

Lösung zum Übungsblatt 13

Aufgabe 1) MIS-Struktur

Eine MIS-Struktur besteht aus einem Metall, einem raumladungsfreien Isolator der Dicke $d_I = 50 \text{ nm}$ und einem Halbleiter. Der Halbleiter sei n-dotiert mit $n_D = 5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. Die intrinsische Ladungsträgerdichte betrage $n_i = 1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ und der Bandabstand sei $W_G = 1.1 \text{ eV}$. Gehen Sie von Störstellenerschöpfung und Raumtemperatur aus. Die Elektronenaffinitäten von Halbleiter und Isolator weisen eine Differenz von $W_{\chi, \text{HL}} - W_{\chi, \text{Isolator}} = 1 \text{ eV}$ auf. Die Differenz der Elektronenaffinität des Isolators und der Austrittsarbeit des Metalls beträgt $W_{\phi, \text{Metall}} - W_{\chi, \text{Isolator}} = 2 \text{ eV}$. Im Folgenden bezeichnen $x = x_{\text{M-I}}$ und $x = x_{\text{I-HL}} = d_I$ die Grenzflächen zwischen Metall und Isolator bzw. zwischen Isolator und Halbleiter, siehe untenstehende Grafik.

- a) Skizzieren Sie die Bandverläufe im sogenannten Flachbandfall bei dem weder im Metall noch im Halbleiter Oberflächenladungen auftreten und daher alle Bänder flach verlaufen. Nutzen Sie hierzu die untenstehende Zeichnung.

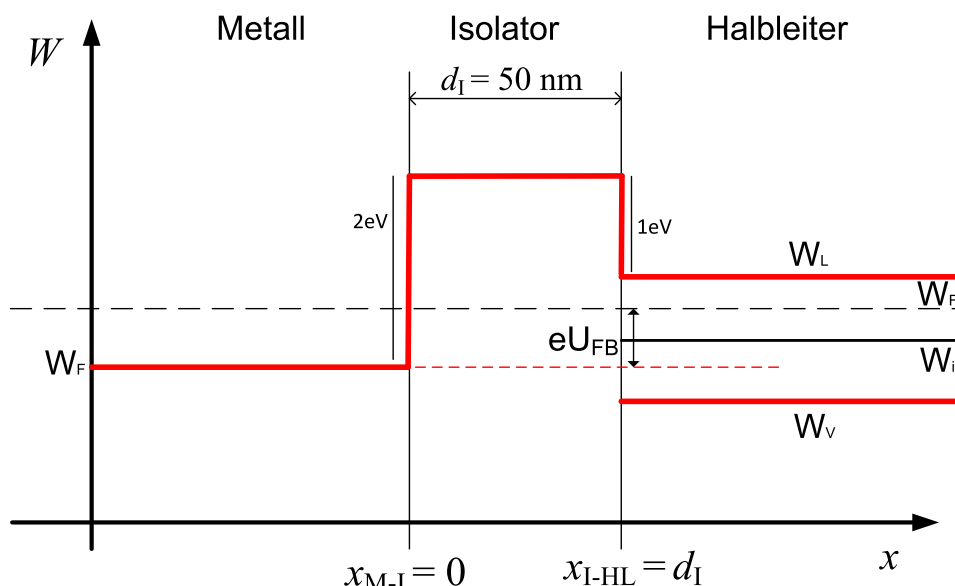


Fig. 1: MIS Struktur im Flachbandfall

- b) Berechnen Sie die Spannung $U_{\text{MH}} = U_{\text{FB}}$, die über einen äußeren Stromkreis zwischen Metall und Halbleiter angelegt werden muss, um den Flachbandfall zu erreichen. Gehen Sie davon aus, dass die äquivalenten Zustandsdichten von Leitungs- und Valenzband des Halbleiters gleich groß sind, $N_L = N_V$.

Lösung:

Zur Lösung muss man den energetischen Abstand von Leitungsband und Fermi-niveau

$$(W_L - W_F) \text{ im Halbleiter kennen. Dieser ist } (W_L - W_F) = -kT \ln \left(\frac{n_D}{N_L} \right)$$

Das unbekannte N_L erhält man aus:

$$n_i^2 = N_L N_V \exp\left(-\frac{W_G}{kT}\right) = N_L^2 \exp\left(-\frac{W_G}{kT}\right)$$

$$N_L = \sqrt{\frac{n_i^2}{\exp\left(\frac{W_G}{kT}\right)}} = 5.4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$$

$$\rightarrow (W_L - W_F) = -kT \ln\left(\frac{n_D}{N_L}\right) = 175 \text{ meV}$$

Damit lässt sich die Spannung U_{FB} direkt aus dem Diagramm zum Flachbandfall ablesen:

$$2 \text{ eV} = 1 \text{ eV} + (W_L - W_F) + eU_{FB}$$

$$U_{FB} = \frac{2 \text{ eV} - 1 \text{ eV} - (W_L - W_F)}{e} = 0.825 \text{ V}$$

- c) Nun werden Metall und Halbleiter über den äußeren Stromkreis kurzgeschlossen, $U_{MH} = 0$. In diesem Fall sei der Halbleiter am Übergang zum Isolator eigenleitend, d.h. $n(x_{I-HL}) = n_i$. Wie groß ist die Potentialdifferenz $\varphi_H = \varphi(x_{I-HL}) - \varphi(x \rightarrow \infty)$ zwischen dem ungestörten HL und der Grenzfläche zum Isolator? Skizzieren Sie die Bandverläufe im thermischen Gleichgewicht in die untenstehende Zeichnung.

