

高等教育通信专业教材

电子线路 (上册)

—— 低频电路部分

主 编 王柱京
副主编 李智兰 蔡 凯 潘法志
主 审 葛立嘉



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

电子线路(上)

——低频电路部分

主 编 王柱京

副主编 李智兰 蔡 凯 潘法志

主 审 葛立嘉

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

电子线路 / 王柱京主编. — 成都: 西南交通大学出版社, 2006.12

ISBN 7-81104-436-6

I. 电... II. 王... III. 电子电路—高等学校—教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 103617 号

电子线路 (上)

——低频电路部分

主编 王柱京

*

责任编辑 万 方

特邀编辑 李芳芳

版式设计 邓素君

封面设计 周 用

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都蓉军广告印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 38.75

总字数: 955 千字 印数: 1—4 000 套

2006 年 12 月第 1 版 2006 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 7-81104-436-6

套价: 59.00 元

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

(上册)

目 录

第一章 晶体管与场效应管

第一节 DNT 结	1
-----------	---

第四章 负反馈放大器

第一节 反馈的基本概念	107
第二节 负反馈对放大器性能的影响	113
第三节 深度负反馈放大器的分析计算	120
第四节 方框图法	126
本章小结	129
思考题与习题	130

第五章 放大器的频率响应

第一节 频率响应的一般概念	135
第二节 频率特性的分析方法	137
第三节 放大器的频率响应	143
第四节 负反馈放大器的稳定性判别	150
本章小结	154
思考题与习题	155

第六章 信号运算和处理电路

第一节 集成运算放大器概述	158
第二节 集成运算放大器的基本电路	175
第三节 信号运算电路分析举例	180
第四节 信号处理电路分析举例一——有源滤波器	188
第五节 信号处理电路分析举例二——电压比较器	193
本章小结	197
思考题与习题	198

第七章 信号发生器

第一节 正弦波发生器	205
第二节 非正弦信号发生器	209
本章小结	214
思考题与习题	214

第八章 直流电源

第一节 直流电源的组成	218
第二节 单相整流电路	219
第三节 滤波电路	225
第四节 倍压整流电路	233

第五节 稳压电路的技术指标	235
第六节 稳压管稳压电路	236
第七节 串联反馈式稳压电路	239
第八节 集成稳压器	242
第九节 开关型稳压电路	247
本章小结	252
思考题与习题	252
参考文献	257

第一章 晶体管与场效应管

第一节 PN 结

自然界的物质，按其导电能力来分，可分为导体、绝缘体和半导体三大类。通常把电阻率小于 $10^{-4}\Omega\cdot\text{cm}$ 的物质称为导体，如铝、铜等金属都是良好的导体；电阻率大于 $10^9\Omega\cdot\text{cm}$ 的物质称为绝缘体，如塑料、橡胶等；而把导电能力介于二者之间的物质称为半导体，如硅、锗、砷化镓等。

一、本征半导体

在电子器件中，用得最多的半导体材料是硅和锗，它们的原子结构简化模型如图 1-1 所示。这是因为硅和锗都是四价元素，最外层原子轨道上具有四个电子，称为价电子。由于原子呈中性，故原子核用带圆圈的+4 符号表示。物质的化学性质是由价电子决定的，半导体的导电性质也与价电子有关，因此，价电子是我们研究的对象。

纯净的、结构完整的、不含其他杂质的半导体称为本征半导体。在本征半导体中，由于晶体中共价键的结合力很强，当热力学温度为零度（即 $T=0\text{K}$ 时，相当于 -273°C ）时，价电子的能量不足以挣脱共价键的束缚，晶体中没有自由电子产生，如图 1-2 所示。图中表示的是二维结构，实际上半导体晶体结构是三维的，即 $T=0\text{K}$ 时，半导体不导电，呈绝缘体导电特性。

