



面向21世纪课程教材专用辅导
Textbook Series for 21st Century

电子技术基础同步辅导

模 拟 部 分

主编 中国科学院 徐海军
清华大学 苏智信

配套教材 《电子技术基础》（模拟部分） 第四版 康华光 主 编
《模拟电子技术基础》 第三版 童诗白 主 编

航空工业出版社

电子技术基础同步辅导 模拟部分

主编 中国科学院 徐海军
清华大学 苏智信

航空工业出版社

图书在版编目 (C I P) 数据

电子技术基础同步辅导/徐海军等主编. —北京: 航空工业出版社, 2004. 9
ISBN 7-80183-451-8

I. 电... II. 徐... III. 电子技术—自学参考资料
IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 084266 号

电子技术基础同步辅导(模拟部分)

Dian Zi Ji Shu Ji Chu Tong Bu Fu Dao (Mo Ni Bu Fen)

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里 14 号 100029)

发行电话: 010-64978486 010-84926529

北京嘉羽印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

2004 年 8 月第 1 版

2004 年 8 月第 1 次印刷

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 53

字数: 1065 千字

印数: 1—5000

全二册定价: 53.00 元

本社图书如有缺页、倒页、脱页、残页等情况, 请与本社发行部联系调换。
联系电话: 13501285859 或 010-82742036

前 言

本书根据国家教育部对高等院校电子技术基础课程的教学要求,由中国科学院与清华大学的教师联合编写而成,编写中主要以康华光先生主编的《电子技术基础(模拟部分)》为蓝本。完全可以满足高等院校自动化、电子技术、计算机应用及其它相关专业对电子技术基础的教学要求,也可以作为这些专业学生平时学习的指导书或硕士研究生入学考试的参考书。

本书具有以下主体内容:

一、基本要求:让学生更加明确各个章节的知识点需要掌握的程度;

二、知识点网络图:描述本章内容的点、线、面逻辑网络图,是学习和复习的主线;

三、内容提要:是教材知识点浓缩的精华,让学生更加深入地把握该章的重难点内容;

四、经典例题解析:主要从历届名校考研试题、经典教材习题、本科生课程结业考试中精心筛选、认真编写,例题具有典型性、代表性、实用性;

五、本章小结:把本章内容和关联章节相互联系起来,同时回顾本章的一些重难点内容;

六、单元自测题及答案:让学生通过自测题来检验知识的掌握程度;

七、教材同步习题解答:给出配套教材《《电子技术基础(模拟部分)》康华光主编)课后习题较为详细的解题答案或解题提示。

本书编写过程得到清华大学自动控制系多位教授的指点,并在百忙中审阅了全稿,在此表示感谢。

编者

2004年8月于北京中国科学院

目 录

第一章 绪 论	(1)
一、基本概念与定理	(1)
二、放大电路的表述形式	(2)
三、放大电路的性能指标	(3)
第二章 半导体二极管及其基本电路	(4)
一、基本要求	(4)
二、知识点网络图	(4)
三、内容提要	(4)
四、经典例题解析	(14)
五、本章小结	(25)
六、单元自测题及答案	(25)
七、教材同步习题答案	(28)
第三章 半导体三极管及放大电路基础	(37)
一、基本要求	(37)
二、知识点网络图	(37)
三、内容提要	(38)
四、经典例题解析	(50)
五、本章小结	(74)
六、单元自测题及答案	(74)
七、教材同步习题答案	(79)
第四章 场效应管放大电路	(95)
一、基本要求	(95)
二、知识点网络图	(95)
三、内容提要	(95)
四、经典例题解析	(102)
五、本章小结	(118)
六、单元自测题及答案	(118)
七、教材同步习题答案	(121)
第五章 功率放大电路	(128)
一、基本要求	(128)

