

5-4-2 順バイアスされた接合のアドミタンス

単位面積あたりの交流アドミタンスを考える。

$$Y_d = G_d + jB_d = G_d + j\omega C_d$$

ここで、 G_d はコンダクタンス、 C_d は拡散容量である。交流アドミタンス Y_d は前回求めた電流密度 J_1 と印加電圧(交流分) V_1 から

$$Y_d = \frac{J_1}{V_1} = \frac{q^2}{kT} e^{qV_0/kT} \left(\frac{D_p p_n}{L_p} \sqrt{1 + j\omega\tau_p} + \frac{D_n n_p}{L_n} \sqrt{1 + j\omega\tau_n} \right) \quad \dots(5.74)$$

となる。 Y_d を**拡散アドミタンス diffusion admittance** という(その逆数を拡散インピーダンス diffusion impedance という)。上式に含まれている角周波数 ω と直流電圧 V_0 について検討する。

1) $\omega\tau \ll 1$ (周波数が低い)の場合

(5.74)式の平方根を近似する。

$$\sqrt{1 + j\omega\tau} \approx 1 + \frac{1}{2}j\omega\tau$$

であるので、 Y_d は

$$Y_d \approx \frac{q^2}{kT} e^{qV_0/kT} \left\{ \frac{D_p p_n}{L_p} + \frac{D_n n_p}{L_n} + \frac{1}{2}j\omega(L_p p_n + L_n n_p) \right\} \quad \dots(5.75)$$

となる($D\tau = L^2$)。これより、拡散容量 C_d は

$$C_d \approx \frac{q^2}{2kT} e^{qV_0/kT} (L_p p_n + L_n n_p) \quad \dots(5.76)$$

となり、 ω は含まれない。

2) $\omega\tau \gg 1$ (周波数が高い)の場合

$$\sqrt{1 + j\omega\tau} \approx \sqrt{\omega\tau} \frac{1}{\sqrt{2}}(1 + j)$$

であるので、 Y_d は

$$Y_d \approx \sqrt{\frac{\omega}{2}} \frac{q^2}{kT} e^{qV_0/kT} (p_n \sqrt{D_p} + n_p \sqrt{D_n})(1 + j) \quad \dots(5.75)$$

となる。すなわち、 Y_d の実部と虚部の値が等しく、共に $\sqrt{\omega}$ に比例していることがわかる。拡散容量 C_d は

$$C_d \approx \frac{\text{Im}(Y_d)}{\omega} \propto \frac{1}{\sqrt{\omega}}$$

となる。拡散アドミタンス Y_d の周波数依存性を Fig.1 に示す。

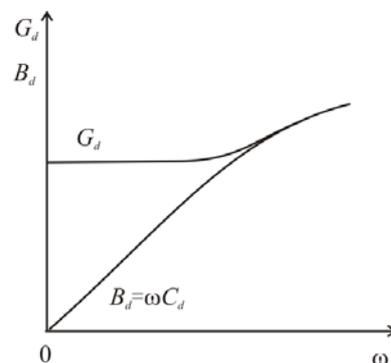


Fig.1 拡散アドミタンス

5-4-3 pn 接合の等価回路

pn 接合に順バイアス電圧および逆バイアス電圧を印加したときの等価回路は Fig.2 および Fig.3 のようになる。 C_j は空乏層容量である。逆バイアス時には、少数キャリアの注入がないため、 Y_d 分がゼロとなる。