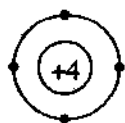


图 1-1 硅和锗的原子结构简化模型

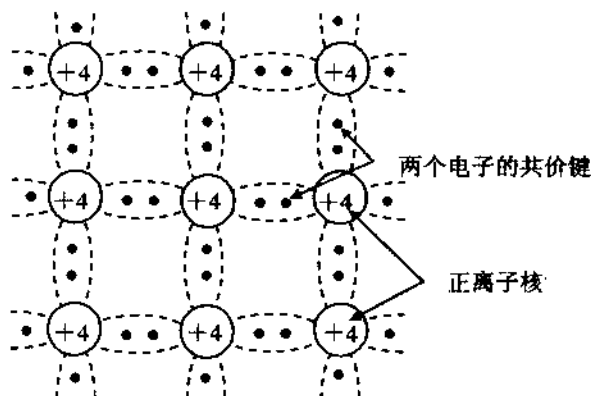


图 1-2 硅和锗的二维晶格结构图，正离子核通过共价键与邻近的核相联接

当温度升高时，将有少数价电子获得足够的能量，以克服共价键的束缚成为自由电子。此时半导体具有一定的导电能力，因自由电子的数量少，它的导电能力较弱。

共价键中一部分价电子摆脱共价键的束缚成为自由电子后，在原来的共价键中留下一个空位，这个空位叫做空穴。由于空穴的出现，附近共价键中的电子很容易在获取键量后进来填补原来的空位而产生新的空穴，其他地方的价电子又可能来填补新的空穴。从效果上来看，这种价键电子的运动，就相当于空穴的运动一样。为了与自由电子的运动相区别，把这种价键电子的运动称为空穴运动，并将空穴看成带正电荷的载流子，如图 1-3 所示。

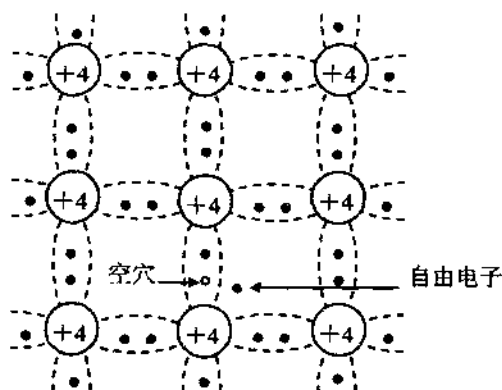


图 1-3 本征半导体中的自由电子和空穴

由此可见，半导体中存在两种载流子，即带负电的自由电子和带正电的空穴。在本征半导体中，它们总是成对地出现，成为电子-空穴对；又成对地消失，使得两种载流子的浓度始终相等。 n 表示自由电子浓度， p 表示空穴浓度，则有 $n = p$ ，它们叫做本征载流子。

在一定的温度下，本征载流子的数目是一定的，当温度升高时，本征载流子浓度基本按指数规律增加。因此，本征载流子浓度对温度十分敏感。

二、杂质半导体

由于本征半导体的导电能力微弱，若在其中掺入某种特定的有用的杂质，成为杂质半导体后，它的导电能力会发生质的变化。杂质半导体有两种，一种是 N 型半导体，另一种是 P 型半导体。下面分别进行讨论。

(一) N 型半导体

在 4 价元素的硅或锗中掺入少量 5 价元素的磷或砷，原来晶格中的某些硅原子将被杂质原子取代。由于杂质原子外层有 5 个价电子，它与周围的 4 个硅原子组成共价键时，多余一个电子不在共价键内受到束缚，只受它自身原子核的吸引。这种束缚力很微弱，在室温下将形成自由电子。如图 1-4 所示，掺入多少个杂质原子就产生多少自由电子，它的自由电子浓度将远远大于空穴浓度，即 $n \gg p$ 。它主要依靠电子导电，故称为电子型半导体或 N 型半导体，其中 5 价杂质原子称为施主原子。N 型半导体中的自由电

