空穴对”。电子、空穴在半导体内可以自由移动,使其导电能力大为增强。自由电子填补空穴叫复合,价电子挣脱共价键成为自由电子叫激发,在一定条件下,激发和复合会达到相对动态平衡。

### 1.1.2 杂质半导体

在半导体材料中掺入杂质,就形成了杂质半导体。杂质半导体的导电性能发生了显著的变化,利用这一特性可以制成各种半导体器件。

#### 1. N 型半导体

在纯净半导体中掺入五价的杂质元素(如磷、砷、锑等),就形成了 N 型半导体。N 型半导体中,电子是多数载流子(简称多子),空穴是少数载流子(简称少子),如图 1-3 所示。

#### 2. P 型半导体

在纯净半导体中掺入三价的杂质元素(如铟、硼、铝等),就形成了 P 型半导体。P 型半导体中,空穴是多数载流子,电子是少数载流子,如图 1-4 所示。

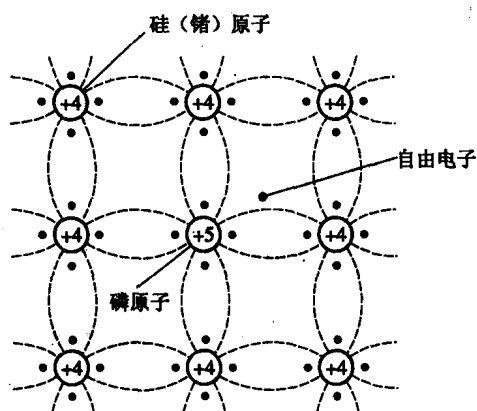


图 1-3 N 型半导体结构图

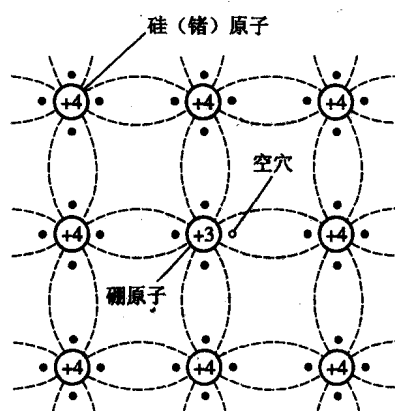


图 1-4 P 型半导体结构图

在常温下,杂质原子已电离,正负电荷数相等,整块半导体对外仍呈中性。习惯上,P 型半导体又叫空穴型半导体,N 型半导体又叫电子型半导体。

### 1.1.3 漂移与扩散形成的电流

#### 1. 漂移

带电粒子在电场力的作用下定向运动叫漂移运动,它所形成的电流叫漂移电流。漂移电流是电子电流和空穴电流的总和。它的大小由半导体中载流子浓度、外加电场强度等因素决定。

#### 2. 扩散

在半导体内,由于载流子浓度不均匀,载流子从浓度高的区域向浓度低的区域流动,这种现象叫扩散。由于扩散而形成的电流叫扩散电流。扩散电流的大小与半导体内区域间的载流



子浓度差有关。

## 1.2 PN 结及其单向导电性

PN 结具有单向导电性,它是构成二极管和三极管的单元,是无线电元件的基础。

### 1.2.1 PN 结的形成

在一块纯净的半导体一边掺入三价的杂质元素,使它变成 P 型半导体区间,在另一边掺入五价的杂质元素,使它变成 N 型半导体区间,在 P 区与 N 区的交界面附近就形成一个极薄的空间电荷层,这就是 PN 结。

在常温下,N 型半导体每一个施主杂质产生一个自由电子和一个正离子;而 P 型半导体每一个受主杂质产生一个空穴和一个负离子。在两种杂质半导体的交界面处,电子由 N 区向 P 区扩散运动,填补 P 区中的空穴,同样 P 区中的空穴也会向 N 区扩散运动,吸收 N 区中的电子,电子进入空穴叫复合,如图 1-5 所示;这样在交界面处两边就留下了不能移动的正负离子,形成了正负离子区,这个区叫空间电荷区,如图 1-6 所示。