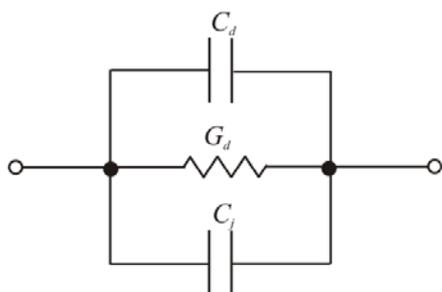


Fig.2 順電圧時の等価回路

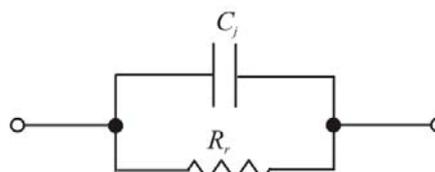


Fig.3 逆電圧時の等価回路

5-5 少数キャリア蓄積効果

順電圧から逆電圧に切り替えた時の pn 接合の過渡応答(スイッチング特性)を考える(Fig.4)。

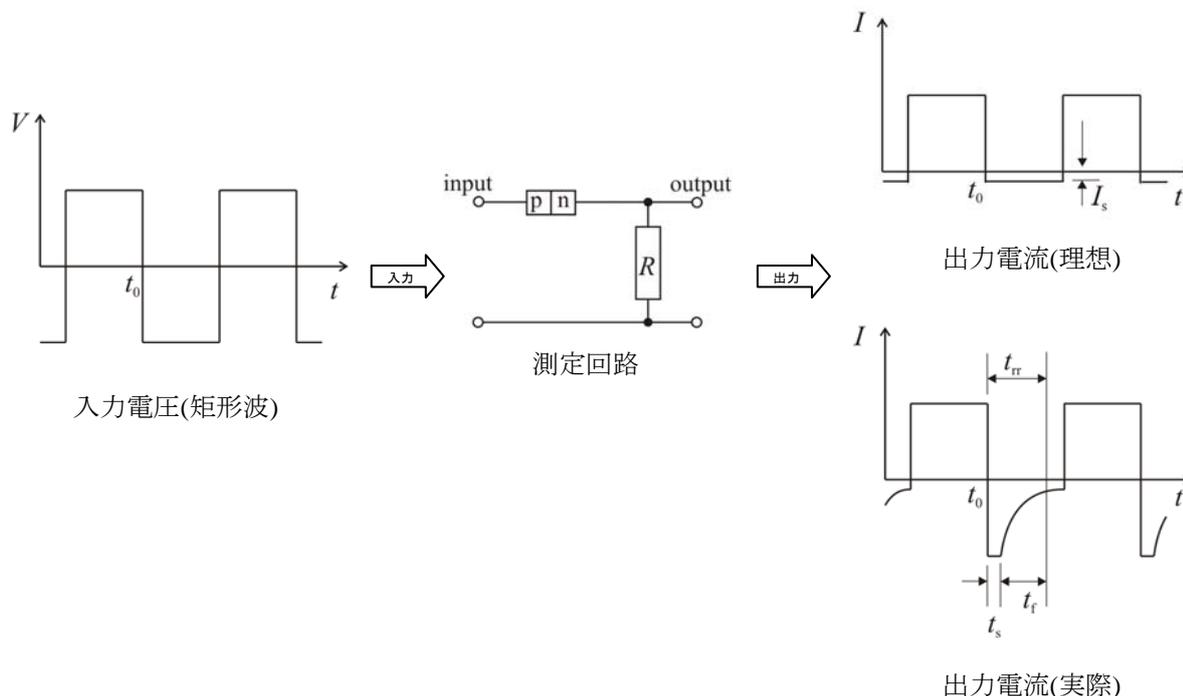


Fig.4 蓄積効果

Fig.5 は n 領域の少数キャリア(正孔)密度を示している。順バイアスから逆バイアスに切り替わった瞬間 $t = t_0$ からしばらくは、n 領域から p 領域へ戻る正孔による拡散電流による逆方向電流が流れる($t = t_0 + t_s$)。時間が経つにつれて少数キャリアが減少していくため逆電流も減少していき、 $t = t_0 + t_{rr}$ で定常状態になる。このように少数キャリアの注入がなくなっても少数キャリアが残留(生存)する現象を**少数キャリア蓄積効果**という。 t_s は**蓄積時間**、 t_f は**立ち下がり時間(減衰時間、消滅時間)**、 t_{rr} は**逆方向回復時間**と呼ばれる。この回復時間が長い pn 接合は高速応答のスイッチング動作や高周波での使用には向いていないことになる。これを改善するには少数キャリアの寿命を短くする必要があるが、その手段として Au などの不純物をドーピングして再結合中心をつくる方法が挙げられる。

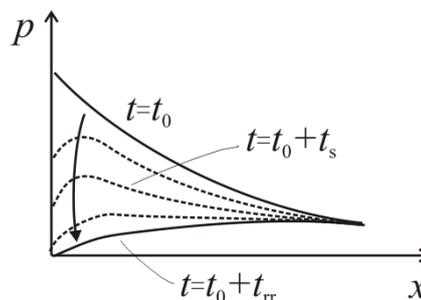


Fig.5 少数キャリア密度の変化

最後に pn 接合の応用例を挙げる。

- ・整流性 …… pn 接合ダイオード、nnp/pnp トランジスタ(バイポーラトランジスタ)
- ・負性抵抗 …… エサキダイオード(トンネルダイオード)、サイリスタ(pnpn ダイオード)
- ・空乏層 …… 可変容量ダイオード、接合型電界効果トランジスタ
- ・発光 …… 発光ダイオード(LED)、半導体レーザ(LD)
- ・受光 …… 太陽電池、フォトダイオード