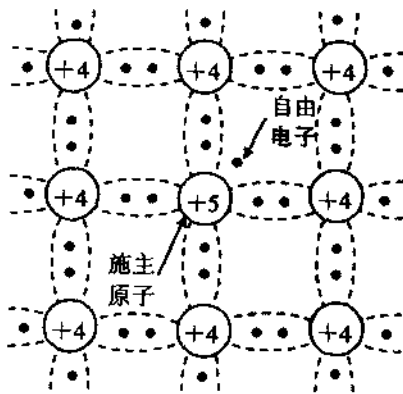


图 1-4 N 型半导体

子称为多数载流子(简称多子), 而其中的空穴称为少数载流子(简称少子)。

(二) P型半导体

在硅(或锗)晶体中掺入少量的 3 价元素杂质, 如硼或铟, 这种杂质的原子最外层只有 3 个价电子, 当它和周围的 4 个硅原子组成共价键时, 由于缺少一个价电子而形成空穴, 如图 1-5 所示。同样, 掺入的杂质越多, 形成的空穴也就越多。在这种杂质半导体中, 空穴的浓度将比自由电子的浓度高得多, 即 $p \geq n$ 。它主要依靠空穴导电, 故称为空穴型半导体或 P 型半导体。这种 3 价元素的杂质称为受主杂质。在 P 型半导体中, 多数载流子是空穴, 少数载流子是自由电子。在杂质半导体中, 多子的浓度主要取决于掺杂浓度的高低, 少子的浓度主要取决于温度的高低。无论是 N 型还是 P 型半导体, 它们的正负电荷数目总是相等的, 所以它对外保持着电中性。为了表述简便, 通常只画出正离子和它等量的自由电子来表示 N 型半导体; 类似地, 只画出负离子和它等量的空穴来表示 P 型半导体。

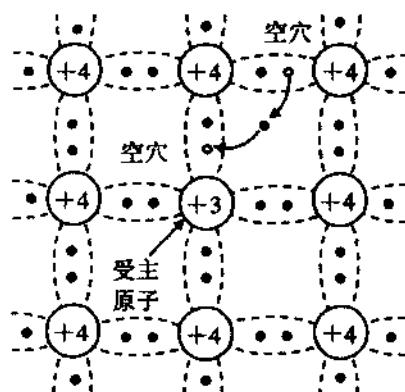


图 1-5 P 型半导体

从以上分析可知, 由于掺入的杂质使多子的数目大大增加, 从而使多子与少子复合的机会大大增加。因此, 对于杂质半导体, 多子的浓度越高, 少子的浓度就越低。可以认为, 多子的浓度约等于所掺杂质原子的浓度, 因而它受温度的影响很小; 而少子是本征激发形成的, 所以尽管其浓度很低, 却对温度非常敏感, 这将影响半导体的性能。

三、PN 结的形成及导电特性

若将一块半导体的一侧掺入 3 价元素的杂质使其成为 P 型半导体, 另一侧掺入 5 价元素的杂质使其成为 N 型半导体, 在二者的交界面处将形成一个 PN 结。

(一) PN 结的形成过程

在 P 区和 N 区的交界面处, 由于存在自由电子和空穴的浓度差, P 区内的多子(空穴)将向 N 区扩散, N 区内的多子(自由电子)将向 P 区扩散。当电子和空穴相遇时, 又产生复合, 其结果是, 在 P 区一边留下不能移动的负离子, 在 N 区一边留下不能移动的正离子, 这些正负离子组成空间电荷区, 也就是 PN 结, 如图 1-6 所示。

空间电荷区内缺少载流子, 又称它为耗尽层。由于多子的扩散, PN 结中正负离子的积累(是因为自由电子与空穴复合而至)将使 N 区一边带正电, P 区一边带负电, 在 P 区和 N 区之间产生了一个电位差 V_D , 它的电场方向由 N 区指向 P 区。这个电场是 PN 结的内电场。内电场的作用是阻止多子的继续扩散, 同时却引起了少子的运动, 即引起 P 区的自由电子向 N 区运动, N 区的空穴向 P 区运动, 我们称载流子在内电场作用下的定

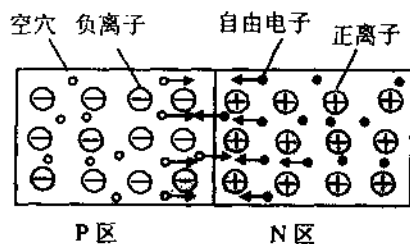
向运动为漂移运动。扩散运动产生的电流叫扩散电流，用 I_D 表示；漂移运动产生的电流叫漂移电流，用 I_0 表示。扩散运动首先形成空间电荷区，空间电荷的产生又将产生内电场，内电场又引起少子漂移，扩散与漂移不断进行，当扩散电流与漂移电流相等时，达到动态平衡，PN 结中的总电流为零。PN 结的宽度也达到稳定。一般空间电荷区很薄，其厚度约为几微米到几十微米。电位差 V_D 的大小，硅材料约为 $0.6 \sim 0.8V$ ，锗材料约为 $0.2 \sim 0.3V$ 。