二、知识点网络图.....	(128)
三、内容提要.....	(128)
四、经典例题解析.....	(134)
五、本章小结.....	(148)
六、单元自测题及答案.....	(148)
七、教材同步习题答案.....	(154)
第六章 集成电路运算放大器	(160)
一、基本要求.....	(160)
二、知识点网络图.....	(160)
三、内容提要.....	(160)
四、经典例题解析.....	(166)
五、本章小结.....	(183)
六、单元自测题及答案.....	(183)
七、教材同步习题答案.....	(189)
第七章 反馈放大电路	(199)
一、基本要求.....	(199)
二、知识点网络图.....	(199)
三、内容提要.....	(199)
四、经典例题解析.....	(209)
五、本章小结.....	(228)
六、单元自测题及答案.....	(229)
七、教材同步习题答案.....	(233)
第八章 信号的运算与处理电路	(248)
一、基本要求.....	(248)
二、知识点网络图.....	(248)
三、内容提要.....	(248)
四、经典例题解析.....	(253)
五、本章小结.....	(266)
六、单元自测题及答案.....	(266)
七、教材同步习题答案.....	(271)
第九章 信号产生电路	(301)
一、基本要求.....	(301)
二、知识点网络图.....	(301)
三、内容提要.....	(302)
四、经典例题解析.....	(309)

五、本章小结.....	(328)
六、单元自测题及答案.....	(328)
七、教材同步习题答案.....	(335)
第十章 直流稳压电源	(346)
一、基本要求.....	(346)
二、知识点网络图.....	(346)
三、内容提要.....	(346)
四、经典例题解析.....	(357)
五、本章小结.....	(372)
六、单元自测题及答案.....	(372)
七、教材同步习题答案.....	(376)
参 考 文 献	(384)

第一章 绪 论

一、基本概念与定理

1. 信号及其分类

信号是信息的载体。大致可以分为确定信号与随机信号,连续时间信号与离散时间信号,周期信号与非周期信号,能量信号与功率信号等。在模拟电子技术中,我们讨论连续信号和离散信号。由于信号为时间 t 的函数,故按照 t 的连续或离散,将信号分为连续信号与离散信号。对于连续信号来说,当函数值 $f(t)$ 连续时,称为模拟信号;而当函数值 $f(t)$ 离散时,称为量化信号。对于离散信号来说,当函数值 $f(t)$ 连续时,称为抽样信号;而当函数值 $f(t)$ 离散时,称为数字信号。

2. 线性电路和非线性电路

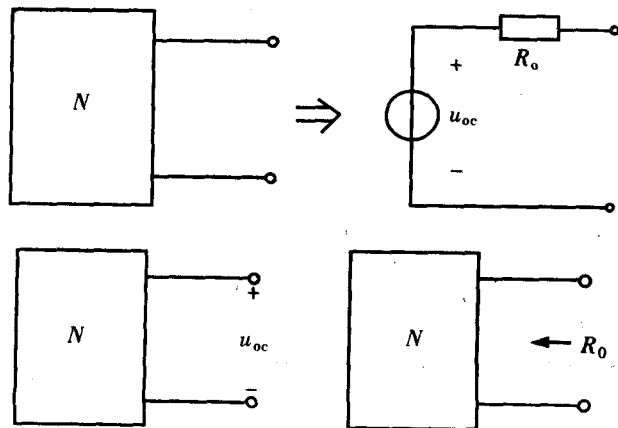
把电路参数与电压、电流无关的元件称为线性元件(如 R 、 L 、 C)。

由电源和线性元件组合而成的电路,属于线性电路。线性电路的方程是线性代数方程或线性微分(积分)方程。不能用线性方程来描述其特性的电路称为非线性电路,例如大部分含电子器件的电路就属于非线性电路。

3. 叠加定理

线性电路中任一支路的电流等于各个电源单独作用下所产生的电流之和,称为叠加定理。通常所说的电源单独作用,是指对应的其它电源应视为零值,即独立电压源短路,独立电流源开路,而全部受控源则必须保留。

叠加定理不仅适用于支路电流,也适用于电路任意两点间的电压,因为任意两点间的电压总是可以表示为支路电流的线性组合。



戴维南定理的应用,必须注意:

(1) 由戴维南定理所得的等效电路, 仅对网络的外部电路等效, 亦即只适用于计算外部电路的电压和电流, 而不适用于计算网络内部的电压和电流。

(2) 只要一端口网络内部是线性的, 外部电路即使是含有非线性元件的非线性电路, 戴维南定理同样适用。

一个包含独立源而不包含受控源的一端口网络, 如果控制和被控制的电压、电流都是一端口网络内部的量, 与外部电路没有互控关系, 则这个一端口网络可以简化为一个电阻。

(3) 利用戴维南定理把电路简化成简单的串联或并联电路后再来求解。

二、放大电路的表述形式

根据输入、输出信号的形式, 放大电路可以表述成如下的几种形式:

1. 电压放大电路:

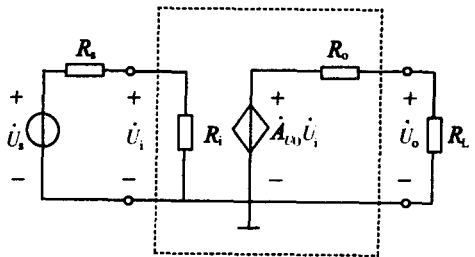
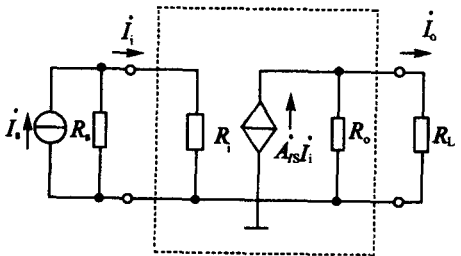
例如电压放大电路是当电路的输入端信号是电压信号, 且输出端也是电压信号时, 通常把这样的电路称为电压放大电路。

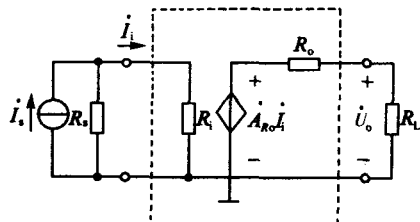
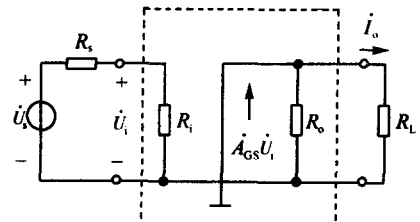
同理, 下面的就依次类推写出它们的定义

2. 电流放大电路: 输入为电流, 输出为电流。

3. 互阻放大电路: 输入为电流, 输出为电压。

4. 互导放大电路: 输入为电压, 输出为电流。

电路类型	放大电路模型	放大增益
电压放大		$\dot{A}_v = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \dot{A}_{v0} \frac{R_L}{R_L + R_o}$ $\dot{A}_{v0} \text{ 是输出开路}$ $(R_L = \infty) \text{ 时的电压增益}$
电流放大		$\dot{A}_I = \frac{\dot{I}_o}{\dot{I}_i} = \dot{A}_{is} \frac{R_o}{R_L + R_o}$ $\dot{A}_{is} \text{ 是输出短路}$ $(R_L = 0) \text{ 时的电流增益}$

电路类型	放大电路模型	放大增益
互阻放大		$\dot{A}_R = \frac{\dot{U}_o}{\dot{I}_i} = \dot{A}_{R_o} = \dot{A}_{R_o} \frac{R_L}{R_L + R_o}$ $\dot{A}_{R_o}$ 是输出开路时的互阻增益, 理想条件 $R_i = 0, R_o = 0$
互导放大		$\dot{A}_G = \frac{\dot{I}_o}{\dot{U}_i} = \dot{A}_{G_s} \frac{R_o}{R_L + R_o}$ $\dot{A}_{G_s}$ 是输出短路时的互导增益, 理想条件 $R_i = \infty, R_o = \infty$

