

1.1. 半导体基本知识.

常用半导体材料: { 硅、锗 } \Rightarrow 外层电子数都是4.

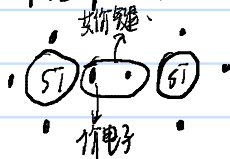
主要特性:

1. 热敏特性: 温度 \uparrow , 电阻率 \downarrow .

2. 光敏特性:

3. 掺杂特性: 掺微量元素, 导电率 \uparrow .

本征半导体: 完全纯净的半导体.



本征激发: 产生自由电子和空穴. (成对产生, 载流子复合)



温度一定时 $\begin{cases} \text{空穴浓度}(n_p) = \text{电子浓度}(n_n) \\ n_p \times n_n = k(T) \end{cases} \quad k(T) \text{ — 与温度有关常数}$

外加电场时、电子逆着电场方向运动、

价电子填补空穴、即使空穴移动、形成空穴电流、顺着电场运动、

半导体中有两种载流子 $\begin{cases} \text{带负电的自由电子、} \\ \text{带正电的空穴。} \end{cases}$

本征半导体特点：a. 电阻率大、b. 导电性随温度变大、

本征半导体 **不能** 在半导体器件中直接使用、

掺杂半导体：

1. N型半导体：掺入五价元素（如磷、砷）的本征半导体

产生大量自由电子和正离子、

电子为 **多子**、空穴为 **少子**

$$n_p \times n_n = k(T)$$

电子带负电、称为N型半导体、

掺入的杂质能给出电子、称为 **施主** 杂质

2. P型半导体：在本征 ~ 中掺入三价杂质元素如硼等，
有大量空穴和负离子、

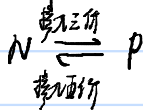
空穴为 **多子**、电子为 **少子**

$$n_p \times n_n = k(T)$$

称其为P型半导体、

掺入的杂质能接受电子、称为 **受主杂质**、

杂质半导体的 **类型**、



注：多子——数目取决于掺杂的多少、

少子——数目取决于温度、

半导体中正负电荷总数相等、宏观呈 **电中性**、

1.2. PN结的形成与特点、

1.2.1. PN结的形成、


以N型为基片、通过半导体扩散工艺、使一边形成N区、一边形成P区、

(1)、在浓度差的作用下、电子从N区向P区扩散、空穴从P区向N区扩散、

在P区与N区交界面上、留下了一层不能移动的正、负离子、(空间电荷层/PN结)

