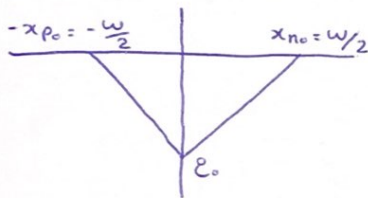


① در یک پیوند مستقیم P-n با پهنای ناخالصی $N_A = N_D = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ اگر مقدار پهنای میانی الکتریکی در ولتاژ شکست $5 \times 10^5 \text{ V cm}^{-1}$ باشد، مقدار ولتاژ شکست در بایاس معکوس پیوند را محاسبه کنید؟



$$N_A = N_D \rightarrow x_{no} = x_{po} = \frac{w}{2}$$

$$E_0 = \frac{q \cdot N_A}{\epsilon} \cdot x_{no} = \frac{q \cdot N_A}{\epsilon} \cdot \frac{w}{2}$$

$$\Rightarrow \int_{-x_{po}}^{x_{no}} E \cdot dx = \text{مست شکست}$$

$$V_{br} + V_o = E_0 \cdot x_{no} = E_0 \cdot \frac{w}{2} = E_0 \cdot \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{2 \epsilon E_0}{q N_A} \right] = \frac{\epsilon E_0^2}{q N_A} = \frac{11.8 \times 8.85 \times 10^{-14} \times (5 \times 10^5)^2}{1.6 \times 10^{-19} \times 10^{17}} = 16.32 \text{ V}$$

② در یک پیوند P⁺-n بایاس را به طور ناگهانی در لحظه $t = 0$ تغییر می دهیم. به گونه ای که جریان از صفر به مقدار I می رسد. (a) رابطه ای برای بار اضافی $Q_p(t)$ هنگام روشن شدن دیود به دست آورید و آن را ترسیم کنید. (b) با فرض ضایع بودن $\delta p(x_n)$ ، رابطه ای برای $\Delta p_n(t)$ و ولتاژ $V(t)$ به دست آورید.

$$a) 3I = -q A D_p \left. \frac{d\delta p}{dx_n} \right|_{x_n=0} \Rightarrow \left. \frac{d\delta p}{dx_n} \right|_{x_n=0} = -\frac{3I}{q A D_p}$$

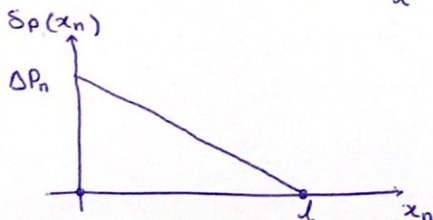
$$b) I = \frac{q A D_p}{L_p} p_n e^{\frac{qV}{k_B T}} \xrightarrow{\text{in } t=\infty} 3I = \frac{q A D_p}{L_p} p_n e^{\frac{qV^\infty}{k_B T}} \rightarrow 3 = e^{\frac{q(V^\infty - V^-)}{k_B T}}$$

$$\Rightarrow V^\infty = V^- + \frac{k_B T}{q} \ln 3 = V^- + 0.0285$$

③ فرض کنید حفره ها از یک پیوند P⁺-n به درون ناحیه نواحی به طول l از نیم رسانا n تزریق می شود. اگر $\delta p(x_n)$ به صورت خطی از Δp_n در $x_n = 0$ تا صفر در $x_n = l$ در محل اتصال الکترود تغییر کند، مقدار بار الکتریکی را در حالت ماندگار در توزیع بار اضافی Q_p و مقدار جریان را محاسبه کنید.