三、放大电路的性能指标

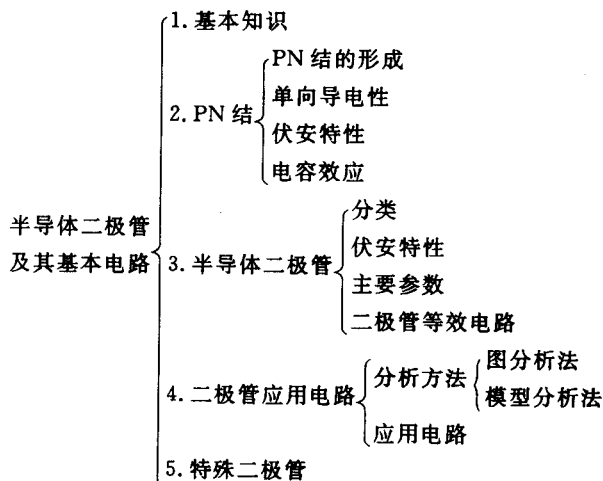
1. 输入电阻 R_i 定义为当输入电压 $\dot{U}_i$ 与输入电流 $\dot{I}_i$ 的比值即 $R_i = \frac{\dot{U}_i}{\dot{I}_i}$
2. 输出电阻 R_o 是在电路输出端加一测试电压 $\dot{U}_T$ 与其相应产生一测试电流的 $\dot{I}_T$ 的比值。
3. 增益 A 四种放大电路分别有不同的增益, 如电压增益 $\dot{A}_U$, 电流增益 $\dot{A}_I$, 互阻增益 $\dot{A}_R$ 及互导增益 $\dot{A}_G$ 。
4. 频率响应 在输入正弦信号情况下, 输出随频率连续变化的稳态响应。
5. 半功率点 在输入信号幅值保持不变的条件下, 增益下降 3dB 的频率点, 其输出功率约等于中频区输出功率的一半。
6. 上限频率 f_H 是频率响应的高端半功率点。
7. 下限频率 f_L 是频率响应的低端半功率点。
8. 带宽 BW 把幅值响应的高、低两个半功率点间的频率差定义为放大电路的带宽, 即 $BW = f_H - f_L$ 。
9. 频率失真 又称线性失真, 是由于线性电抗元件所引起的。它包括幅度失真和相位失真。
10. 幅度失真 输入信号由基波和二次谐波组成, 受放大电路带宽限制, 基波增益较大, 而二次谐波增益较小, 输出电压波形产生了失真。
11. 相位失真 当放大电路对不同频率的信号产生的相移不同时, 产生了失真。

第二章 半导体二极管及其基本电路

一、基本要求

1. 了解半导体材料的基本结构及 PN 结的形成。
2. 掌握 PN 结的单向导电工作原理。
3. 了解二极管(包括稳压管)的伏安特性及主要性能指标。

二、知识点网络图



三、内容提要

1. 基本知识

半导体的导电性能介于导体和绝缘体之间,半导体具有光敏、热敏和掺杂特性。

(1) 本征半导体

纯净的具有晶体结构的半导体称为本征半导体。图 2.3.1 为硅、锗原子结构模型及共价键结构示意图。

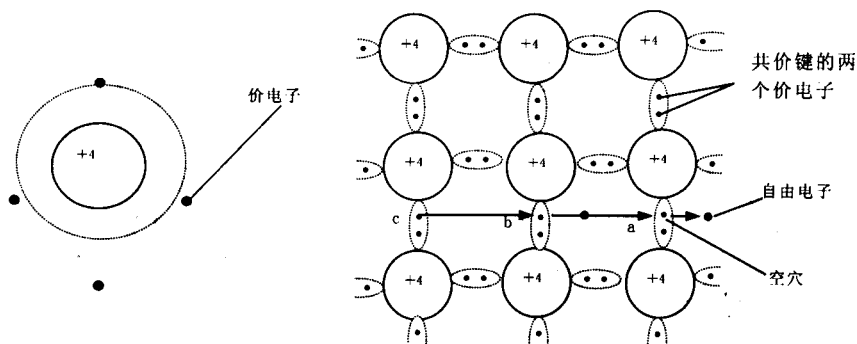


图 2.3.1 本征半导体结构示意图

① 在热力学温度零度和没有外界能量激发时,价电子受共价键的束缚,晶体中不存在自由运动的电子,半导体是不能导电的。

② 当半导体温度升高(例如室温 300K)或受到光照等外界因素的影响时,某些共价键中的价电子获得了足够的能量,足以挣脱共价键的束缚,跃迁到导带,成为自由电子,同时在共价键中留下相同数量的空穴,如图 2.3.1(b)所示。空穴是半导体中特有的一种粒子,带正电,与电子的电荷量相同。