(二) PN 结的单向导电性

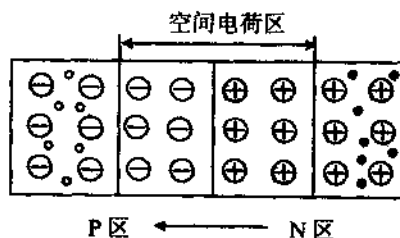
PN 结在未加电压前，由于 $I_D = I_0$ ，对外是呈电中性的。给 PN 结外加电压时，有两种情况。一种是正向连接，即 P 区一边接电源正极，N 区一边接电源负极，又叫正向偏置；另一种是反向连接，即 N 区一边接电源正极，P 区一边接电源负极，又叫反向偏置。

当 PN 结正偏时，如图 1-7 所示，外电场的方向与 PN 结中内电场的方向相反，削弱了内电场。在外电场的作用下，P 区的多子（空穴）继续向 N 区扩散，到达空间电荷区时与一部分负离子中和；N 区的多子（自由电子）向 P 区扩散，到达空间电荷区时与一部分正离子中和。结果，由于多子移向了耗尽层，使得空间电荷区的宽度变窄，内电场减弱。这样，扩散不断进行，漂移运动非常微弱，几乎不能进行， $I_D \gg I_0$ ，电路中形成一个较大的正向电流 I ，主要由 I_D 构成，其方向是从 P 区流向 N 区，与电源电压的方向关联。

当 PN 结反偏时，如图 1-8 所示，外电场的方向与 PN 结中内电场的方向一致，增强了



(a) P 区与 N 区中载流子的扩散运动



(b) 平衡状态下的 PN 结

图 1-6 PN 结的形成

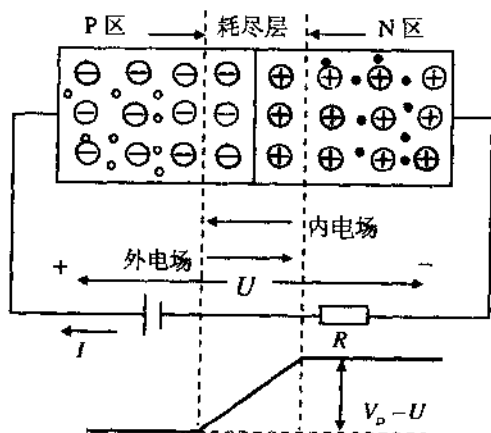


图 1-7 PN 结加正向电压时导通

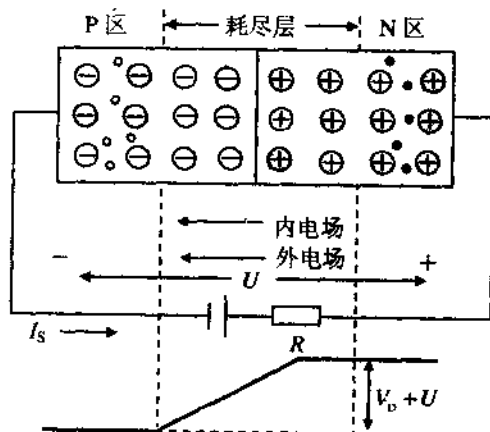


图 1-8 PN 结加反向电压时截止

内电场的作用。这时扩散不能进行，只有少子的漂移运动。空间电荷区变宽，内电场增强，在回路中只有少子漂移而形成的电流 I_0 存在，若用 I 表示，由于少子的数目少， I 很小。它称为 PN 结的反向饱和电流，通常用符号 I_s 表示。因 I_s 由少子产生，而少子的浓度与温度有关，所以 I_s 对温度十分敏感，即 I_s 随温度升高而急剧增大。

综上所述，当 PN 结正偏时，回路中产生一个较大的正向电流，PN 结处于导通状态；当 PN 结反偏时，回路中的反向电流很小，几乎等于零，PN 结处于截止状态。这就是 PN 结的单向导电性。

第二节 晶体二极管

一、二极管的结构及电路符号

给 PN 结装上外壳，再引出两个电极，就做成了晶体二极管。图 1-9 列出了一些常见二极管的外形图。

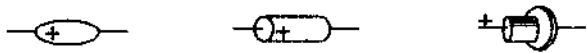


图 1-9 二极管的几种常见外形

图 1-10(a)是二极管的电路符号。其中阳极从 P 区引出，阴极从 N 区引出。二极管的类型很多。按材料来划分，有硅二极管和锗二极管；按管子的制作工艺来划分，有点接触型和面接触型。点接触型的特点是 PN 结的面积小，结电容也小，它允许通过的电流小，适合在高频率下工作；面接触型二极管相反，由于 PN 结面积大，允许通过较大的电流，适合在低频率下工作，可用于整流电路。还有开关型二极管，适合在脉冲数字电路中做开关使用。

