第十七课：直接俄歇复合

Monday, November 18, 2019 5:22 AM

1. 直接俄歇复合(带间俄歇复合)：在电子和空穴直接复合的过程中，把第三个载流子激发到能量更高的状态的复合过程(无辐射跃迁)；
2. 带间俄歇复合过程：
   a. 两个电子和一个空穴的复合：带间俄歇复合过程的复合率R_{nn}与n^2p成正比：$R_{nn} = \gamma_n n^2 p$，其中γ_n是这种过程的复合系数；
   b. 两个空穴和一个电子的产生：$\frac{G_{nn}}{G_{nn_0}} = \frac{n}{n_0}$；
   c. 热平衡时：$R_{nn_0} = G_{nn_0} \Rightarrow G_{nn} = R_{nn_0}\frac{n}{n_0}$；

$$
\begin{aligned}
u_{nn} &= R_{nn} - G_{nn} \\
&= R_{nn_0}\frac{n^2 p}{n_0^2 p_0} - R_{nn_0}\frac{n}{n_0} \\
&= R_{nn_0}\cdot\left(\frac{np - n_0 p_0}{n_0 p_0}\right)\cdot\frac{n}{n_0}
\end{aligned}
$$

   d. 类似地有：$R_{pp} = R_{pp_0}\frac{np^2}{n_0 p_0^2}$，$G_{pp} = R_{pp_0}\frac{p}{p_0}$；

$$
\begin{aligned}
u_{pp} &= R_{pp} - G_{pp} \\
&= R_{pp_0}\cdot\frac{pn - p_0 n_0}{p_0 n_0}\frac{p}{p_0} \\
R_{pp} &= \gamma_p n p^2
\end{aligned}
$$

   e. 俄歇复合净复合率：

$$
\begin{aligned}
u &= u_{nn} + u_{pp} \\
&= R_{nn_0}\cdot\frac{np - n_i^2}{n_i^2}\cdot\frac{n}{n_0} + R_{pp_0}\cdot\frac{(pn - n_i^2)}{n_i^2}\cdot\frac{p}{p_0} \\
&= \left(R_{pp_0} n_0 p + R_{pp_0} n p_0\right)\cdot\frac{pn - n_i^2}{n_i^4}
\end{aligned}
$$

$$
\because \begin{cases} n = n_0 + \Delta n \\ p = p_0 + \Delta p \\ \Delta p = \Delta n \\ u = \dfrac{\Delta p}{\tau} \\ \tau = \dfrac{\Delta p}{u} \end{cases}
$$

$$
\Rightarrow \tau = \frac{n_i^4}{\left(R_{pp_0}\cdot n_0 p + R_{nn_0}\cdot n p_0\right)\cdot(n_0 + p_0 + \Delta n)}
$$

讨论小注入条件：$\Delta p \ll n_0, p_0$

$$
\begin{aligned}
\tau &= \frac{n_i^4}{\left(R_{pp_0} + R_{nn_0}\right)\cdot n_i^2\cdot(n_0 + p_0)} \\
&= \frac{n_i^2}{\left(R_{pp_0} + R_{nn_0}\right)\cdot(n_0 + p_0)}
\end{aligned}
$$

$$
\begin{cases} R_{nn_0} = \gamma_n n_0^2 p_0 = \gamma_n n_i^2 n_0 \\ R_{pp_0} = \gamma_p n_0 p_0^2 = \gamma_p n_i^2 p_0 \end{cases}
$$

$$
\Rightarrow \tau = \frac{1}{(\gamma_n n_0 + \gamma_p p_0)(n_0 + p_0)}
$$

$1°.\ \mathrm{n}_0 \gg \mathrm{p}_0$(N型半导体)：

$$
\tau_n = \frac{1}{\gamma_n n_0^2}
$$

$2°.\ \mathrm{p}_0 \gg \mathrm{n}_0$(P型半导体)：

2°. $p_0 \gg n_0$(P型半导体):

$$\tau_p = \frac{1}{\gamma_p p_0^2}$$

3°. $n_0 = p_0 = n_i$(本征半导体):

$$\tau_i = \frac{1}{2n_i^2 \cdot (\gamma_n + \gamma_p)}$$

3. 通过复合中心的复合:

a. 设复合中心浓度为N_t，复合中心电子填充浓度为n_t;

i. 电子俘获过程:

俘获率:

$R_n = c_n n(N_t - n_t)$,其中c_n为电子俘获系数;

ii. 电子产生过程:

产生率:

$G_n = s_n n_t$,其中s_n为电子激发几率;

iii. 热平衡时(电子):

$$R_{n_0} = G_{n_0} \Rightarrow c_n n_0 (N_t - n_{t_0}) = s_n n_{t_0}$$

$$s_n = \frac{c_n n_0 (N_t - n_{t_0})}{n_{t_0}}$$

$$= c_n N_c e^{-\frac{E_f - E_c}{kT}}$$

$= c_n n_1$(n_1表示当E_f与E_t完全重合时的电子浓度)

iv. 空穴俘获过程:

$R_p = c_p p n_t$

v. 空穴产生过程:

$G_p = s_p(N_t - n_t)$

vi. 热平衡时(空穴):

$s_p = c_p p_1$

$p_1 = N_v e^{-\frac{(E_f - E_v)}{kT}}$*(反应复合中心的位置)*

vii. 电子与复合中心之间的交换作用

$u_n = R_n - G_n = c_n n(N_t - n_t) - s_n n_t = c_n(n(N_t - n_t) - n_1 n_t)$

viii. 空穴与复合中心的交换过程:

$u_p = R_p - G_p = c_p(p n_t - p_1(N_t - n_t))$

b. 通过复合中心复合的寿命:

$u = \frac{\Delta p}{\tau}$

平衡时:

$u_n = u_p$

$$n_t = \frac{(c_n n + c_p p_1) \cdot N_t}{c_n(n + n_1) + c_p(p + p_1)}$$

$$\Rightarrow u = \frac{c_n N_t c_p \cdot (np - n_1 p_1)}{c_n(n + n_1) + c_p(p + p_1)} = \frac{c_n N_t c_p \cdot (np - n_i^2)}{c_n(n + n_1) + c_p(p + p_1)}$$

$$\because np - n_i^2 = (n_0 + \Delta n)(p_0 + \Delta p) - n_i^2$$

$$= n_i^2 + (n_0 + p_0)\Delta p + \Delta p \Delta n - n_i^2$$

$$= (n_0 + p_0)\Delta p$$

$$\Rightarrow u = \frac{c_n N_t c_p \cdot (n_0 + p_0)\Delta p}{c_n(n + n_1) + c_p(p + p_1)}$$

$$= \frac{(n_0 + p_0)\Delta p}{\frac{1}{c_p N_t}(n + n_1) + \frac{1}{c_n N_t}(p + p_1)}$$

设τ_p用于描述俘获空穴的特征时间：$\tau_p = \frac{1}{c_p N_t}$

同理：$\tau_n = \frac{1}{c_n N_t}$

$$u = \frac{(n_0 + p_0)\Delta p}{\tau_p(n + n_1) + \tau_n(p + p_1)}$$

c. 讨论小注入条件：$\Delta p \ll n_0, p_0$,得到肖克莱-瑞德公式：

$$\tau = \frac{\Delta p}{u} = \tau_p \frac{n_0 + n_1}{n_0 + p_0} + \tau_n \frac{p_0 + p_1}{n_0 + p_0}$$

4. 作业待办：

a. 7.1，7.2，7.3，7.4，7.6，7.7，7.8，7.9，7.10，7.11，7.13，7.14(12月9日交)；