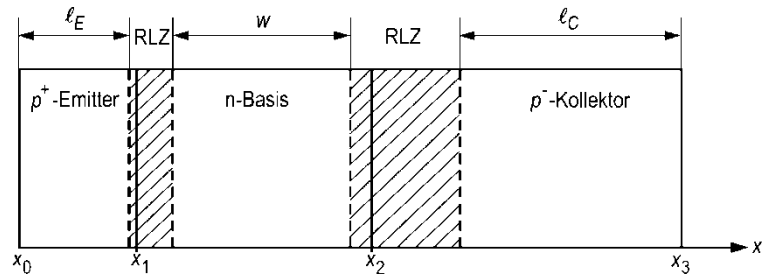


Übungsblatt 14

Aufgabe 1: Bipolartransistor

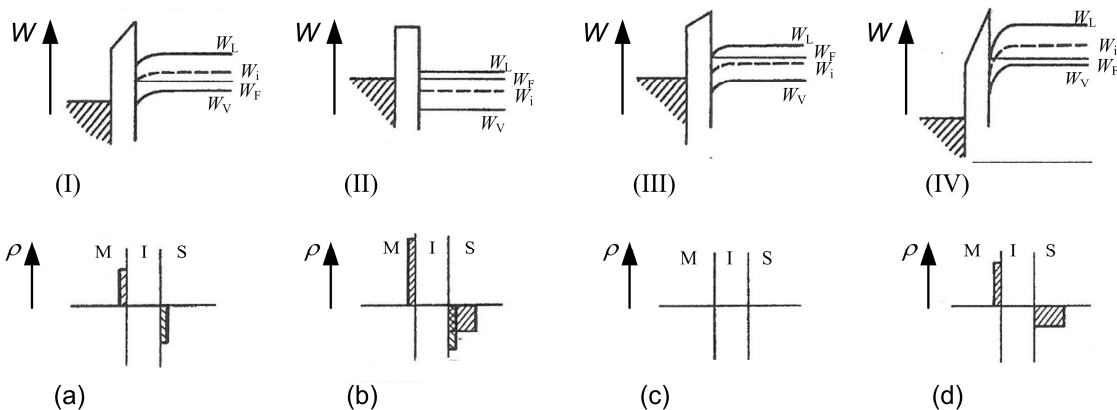


Betrachtet wird ein *pnp*-Transistor aus Silizium. Die Dotierungen von Emitter, Basis und Kollektor betragen $n_{AE} = 1 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, $n_{DB} = 2 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $n_{AC} = 5 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$. Die zugehörigen physikalischen Längen betragen $(x_1 - x_0) = 1 \text{ } \mu\text{m}$, $(x_2 - x_1) = 0,2 \text{ } \mu\text{m}$, $(x_3 - x_2) = 3 \text{ } \mu\text{m}$. Gehen Sie im Folgenden davon aus, dass die Schottky-Näherung gilt, Störstellenerschöpfung vorliegt und die Temperatur $T = 300 \text{ K}$ beträgt. Die intrinsische Ladungsträgerdichte beträgt $n_i = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$.

- 1.1 Skizzieren Sie den Verlauf von Valenzband, Leitungsband und Fermi-Niveau für eine Basis-Emitter-Spannung $U_{BE} = 0 \text{ V}$ und eine Basis-Kollektor-Spannung $U_{BC} = 0 \text{ V}$. Markieren Sie die Raumladungszonen.
- 1.2 Nun wird eine Basis-Emitter-Spannung $U_{BE} = -0,7 \text{ V}$ und eine Basis-Kollektor Spannung $U_{BC} = 0,8 \text{ V}$ angelegt.
 - (a) Werden die Übergänge dabei jeweils in Sperr- oder Durchlassrichtung gepolt? Welcher Betriebszustand des Transistors ergibt sich?
 - (b) Werden die Raumladungszonen kleiner oder größer im Vergleich zu $U_{BE} = U_{BC} = 0$?
 - (c) Skizzieren und beschriften Sie die Bandverläufe, sowie die Quasi-Fermi-Niveaus.
 - (d) Skizzieren und beschriften Sie den Verlauf der Trägerdichten außerhalb der Raumladungszonen.

Aufgabe 2: MOSFET und MIS-Struktur

- 2.1 Im Folgenden sind vier verschiedene Metall-Isolator-Halbleiter-(MIS-)Strukturen skizziert. Ordnen Sie den Bandverläufen (I) bis (IV) die Ladungsträgerverteilungen (a) bis (d) zu. Bestimmen Sie dabei, welche Dotierung (*n* oder *p*) im Halbleiter vorliegt. W_F bezeichnet die Fermi-Energie, W_i die Mitte der Bandlücke.



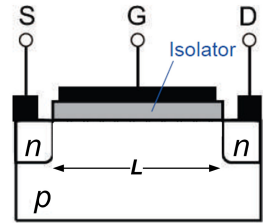
- 2.2 Ordnen Sie die gezeigten Bandverläufe den folgenden Betriebszuständen der MIS-Struktur zu: Verarmung, Anreicherung, starke Inversion, Flachbandfall.

