

## 5-4 pn 接合の交流特性

## 5-4-1 交流電流

Fig.1 に示すように、pn 接合に順方向に直流電圧  $V_0$  と交流電圧  $V_1 e^{j\omega t}$  (小信号) が印加されているモデルを考える。このとき、pn 接合に流れる電流を求める。

$$V = V_0 + V_1 e^{j\omega t}$$

直流モデルにおける正孔密度の差(5.41)式に上式を代入する。ここで、交流信号の振幅  $V_1$  が微小であると考え、

$$p - p_n = p_0 + p_1 \exp(j\omega t) - p_n \quad \dots(5.66)$$

$p_0$  は直流分、 $p_1$  は交流分の振幅である。

$$p_0 = p_n \exp\left(\frac{qV_0}{kT}\right), \quad p_1 = p_0 \exp\left(\frac{qV_1}{kT}\right) = p_n \frac{qV_1}{kT} \exp\left(\frac{qV_0}{kT}\right) \quad \dots(5.67)$$

すなわち、正孔密度の直流分は  $V_0$  によって決まるが、交流分は  $V_1$  に比例することがわかる。

任意の時刻  $t$  と位置  $x$  における正孔密度を  $p(x,t) = p_0(x) + p_1(x)e^{j\omega t}$  とし、拡散方程式を解く。

$$\frac{\partial p}{\partial t} = -\frac{p - p_n}{\tau_p} + D \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} \quad \dots(4.44)$$

上式の  $\frac{\partial p}{\partial t}$  および  $\frac{\partial^2 p}{\partial x^2}$  にそれぞれ代入すると

$$j\omega p_1 e^{j\omega t} = -\frac{p_0 - p_n}{\tau_p} - \frac{p_1 e^{j\omega t}}{\tau_p} + D \frac{\partial^2 p_0}{\partial x^2} + D \frac{\partial^2 p_1 e^{j\omega t}}{\partial x^2} \quad \dots(5.68)$$

直流分と交流分に整理すると、拡散距離  $L_p = \sqrt{D\tau_p}$  とし

$$\text{(直流分)} \quad \frac{\partial^2 p_0}{\partial x^2} = \frac{p_0 - p_n}{L_p^2}, \quad \text{(交流分)} \quad \frac{\partial^2 p_1}{\partial x^2} = \frac{1 + j\omega\tau_p}{L_p^2} p_1$$

直流分の電流密度は以前求めた電流密度の解析と同じである((5.55)式)。境界条件を用いて  $p_1$  を求める。境界条件は、 $w \gg L_p$  とし

$$x=0 : \quad p_1(0) = p_n \frac{qV_1}{kT} \exp\left(\frac{qV_0}{kT}\right), \quad x=w : \quad p_1(w) = 0$$

一般解は、 $L_p' = \frac{L_p}{\sqrt{1 + j\omega\tau_p}}$  とし

$$p_1(x) = A \exp\left(\frac{x}{L_p'}\right) + B \exp\left(-\frac{x}{L_p'}\right)$$

境界条件を使って積分定数  $A$  および  $B$  を求めると

$$A = 0, \quad B = p_n \frac{qV_1}{kT} \exp\left(\frac{qV_0}{kT}\right)$$

よって、 $p_1(x)$  は

$$p_1(x) = p_n \frac{qV_1}{kT} \exp\left(\frac{qV_0}{kT}\right) \exp\left(-\frac{x}{L_p'}\right)$$

これより、正孔電流密度  $J_{1p}$  は

$$J_{1p} = -qD_p \left. \frac{\partial p}{\partial x} \right|_{x=0} = \frac{qD_p p_n}{L_p} \frac{qV_1}{kT} \exp\left(\frac{qV_0}{kT}\right) \sqrt{1 + j\omega\tau_p} \quad \dots(5.72)$$

電子電流密度  $J_{1n}$  も同様に求められる(添え字を  $n$  にする)。交流の拡散電流密度  $J_1$  は正孔と電子の電流密度の和をして求められる。

$$J_1 = J_{1p} + J_{1n} \quad \dots(5.73)$$

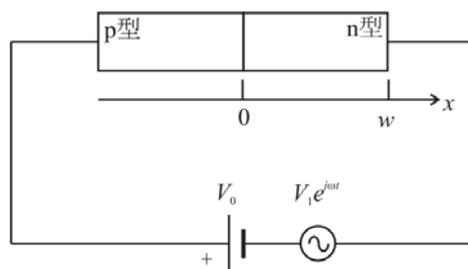


Fig.1 交流信号モデル