

① یک نمونه Si با 10^{16} cm^{-3} اتم دانه نور لیزر تابانده ایم به طوری که 10^{19} زوج الکترون-حفره به طور یکنواخت در هر ثانیه در آن تولید می شود. نور لیزر باعث گرم شدن Si تا دمای 450 K شده است. سطوح شبه منحنی و منحنی تغییرات در سایش Si در اثر تابش نور لیزر را محاسبه کنید. طول عمر الکترون و حفره 10 ns و $D_p = 12 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$ و $n_i = 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ در دمای 450 K است.

$$S_n = S_p = g_{opt} \cdot \tau = 10^{19} \times 10^{-5} = 10^{14} \text{ cm}^{-3}$$

$$S_n \ll n_{e0} = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$$

$$\begin{cases} n = n_0 + S_n = 10^{16} + 10^{14} \approx 10^{16} \\ P = P_0 + S_p = \frac{n_i^2}{n_0} + S_p = \frac{(1.5 \times 10^{10})^2}{10^{16}} + 10^{14} \approx 10^{14} \text{ cm}^{-3} \end{cases}$$

$$k_B T \text{ in } 450 \text{ K} = 0.0259 \text{ eV} \times \frac{450}{300} = 0.039 \text{ eV}$$

$$F_n \pm E_i = k_B T \cdot \ln\left(\frac{n}{n_i}\right) = 0.039 \cdot \ln\left(\frac{10^{16}}{10^{14}}\right) = 0.18 \text{ eV} \Rightarrow F_n - F_p = 0.18 \text{ eV}$$

$$E_i - F_p = k_B T \cdot \ln\left(\frac{p}{n_i}\right) = 0.039 \cdot \ln\left(\frac{10^{14}}{10^{14}}\right) = 0 \text{ eV}$$

$$\begin{cases} \mu_n = \frac{D_n}{\frac{k_B T}{q}} = \frac{36}{0.039} = 927 \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{V.s}}\right) \\ \mu_p = \frac{D_p}{\frac{k_B T}{q}} = \frac{12}{0.039} = 309 \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{V.s}}\right) \end{cases}$$

$$\Delta \sigma = q \cdot (\mu_n S_n + S_p \mu_p) = 1.6 \times 10^{-19} \cdot (927 \times 10^{14} + 309 \times 10^{14}) = 0.0198 \text{ (cm} \cdot \Omega)^{-1}$$

② یک نمونه Si ذاتی با $N_d = N_0 \exp(-\alpha x)$ اتم دانه از یک طرف آن در آن تابش شده است.

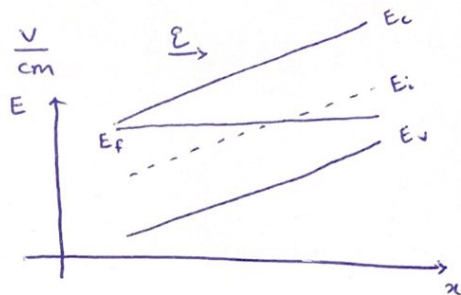
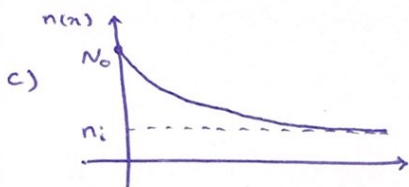
(a) با فرض آن که $N_d \gg n_i$ باشد، تابع میدان الکتریکی داخلی را محاسبه کنید.

(b) اگر $\alpha = 1 \text{ m}^{-1}$ باشد متوسط میدان الکتریکی داخلی چقدر است؟

(c) ساختار نور انترنر را رسم کنید و بهره ران جهت میدان را مشخص کنید؟

$$a) E(x) = - \frac{D_n}{J_n} \times \frac{\frac{dn}{dx}}{n} = \frac{-k_B T}{q} \times \frac{N_0 (-a) e^{-ax}}{N_0 e^{-ax}} = \frac{k_B T \cdot a}{q}$$

$$b) E\left(\frac{1}{J_n}\right) = 0.0259 \text{ V} \times 10^4 (\text{cm}^{-1}) = 259 \frac{\text{V}}{\text{cm}}$$