形成内电场(由N向P)、阻碍多子的扩散、加速了少子的漂移、

形成电位势垒



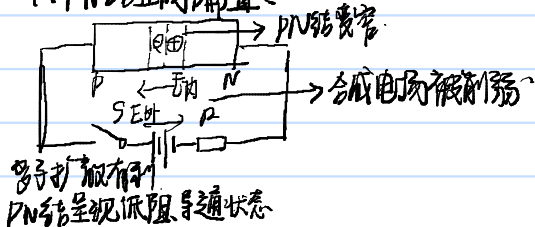
当扩散与漂移平衡时

- a. 流过PN结电流为0
- b. PN结的厚度一定
- c. 接触电势一定、

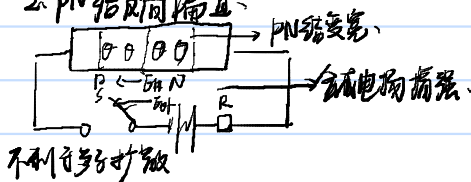
当N区和P区掺杂浓度不等时、

1.2.2. PN结的单向导电性、

1. PN结正向偏置、



2. PN结反向偏置、



有利于少子漂移。

PN结呈现高阻、截止状态。因为少子浓度与温度有关，反向电流与反向电压几乎无关。

此电流称为反向饱和电流称为 I_s 。

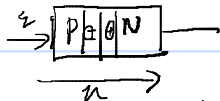
整理、PN结 多子扩散 好漂移 状态

正偏、降低 变窄 有利 不利 低阻、导通

反偏、增高 变宽、不利 有利 高阻、截止。

单向导电性、

1.2.3. PN结的电压和电流的关系



$$i = I_s (e^{u/u_T} - 1)$$

I_s — PN结反向饱和电流

u_T — 热电压

$$u_T = \frac{kT}{q} \text{ 在室温(300K)时, } (u_T \approx 26\text{mV})$$

remember

讨论: (1) 当 $u = 0$ 时,

P1 当 $u > 0$, 且 $u \gg u_T$ 时,

(2) 当 $u < 0$, 且 $|u| \gg u_T$ 时,

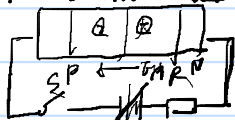
$i \approx 0$

$$i \approx I_s e^{\frac{u}{u_T}}$$

$$i \approx -I_s$$

1.2.14. PN结的反向击穿、

PN结的反向偏置、



当PN结反向偏置超过一定值时反向电流急剧上升, PN结就发生反向击穿、

1. 齐纳击穿

条件 { 半导体掺杂浓度高, PN结薄。
较低的反向电压下, 空间电荷区中就有较强的电场、

机理: 电场将PN结的价电子从共价键中强行拉出来、

特点 { 击穿电压 $< 4V$ 。
击穿电压有负的温度系数。(温度升高, 击穿电压降低)

2. 雪崩击穿、

条件 { 半导体掺杂浓度低, PN结厚。
较高的反向电压才能在空间电荷区中产生较强的电场、

机理: 电场使PN结中的少数“碰撞电离”共价键中价电子、

特点 { 击穿电压 $> 4V$ 。
击穿电压有正的温度系数、

1.2.5、PN结的电容效应、

1、扩散电容、

PN结正偏、自由电子从N区扩散到P区、P区电子为少数、

$$C_D = \frac{\Delta Q}{\Delta U}$$

2、势垒电容、

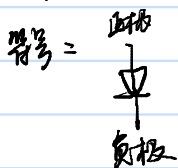
PN结的偏置电压能使空间电荷层中电荷量变化、

这种电容效应用 C_B 表征

1.3. 半导体二极管

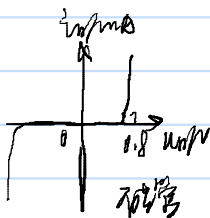
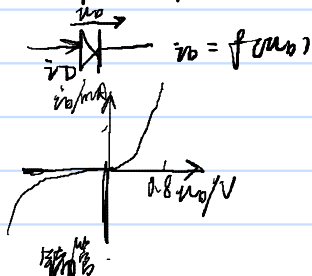
1.3.1. 半导体二极管的结构和类型

二极管就是一个封装的PN结。



类型 { 按材料 { 硅管、锗管
按结构形式 { 平面型、点接触型

1.3.2. 半导体二极管的伏安特性



正向特性: ① 非线性. $i_0 \approx I_s e^{u_0/u_T}$

② 有死区

③ 有压降 (导阻) 估算 U_D { 硅管 0.7V
锗管 0.3V

2. 反向特性、

(1). 反向偏置、当 $|u_a| < U_{BR}$ 时、 $|i_D| \approx I_s$

I_s $\begin{cases} \text{硅管} < 0.1 \mu A \\ \text{锗管} \text{ 几十到几百 } \mu A \end{cases}$

(2). 击穿区 当 $|u_a| > U_{BR}$ 时、反向电流急剧增大、二极管发生反向击穿、

击穿根据可逆性可分为 $\begin{cases} \text{电击穿} \\ \text{热击穿} \end{cases}$

1.3.3. 温度对半导体二极管特性的影响、

1. 温度上升时、死区电压缩小、正向电压降低、(曲线左移)
反向饱和电流增大、

1.3.4. 半导体二极管的主要电参数、

1. 额定电流 I_F 、

2. 反向击穿电压 U_{BR}

3. 最高允许反向工作电压 $U_R = (\frac{1}{2} \sim \frac{2}{3}) U_{BR}$

4. 反向电流 I_R (室温下)

5. 正向电压降、

6. 最高工作频率 f_m 、当工作频率过高时、其单向导电性明显变差、

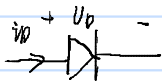
1.3.5. 半导体二极管的模型、

1. 开关模型、(理想二极管)

