

① در یک ترانزیستور P-n-P، ولت‌های آمپتر ده برابر ولت‌های بیس است. معیشتی بارهای اقلیت در آمپتر نصف نصف مقدارش در بیس است و عرض بیس یک دهم طول نفوذ بارهاست. طول عمده بارها برابرند. مقدار α و β را در این ترانزیستور محاسبه کنید.

$$P_p = 10 \cdot n_n$$

$$\mu_n = 0.5 \mu_{pB}$$

$$W_b = 0.1 L_p$$

$$\tau_p = \tau_n$$

$$\frac{L_p^n}{L_p^p} = \frac{\sqrt{D_p^n \cdot \tau_p}}{\sqrt{D_n^p \cdot \tau_n}} = \frac{\sqrt{\frac{k_B T}{q} \cdot \mu_p^n \cdot \tau_p}}{\sqrt{\frac{k_B T}{q} \cdot \mu_n^p \cdot \tau_n}} = \sqrt{2}$$

$$\alpha = \beta \cdot \gamma = \frac{1}{\cosh\left(\frac{W_b}{L_p}\right) + \frac{L_p^n \cdot n_n \cdot \mu_n^p}{L_p^p \cdot p_p \cdot \mu_p^n} \cdot \sinh\left(\frac{W_b}{L_p}\right)} = \frac{1}{\cosh(0.1) + \sqrt{2} \times 0.1 \times 0.5 \times \sinh(0.1)}$$

$$= 0.988 \Rightarrow \beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} = \frac{0.988}{1 - 0.988} = \boxed{82}$$

② در یک ترانزیستور دو قطبی: (a) میزان ولت‌های بیس ده برابر عرض بیس را نصف کرده ایم. جریان در حالت فعال چه تغییری می‌کند؟ (b) میزان ولت‌های آمپتر صد برابر ولت‌های بیس است و عرض آمپتر یک دهم عرض بیس است، عرض بیس و آمپتر کمتر از طول نفوذ بارهاست. ضریب تریب آمپتر چقدر است؟ (c) با فرض برابر بودن طول نفوذ اکثریت و اقلیت و پهنای بیس و عرض بیس و آمپتر از طول نفوذ بارها ضریب تریب و ضریب ترانزیستور چقدر است؟

$$a) I_c = \frac{q \cdot A \cdot D_p \cdot P_n}{W} = \frac{q \cdot A \cdot D_p \cdot n_i^2}{N_B W_B} \cdot e^{\frac{q \cdot V_{BE}}{k_B T}}$$

$$\therefore W'_B = 0.5 W_B \text{ \& } N'_B = 10 N_B \Rightarrow I'_c = \frac{I_c}{10 \times 0.5} = \frac{I_c}{5}$$

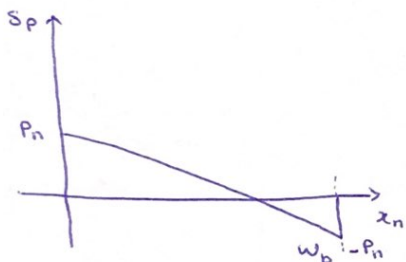
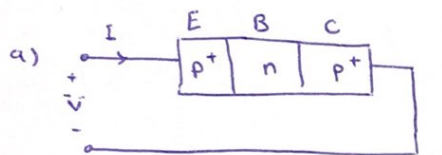
$$b) \text{ if } N_E = 100 N_B \text{ \& } W_E = 0.1 W_B \Rightarrow I_{En} \propto \frac{n_i^2}{N_E \cdot W_E} \cdot e^{\frac{q \cdot V_{BE}}{k_B T}} \text{ \& } I_{Ep} \propto \frac{n_i^2}{N_B \cdot W_B} \cdot e^{\frac{q \cdot V_{BE}}{k_B T}}$$

$$\gamma = \frac{I_{Ep}}{I_{Ep} + I_{En}} = \frac{\frac{1}{N_B \cdot W_B}}{\frac{1}{N_B \cdot W_B} + \frac{1}{N_E \cdot W_E}} = \frac{1}{1 + \frac{N_B \cdot W_B}{N_E \cdot W_E}} = \frac{1}{1 + \frac{N_B \cdot W_B}{100 N_B \times 0.1 W_B}} = \frac{1}{1 + 0.1} = 0.91$$

c) if $N_E = 100 \cdot N_B$ & $L_n = L_p = L \Rightarrow I_{En} \propto \frac{n_i^2}{N_E \cdot L} \cdot e^{\frac{q \cdot V_{BE}}{k_B T}}$
 $I_{Ep} \propto \frac{n_i^2}{N_B \cdot L} \cdot e^{\frac{q \cdot V_{BE}}{k_B T}}$

$$\gamma = \frac{I_{Ep}}{I_{Ep} + I_{En}} = \frac{\frac{1}{N_B \cdot L}}{\frac{1}{N_B \cdot L} + \frac{1}{N_E \cdot L}} = \frac{1}{1 + \frac{N_B}{N_E}} = \frac{1}{1 + \frac{N_B}{100 \cdot N_B}} = \frac{1}{1 + 0.01} = 0.99$$