$$Q_p = q \cdot A \cdot \int_0^l \delta p \cdot dx_n = q \cdot A \cdot \frac{l \cdot \Delta p_n}{2}$$

$$I = I_p(x_n=0) = -q \cdot \frac{A D_p \cdot \Delta p_n}{l}$$



④ در یک دیود p^+n که طول ناحیه n کوتاهتر از طول نفوذ نفوذ است ($l < L_p$) رادیو بسک کوتاه باشد در این نوع دیود به خلاف دیود متداول نمی توان فرض کرد $S_p(x_n = \infty) = 0$ و لازم است به این صورت $S_p(x_n = l) = 0$ اعمال شود. (a) معادله نفوذ را حل کنید و نشان دهید که $S_p(x_n) = \frac{\Delta P_n [e^{\frac{l-x_n}{L_p}} - e^{\frac{x_n-l}{L_p}}]}{e^{\frac{l}{L_p}} - e^{-\frac{l}{L_p}}}$

(b) نشان دهید جریان این دیود به صورت زیر است: $I = \left[\frac{q A D_p P_n}{L_p} \coth \frac{l}{L_p} \right] e^{\frac{q V}{k_B T} - 1}$

a) $\frac{d^2 \phi_p(x_n)}{dx_n^2} = \frac{\phi_p(x_n)}{L_p^2} \Rightarrow \phi_p(x_n) = C e^{-\frac{x_n}{L_p}} + D e^{\frac{x_n}{L_p}}$

when $x_n = 0$, $\phi_p = \Delta P_n = C + D$
when $x_n = l$, $\phi_p = 0 = C e^{-\frac{l}{L_p}} + D e^{\frac{l}{L_p}}$

$$\Rightarrow \begin{cases} C = \frac{\Delta P_n e^{\frac{l}{L_p}}}{e^{\frac{l}{L_p}} - e^{-\frac{l}{L_p}}} \\ D = \Delta P_n - C = \frac{-\Delta P_n e^{-\frac{l}{L_p}}}{e^{\frac{l}{L_p}} - e^{-\frac{l}{L_p}}} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \phi_p(x_n) = \frac{\Delta P_n \left[e^{\frac{l-x_n}{L_p}} - e^{\frac{x_n-l}{L_p}} \right]}{e^{\frac{l}{L_p}} - e^{-\frac{l}{L_p}}}$$

$$\Rightarrow I = \left[-q \cdot A \cdot D_p \cdot \frac{d\phi_p(x_n)}{dx_n} \right]_{x_n \rightarrow 0} = \frac{-q \cdot A \cdot D_p \cdot \Delta P_n}{L_p} \cdot \left[-\frac{e^{\frac{l}{L_p}} + e^{-\frac{l}{L_p}}}{e^{\frac{l}{L_p}} - e^{-\frac{l}{L_p}}} \right]$$

b) $I = \left[\frac{q \cdot A \cdot D_p \cdot P_n}{L_p} \right] \cdot \coth \frac{l}{L_p} \cdot \left(e^{\frac{q V}{k_B T}} - 1 \right)$

⑤ در یک دیود بسک کوتاه با استفاده از نتایج مسئله قبل: (a) جریان در اثر باز ترکیب در ناحیه n را محاسبه کنید. (b) نشان دهید جریان در اثر باز ترکیب در اتصال اهمی به صورت زیر است:

$$I = \left[\frac{q \cdot A \cdot D_p \cdot P_n}{L_p} \operatorname{csch} \frac{l}{L_p} \right] \cdot e^{\frac{q V}{k_B T} - 1}$$

$$Q_p = q \cdot A \cdot \int_0^l \phi_p(x_n) \cdot dx_n = q \cdot A \cdot \int_0^l \left[C e^{-\frac{x_n}{L_p}} + D e^{\frac{x_n}{L_p}} \right] \cdot dx_n$$

$$Q_p = q \cdot A \cdot L_p \cdot \left[-C (e^{-\frac{l}{L_p}} - 1) + D (e^{\frac{l}{L_p}} - 1) \right] = q \cdot A \cdot L_p \cdot \Delta P_n \cdot \frac{e^{\frac{l}{L_p}} + e^{-\frac{l}{L_p}} - 2}{e^{\frac{l}{L_p}} - e^{-\frac{l}{L_p}}}$$