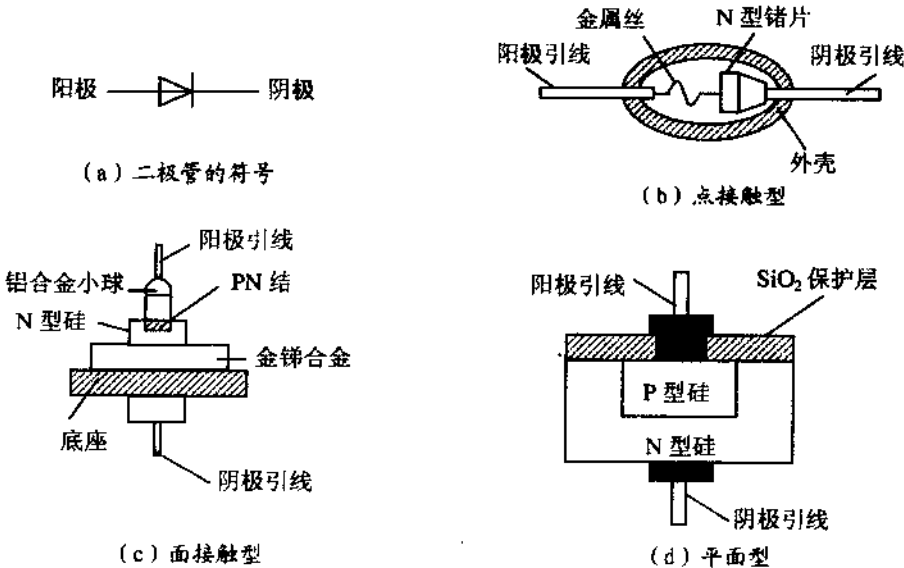


图 1-10 二极管的常见结构

二、二极管的伏安特性

二极管的核心是一个PN结，所以PN结的特性即是二极管的特性，PN结的单向导电性也为二极管所有。为了全面、直观地表达二极管的电压电流关系，用其伏安特性来描述。 $i = f(v)$ 即是二极管的伏安函数关系，图1-11为其伏安特性曲线。

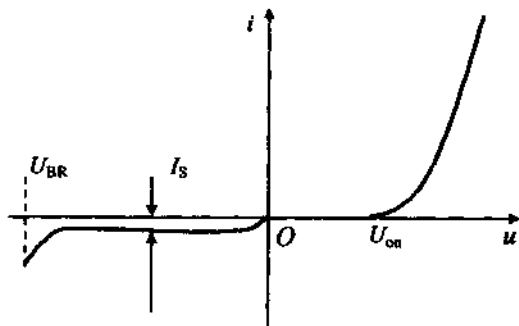


图 1-11 二极管的伏安特性

图 1-11 曲线可分为两部分，图中的右半部分为正向特性，左半部分为反向特性。

(一) 正向特性

当二极管两端的正向电压较小时，正向电流也很小，几乎等于零。只有当正向电压超过某一数值 U_{on} 时，正向电流才明显地增大。正向特性上电流增大时对应的这个电压通常称为“死区电压”，见图 1-11。死区电压的大小与二极管的材料及温度有关。一般硅管的死区电压为 0.5V 左右，锗管为 0.1V 左右。当正向电压超过死区电压后，随着电压的升高，正向电流迅速增大，电流与电压基本上为指数关系。

(二) 反向特性

由图 1-11 可知，当二极管反偏时，反向电流值很小，当反向电压超过零点几伏后，反向电流值几乎不随反向电压增大而增大，而是达到了饱和，这个电流就是反向饱和电流 I_s 。若反向电压继续升高，超过 U_{BR} (U_{BR} 叫反向击穿电压) 时，反向电流急剧增大，这种现象称为二极管的击穿现象。二极管击穿以后，不再具有单向导电性。

需要说明的是，发生击穿并不意味着二极管被损坏。实际上，反向击穿时，只要注意控制反向电流的数值，不使其过大，以免因过热而烧坏二极管，当反向电压降低时，二极管的性能可以恢复正常。

