

## 7 pn 接合ダイオード

### 7-1 少数キャリアの注入

#### (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  $n_{p0}$

$$n_{p0} = N_C \exp\left(-\frac{E_{Cp} - E_{Fp}}{kT}\right)$$

・ n 領域の電子密度  $n_{n0}$

$$n_{n0} = N_C \exp\left(-\frac{E_{Cn} - E_{Fn}}{kT}\right)$$

ここで、 $E_{Cn} = E_{Cp} - qV_D$  であるので、

$$n_{n0} = n_{p0} \exp\left(\frac{qV_D}{kT}\right) \gg n_{p0}$$

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  $n_{n0} \exp\left(-\frac{qV_D}{kT}\right)$  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)。

$$n_{p0} = n_{n0} \exp\left(-\frac{qV_D}{kT}\right) \quad \dots(6.4)$$

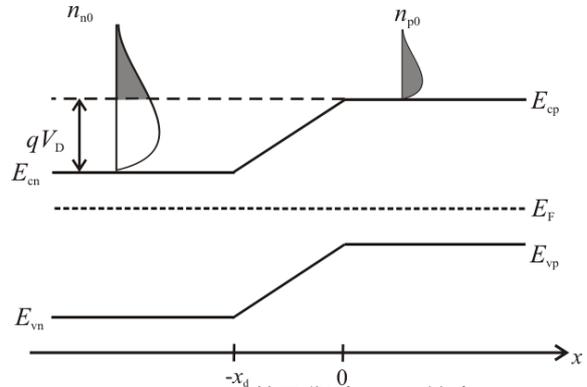


Fig.1 熱平衡時の pn 接合

#### (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  $n_p(0)$  は

$$n_p(0) = n_{p0} \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) \gg n_{p0} \quad \dots(7.1)$$

となり、両領域の電子密度の差  $\Delta n$  は

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

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  $\Delta p$  は

$$\Delta p = p_{n0} \left[ \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right]$$

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。上式のように、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。

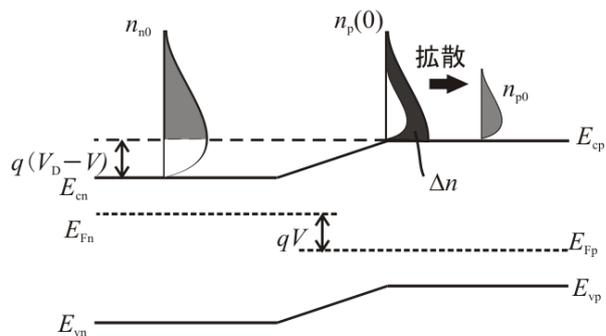


Fig.2 順方向バイアス電圧印加時の pn 接合

**(c) 逆方向バイアス電圧**

pn 接合に逆方向に外部電圧を印加( $V < 0$ )すると、順バイアスと同様に両領域のフェルミ準位に  $qV$  の電位差が生じる (Fig.3)。両領域の伝導帯のエネルギー差は

$$E_{Cp} - E_{Cn} = q(V_D - V) = q(V_D + |V|)$$

となり、(キャリアにとっての)障壁高さは大きくなる。この障壁を越えるだけのエネルギーを持つ電子密度  $n_p(0)$  は

$$n_p(0) = n_{p0} \exp\left(-\frac{q|V|}{kT}\right) \ll n_{p0}$$

となる。これより両領域の電子密度の差  $\Delta n$  は

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

となる。p 領域の接合部付近の電子(少数キャリア)は n 領域に流れ込んでいく(遷移領域の内部電界による)。この少数キャリアの移動は順方向とは逆で、これを「注出 extraction」という。p 領域の電子は少数キャリアで密度も小さいので流れる電流値も小さく、また電圧を大きくしても電子密度は変化しないので電流値は一定、すなわち飽和する。

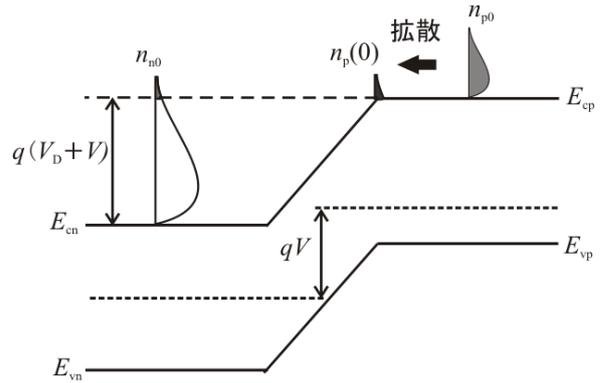


Fig.3 逆方向バイアス電圧印加時の pn 接合