③ یک نمونه Si با 10^{15} cm^{-3} اتم دایر به صورت یک یلوفت نورلیر تابانده ایم به طوری که 10^{19} cm^{-3} زوج الکترون حفره در هر ثانیه در آن تولید می شود. حاصله بین سطح شبه نمری و میزان تقسیمات در رسان S: در اثر تابش نور لیر را محاسبه کنید. طول عمر الکترون و حفره 10^{-8} s و $D_p = 12 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$ است.

$$S_n = S_p = g_{opt} \cdot \tau = 10^{19} \times 10^{-8} = 10^{11}$$

$$\text{چون } S_n \ll n_0 = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$$

$$n = n_0 + S_n = 10^{15} + 10^{11} = 1.1 \times 10^{15}$$

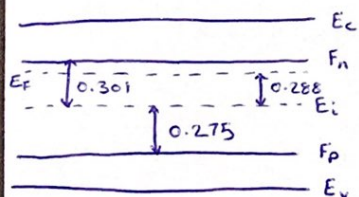
$$P = P_0 + S_p = \frac{n_i^2}{n_0} + S_p = \frac{(1.5 \times 10^{10})^2}{10^{15}} + 10^{11} \approx 10^{11} \text{ cm}^{-3}$$

$$\mu_n = 1300 \frac{\text{cm}^2}{\text{V} \cdot \text{s}}, \quad \mu_p = \frac{D_p}{\frac{k_B T}{q}} = \frac{12}{0.0259} = 463$$

$$\text{توازن نمری: } F_n = F_p = k_B T \cdot \ln\left(\frac{n \cdot P}{n_i^2}\right) = 0.0259 \cdot \ln\left(\frac{1.1 \times 10^{15} \times 10^{11}}{(1.5 \times 10^{10})^2}\right) = 0.518 \text{ eV}$$

$$\Delta \phi = q \cdot (\mu_n S_n + \mu_p S_p) = 1.6 \times 10^{-19} (1300 \times 10^{11} + 463 \times 10^{11}) = 0.0282 (\text{cm} \cdot \text{V})^{-1}$$

④ یک نمونه Si با 10^{15} cm^{-3} اتم دایر به صورت یک یلوفت نورلیر تابانده ایم به طوری که 10^{21} cm^{-3} زوج الکترون - حفره در هر ثانیه در آن تولید می شود. اثر طول عمر الکترون و حفره 10^{-6} s و $\tau_n = \tau_p = 10^{-6} \text{ s}$ حاصله بین سطح شبه نمری را محاسبه کنید و افتار نورلیر را ترسیم کنید.



$$S_n = S_p = g_{opt} \cdot \tau = 10^{21} \times 10^{-6} = 10^{15}$$

$$S_n = 10^{15}$$

$$\alpha_r = \frac{1}{\tau_n \cdot n_0} = \frac{1}{10^{-6} \times 10^{15}} = 10^{-9}$$

$$g_{opt} = \alpha_r n_0 S_n + \alpha_r S_n^2$$

$$10^{21} = 10^{-9} \times 10^{15} \cdot S_n + 10^{-9} S_n^2 \Rightarrow S_n = S_p = 6.18 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$$

$$F_n - E_i = k_B T \cdot \ln\left(\frac{n_0 + S_n}{n_i}\right) = 0.0259 \cdot \ln\left(\frac{10^{15} + 6.18 \times 10^{14}}{1.5 \times 10^{10}}\right) = 0.301 \text{ eV}$$

$$E_i - F_p = k_B T \cdot \ln\left(\frac{S_p}{n_i}\right) = 0.0259 \cdot \ln\left(\frac{6.18 \times 10^{14}}{1.5 \times 10^{10}}\right) = 0.276 \text{ eV}$$

$$E_F - E_i = k_B T \cdot \ln\left(\frac{n_0}{n_i}\right) = 0.0259 \cdot \ln\left(\frac{10^{15}}{1.5 \times 10^{10}}\right) = 0.288 \text{ eV}$$

