

— 来 我们更倾向于先化为戴 南电 。

⚠ Caution

注意 电 分析的很多基本方法仅 用于 性元件 对于 性元件 如 BTJ 和 PN 我们一 会使用 效模
型化为 性模型然后用电 分析的方法 析。

• 符号

更像是一 定俗成——不 于模电的 号 多 定实 上是 常有必 的

符号	特点	表示 物理
V_B	变 大写 下标大写	直流分 均值
v_b	变 小写 下标小写	交流分 瞬时值
v_B	变 小写 下标大写	总瞬时值
V_b	变 大写 下标小写	交流有效值
\dot{V}	变 大写加点	相

• 半 体基本知识

- (1). 半 体——化 分 净 半 体。 在 上呈单 体
- (2). ——共价 中 位。
- (3). ——发 产 和 。
- (4). 动—— 动 共价 中 价 依 充 。
- (5). N型半 体—— 入五价 元 半 体。N型半 体中 主 原 供 发 。
- (6). P型半 体—— 入三价 元 半 体。
在P型半 体中 主 发 。
- (7). 动—— 场作 动 为 动。
- (8). 动—— 动 为 动。

流子(carrier) 由电子(electron)和 (hole)

对温度 $0K$ 时 无 由电子 。

本征激发 温度升 分价电子挣 共价 束 成为 由电子 同时共价 上留下一个 。常温下 由电子很 少 本征半导体的导电 力很弱。

本征半导体中存在数 相 的两 流子 即 由电子和 ——电子 对。

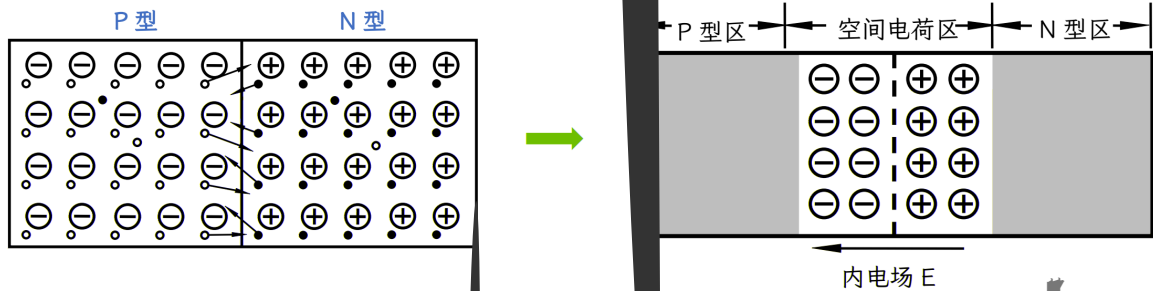
吸引 电子来填 相当于 。 相当于正电 动 因此可 为 是 流子。

半 体中电流由两部分组成 (1) 由电子 动产生的电流 (2) 动产生的电流。

温度 流子浓度 本征半导体的导电 力 强。

$$n_i = p_i = AT^{1.5}e^{-\frac{E_g}{2kT}}$$

A 为材料相关常数 k 为玻尔兹曼常数。



PN 形成

Important

N型半导体中 电子是多数 流子 在P型半导体中 空穴是多数 流子。当我们将N型半导体和P型半导体合在一起时 电子和空穴 会从浓度高 区域向浓度低 区域扩散 即N型半导体中的 电子往P型半导体中

其中 N型半导体的N区带正点电 P型半导体的P区带负点电 内电场促使少子漂 止多子扩散 最后，在PN结中形成 电区 由于 少多子 所以也 耗尽层。

当外加电压使PN 中P区的电位 高于N区的电位 即P区的电位低于N区的电位 利于少子的偏 作用。

在一 件下 发决 一 上 与 加反

PN 加正向电压时 呈现低电 具有 的正向 电流。

由此可以得出结论 PN 具有单向导电性

当PN 的反向电压增加到一定数值时 反向 电流

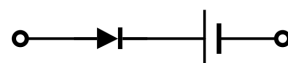
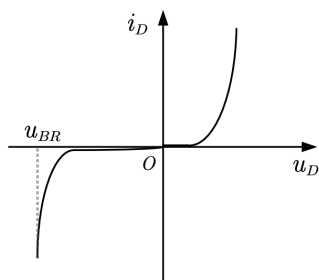
电击 崩击 击 可 但热击 不可

• 二极

PN 加上引 和 壳 就制成半导体二极 伏安

$$i_D = I_S(e^{\frac{u_D}{U_T}} - 1)$$

反向 和电流 I_S 与材料、工 有关 温度升 显



典型二极管模型



理想二极管模型

关于二极管 我们可以强调其电容效应

二极管电容由两部分组成 势垒电容 C_B 和扩散电容 C_D .