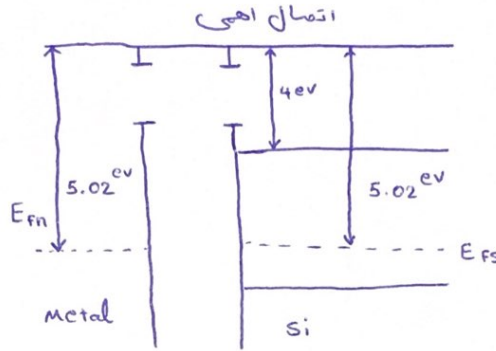
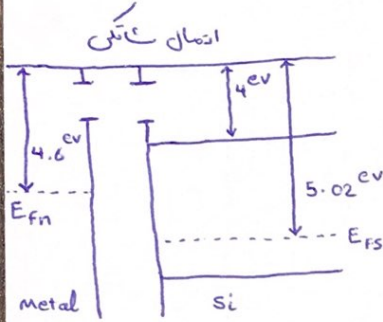
$$\frac{Q_p}{\tau_p} = \frac{q \cdot A \cdot L_p \cdot P_n}{\tau_p} \cdot \left[\coth \frac{l}{L_p} - \operatorname{csch} \frac{l}{L_p} \right] \left(e^{\frac{q V}{k_B T}} - 1 \right) \quad \frac{L_p}{\tau_p} = \frac{D_p}{L_p} \rightarrow$$

$$\frac{Q_p}{\tau_p} = \frac{q \cdot A \cdot D_p \cdot P_n}{L_p} \cdot \left[\tanh \frac{l}{L_p} \right] \cdot \left(e^{\frac{q V}{k_B T}} - 1 \right) \xrightarrow{x_n=1} I = \frac{Q_p}{\tau_p} = \left[\frac{q \cdot A \cdot L_p \cdot P_n}{\tau_p} \operatorname{csch} \frac{l}{L_p} \right] \cdot \left(e^{\frac{q V}{k_B T}} - 1 \right)$$

⑥ یک لایه فلز با تابع کار 4.6 eV بر روی Si با مقدار اکثریت دومی $N_d = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ و شفافیتی 4 eV نشاند داده است. نمودار نوار انرژی حالت تعادلی را رسم کنید و تراز فرعی، لایه های نوار و تراز فلز را به در آن مشخص کنید. آیا این اتصال از نوع اهمی است یا ششکی؟ چرا؟ به چه نوع اتصال تغییر کند تابع کار فلز چقدر باید تغییر کند؟

$$\phi_s = \chi + 0.55 \frac{eV}{k_B T} + \ln \frac{N_A}{n_i} = 4 \frac{eV}{k_B T} + 0.55 + 0.0259 \ln \frac{10^{18}}{1.5 \times 10^{16}} = 5.02 \frac{eV}{k_B T}$$

$$\phi_m = 4.6 \frac{eV}{k_B T} < \phi_s = 5.02 \frac{eV}{k_B T} \rightarrow \text{پیوند کانتی است}$$



7) یک سد کانتی بین یک فلز با تابع کار $4.3 \frac{eV}{k_B T}$ و نیم رسانا نوع P با مقدار اشباع دومی $4 \frac{eV}{k_B T}$ ایجاد شده میزن $Na = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ است. (a) نمودار نوار انرژی در حالت تعادلی را رسم کنید و مقدار qV_0 را بدو آن مشخص کنید. (b) نمودار نوار انرژی در بایاس مستقیم 0.3 V را رسم کنید. اگر بایاس معکوس 2 V اعمال شود. مجدد نمودار را ترسیم کنید.

$$a) E_i - E_F = k_B T \ln \frac{p_0}{n_i} = 0.0259 \ln \frac{10^{17}}{1.5 \times 10^{16}} = 0.407 \frac{eV}{k_B T}$$

$$\phi_s = 4 + 0.55 + 0.407 = 4.957 \frac{eV}{k_B T}$$