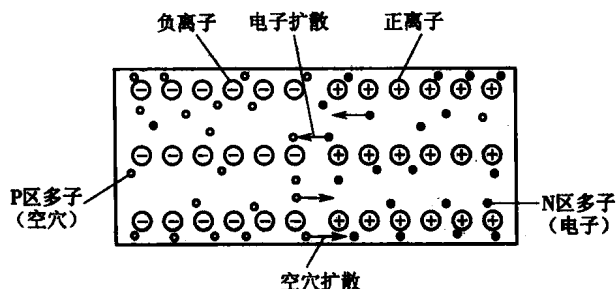


图 1-5 电子和空穴的扩散运动

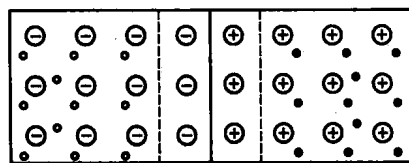


图 1-6 PN 结空间电荷区的形成

在空间电荷区中,形成了电场,这个电场叫内建电场,电场方向由 N 区指向 P 区,N 区的电位比 P 区的电位高,用电位差  $U_b$  表示(锗材料时  $U_b$  为 0.2 ~ 0.3 V,硅材料时  $U_b$  为 0.7 V 左右)。半导体中的电子和空穴统称为载流子,载流子存在扩散和漂移两种运动方式,扩散运动形成的电流叫扩散电流,漂移运动形成的电流叫漂移电流。这两种电流方向相反,当这两种电流相等时,达到动态平衡,这时 PN 结的宽度就确定下来了。

### 1.2.2 PN 结的单向导电性

#### 1. PN 结外加正向电压

P 区接外加电源的正极,N 区接外加电源的负极,这就是为 PN 结加正向电压,又称为正向偏置,如图 1-7 所示。由于外加电压与 PN 结内建电场方向相反,中和了 PN 结中的正负离子,内建电场减弱,有利于多数载流子的扩散运动,形成较大的扩散电流。这时 PN 结可以通过较大的电流,呈现出很小的电阻,处于导通状态。

#### 2. PN 结外加反向电压

P 区接外加电源的负极,N 区接外加电源的正极,这就是为 PN 结加反向电压,又称为反向偏置,如图 1-8 所示。由于外加电压的方向与内建电场的方向相同,加强了内建电场的强度,



阻止了载流子的扩散运动,扩散电流为零,漂移电流也很小。这时 PN 结呈现出很大的电阻,处于截止状态。

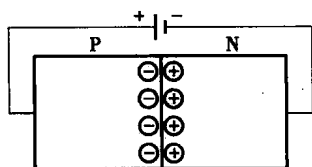


图 1-7 PN 结正向导通

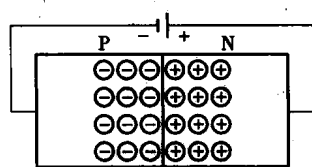


图 1-8 PN 结反向截止

PN 结加正向电压时,电流很大;加反向电压时,电流很小。PN 结具有单向导电性。

### 3. PN 结电流方程(伏安特性)

PN 结电流方程为

$$i = I_s(e^{qu/kT} - 1) = I_s(e^{u/U_T} - 1)$$

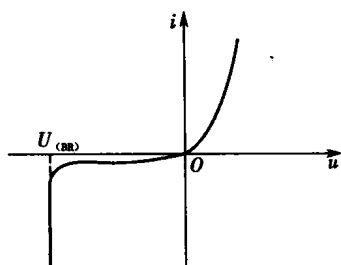


图 1-9 PN 结伏安特性曲线

其中, $u$  为 PN 结两端外加的电压; $i$  为流过 PN 结的电流; $I_s$  为反向饱和电流; $U_T = kT/q$  为温度的电压当量; $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ ,叫波耳兹曼常数; $q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ,为电子的电量; $T$  为绝对温度常温(300 K)时, $U_T \approx 26 \text{ mV}$ 。根据 PN 结的电流方程,可以绘出 PN 结的伏安特性曲线,如图 1-9 所示。

