5-3-2　pn 接合の拡散電流(つづき)

正孔による電流

導出した正孔密度(5.51)式より正孔電流密度 J_p を求める。電流密度の式は 4-6 節の(4.29)式より

$$J_p = -qD_p \frac{\partial p(x)}{\partial x} \qquad \cdots(5.52)$$

であるので、$p(x)$ を代入して微分すると

$$J_p = \frac{qD_p p_n}{L_p}\left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right)-1\right]\frac{\cosh\left((W-x)/L_p\right)}{\sinh\left(W/L_p\right)}$$

となる。接合部 $x=0$ での電流密度は

$$J_p = \frac{qD_p p_n}{L_p}\frac{1}{\tanh\left(W/L_p\right)}\left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right)-1\right] \qquad \cdots(5.54)$$

1) $W >> L_p$ (n 領域が十分に長い場合)のとき

$\tanh\left(W/L_p\right) \cong 1$ であるので、(5.54)式は

$$J_p \approx \frac{qD_p p_n}{L_p}\left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right)-1\right] \qquad \cdots(5.55)$$

となる。電子による電流密度 J_n も同様に

$$J_n \approx \frac{qD_n n_p}{L_n}\left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right)-1\right] \qquad \cdots(5.56)$$

と求めることができる。これより、接合部を流れる全電流 I は、接合面積 $S\times(J_p+J_n)$ であるので

$$I = S(J_p+J_n) = qS\left(\frac{D_p p_n}{L_p}+\frac{D_n n_p}{L_n}\right)\left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right)-1\right]$$

$$= I_s\left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right)-1\right] \qquad \cdots(5.57)$$

となる。この式より、電流が少数キャリア密度(p_n, n_p)と拡散定数(D_n, D_p)、拡散距離(L_n, L_p)で決まることがわかる。

2) $W << L_p$ (n 領域が短い場合)のとき

$\tanh\left(W/L_p\right) \cong W/L_p$ であるので、(5.54)式は

$$J_p \approx \frac{qD_p p_n}{W}\left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right)-1\right] \qquad \cdots(5.59)$$

となる。このとき、n 領域が短いため、n 領域に入ったキャリアは衝突の前に n 領域を通過してしまうことになる。この例としては、ベース領域が非常に薄い接合トランジスタがある(7 章)。

5-3-3　順電流および逆電流

・順バイアス電圧($V>>1$)　のとき

十分大きな順電圧を掛けると、$\exp\left(qV/kT\right)>>1$ となるので流れる電流は

$$I \approx I_s \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) \qquad \cdots(5.60)$$

となり、電流は指数関数的に増加することがわかる。

・逆バイアス電圧($V<<0$)　のとき

このとき、$\exp\left(qV/kT\right)\rightarrow 0$ であるので電流は $I \approx -I_s$ となり、印加電圧 V に関係なく一定値になる。この電流を「**飽和電流　saturation current**」という。