

7-3 電流増幅率

Fig.1 に示すように、エミッタ電流がコレクタに流れ込むまで 3 つの段階に分けて考える。

- 1) エミッタからベースへの電子の注入
- 2) ベース内での電子の拡散による移動
- 3) コレクタ空乏層内の電界による電子のドリフト

以上、3 つの段階を考慮して、トランジスタの電流増幅率 α をそれぞれの段階における効率にわけて考える。

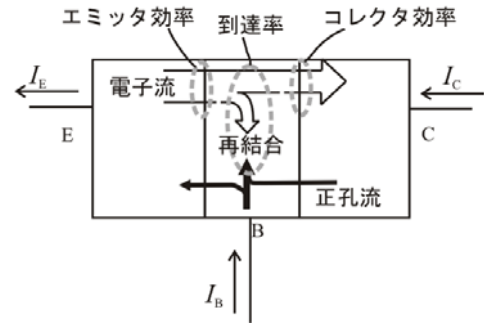


Fig.1 トランジスタ内の電流

- 1) **エミッタ効率(emitter efficiency)**または**注入効率(injection efficiency): γ**
- 2) **到達率(transport factor)**または**輸送効率(base transport efficiency): β^***
- 3) **真性電流増幅率(intrinsic current amplification factor)**または**コレクタ効率(collector efficiency): α^***

電流増幅率 α を 3 つの効率の積として表す。

$$\alpha = \gamma \cdot \beta^* \cdot \alpha^* \quad \cdots(7.23)$$

7-3-1 エミッタ効率(注入率)

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{\text{少数キャリア電流成分}(I_{nE})}{\text{全エミッタ接合電流}(I_E)} \\ &= \frac{J_{nE}}{J_{nE} + J_{pE}} = \frac{1}{1 + \frac{J_{pE}}{J_{nE}}} \quad \cdots(7.24) \end{aligned}$$

今、ベース幅が十分薄いと考える($W \ll L_{nB}$)と

$$\gamma \cong \frac{1}{1 + \frac{D_p p_{nE} W}{D_n n_{pB} L_{pE}}} \quad \cdots(7.27)$$

となる。ここで ρ_E 、 ρ_B をそれぞれエミッタ領域およびベース領域の抵抗率とし、 $np = n_i^2$ の関係から

$$p_{nE} = q\mu_{nE}n_i^2\rho_E, \quad n_{pB} = q\mu_{pB}n_i^2\rho_B$$

とすると、上式のエミッタとベースの少数キャリアの比をアインシュタインの関係式を用いて

$$\frac{p_{nE}}{n_{pB}} = \frac{\mu_{nE}\rho_E}{\mu_{pB}\rho_B} = \frac{D_{nE}\rho_E}{D_{pB}\rho_B}$$

の関係が得られる。さらに拡散定数が等しい($D_n = D_p$)とすると

$$\gamma \cong \frac{1}{1 + \frac{\rho_E W}{\rho_B L_{pE}}} \quad \cdots(7.29)$$

となる。また、(7.27)式でエミッタ、ベース領域の不純物密度をそれぞれ N_E 、 N_B とすると、常温(飽和領域)における少数キャリア密度より γ は次のようになる。

$$\gamma \cong \frac{1}{1 + \frac{N_B W}{N_E L_{pE}}}$$

エミッタ効率 γ をできるだけ 1 に近づけるには分母の第 2 項を小さくすればよい。すなわち、

1) ベース幅 W を薄くする $\rightarrow W \ll L_{pB}$

2) エミッタの抵抗率をベース抵抗率より小さくする $\rightarrow$ ベースの不純物密度 $<$ エミッタの不純物密度
という条件を満たす必要がある。

7-3-2 到達率(輸送効率)

$$\begin{aligned}
 \beta^* &= \frac{\text{コレクタに到達した電流}}{\text{ベースに注入された電流}} = \frac{I_{nB}(W)}{I_{nB}(0)} = \frac{J_{nC}}{J_{nE}} \\
 &= \frac{-\frac{qD_n n_{pB}}{L_{nB}} \frac{\exp(qV_E/kT) - 1}{\sinh(W/L_{nB})}}{-\frac{qD_n n_{pB}}{L_{nB}} \frac{\{\exp(qV_E/kT) - 1\} \cosh(W/L_{nB})}{\sinh(W/L_{nB})}} = \frac{1}{\cosh(W/L_{nB})} = \operatorname{sech}\left(\frac{W}{L_{nB}}\right) \\
 &\cong 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{W}{L_{nB}}\right)^2 + \dots \quad \dots(7.31)
 \end{aligned}$$

β^* をできるだけ 1 に近づけるにはベース幅 W を L_{pB} と比べて小さくする必要がある。

7-3-3 真性電流増幅率(コレクタ効率)

$$\alpha^* = \frac{I_C}{I_{nC}}$$

コレクタ接合に達した電子流は、一般に僅かに増幅される。この増幅の原因は、

- 1) コレクタへ入った電子により電界が発生し、この電界によりコレクタの正孔がドリフトして電流となる。
- 2) コレクタ接合における電子雪崩による電流増倍。→ pn 接合の雪崩降伏を参照(教科書 p.75)

7-3-4 電流増幅率の近似式

以上より、

$$I_C = \alpha^* \cdot I_{nC} = \alpha^* \cdot \beta^* \cdot I_{nE} = \alpha^* \cdot \beta^* \cdot \gamma \cdot I_E \equiv \alpha \cdot I_E$$

通常は、コレクタ接合の逆バイアス電圧は降伏電圧より十分低く選ぶので、 $\alpha^* \cong 1$ として考えて

$$\alpha \cong \gamma \cdot \beta^* \cong \left(1 - \frac{\rho_E}{\rho_B} \frac{W}{L_{pE}}\right) \left(1 - \frac{1}{2} \frac{W^2}{L_{nB}^2}\right) \quad \dots(7.33)$$

と表すことができる。

以上を整理すると、電流増幅率 α を大きくするには、

$$1) \quad W \ll L_{pB}$$

$$2) \quad \rho_E \ll \rho_B \quad (N_B < N_E)$$

の条件を考えればよい。