### 4. PN 结的反向击穿

当加到 PN 结的反向电压增大到一定值时,反向电流会突然增大,如图 1-9 所示,这种现象叫 PN 结的反向击穿。反

向击穿所需的电压叫击穿电压,用  $U_{(BR)}$  表示。

①齐纳击穿:在高浓度掺杂下,PN 结的空间电荷区很窄,不用太大的反向电压就可以在 PN 结内形成很强电场,将共价键内的电子强行拉出,使载流子急剧增加,形成较大的反向电流,这种击穿叫齐纳击穿。

②雪崩击穿:在低浓度掺杂下,PN 结的空间电荷区较宽,就算较高的反向电压也不足以在 PN 结内产生过强的电场,当载流子通过 PN 结空间电荷区时,被较高的反向电压加速,动能增大,这些获得足够大能量的载流子高速碰撞原子,将价电子从共价键中撞击出来,形成新的电子空穴对,这些新的载流子被电场加速后,又撞击其他的价电子,载流子会雪崩式地倍增,致使反向电流急剧增大,这种现象叫雪崩击穿。

对于硅材料,一般击穿电压在 4 V 以下为齐纳击穿,7 V 以上为雪崩击穿,击穿电压在 4 ~ 7 V 之间,可能是齐纳击穿,也可能是雪崩击穿。不管是哪种击穿,击穿本身不损坏 PN 结,当反向电压降低后,PN 结的性能可以恢复。但当反向电流过大,持续时间过长时,PN 结会损坏。

### 5. PN 结的电容

①势垒电容:外加电压的变化,引起 PN 结空间电荷改变,显示了 PN 结的电容效应,由 PN 结电荷空间宽窄变化所呈现出的电容叫势垒电容( $C_B$ )。 $C_B$  与 PN 结的面积成正比,与空间电荷的宽度成反比,随外加电压而变化,当反向电压增大时, $C_B$  减小,当正向电压增大时, $C_B$  会增大, $C_B$  在几皮法至 200 皮法之间。



②扩散电容:在扩大区内存在电子与空穴两种非平衡载流子,它会产生电容效应,叫扩散电容( $C_D$ )。外加电压变化,会引起扩散区内存储电荷量的变化,影响  $C_D$  的变化。

PN 结的结电容  $C_j = C_B + C_D$ ,正向偏置时,以  $C_D$  为主;反向偏置时,以  $C_B$  为主。

## 1.3 二极管及其特性

### 1.3.1 二极管的结构

将 PN 结加上接触电极、引线和管壳就构成了二极管。二极管的结构及符号如图1-10所示。图中,接 P 区的引线为正极(又叫阳极),接 N 区的引线为负极(又叫阴极)。

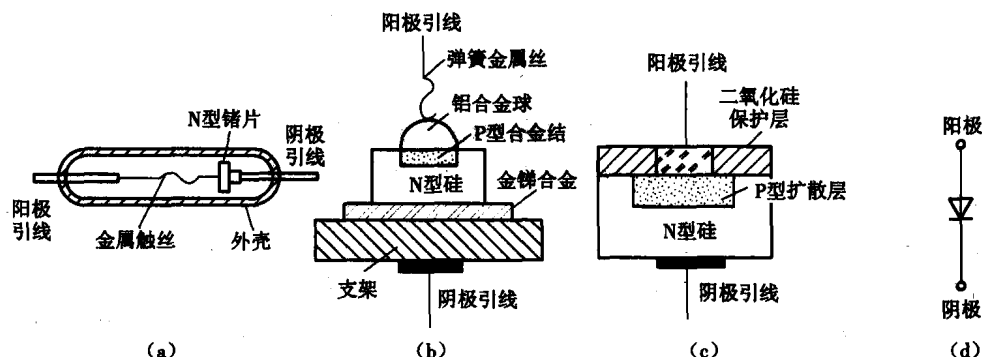


图 1-10 二极管的构造及符号

(a)点接触型 (b)面接触型 (c)平面型 (d)符号

### 1.3.2 二极管的分类

①按工艺结构来分类,有点接触型、面接触型和平面型等几种。

②按制作材料来分类,有硅管和锗管两类。

不同结构二极管的特性如下。

①硅管导通电压降为 0.7 V 左右,锗管导通电压降为 0.2 ~ 0.3 V。

②点接触型二极管 PN 结面积很小,结电容很小,约为 1 pF 以下,工作频率可达 100 MHz 以上,能承受的反向电压不高,能通过的正向电流不大,多用于高频检波或作为开关元件。