由理论分析可得 PN 结的伏安特性表达式，此式又叫二极管电流方程，即

$$I = I_s(e^{U/U_T} - 1) \quad (1-1)$$

式中， I_s 为反向饱和电流； U_T 是温度电压当量，常温时， $U_T \approx 26\text{mV}$ 。

由二极管方程可见，若二极管反偏，即 $U < 0$ ，而且 $|U| \geq U_T$ ，则 $I = -I_s$ ；若二极管正偏，即 $U > 0$ ，而且 $U \geq U_T$ ，则上式中 $e^{U/U_T} \gg 1$ ，可得 $I \approx I_s e^{U/U_T}$ ，说明 I 与 U 基本上成指数关系。

三、二极管的主要参数

器件的参数是对其特性的定量描述，也是实际工作中根据要求选用器件的主要依据。各种器件的参数可由手册查得。半导体二极管的主要参数有以下几个：

1. 最大整流电流 I_F

指二极管长时间工作 8 小时以上时，允许通过管子的最大正向平均电流。 I_F 的数值是由二极管允许的温升限定的。使用时，管子的工作电流不得超过此值，否则，会因管子过热而损坏。

2. 最高反向工作电压 U_R

二极管反偏时，两端电压不得超过此值，否则二极管可能被击穿。为了留有余地，通常取击穿电压 U_{BR} 的一半为 U_R 。

3. 反向电流 I_R

I_R 指在室温下，在二极管两端加上规定的反向电压时，流过管子的反向电流。一般希望 I_R 越小越好， I_R 越小，说明二极管的单向导电性越好。但 I_R 受温度的影响很大，工作时，必须考虑温度的影响。

4. 最高工作频率 f_m

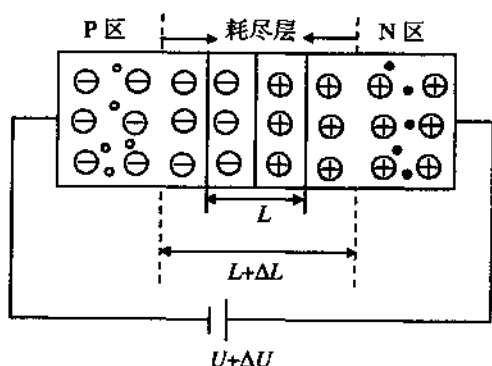
f_m 主要取决于 PN 结电容的大小。结电容越大，则二极管允许的最高工作频率越低。

四、二极管的电容效应

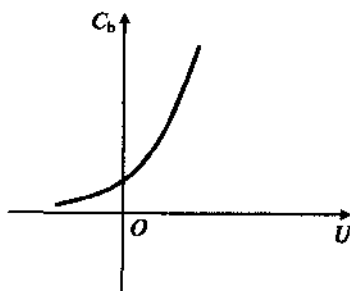
二极管除了具有单向导电性以外，当加在二极管上的电压发生变化时，PN 结中储存的电荷量也随之发生变化，因此它还具有电容效应。二极管的电容包括两部分，即势垒电容和扩散电容。

1. 势垒电容 C_b

势垒电容是由 PN 结的空间电荷区形成的，又称结电容。在空间电荷区中，不能够动的正负离子具有一定的电荷量，即在 PN 结中储存了一定的电量。当外加的反向电压 U 加大时，PN 结变宽，空间电荷量增加，势垒电容 C_b 增大；当 PN 结上外加的反向电压 U 减小时，空间电荷量减少，势垒电容 C_b 减小，如同电容器的充放电过程一样，见图 1-12 (a)。



(a) 势垒电容的充放电



(b) C_b 与 U 之间的关系

图 1-12 PN 结的势垒电容

势垒电容的大小可用下式表示

$$C_b = \frac{dQ}{dU} = \frac{\epsilon S}{L}$$

式中, ϵ 为半导体材料的介电系数; S 为 PN 结的截面积; L 为耗尽层宽度。但要注意, 对于同一个 PN 结, 由于 L 随外电压 U 而变化, 不是一个常数, 因此势垒电容也不是常数。 C_b 与 U 之间的关系可用图 1-12 (b) 中的曲线表示。

2. 扩散电容 C_d

扩散电容是由多数载流子在扩散过程中的积累而引起的。

当二极管加正向电压时, P 区的多子 (空穴) 向 N 区扩散, N 区中的多子 (自由电子) 向 P 区扩散。在某一定值正向电压时, P 区中的自由电子浓度 n_p 的分布曲线如图 1-13 中下面的一条曲线 1 所示 (同样也可画出 N 区中的空穴浓度 p_n 的分布曲线), 图中 $x=0$ 处表示 P 区与 N 区的交界处。由图可见, 在 $x=0$ 处, 自由电子的浓度最高。随着 x 的增大, 由于扩散运动的进行, 自由电子的浓度逐渐降低。这些扩散过程中的自由电子在 P 区积累了一定数量的电荷, 总的电荷量 Q 可用曲线以下斜线部分的面积表示。