③ 两种载流子:

运载电荷的粒子称为载流子。

在本征半导体中,自由电子与空穴数目相等,在外加电场作用下,一方面自由电子定向移动,形成电子电流;另一方面,价电子按一定方向依次填补空穴,也就是说空穴定向移动,形成空穴电流。

因此本征半导体有两种载流子:自由电子和空穴。

④ 热激发条件下,只有少数价电子挣脱共价键的束缚,进入导带形成电子空穴对,所以本征半导体导电率很低。

(2) 杂质半导体

通过扩散工艺,在本征半导体中掺入少量合适的杂质元素,便可得到杂质半导体。

① 两种杂质半导体:

A: N 型半导体:在本征半导体硅(或锗)中掺入少量的五价元素(如磷),就可以构成 N 型半导体。

N 型半导体的结构图如图 2.3.2 所示。

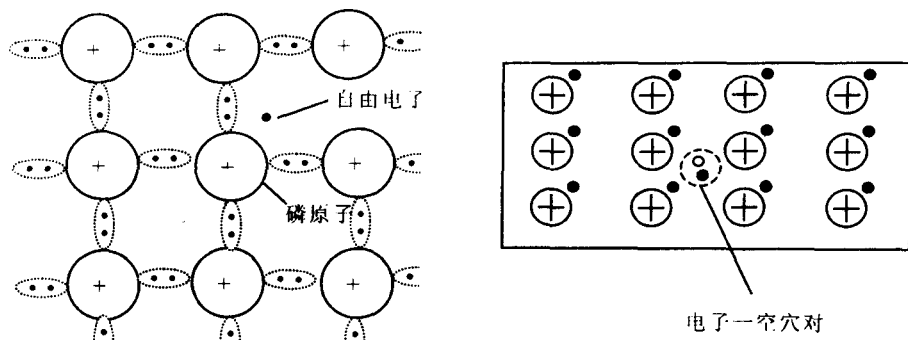


图 2.3.2 N 型半导体

B:P 型半导体:在本征半导体硅(或锗)中掺入少量的三价元素(如硼),就可以构成 P 型半导体。

P 型半导体的结构图如图 2.3.3 所示。

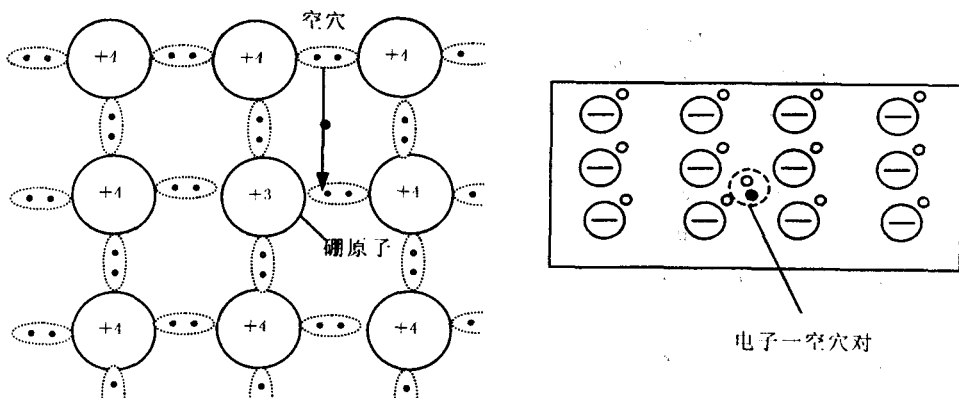


图 2.3.3 P 型半导体

② 两种浓度不等的载流子:

在 N 型半导体中,自由电子浓度远大于空穴浓度,故称自由电子为多数载流子,简称“多子”;空穴为少数载流子,简称“少子”。同样地,在 P 型半导体中,空穴为多子,自由电子为少子。

③ 一般情况下,只要掺入极少量的杂质,所增加的多子浓度就会远大于室温条件下本征激发所产生的载流子浓度。所以,杂质半导体的导电率高。

④ 杂质半导体呈电中性。

2. PN 结

(1) PN 结的形成

半导体中载流子的运动方式有两种:

漂移运动——载流子在外加电场作用下的定向移动；

扩散运动——因浓度梯度引起载流子的定向运动。

A. 当 P 型半导体和 N 型半导体结合在一起时, 由于交界面处存在载流子浓度的差异, 这样电子和空穴都要从浓度高的地方向浓度低的地方扩散, 即自由电子由 N 区向 P 区扩散, P 区的空穴向 N 区扩散。但是, 电子和空穴都是带电的, 它们扩散的结果就使 P 区和 N 区中原来的电中性条件破坏了。P 区一侧因失去空穴而留下不能移动的负离子, N 区一侧因失去电子而留下不能移动的正离子。这些不能移动的带电粒子通常称为空间电荷, 它们集中在 P 区和 N 区交界面附近, 形成了一个很薄的空间电荷区, 如图 2.3.4(b) 所示。