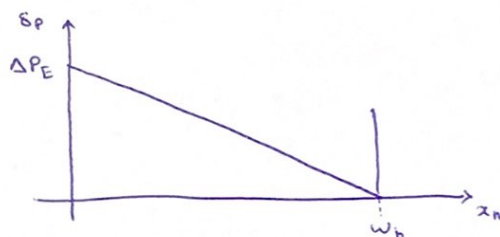
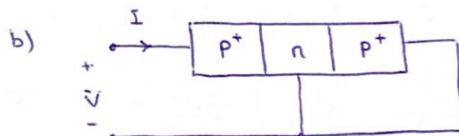
3) یک ترانزیستور $P^+ - n - P^+$ در حالت دیود به چهار صورت مختلف استفاده می شود. فرض کنید $V \gg \frac{k_B T}{q}$ و $S_p(x_n)$ را در ناحیه بیس در هر حالت زیر رسم کنید. کدام حالت بزرگترین استفاده به عنوان دیود مناسب تر است؟



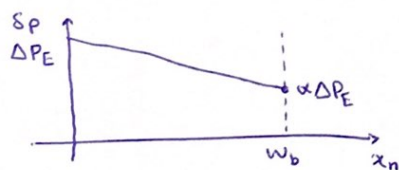
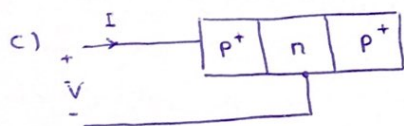
$$I_E = I_C, I_B = 0$$

$$\Delta P_C = -P_n$$

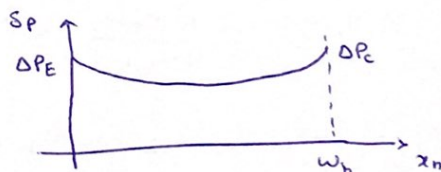
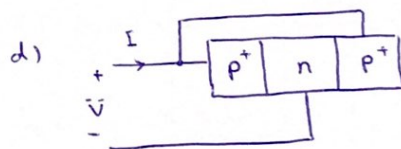
$$I_E = I_C, \Delta P_E = -\Delta P_C$$



$$\text{if } V_{CB} = 0 \Rightarrow \Delta P_C = 0$$



$$I_C = 0, \Delta P_C = \alpha \Delta P_E$$



$$V_{EB} = V_{CB} = V \Rightarrow \Delta P_C = \Delta P_E$$

4) رابطه برای جریان دیود مثله قبل در حالت (b) بدست آورید. نتیجه را با دیود بیس کوتاه (مثله 4 مقیم) مقایسه کنید. تقسیم جریان بین پایه بیس و کلکتور چگونه است؟

$$\Delta P_C = 0 \Rightarrow I = \frac{q \cdot A \cdot D_p \cdot \Delta P_E}{L_p} \cdot \coth\left(\frac{w_b}{L_p}\right)$$

$$I_C = \frac{q \cdot A \cdot D_p \cdot \Delta P_E}{L_p} \cdot \operatorname{csch}\left(\frac{w_b}{L_p}\right), I_B = \frac{q \cdot A \cdot D_p \cdot \Delta P_E}{L_p} \times \tanh\left(\frac{w_b}{2 \cdot L_p}\right)$$

5) در یک ترانزیستور دو قطبی P-n-P با $N_E > N_B > N_C$ بارهای اکثریت را باطلش در حالت فعال ترانزیستور نشان دهید. اگر $I_{EP} = 10 \mu A$, $I_{EN} = 100 \mu A$, $I_{CP} = 9.8 \text{ mA}$, $I_{CN} = 1 \mu A$ باشد. ضریب ترانزیستور، ضریب تزریق امیتر، بهره جریان ~~و بهره~~ بهره جریان، بهره جریان، بهره امیتر و I_{CBO} را محاسبه کنید. اگر بار اقلیت ذخیره شده در بیس 4.9×10^{-11} باشد، مقدار زمان عبور باربر از بیس و طول عمر باربر را محاسبه کنید؟

$$\beta = \frac{I_{CP}}{I_{EP}} = \frac{9.8 \text{ mA}}{10 \text{ mA}} = 0.98$$

$$\gamma = \frac{I_{EP}}{I_{EP} + I_{EN}} = \frac{10 \text{ mA}}{10 + 0.1} = 0.991$$

