

5-3 pn 接合の電圧-電流特性

5-3-1 pn 接合の整流作用

(a) 熱平衡状態

外部電圧がない状態(熱平衡状態)では、p および n 領域のフェルミ準位は一致している。この時の伝導帯中の電子密度を考える(正孔も同様)。

・ p 領域の電子密度 n_p

$$n_p = N_C \exp\left(-\frac{E_{Cp} - E_F}{kT}\right)$$

・ n 領域の電子密度 n_n

$$n_n = N_C \exp\left(-\frac{E_{Cn} - E_F}{kT}\right)$$

ここで、 $E_{Cn} = E_{Cp} - qV_D$ であるので、

$$n_n = n_p \exp\left(\frac{qV_D}{kT}\right) \gg n_p$$

今、外部電圧がないので電流は流れない、言い換えると、接合部を横切る電子の移動はない。すなわち、p 領域の電子密度と n 領域の qV_D 以上のエネルギーを持つ電子の密度(n_{n0})が等しいことになる(正孔の場合も同様)。これより、電子密度 n_{n0} は次のようになる(正孔密度 p_{p0} も同様)。

$$n_{n0} = n_p = n_n \exp\left(-\frac{qV_D}{kT}\right) \quad \cdots(5.36)$$

$$p_{p0} = p_n = p_p \exp\left(-\frac{qV_D}{kT}\right) \quad \cdots(5.37)$$

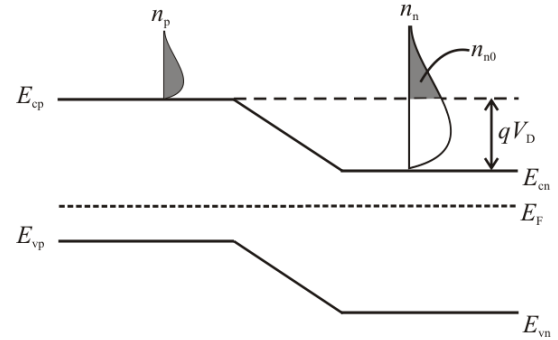


Fig.1 熱平衡時の pn 接合

(b) 順方向バイアス電圧 V 印加状態

pn 接合に順方向に外部電圧を印加すると、両領域のフェルミ準位に qV の電位差が生じ、伝導帯のエネルギー差は $E_{Cp} - E_{Cn} = q(V_D - V)$ となり、熱平衡状態よりも減少する。伝導帯中の電子密度は両領域とも変化しないが、障壁 $q(V_D - V)$ を越えるエネルギーを持つ n 領域の電子密度 n は

$$n = n_p \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) \gg n_p \quad \cdots(5.38)$$

となり、両領域の電子密度の差 Δn は

$$\Delta n = n - n_p = n_p \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \quad \cdots(5.39)$$

となる。それゆえ、拡散により p 領域に電子が流入する。同様に正孔密度の差 Δp は

$$\Delta p = p - p_n = p_n \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \quad \cdots(5.41)$$

となり、拡散により n 領域に正孔が流入することになる。

すなわち、順バイアスを印加することにより、各領域の少数キャリア密度が増加することになる。これを少数キャリアの「注入 injection」という。式(5.39)から、注入少数キャリアは熱平衡時のキャリア密度に比例し $\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1$ で増加することがわかる。特に大きな外部電圧 V の下では少数キャリア密度は指数関数的に増加する。

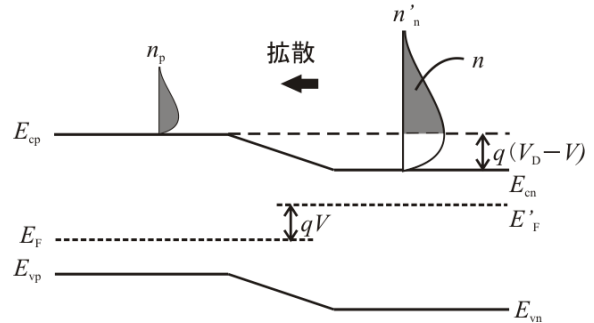


Fig.2 順方向バイアス電圧印加時の pn 接合