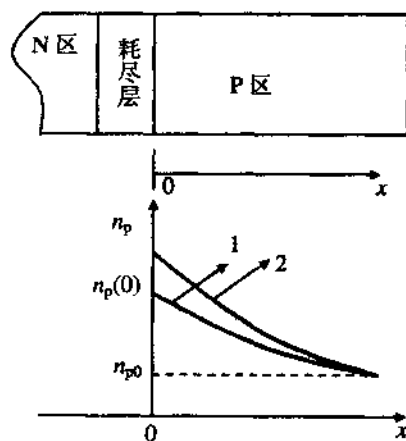


图 1-13 P 区电子浓度分布图

当正向电压增大时, 则扩散运动加强, 正向电流 I_p 增大, 扩散到 P 区的电子浓度也升高。设此时 n_p 的分布曲线如图 1-13 中上面的一条曲线 2 所示, 则 P 区中积累的电荷量也增多了。图中两条曲线之间部分的面积相当于所增加的电荷量 Q 。反之, 若电压减小, 则积累的电荷量也随之减少。总之, 当正向电压变化时, 扩散过程中的载流子积累的电荷量也随之发生变化, 也相当于电容器的充放电过程, 这就是扩散电容效应。当 PN 结反偏时, 扩散运动基本不存在, 也不存在扩散电容。

综上所述, PN 结总的电容 C_j 包括势垒电容 C_b 和扩散电容 C_d 两部分。当二极管正偏时, 扩散电容起主要作用, 势垒电容远小于它, 可以认为 $C_j = C_d$; 当二极管反偏时, 势垒电容起主要作用, 扩散电容可忽略, $C_j = C_b$ 。 C_b 和 C_d 的值都很小, 通常为几个皮法到几十皮法, 有些结面积大的二极管可达几百皮法。在高频运用时, 必须考虑二极管结电容的影响, 这样可得到图 1-14 所示二极管的高频等效电路, 其中 r 表示 PN 结结电阻, C_j 表示 PN 结结电容。

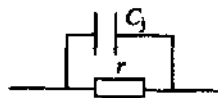


图 1-14 二极管高频等效电路

五、二极管的等效电路

由于二极管是一个非线性器件, 因此二极管电路一般采用非线性电路的分析方法。这里主要介绍二极管在低频范围内的小信号模型。

(一) 理想二极管

理想二极管是指正向偏置时，其管压降为 $0V$ ；反向偏置时，认为 PN 结的电阻为无穷大，电流为零。实际电路中，电源电压远比其管压降大时，采用这样的近似分析显得很简便，如图 1-15 所示。

(二) 非理想二极管

非理想二极管是指正向偏置时管子导通后，认为管压降是恒定值，硅管取 $0.7V$ ，锗管取 $0.3V$ ；反向时，反向饱和电流也是恒定的为 I_s ，如图 1-16 所示。图为考虑 PN 结内阻 r_D 时的等效模型。

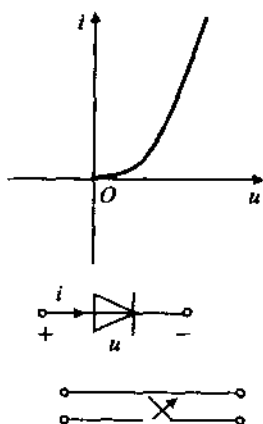


图 1-15 理想二极管

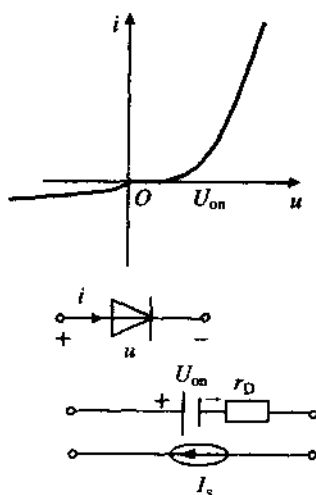


图 1-16 非理想二极管

(三) 小信号模型等效

若小信号管在静态 Q 点的基础上小信号范围内叠加上一个微弱信号，则在 Q 点附近小范围内可以用一近似直线来代替二极管，即把非线性元件处理为一个线性元件，这个线性元件就是二极管的交流电阻 r_d 。 r_d 在曲线上可