③面接触型二极管 PN 结面积大,结电容也大,工作频率低,能承受反向电压较高,能通过较大的正向电流,可作为低频整流元件。

④平面型二极管性能稳定,PN 结面积大小可以控制,结面积大时可用于大功率整流;结面积小时,结电容也小,可在较高频率下工作。

### 1.3.3 二极管的特性及主要参数

#### 1. 二极管的伏安特性

二极管的电流与外加电压的关系曲线叫二极管的伏安特性曲线。它具有 PN 结的导电特性。通过外加电压可以测得二极管伏安特性曲线,如图 1-11 所示。

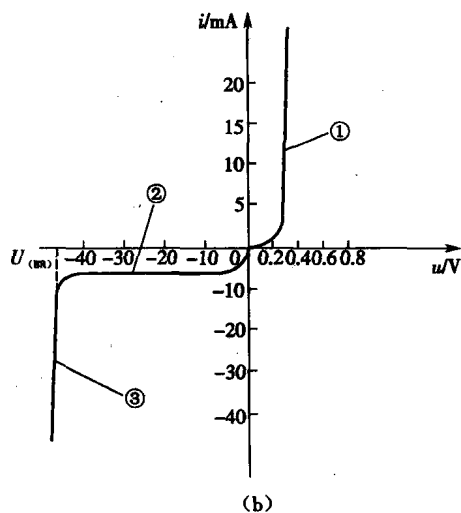
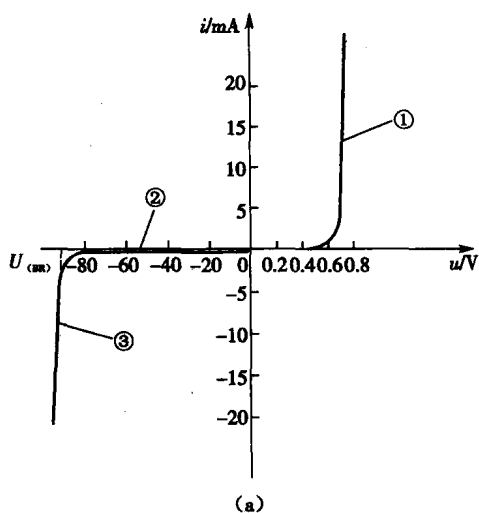


图 1-11 二极管伏安特性曲线  
(a) 硅二极管的特性曲线 (b) 锗二极管的特性曲线

### 1) 正向特性曲线——曲线①

在常温条件下,当硅二极管正向电压超过 0.5 V,锗二极管正向电压超过 0.1 V 时,才会有明显的正向电流,这个电压叫死区电压,用  $U_{th}$  表示。正向特性在小电流时符合指数变化规律,当电流较大后,按直线上升。二极管导通后的管压降:硅管为 0.7 V,锗管为 0.2 V。

### 2) 反向特性曲线——曲线②

二极管反向电压增加时,反向电流也略有增大,硅管反向电流小于 0.1  $\mu\text{A}$ ,锗管反向电流小于几十微安,反向电流数值很小。

### 3) 反向击穿特性曲线——曲线③

当外加反向电压增大到  $U_{(BR)}$  时,反向电流急剧增大,这种现象叫二极管反向击穿,  $U_{(BR)}$  叫反向击穿电压。

### 2. 温度对二极管特性的影响

二极管伏安特性受温度影响较大,正向运用时,温度升高,死区电压  $U_{th}$  下降,有如下关系:

$$\frac{dU_{th}}{dT} = -(2.0 \sim 2.5) \text{ mV}$$

反向运用时,温度每升高 10  $^{\circ}\text{C}$ ,反向饱和电流增大一倍。

### 3. 二极管的主要参数

二极管的主要参数如下。

#### 1) 最大正向平均电流 $I_F$

$I_F$  是二极管长期使用时允许承受的最大正向平均电流。由 PN 结面积和散热条件决定。

#### 2) 最大反向工作电压 $U_R$

$U_R$  是二极管允许承受的最大反向电压。通常将  $U_R$  定为击穿电压  $U_{(BR)}$  的一半。

#### 3) 反向电流 $I_R$

$I_R$  指二极管未击穿时反向电流的数值,这个值越小,二极管的单向导电性能越好,  $I_R$  受温



度影响较大。

4)最高工作频率 $f_M$

当工作频率超过 $f_M$ ,因PN结电容效应,二极管的单向导电性将变差。

5)直流电阻 $R_D$

二极管两端的直流电压 $U_D$ 与流过的直流电流 $I_D$ 的比值,叫二极管的直流电阻,即

$$R_D = \frac{U_D}{I_D}$$

直流电阻 $R_D$ 的大小与二极管的静态工作点 $Q$ 的位置有关。

6)交流电阻 $r_d$

在静态工作点 $Q$ 附近,电压微变量与电流微变量的比值,叫二极管的交流电阻,即

$$r_d = \frac{du}{di}$$

4. 半导体器件型号命名方法

国产电子元器件采用统一标准命名,它由五部分组成,各部分的意义如表1-1所示。

表 1-1 半导体器件命名方法

| 第一部分          |     | 第二部分                  |          | 第三部分          |                                                                |    |                                                                   | 第四部分              | 第五部分                 |
|---------------|-----|-----------------------|----------|---------------|----------------------------------------------------------------|----|-------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------------|
| 用数字表示<br>电极数目 |     | 用汉语拼音字母表示<br>器件的材料和极性 |          | 用汉语拼音字母表示器件类型 |                                                                |    |                                                                   | 用数字<br>表示器<br>件序号 | 用汉语拼<br>音字母表<br>示规格号 |
| 符号            | 意义  | 符号                    | 意义       | 符号            | 意义                                                             | 符号 | 意义                                                                |                   |                      |
| 2             | 二极管 | A                     | N型,锗材料   | P             | 普通管                                                            | D  | 低频大功率管<br>( $f_a < 3 \text{ MHz}, P_o$<br>$\geq 1 \text{ W}$ )    |                   |                      |
|               |     | B                     | P型,锗材料   | V             | 微波管                                                            |    |                                                                   |                   |                      |
|               |     | C                     | N型,硅材料   | W             | 稳压管                                                            |    |                                                                   |                   |                      |
|               |     | D                     | P型,硅材料   | C             | 参量管                                                            | A  | 高频大功率管<br>( $f_a \geq 3 \text{ MHz}, P_o$<br>$\geq 1 \text{ W}$ ) |                   |                      |
| 3             | 三极管 | A                     | PNP型,锗材料 | Z             | 整流管                                                            |    |                                                                   |                   |                      |
|               |     | B                     | NPN型,锗材料 | L             | 整流堆                                                            | T  | 半导体闸流管<br>(可控整流管)                                                 |                   |                      |
|               |     | C                     | PNP型,硅材料 | S             | 隧道管                                                            | Y  | 体效应器件                                                             |                   |                      |
|               |     | D                     | NPN型,硅材料 | N             | 阻尼管                                                            | B  | 雪崩管                                                               |                   |                      |
|               |     | E                     | 化合物材料    | U             | 光电器件                                                           | J  | 阶跃恢复管                                                             |                   |                      |
|               |     |                       |          | K             | 开关管                                                            | CS | *场效应器件                                                            |                   |                      |
|               |     |                       |          | X             | 低频小功率管<br>( $f_a < 3 \text{ MHz}, P_o$<br>$< 1 \text{ W}$ )    | BT | *半导体特殊器<br>件                                                      |                   |                      |
|               |     |                       |          | G             | 高频小功率管<br>( $f_a \geq 3 \text{ MHz}, P_o$<br>$< 1 \text{ W}$ ) | FH | *复合管                                                              |                   |                      |
|               |     |                       |          | PIN           | *PIN型管                                                         |    |                                                                   |                   |                      |
|               |     |                       |          | JG            | *激光器件                                                          |    |                                                                   |                   |                      |

注: \*表示场效应器件、半导体特殊器件、复合管、PIN型管、激光器件的型号命名只有第三、四、五部分。