بهره بیس CB : $\alpha = \beta \cdot \gamma = 0.98 \times 0.991 = 0.9703$

$$I_{CBO} = I_{CN} = 1 \mu A$$

$$\tau_t = \frac{Q_B}{I_{CP}} = \frac{4.9 \times 10^{-11}}{9.8 \times 10^{-3}} = 5 \times 10^{-9} \text{ s} = 5 \text{ ns}$$

$$\tau_p = \frac{Q_B}{(1-\alpha) \cdot I_{EP}} = \frac{4.9 \times 10^{-11}}{0.02 \times 10 \times 10^{-3}} = 2.45 \times 10^{-8} \text{ s} = 24.5 \text{ ns}$$

6) در یک ترانزیستور دو قطبی میزان آلایین امیتر و کلکتور و بیس به ترتیب $N_C = 10^{17}$, $N_B = 10^{18}$, $N_E = 10^{20}$ و عرض بیس $0.5 \mu m$ است. مقدار غلظت میزان اکثریت را در بیوند کلکتور و میزان ثانیه قطبیه را در این بیوند در حالت فعال و $V_{CB} = 50 \text{ V}$ محاسبه کنید. عرض بیس در حالت خنثی در این ولتاژ با چشم پدکی از ناحیه قطبیه EB چقدر کوتاهتر شده؟ این ولتاژ چه تأثیر بیرونی و بیرونی های ترانزیستور دارد و این اثر چه نامیده می شود؟

$$V_{CB} = \frac{1}{2} \epsilon_0 \cdot \omega = \frac{1}{2} \times \frac{q \cdot W}{\epsilon_0 \left(\frac{1}{N_d} + \frac{1}{N_a} \right)} \times W = 50 \text{ V}$$

$$W = \left[\frac{2 \times 50 \times 11.8 \times 8.85 \times 10^{-14}}{1.6 \times 10^{-19}} \cdot \left(\frac{1}{10^{18}} + \frac{1}{10^{17}} \right) \right]^{\frac{1}{2}} = 0.851 \mu m = 8.51 \times 10^{-5} \text{ cm}$$

$$\epsilon_0 = \frac{2V_{CB}}{W} = \frac{2 \times 50}{8.51 \times 10^{-5}} = 1.18 \times 10^6$$

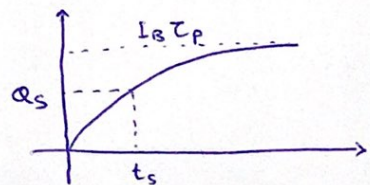
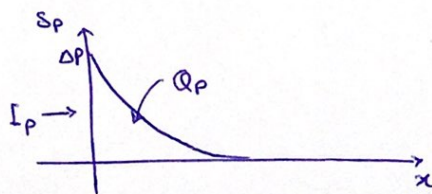
$$C_j = \frac{\epsilon}{W} = \frac{11.8 \times 8.85 \times 10^{-14}}{8.51 \times 10^{-5}} = 12.4 \left(\frac{nF}{cm^2} \right)$$

$$W = x_{n0} + x_{p0} = 8.51 \times 10^{-5} \text{ cm} \Rightarrow 10 \times x_{n0} = 10^{17} \times x_{p0} \Rightarrow x_{n0} = \frac{8.51 \times 10^{-5}}{11} = 7.74 \times 10^{-6}$$

7) در یک ترانزیستور دو قطبی: (a) جلوه ممکن است که زمان متوسط گذار حفره از ناحیه بیس τ_b کوتاه تر از طول عمر τ_p در بیس باشد؟ (b) توضیح دهید چرا و کس شدن گذار در ناحیه فذق اشباع سریعتر است؟

$$Q_b = I_B \cdot \tau_p \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_p}} \right)$$

$$\tau_s = \tau_p \cdot \ln \left[\frac{1}{1 - \frac{I_C}{\beta I_B}} \right]$$



⑧ ضریب تقویت جریان β در یک ترانزیستور دو قطبی به عرض بایس و نسبت آلاینش بایس به امیتر بایس
 محاسبه است. این ضریب را بزرگ ترانزیستور دو قطبی P-n-P بایس $L_p^n = L_p^p$ ، $\mu_n^p = \mu_p^n$ در حالت
 زیر محاسبه کنید ؟ (a) $\frac{W_b}{L_p^n} = \frac{0.01}{1}$ ، $n_n = p_p$ (b) $\frac{n_n}{p_p} = \frac{0.01}{1}$ ، $W_b = L_p^n$