فاصله تراز بن
فرعی

$$F_n - F_p = 0.301 \text{ eV} + 0.276 \text{ eV} = 0.577 \text{ eV}$$

⑤ یک سیله از جنس Si به طول 2 cm و سطح مقطع 0.05 cm^2 با $N_0 = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ اتم ناخالصی آرسین رده است. اگر ولتاژ 10V به دو سر این سیله اعمال شود، جریان را محاسبه کنید. اگر متوسط نور لیزر 10^{20} cm^{-3} زوج الکترون-حفره در این سیله در ثانیه به طور یکنواخت تولید کنیم و $n = p = 100 \mu\text{s}$ مقدار جریان چقدر خواهد بود؟ فرض کنید مقدار α_r در تریون کم و زیاد ثابت باشد. اکنون اگر ولتاژ اعمالی 100 kV شود، مقدار جریان چقدر خواهد بود؟ فرض کنید $\mu_p = 500 \frac{\text{cm}^2}{\text{V.s}}$

$$\alpha_r = \frac{1}{\tau_{n_0}} = \frac{1}{100 \mu\text{s} \times 10^{16}} = 10^{-12} \left(\frac{\text{cm}^3}{\text{s}}\right)$$

$$J_{\text{opt}} = \alpha_r \cdot n_0 \cdot S_n + \alpha_r \cdot S_n^2 \Rightarrow 10^{20} = 10^{-12} (10^{16} S_n + S_n^2)$$

$$S_n^2 + 10^{16} S_n - 10^{32} = 0 \Rightarrow S_n = 10^{16} \left(\frac{-1 \pm \sqrt{5}}{2} \right) \Rightarrow S_n = 6.18 \times 10^{15} = S_p$$

* 10V & no light : $E = \frac{10 \text{ V}}{2 \text{ cm}} = 5 \frac{\text{V}}{\text{cm}}$, $\mu_n = 1070 \frac{\text{cm}^2}{\text{V.s}}$

$$\Rightarrow I = A \cdot q \cdot n_0 \cdot \mu_n \cdot E = 0.05 \text{ cm}^2 \times 1.609 \times 10^{-19} \times 10^{15} \times 1070 \times 5 = \boxed{0.428 \text{ A}}$$

* 10V & light : $I = A \cdot q \left[(n_0 + S_n) \mu_n + S_p \mu_p \right] \cdot E = 0.05 \times 1.609 \times 10^{-19} \cdot \left[(10^{15} + 6.18 \times 10^{15}) \times 1070 + 6.18 \times 10^{15} \times 550 \right] \times 5 = \boxed{0.816 \text{ A}}$

* 100 kV and light : $V_s = 10^7 \left(\frac{\text{cm}}{\text{s}}\right)$ & $E = \frac{100000}{2 \text{ cm}} = 50000 \left(\frac{\text{V}}{\text{cm}}\right)$

$$I = A \cdot q \left[(n_0 + S_n) V_s + S_p \mu_p E \right] = 0.05 \times 1.609 \times 10^{-19} \left[(10^{15} + 6.18 \times 10^{15}) 10^7 + 6.18 \times 10^{15} \times 550 \times 5 \right]$$

$$\Rightarrow I = 2.53 \times 10^3 \text{ A}$$

⑥ یک لیزر پانتون 100 mW و طول موج $\lambda = 0.63 \mu\text{m}$ را بر روی یک نمونه GaAs به ضخامت 100 μm تابانده ایم. ضریب جذب در این طول موج $3 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ است. مقدار فوتون ها را تعیین کنید. اگر تابیده در هر ثانیه بر GaAs را محاسبه کنید. فرض کنید بازده کوانتومی واحد است. چه توانی به صورت گرما در GaAs تلف می شود؟

$$I_t = I_0 e^{-\alpha L} = 100 \text{ mW} \cdot e^{-3 \times 10^4 \times 10^{-2}} = 0 \text{ mW}$$

انرژی فوتون = $\frac{1.24 \text{ eV} \cdot \mu\text{m}}{0.6328 \mu\text{m}} = 1.96 \text{ eV}$

توان تلف شده = $\frac{1.96 \text{ eV} - 1.43 \text{ eV}}{1.96 \text{ eV}} \times 100 \text{ mW} = 2.7 \times 10^{-2} \frac{\text{J}}{\text{s}}$

تعداد فوتون بر ثانیه = $\frac{0.1}{1.609 \times 10^{-19} \times 1.96 \text{ eV}} = 3.19 \times 10^{17} \frac{\text{Photons}}{\text{Sec}}$