八：大注入条件下的PN结正向电流

Tuesday, March 17, 2020 2:02 AM

当正偏电压较大时，需要考虑大注入效应；

1. 大注入时的边界条件：

   考虑单边注入情况(以P^+N结为例)

   在空间电荷区边界处($x = x_n$)：

   $$\begin{cases} n_n(x_n) \approx p_n(x_n) \approx \Delta p_n \\ n_n(x_n)p_n(x_n) \approx n_i^2 e^{\frac{V}{V_T}} \end{cases}$$

   得到：

   N侧满足大注入条件时的SCR边界$x = x_n$条件：

   $$n_n(x_n) \approx p_n(x_n) \approx n_i e^{\frac{V}{2V_T}}$$

   若P侧也满足大注入条件，则P侧SCR边界$x = -x_p$满足大注入条件时的边界条件：

   $$n_p(-x_p) \approx p_p(-x_p) \approx n_i e^{\frac{V}{V_T}}$$

2. 大注入时的扩散近似：

   考虑单边注入情况(以P^+N结为例)

   a. 在N侧SCR边界处为了满足电中性，同样会造成多子电子的积累；
   b. 在N侧SCR边界处多子电子的浓度高于体内电子浓度，因而向体内扩散；
   c. 由于电子扩散系数大于空穴扩散系数，即电子扩散得更快，所以电中性被破坏，会产生自建电场，自建电场方向由SCR指向N侧电中性区；
   d. 由电子和空穴扩散速度不同引起的自建电场会阻碍电子的扩散，达到稳态时电子的扩散电流和漂移电流之和为零，即电子电流为零；
   e. 由于自建电场存在，空穴既有扩散又有漂移，扩散近似不成立，空穴电流由扩散电流和漂移电流两部分构成；
   f. 可以证明：在SCR边界附近，空穴的扩散电流和漂移电流近似相等，因而总的空穴电流约为空穴扩散电流的2倍，如果依然假设空穴电流就是空穴扩散电流(假设扩散近似依然成立)，则空穴扩散系数= $2D_p$；

3. 大注入时的正向电流：

   考虑单边注入情况(以P^+N结为例)

   a. 大注入时少子空穴的连续性方程(假设扩散近似依然成立)；

   $$2D_p \frac{\partial^2 p_n}{\partial x^2} - \frac{p_n}{\tau_p} = 0$$

   $$\Rightarrow p_n(x) = p_n(x_n) e^{\frac{x_n - x}{\sqrt{2}L_p}} = n_i \, e^{\frac{V}{V_T}} e^{\frac{x_n - x}{\sqrt{2}L_p}}$$

   b. 大注入时少子空穴的电流方程(假设扩散近似依然成立)；

   $$I_p = -2AqD_p \frac{dp_n}{dx}$$

   $$\Rightarrow I_p(x) = \frac{\sqrt{2}AqD_p n_i e^{\frac{V}{2V_T}}}{L_p} e^{\frac{x_n - x}{\sqrt{2}L_p}}$$

   $$I_{pmax} = I_p(x_n) = \frac{\sqrt{2}AqD_p n_i}{L_p} e^{\frac{V}{2V_T}}$$

$$I \approx I_p(x_n) = \frac{\sqrt{2}AqD_p n_i}{L_p} e^{\frac{V}{2V_T}} \propto e^{\frac{V}{2V_T}}$$

若N侧也满足大注入情况

a. 大注入时少子电子的连续性方程；

$$2D_n \frac{\partial^2 n_p}{\partial x^2} - \frac{n_p}{\tau_n} = 0$$

$$\Rightarrow n_p(x) = n_i e^{\frac{V}{2V_T}} e^{\frac{x_p + x}{\sqrt{2}L_p}}$$

b. 大注入时少子电子的电流方程；

$$I_n = -2AqD_n \frac{dn_p}{dx}$$

$$\Rightarrow I_n(-x_p) = \frac{\sqrt{2}AqD_n n_i}{L_n} e^{\frac{V}{2V_T}}$$

c. 两侧都满足大注入时的总电流；

$$I = I_p(x_n) + I_n(-x_p) = \sqrt{2}Aqn_i \left(\frac{D_p}{L_p} + \frac{D_n}{L_n}\right) e^{\frac{V}{2V_T}}$$

4. PN结正向电流总结：

a. 很小正向偏压：

正偏符合电流为主，$\ln I \sim V$为线性关系，斜率为$\frac{1}{2V_T}$；

b. 中等正向偏压：

少子扩散电流为主，$\ln I \sim V$为线性关系，斜率为$\frac{1}{V_T}$；

c. 较大正向偏压：

大注入效应，少子扩撒电流+少子漂移电流，$\ln I \sim V$为线性关系，斜率为$\frac{1}{2V_T}$；

d. 很大正向偏压：

串联电阻效应，PN结上压降几乎不变，$I \sim V$为线性关系，斜率为$\frac{1}{R_s}$；

5. 完。