势垒电容 当电压变化时会引起 在势垒区的 电荷 的变化 同样所表现出的电容是势垒电容 C_B .

扩散电容 为了形成正向电流 扩散电流 注入 P 区的电子在 P 区有浓度差 PN 浓度 大 在 P 区有电子 在 N 区有 的 。正向电流大 的电荷 多。 同样所产生的电容就是扩散电容 C_D .

C_B 在正向和反向偏 时均不 忽略 反偏 时 载流子数目少 C_D 可忽略.

• 简化模型

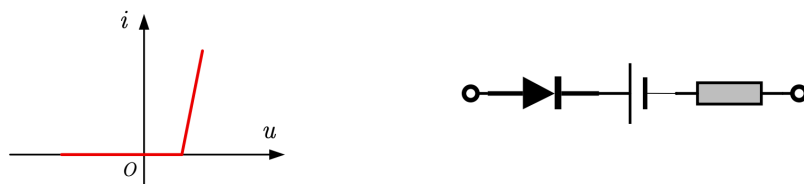
(1). 理想模型 电源电压 比二极管的 压 大



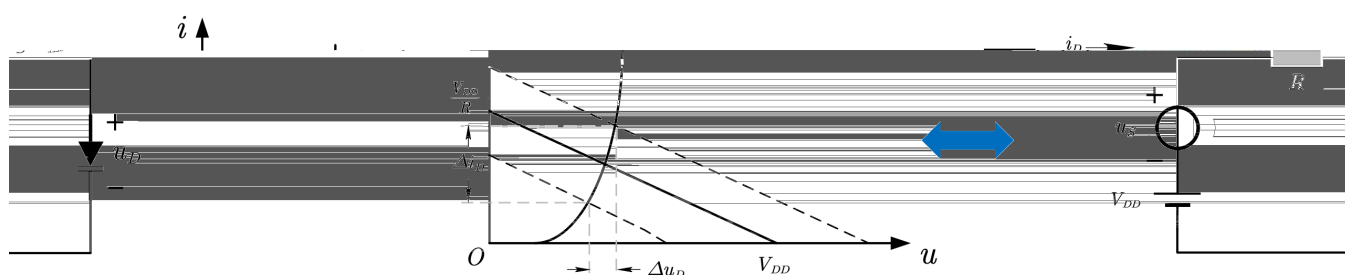
(2). 恒压降模型 二极管的电流 i_D 大且 u_D 不可忽略



(). 折线近似 二极管的电流 i_D 小且 u_D 不可忽略



(4). 微等效



将交点 小 范围内的 $U-I$ 特性 线性化 得到小信号模型 即以交点为切点的一条直 。

当仅 电压 或电流 小幅波动时所建 的模型 为小信号模型。

当 $v_s = V_m \sin \omega t$ 时 $V_m \ll V_{DD}$ 电 的 为

$$i_D = -\frac{1}{R}v_D + \frac{1}{R}(V_{DD} + v_s)$$

微变电 阻 r_d 可由式 $r_d = \Delta v_D / \Delta i_D$ 求得 可得微变电导

$$g_d = \frac{di_D}{dv_D} = \frac{d}{dv_D} \left[I_S \left(e^{v_D/V_T} - 1 \right) \right] = \frac{I_S}{V_T} e^{v_D/V_T}$$

在交点处 $v_D \gg V_T = 26 \text{ mV}$ 所以 $i_D \approx I_S e^{v_D/V_T}$ 则

$$g_d = \frac{I_S}{V_T} e^{v_D/V_T} \Big|_Q \approx \frac{i_D}{V_T} \Big|_Q = \frac{I_D}{V_T}$$

