Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Institut für Integrierte Systeme
Integrated Systems Laboratory

Halbleiterbauelemente

Übungsserie 6: *Metall–Halbleiter Übergänge*

Musterlösung

9. Mai 2011

Aufgabe 1: 1. Mit den Formeln (7.40) und (7.28) aus dem Neamen hat man

$$\begin{aligned} Q'(V_R) &\equiv eN_D x_n(V_R) \\ &= eN_D\sqrt{\frac{2\epsilon_{\mathrm{Si}}(V_{bi}+V_R)}{e}\left[\frac{N_A}{N_D}\right]\left[\frac{1}{N_A+N_D}\right]} \qquad (1) \\ C'(V_R) &\equiv \frac{\partial}{\partial V_R}Q'(V_R) \\ &= \sqrt{\frac{e\epsilon_{\mathrm{Si}}N_A N_D}{2(V_{bi}+V_R)(N_A+N_D)}}. \qquad (2) \end{aligned}$$

2.

$$\begin{aligned} V_{bi} &= V_t \ln\left(\frac{N_A N_D}{n_i^2}\right) \\ &= \underline{0.855\,\mathrm{V}} \qquad (3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C'(V_R) &= \sqrt{\frac{e\epsilon_{\mathrm{Si}}N_A N_D}{2(V_{bi}+V_R)(N_A+N_D)}} \\ &= \underline{26.2\frac{\mathrm{nF}}{\mathrm{cm}^2}} \qquad (4) \end{aligned}$$

Aufgabe 2: 1. Die Barrierenhöhe ϕ_{B0} und der Abstand ϕ_n der Fermienergie zur Leitungsbandkante berechnen sich als

$$\begin{aligned} \phi_{B0} &= \phi_m - \chi \\ &= (5.1 - 4.01)\,\mathrm{V} \\ &= \underline{1.09\,\mathrm{V}} \end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{aligned} \phi_n &= V_t \ln\left(\frac{N_c}{N_D}\right) \\ &= 0.0259 \times \ln\left(\frac{2.8 \times 10^{19}}{10^{16}}\right)\,\mathrm{V} \\ &= \underline{0.205\,\mathrm{V}} \end{aligned} \tag{6}$$

und somit erhält man für das eingebaute Potential V_{bi}

$$\begin{aligned} V_{bi} &= \phi_{B0} - \phi_n \\ &= \underline{0.855\,\mathrm{V}}. \end{aligned} \tag{7}$$

Weiter hat man

$$\begin{aligned} x_n &= \sqrt{\frac{2\epsilon_{\mathrm{Si}} V_{bi}}{eN_D}} \\ &= \underline{3.32 \times 10^{-5}\,\mathrm{cm}} \end{aligned} \tag{8}$$

$$\tag{9}$$

2. Mit

$$x_n(V_R) = \sqrt{\frac{2\epsilon_{\mathrm{Si}}(V_{bi} + V_R)}{eN_D}} = 3.95 \times 10^{-5}\,\mathrm{cm} \tag{10}$$

erhält man

$$\begin{aligned} Q'(V_R) &\equiv eN_D x_n(V_R) \\ &= eN_D\sqrt{\frac{2\epsilon_{\mathrm{Si}}(V_{bi} + V_R)}{eN_D}} \\ &= 63.2\frac{\mathrm{nC}}{\mathrm{cm}^2} \end{aligned} \tag{11}$$

$$\begin{aligned} C'(V_R) &\equiv \frac{\partial}{\partial V_R} Q'(V_R) \\ &= \sqrt{\frac{e\epsilon_{\mathrm{Si}} N_D}{2(V_{bi} + V_R)}} \\ &= \underline{26.2\frac{\mathrm{nF}}{\mathrm{cm}^2}} \end{aligned} \tag{12}$$

Qualitativ hat man zwischen der Kapazität pro Fläche der PN- und der Schottky Diode keinen grossen Unterschied, da beide von der Form

$$\propto \frac{1}{\sqrt{V_{bi} + V_R}} \tag{13}$$

sind.

Aufgabe 3: 1. Das Schottky barrier lowering $\Delta\phi$ und die Position x_{max}, an der die Barriere maximal wird, berechnen sich wie folgt

$$\begin{aligned} \Delta\phi &= \sqrt{\frac{eE}{4\pi\epsilon_{\mathrm{Si}}}} \\ &= \underline{44.4mV} \end{aligned} \tag{14}$$

$$\begin{aligned} x_m &= \sqrt{\frac{e}{16\pi\epsilon_{\mathrm{Si}}E}} \\ &= \underline{1.39\,\mathrm{nm}} \end{aligned} \tag{15}$$

2. Die Sättigungsstromdichte J_{sT} einer Schottky-Diode und die Sättigungsstromdichte J_s einer PN-Diode sind über die folgenden Ausdrücke (Neamen Formel (9.28)) gegeben

$$J_{sT} = A^*T^2 \exp\left(-\frac{e\phi_{Bn}}{kT}\right) \tag{16}$$

$$J_s = \frac{eD_n n_{po}}{L_n} + \frac{eD_p p_{no}}{L_p}, \tag{17}$$

wobei A^* die effektive Richardson Konstante bezeichnet. Sowohl die Form beider Gleichungen wie auch die Mechanismen die zum Strom führen sind im Wesentlichen verschieden. Während der Strom in einer PN-Diode über die Diffusion von Minoritätsladungsträger entsteht, wird der Strom in einer Schottky Diode mittels thermischer Emission von Majoritätsladungsträger über eine Potentialbarriere erzeugt.

3. Die Minoritätsladungsträger in der PN-Diode ergeben

$$\begin{aligned} p_{no} &= \frac{n_i^2}{N_D} \\ &= \underline{4.34 \times 10^2\,\mathrm{cm}^{-3}} \end{aligned} \tag{18}$$

$$\begin{aligned} n_{po} &= \frac{n_i^2}{N_A} \\ &= \underline{6.67 \times 10^4\,\mathrm{cm}^{-3}}. \end{aligned} \tag{19}$$

Die Richardson Konstante berechnet sich wie folgt

$$A^* = \frac{4\pi e m_n^* k_B^2}{(2\pi)^3\hbar^3} = 130.0\,\frac{A}{K^2cm^2}, \tag{20}$$

wobei $\hbar = 6.575 \times 10^{-16}eVs$, $k_B = 8.62 \times 10^{-5}eV/K$, $m_n^* = 1.08m_e$ und $m_e = 9.11 \times 10^{-31}kg$.

Für die Sättigungsstromdichte J_s und J_{sT} erhält man dann

$$\begin{aligned} J_s &= \frac{eD_n n_{po}}{L_n} + \frac{eD_p p_{no}}{L_p}, \\ &= \underline{0.167 \frac{nA}{cm^2}} \qquad (21) \\ J_{sT} &= A^* T^2 \exp\left(-\frac{e\phi_{Bn}}{kT}\right) \\ &= \underline{2.56 \frac{mA}{cm^2}} \qquad (22) \end{aligned}$$

Man sieht, dass J_s in unserem typischen Beispiel um einige Grössenordnungen kleiner ist als das J_{sT}. Somit besitzt die PN-Diode, zumindest in diesem Beispiel, bessere gleichrichtende Eigenschaften. Das war unter anderem ein Grund, warum die Metall-Halbleiter Diode von der PN-Diode ersetzt wurde.