⑨ مشخصات یک ترانزیستور دو قطبی P-n-P از جنس Si در مدار اتاق به صورت زیر است.
 $\tau_n = \tau_p = 0.1$ ، $D_n = D_p = 10 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$ ، $N_E = 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ، $N_B = 10^{16}$ ، $N_C = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ، $A = 10^{-5} \text{ cm}^2$
 $W = 1.5 \mu\text{m}$ ، $W_E = 3 \mu\text{m}$
 مقدار عرض خنثی بایس W_b را بزرگ $V_{EB} = 0.2$ و $V_{CB} = 0$ را محاسبه کنید. اگر $V_{EB} = 0.6$ باشد محاسبه را
 تکرار کنید.

$$V_{biBE} = 0.55 + \frac{k_B T}{q} \cdot \ln \frac{N_B}{n_i} = 0.898 \text{ V}$$

$$V_{biBC} = \frac{k_B T}{q} \cdot \left[\ln \frac{N_B}{n_i} + \ln \frac{N_C}{n_i} \right] = 0.0259 \left(\ln \frac{10^{16}}{1.5 \times 10^{10}} + \ln \frac{10^{16}}{1.5 \times 10^{10}} \right) = 0.696 \text{ V}$$

$$W_{EB} = \sqrt{\frac{2 \epsilon_s}{q N_B} (V_{biBE} - V_{EB})} \xrightarrow{N_E \gg N_B} W_{EB} = \sqrt{\frac{2.11 \times 8.8 \times 85 \times 10^{-14}}{1.6 \times 10^{-19} \times 10^{-16}}} (0.898 - V_{EB})$$

$$\begin{cases} \text{for } V_{EB} = 0.2 & , W_{EB} = 3.02 \times 10^{-5} \\ \text{for } V_{EB} = 0.6 & , W_{EB} = 1.97 \times 10^{-5} \end{cases}$$

$$W_{CB} = \sqrt{\frac{2 \epsilon_s (N_C + N_B)}{q N_C N_B}} \phi_T$$

⑩ مشخصات یک ترانزیستور دو قطبی P-n-P از جنس Si در مدار اتاق به صورت زیر است :

Emitter	Base	Collector
$N_A = 5 \times 10^{18}$	$N_D = 10^{16}$	$N_A = 5 \times 10^{15}$
$\tau_n = 100 \text{ ps}$	$\tau_p = 2500 \text{ ps}$	$\tau_n = 2 \mu\text{s}$
$\mu_n = 150$	$\mu_n = 1500$	$\mu_n = 1500$
$\mu_p = 100$	$\mu_p = 400$	$\mu_p = 450$
	$W_b = 0.2 \mu\text{m}$	

$$\text{in Emitter : } L_n^E = \sqrt{\mu_n \frac{k_B T}{q} \tau_n} = \sqrt{150 \times 0.0259 \times 10^{-10}} = 1.97 \times 10^{-5} = 0.197 \mu\text{m}$$

$$\text{in Base : } L_p^B = \sqrt{D_p \tau_p} = \sqrt{\mu_p \frac{k_B T}{q} \tau_p} = \sqrt{400 \times 0.0259 \times 25 \times 10^{-10}} = 1.61 \times 10^{-4} \text{ cm} = 1.61 \mu\text{m}$$

$$\gamma = \left[1 + \frac{\mu_n^E \cdot N_D^B \cdot W_b}{\mu_p^B \cdot N_A^E \cdot L_n^E} \right]^{-1} = \left[1 + \frac{150 \times 10^{16} \times 0.2}{400 \times 5 \times 10^{18} \times 0.197} \right]^{-1} = 0.9992$$

$$\beta = 1 - \frac{W_b^2}{2 L_p^2} = 1 - \frac{(0.2)^2}{2 (1.61)^2} = 0.9961 \quad , \quad \beta = \frac{\beta \cdot \gamma}{1 - \beta \gamma} = 213$$

$$\tau_t = \frac{W_b^2}{2 D_p} = 0.514 \times 10^{-11} \quad \beta = \frac{\tau_p}{\tau_t} = 486$$