Bei einem n -Kanal MOSFET beträgt die Kanallänge $L = 2\ \mu\text{m}$, die Kanalbreite $b = 15\ \mu\text{m}$ (senkrecht zur Zeichenebene), und der Kapazitätsbelag des Gates wird mit $C' = 6,9 \cdot 10^{-8}\ \text{F}/\text{cm}^2$ angegeben.

Für eine Drain-Source-Spannung von $U_{\text{DS}} = 0,1\ \text{V}$ werden im ohmschen Bereich die folgenden Drainströme I_{D} gemessen:

Arbeitspunkt 1: $U_{\text{GS}} = 1,5\ \text{V}$, $I_{\text{D}} = 35\ \mu\text{A}$;

Arbeitspunkt 2: $U_{\text{GS}} = 2,5\ \text{V}$, $I_{\text{D}} = 75\ \mu\text{A}$.



2.3 Berechnen Sie für den oben beschriebenen MOSFET die Schwellenspannung U_{th} und die Elektronenbeweglichkeit μ_n im Kanal.

2.4 An das oben beschriebene Bauteil wird eine Gate-Source-Spannung von $U_{\text{GS}} = 2,5\ \text{V}$ angelegt. Berechnen Sie die Drain-Source-Spannung, bei welcher der Sättigungsbereich beginnt, sowie den Sättigungsstrom.

Aufgabe 3: Beleuchtete Halbleiterprobe

Eine $6\ \mu\text{m}$ lange Siliziumprobe ist an beiden Enden metallisiert. Eine externe Spannung ist nicht angelegt. Die Probe wird räumlich inhomogen in einer Weise beleuchtet, dass die stationäre Überschussminoritätsträgerdichte $n'_p(x)$ den folgenden Verlauf zeigt:

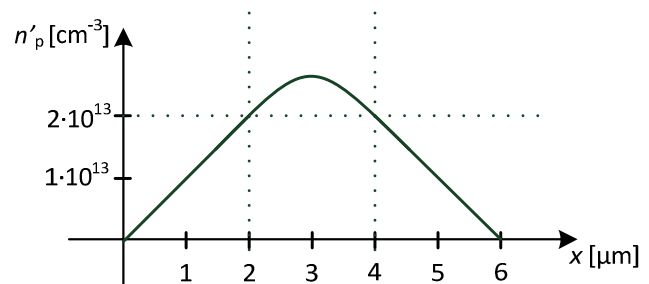
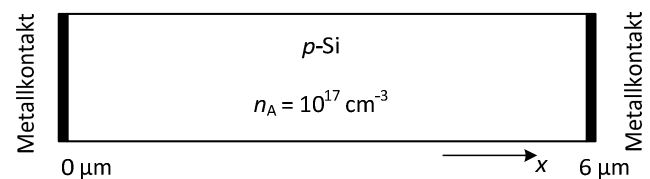
$$n'_p(x) = \begin{cases} 10^{25}\ \text{m}^{-4} x & \text{für } 0\ \mu\text{m} \leq x \leq 2\ \mu\text{m} \\ 2,5 \cdot 10^{19}\ \text{m}^{-3} - 0,5 \cdot 10^{31}\ \text{m}^{-5} (x - 3\ \mu\text{m})^2 & \text{für } 2\ \mu\text{m} < x \leq 4\ \mu\text{m} \\ 10^{25}\ \text{m}^{-4} (6\ \mu\text{m} - x) & \text{für } 4\ \mu\text{m} < x \leq 6\ \mu\text{m} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Die Probe ist p -dotiert mit einer Dichte von $n_A = 10^{17}\ \text{cm}^{-3}$. Die Beweglichkeit der

Elektronen ist $\mu_n = 1600\ \frac{\text{cm}^2}{\text{Vs}}$, die der Löcher

$\mu_p = 800\ \frac{\text{cm}^2}{\text{Vs}}$. Die Eigenleitungsträgerdichte

ist $n_i = 10^{10}\ \text{cm}^{-3}$ und die Diffusionslänge der Minoritätsträger beträgt $L_n = 60\ \mu\text{m}$. Nehmen Sie für alle Berechnungen schwache Injektion an und gehen Sie davon aus, dass sich die Probe im stationären Zustand befindet. Die Temperatur beträgt $T = 300\ \text{K}$ und es liegt Störstellenerschöpfung vor.



3.1 Berechnen Sie die Diffusionskonstanten D_n und D_p sowie die Minoritätsträgerlebensdauer τ_n des Halbleiters.

3.2 Berechnen Sie den Verlauf der Minoritätsträgerstromdichte $J_n(x)$ im Intervall $0 < x < 6\ \mu\text{m}$ und skizzieren Sie den Verlauf. Verwenden Sie dabei sinnvolle Näherungen und begründen Sie Ihr Vorgehen.

3.3 Welche Überschussmajoritätsträgerdichte $p'_p(x)$ und Majoritätsträgerstromdichte $J_p(x)$ stellen sich im stationären Zustand ein? Verwenden Sie sinnvolle Näherungen und begründen Sie Ihr Vorgehen. (2,5 Punkte)

3.4 Berechnen Sie den Verlauf der Generationsfunktion $g_L(x)$ im Intervall $0 < x < 6\ \mu\text{m}$ unter Vernachlässigung der Rekombination im Volumen des Halbleiters. Gehen Sie davon aus, dass sich die Probe nach wie vor im stationären Zustand befindet.