以直接求出，即 $r_d = \frac{\Delta U_d}{\Delta I_d} \Big|_Q$ ，如图 1-17 所示。还

可以利用二极管的电流方程

$$I \approx I_s (e^{U_D/U_T} - 1)$$

取 I_D 对 U_D 的微分，可得

$$g_d = \frac{dI_D}{dU_D} = \frac{d}{dU_D} [I_s (e^{U_D/U_T} - 1)] = \frac{I_s}{U_T} e^{U_D/U_T} \approx \frac{I_D}{U_T} \quad (\text{在 } Q \text{ 点处})$$

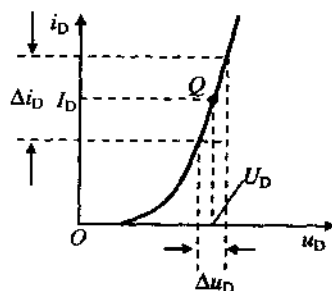


图 1-17 二极管的小信号模型

则

$$r_d = \frac{1}{g_d} = \frac{U_T}{I_D} = \frac{26(\text{mV})}{I_D(\text{mA})} \quad (\text{当 } T = 300 \text{ K 时})$$

例如, 在 Q 点上当 $I_D = 2 \text{ mA}$, $r_d = \frac{26 \text{ mV}}{2 \text{ mA}} = 13 \Omega$ 时, 二极管的电流方程是二极管的全面模型, 利用它能较准确地分析二极管。

六、二极管工作状态的判断

二极管的工作状态仅为导通和截止两种, 根据以上二极管的等效电路, 分别进行导通和截止时的等效。其判断方法是, 断开电路中所有的二极管, 求其两端开路电压 $U_{D\text{开}}$, 当 $U_{D\text{开}} > 0$ (或 $U_{D\text{开}} > 0.7 \text{ V}, 0.3 \text{ V}$) 时, 二极管可能导通; 当 $U_{D\text{开}} < 0$ (或 $U_{D\text{开}} < 0.7 \text{ V}, 0.3 \text{ V}$) 时, 二极管截止。在单个二极管电路中是绝对可行的; 在两个以上的二极管电路中, 还要考虑两个以上的二极管开路电压均为正值的情况, 有的二极管优先导通后, 使其他二极管 $U_{D\text{开}} > 0$ 时会出现截止的情况。下面举例说明。

【例 1-1】电路如例 1-18 图所示, 判断二极管的工作状态, 并求 $U_o = ?$ (假设 D_1, D_2 均为理想二极管)

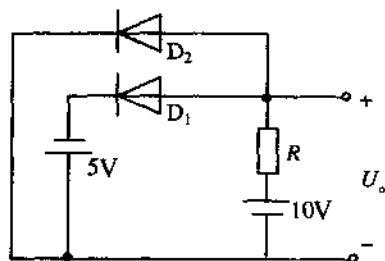


图 1-18 例 1-1 电路

解: 断开所有二极管, 求 $U_{D1\text{开}} = 15 \text{ V}$, $U_{D2\text{开}} = 10 \text{ V}$, 此时 $U_{D1\text{开}} > U_{D2\text{开}}$, D_1 优先导通; D_1 导通后, $U_{D2\text{开}} = -5 \text{ V}$, D_2 截止, 此时, 并非 D_1, D_2 都导通, 反之我们看 D_2 截止对 D_1 导通有无影响呢? 从图上看, D_2 截止后, D_1 仍导通。所以结论是: D_1 导通, D_2 截止, 将它们等效处理后, 得 $U_o = 0 \text{ V}$ 。

上例说明在含有多个二极管的电路中, 判断二极管的工作状态还要考虑优先导通问题。

七、稳压二极管

由二极管的特性曲线可知, 如果二极管工作在反向击穿区, 则反向电流的变化量 ΔI 较大时, 管子两端相应的电压变化量 ΔU 却很小, 说明其具有“稳压”特性。利用这种特性可以做成稳压管。所以, 稳压管实质上就是一个二极管, 所不同的是它工作在反向击穿区。稳压管的伏安特性及管子符号如图 1-19 所示。

稳压管的主要参数如下:

1. 稳定电压 U_z

U_z 是稳压管工作在反向击穿区时的稳定工作电压。不同型号的稳压管, U_z 是不相同