式中 I_D 是交点处的电流。由此可得

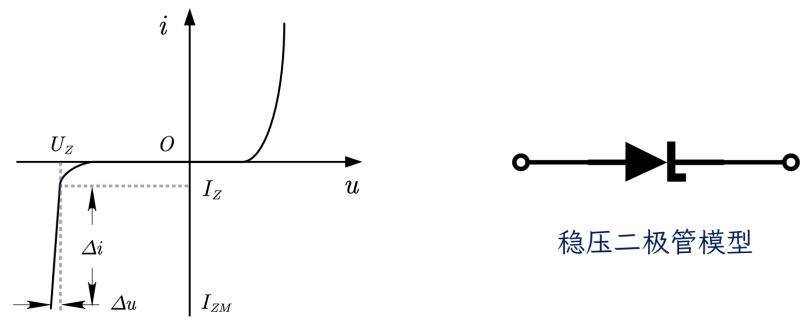
$$r_d = \frac{1}{g_d} = \frac{V_T}{I_D} = \frac{26 \text{ mV}}{I_D}, \quad T = 300 \text{ K}$$

例如 当交点上的 $I_D = 2 \text{ mA}$ 时 $r_d = 26 \text{ mV} / 2 \text{ mA} = 13 \Omega$ 。

特别注意 小信号模型中的微变电 阻 r_d 与 静态工作点 Q 有关 Q 点位 不同 r_d 的值也不同。 模型主 用于 二极管 处于正向偏 且 $v_D \gg V_T$ 条件下。

• 稳压二极管

稳压二极管是一种特殊二极管，我们应用的是其反向击穿时的恒压特性。关注点在其反向击穿区。普通的二极管我们利用的是其正向导通和反向截止特性，应用时往往利用其正向导通特性。为了区分我们把稳压二极管称为稳压管，它不是不同元件。



稳压二极管模型

稳压二极管的主要参数

- 稳压电压 U_Z ：稳压管工作在稳压区时的反向击穿电压。
- 稳压电流 I_Z ：稳压管工作在稳压区时允许通过的电流，也可作 I_{Zmin} 。低于此值不能稳压。
- 额定功耗 P_{ZM} ：稳压管工作在稳压区时允许消耗的功率。功率大于 P_{ZM} 时，稳压管会损坏。参考同一参数的普通二极管。

$$I_{ZM} = I_{Zmax} = \frac{P_{ZM}}{U_Z}$$

稳压管的温度系数：稳压值受温度影响。

稳压管的工作状态

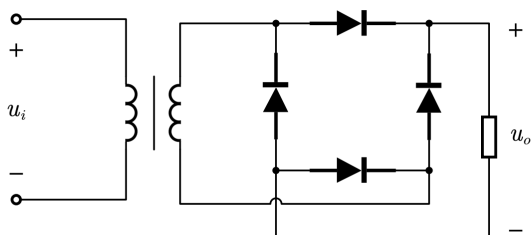
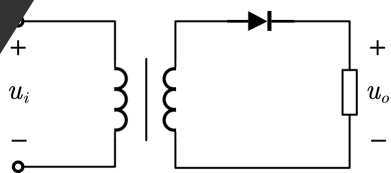


• 二极管电路

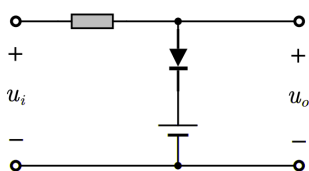
(1). 整流电路：利用二极管的单向导电性将交流电化为直流电。

单

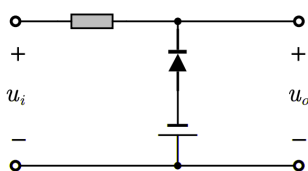
单



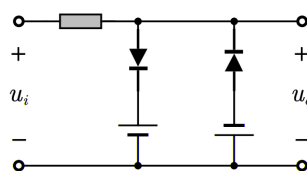
(2) 限幅电路 稳压二极管 晶体二极管



(a).上限幅



(b).下限幅



(c).双向限幅