1) 伏安特性、

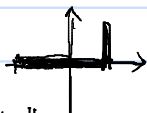


2) 电路符号、

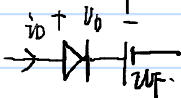


2. 恒压模型、

1) 伏安特性、

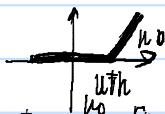


2) 电路符号、

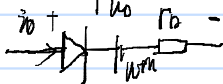


3. 折线模型、

1) 伏安特性、

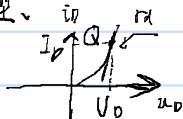


2) 电路模型、

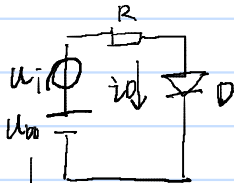
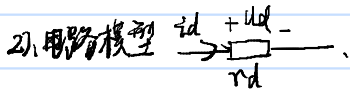


4. 小信号动态模型、

1. 伏安特性、



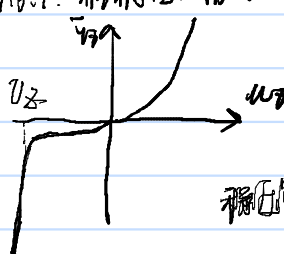
动态电阻、
$$r_d = \frac{\Delta u_D}{\Delta i_D} \bigg|_{u_D = V_D, i_D = I_D}$$



直流电压叠加交流信号、

1.5. 特种二极管

1.5.1. 稳压二极管



符号:

特点: a. 正向特性与普通二极管类似

b. 反向击穿特性很陡

稳压管通常工作在反向击穿状态用来稳定电压

1. 稳压二极管的主要参数

(1) 稳压电压 U_Z

(2) 动态电阻 $r_Z = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z}$

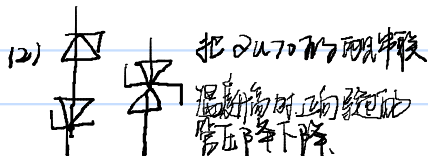
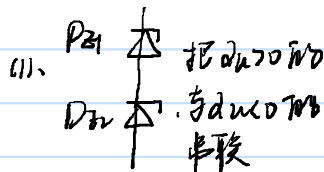
(3) 最大允许工作电流 I_{ZM}

(4) 最大允许功率耗散 P_{ZM}

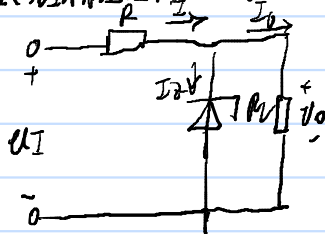
(5) 温度系数 α

$$\alpha = \begin{cases} U_Z > 6V & \alpha > 0 \\ U_Z < 4V & \alpha < 0 \end{cases}$$

具有温度补偿的硅稳压管。



2. 硅稳压管稳压电路



(1) 稳压原理:

a. U_I 不稳定: $U_I \uparrow \rightarrow U_O \uparrow \rightarrow U_Z \uparrow \rightarrow I_Z \uparrow \rightarrow I \uparrow \rightarrow I_R \uparrow$
 $U_I \downarrow \rightarrow \dots \rightarrow I_Z \downarrow \rightarrow I \downarrow \rightarrow I_R \downarrow$

b. R_L 改变: $R_L \downarrow \rightarrow U_O \downarrow \rightarrow U_Z \downarrow \rightarrow I_Z \downarrow \rightarrow I \downarrow \rightarrow I_R \downarrow$
 $U_O \uparrow \rightarrow \dots \rightarrow I_Z \uparrow \rightarrow I \uparrow \rightarrow I_R \uparrow$

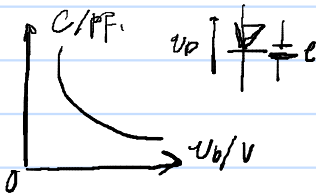
(2) 限流电阻计算

输出电压稳定条件: $U_I \frac{R_L}{R + R_L} \geq U_Z$ (保证击穿)

1.5.2 变容二极管



符号



$C-U$ 特性曲线