B. 绝大部分空间电荷区内自由电子和空穴的数目都非常少, 在分析 PN 结特性时常忽略载流子的作用, 而只考虑离子区的电荷, 这种方法称为“耗尽层近似”, 故称空间电荷区为耗尽层。

C. P 区一侧呈现负电荷, N 区一侧呈现正电荷, 因此空间电荷区出现了方向由 N 区指向 P 区的电场, 由于这个电场是载流子扩散运动形成的, 而不是外加电压形成的, 故称为内电场。

D. 内电场是由多子的扩散运动引起的, 伴随着它的建立将带来两种影响: 一是内电场将阻碍多子的扩散, 二是 P 区和 N 区的少数一旦靠近 PN 结, 便在内电场的作用下漂移到对方, 使空间电荷区变窄。

E. 因此, 扩散运动使空间电荷区加宽, 内电场增强, 有利于少子的漂移而不利多子的扩散; 漂移运动使空间电荷区变窄, 内电场减弱, 有利于多子的扩散而不利少子的漂移。

F. 在无外电场和其它激励作用下, 参与扩散运动的多子数目等于参与漂移运动的少子数目, 从而达到动态平衡, 形成 PN 结。

(2) 单向导电性

① PN 结外加正向电压时处于导通状态如图 2.3.5 所示。

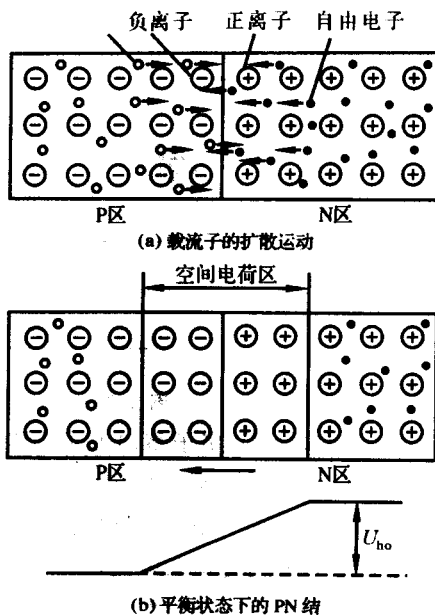


图 2.3.4 PN 的形成

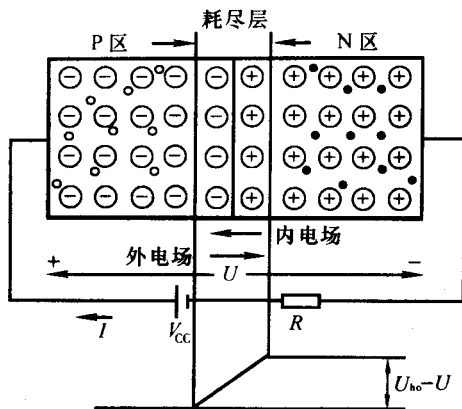


图 2.3.5 PN 结加正向电压时导通

在外电场作用下,多子将向 PN 结移动,结果使空间电荷区变窄,内电场被削弱,有利于多子的扩散而不利于少子的漂移,扩散运动起主要作用。结果,P 区的多子空穴将源源不断的流向 N 区,而 N 区的多子自由电子亦不断流向 P 区,这两股载流子的流动就形成了 PN 结的正向电流,PN 结导通。

② PN 结外加反向电压时处于截止状态如图 2.3.6 所示。

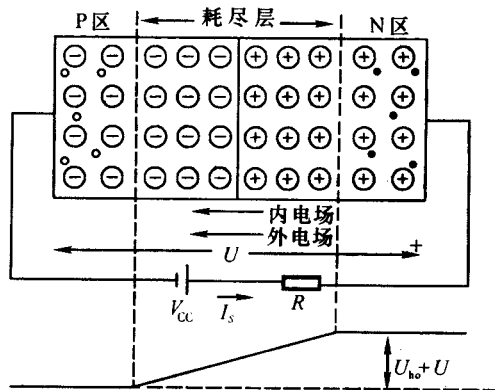


图 2.3.6 PN 结加反向电压时截止

在外电场作用下,多子将背离 PN 结移动,结果使空间电荷区变宽,内电场被增强,有利于少子的漂移而不利于多子的扩散,漂移运动起主要作用。漂移运动产生的漂移电流的方向与正向电流相反,称为反向电流,也称为漂移电流。因少子浓度很低,即使所有的少子都参与漂移运动,反向电流也非常小,所以在近似分析中常将它忽略不计,认为 PN 结外加反向电压时处于截止状态。

当温度一定时,少子浓度一定,反向电流几乎不随外加电压而变化,故称为反向饱和电流。

(3) 伏安特性

由图 2.3.7 可知,PN 结外加正向电压,且 $u \gg U_T$ 时, i 随 u 按指数规律变化;当 PN 结外加反向电压,且反向电压超过一定数值 $U_{(BR)}$ 后,反向电流急剧增加,称之为反向击穿。

