

7-2 少数キャリアの分布

pn 接合に順方向に外部電圧 V を印加したときに pn 接合面 (接合面積 S) に流れる電流を求める。始めに接合面を通過する電子 (正孔) のキャリア密度を求め、それから拡散方程式によりキャリアによる電流密度を導く。

・ n 領域から p 領域へ移動する電子

外部電圧 V は遷移領域にのみ掛かる、遷移領域での再結合は考慮しない、と仮定して電子は拡散現象により移動するとする。

$$\frac{\partial n_p}{\partial t} = -\frac{n_p - n_{p0}}{\tau_e} + D_e \frac{\partial^2 n_p}{\partial x^2} \quad \cdots(7.2)$$

ここで、 τ_e : 電子の寿命、 D_e : 電子の拡散定数。

定常状態では、電子のキャリア密度の時間的変化は無い (直流電圧が印加されている) ので $\frac{\partial n_p}{\partial t} = 0$ である。また、 $L_e = \sqrt{D_e \tau_e}$ とおくと、(7.2) 式は

$$\frac{\partial^2 n_p}{\partial x^2} = \frac{n_p - n_{p0}}{L_e^2}$$

と線形の 2 階微分方程式になる。ここで、 L_e は拡散長と呼ばれ、キャリアが消滅するまでに移動する距離である。この微分方程式の一般解は次のように与えられる。

$$n_p(x) - n_{p0} = A \exp\left(\frac{x}{L_e}\right) + B \exp\left(-\frac{x}{L_e}\right)$$

一般解の未知数 A 、 B を求めるため境界条件を考える。障壁を越えられるエネルギーを持つ p 領域における正孔密度は $n_p(0) = n_{p0} \exp\left(\frac{qV}{kT}\right)$ であるので、

$$x=0: \quad n_p(0) - n_{p0} = n_{p0} \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right]$$

また、p 領域の長さが拡散距離 L_e よりも十分に長い (注入キャリアは電極に達するまでに消滅する)、として

$$x=\infty: \quad n_p(\infty) - n_{p0} = 0$$

$$x=\infty \text{ での境界条件より、} n_p(\infty) - n_{p0} = A \exp\left(\frac{\infty}{L_e}\right) + B \exp\left(-\frac{\infty}{L_e}\right) = 0 \text{ なので}$$

$$A = 0$$

$x=0$ での境界条件より B は

$$B = n_{p0} \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right]$$

よって、電子密度は次の式になる。

$$n_p(x) = n_{p0} + n_{p0} \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \exp\left(-\frac{x}{L_e}\right) \quad \cdots(7.8)$$

7-3 電圧電流特性(1)

電子による電流

導出した電子密度より電子電流密度 J_e を求める。電流密度の式は 2-2 節の(2.17)式より

$$J_e = +qD_e \frac{dn_p(x)}{dx}$$

であるので、(7.8)式より

$$J_e = -\frac{qD_e n_{p0}}{L_e} \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \exp\left(\frac{-x}{L_e}\right) \quad \cdots(7.10)$$

となる。接合部 $x=0$ での電流密度は

$$J_e = -\frac{qD_e n_{p0}}{L_e} \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \quad \cdots(7.11)$$

正孔による電流密度 J_h も同様に

$$J_h = -\frac{qD_h p_{n0}}{L_h} \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \quad \cdots(7.12)$$

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 $S \times (J_e + J_h)$ であるので

$$\begin{aligned} I &= S(J_e + J_h) = qS \left(\frac{D_h p_{n0}}{L_h} + \frac{D_e n_{p0}}{L_e} \right) \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \\ &= I_s \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \end{aligned}$$

となる。ここで、 $I_s = qS \left(\frac{D_h p_{n0}}{L_h} + \frac{D_e n_{p0}}{L_e} \right)$ である。この式より、電流が少数キャリア密度(p_{n0} , n_{p0})と拡散定数(D_e , D_h)、拡散距離(L_e , L_h)で決まることがわかる。

7-4 電圧電流特性(2)

逆方向バイアス電圧印加の場合も上述の電流の式で表される。pn 接合の電圧-電流特性を描くと Fig.1 に示すようになる。順バイアス電圧印加時($V>0$)では、電流は V の増加と共に急激に増加する。

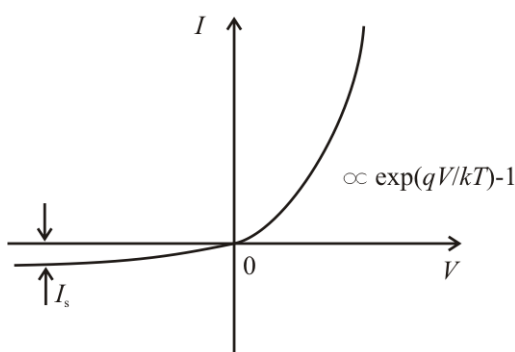


Fig.1 電圧-電流特性

常温で、例えば $V=0.1[V]$ 程度では、 $\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) \gg 1$

となるので、指数関数で近似できる。また、逆バイアス電圧印加時($V<0$)では、電流値は電圧に無関係に一定 I_s になる。この逆方向に流れる一定の電流 I_s を**逆方向飽和電流(saturation current)**という。このように電圧-電流特性が非線形性を示し、順バイアスのときのみ電流が流れる性質を**整流性(rectification)**という。