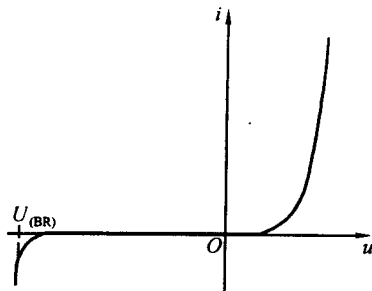


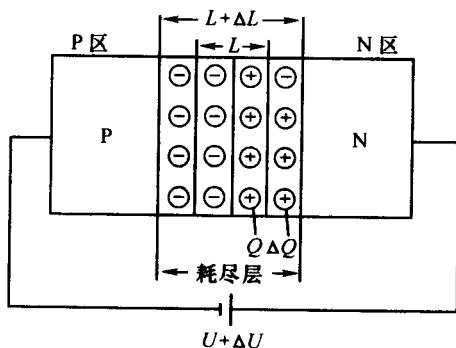
图 2.3.7 PN 结的伏安特性

(4) 电容效应

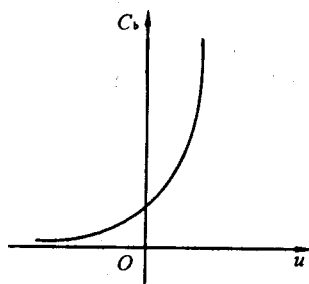
根据产生原因不同,分为势垒电容和扩散电容。

① 势垒电容

当 PN 结外加电压变化时,空间电荷区的宽度将随之变化,这种现象与电容器的充、放电过程相同。耗尽层宽窄变化等效的电容称为势垒电容。



(a) 耗尽层的电荷随外加电压变化



(b) 势垒电容和外加电压的关系

图 2.3.8 PN 结的势垒电容

② 扩散电容

PN 结处于平衡状态时的少数载流子称为平衡少数载流子。PN 结处于正向偏置时,从 P 区扩展到 N 区的空穴和从 N 区扩展到 P 区的自由电子均称为非平衡少数载流子。在外加电压一定时,靠近耗尽层交界面到远离交界面的地方非平衡少数载流子浓度自高到低形成浓度差,从而形成扩散电流。在扩散区内,电荷的积累和释放过程与电容器充、放电过程相同,称为扩散电容 C_d 。

3. 半导体二极管

PN 结的结电容 C_j 是 C_b 与 C_d 之和,即 $C_j = C_b + C_d$ 。

(1) 分类

半导体二极管按其结构的不同可分为点接触型、面接触型和平面型这样几类。半导体二极管的结构及其在电路中的符号如图 2.3.9 所示:

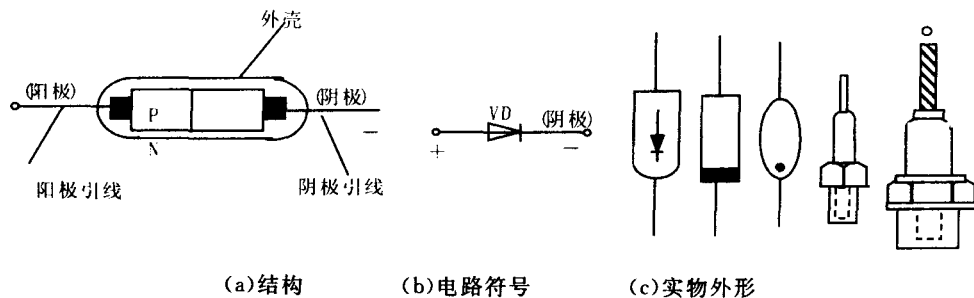


图 2.3.9 半导体二极管

(2) 伏安特性

① 伏安特性曲线,如图 2.3.10 所示。

它可划分为三个部分:

A. 正向特性(外加正向电压)

当正向电压超过某一数值后,二极管才有明显的正向电流,该电压值称为导通电压,用 U_{th} 表示。

在室温下,硅管的 U_{th} 约为 0.5V,锗管的 U_{th} 约为 0.1V。当流过二极管的电流 I 比较大时,二极管两端的电压几乎维持恒定,硅管约为 0.6~0.8V(通常取 0.7V),锗管约为 0.2~0.3V(通常取 0.2V)。

B. 反向特性(外加反向电压)

在反向电压小于反向击穿电压的范围内,由少数载流子形成的反向电流很小,而且与反向电压的大小基本无关。

由二极管的正向与反向特性可直观的看出:(a)二极管是非线性器件;(b)二极管具有单向导电性。

C. 反向击穿特性

当反向电压增加到某一数值当反向电压超过一定数值 $U_{(BR)}$ 时,反向电流急剧增大,这种现象叫做二极管的反向击穿。

② 温度对半导体二极管伏安特性的影响

如图 2.3.10 伏安特性中虚线所示,环境温度升高,二极管正向特性曲线左移,反向特性曲线下移。在室温附近,温度每升高 1 摄氏度,正向压降减小 2~2.5mV;温度每升高 10 摄氏度,反向电流约增大一倍。

(3) 主要参数

器件的参数是其特性的定量描述,是我们正确使用和合理选择器件的依据。

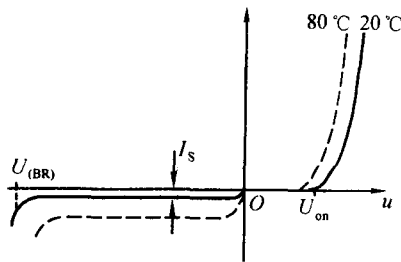


图 2.3.10 二极管伏安特性曲线