Lösung:

Der Halbleiter ist an der Oberfläche eigenleitend. Das heißt, dort gilt $W_i(x_{I-HL}) = W_F$.

$$\varphi_H = \frac{W_G}{2} - (W_L - W_F) = 375 \text{ meV}$$

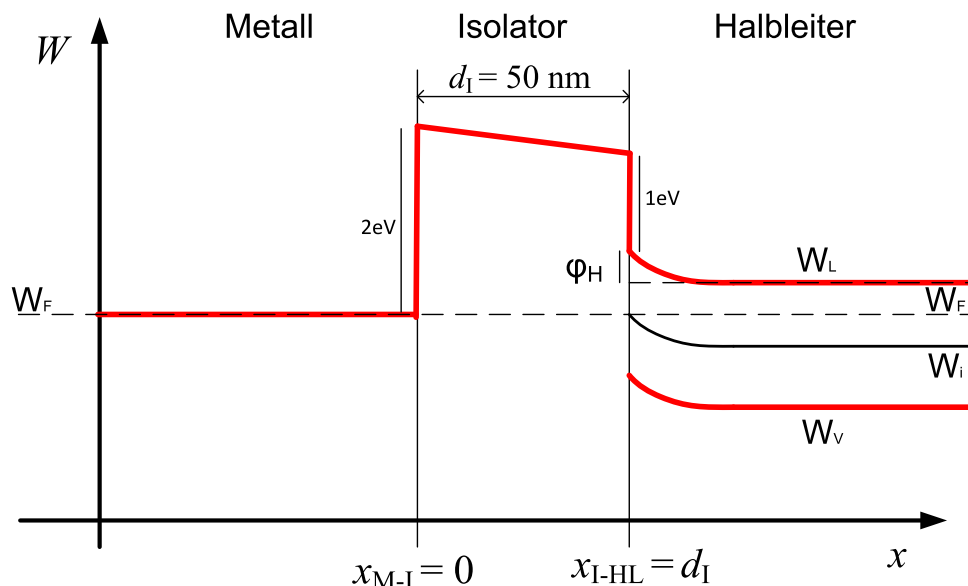


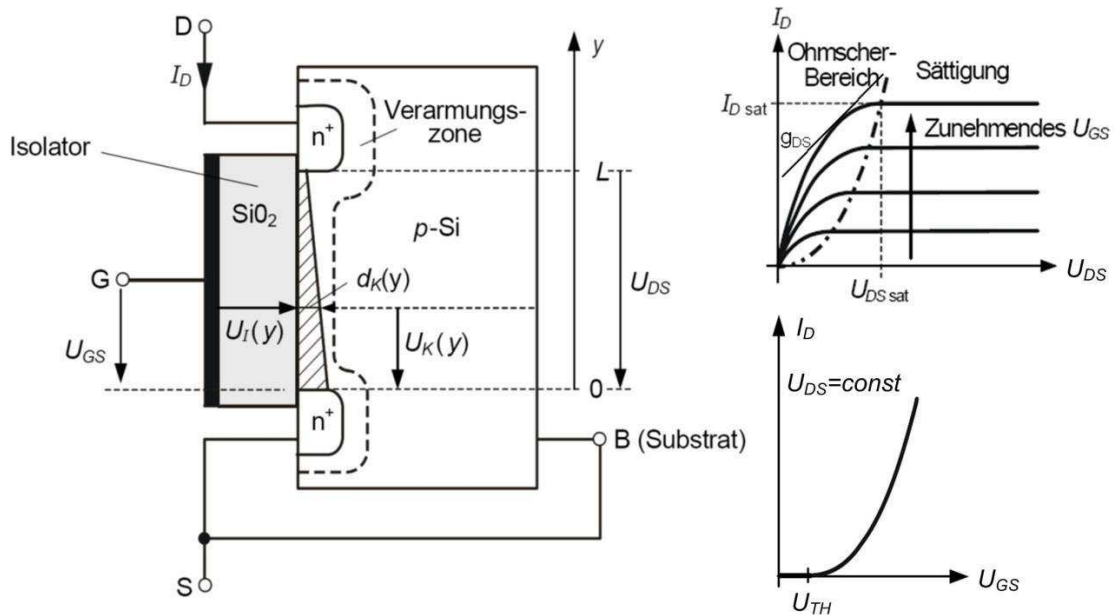
Fig. 2: MIS Struktur im thermischen Gleichgewicht

Aufgabe 2) MOSFET

Ein n-Kanal MOSFET weist eine Kanallänge von $L = 2 \mu\text{m}$ und eine Kanalweite von $b = 30 \mu\text{m}$ auf. Die Einsatzspannung beträgt $U_{th} = 1,4 \text{ V}$; die Elektronenbeweglichkeit μ_n im Inversionskanal beläuft sich auf $600 \text{ cm}^2/(\text{Vs})$. Die relative Dielektrizitätszahl des Gate-Oxids beträgt $\epsilon_r = 3,9$.

- a) Skizzieren Sie einen Querschnitt durch den MOSFET, tragen Sie die Dotierungen ein und beschriften Sie die für die Funktion relevanten Elemente. Skizzieren Sie das Ausgangskennlinienfeld, d.h. den Drainstrom I_D als Funktion der Drain-Source Spannung U_{DS} mit der Gate-Source Spannung U_{GS} als Parameter.

Lösung:



Formelhaft für n-MOSFET:

Skript Gl. 10.6 angepasst (Vorzeichen für alle Ströme und Spannungen kehren sich um):

$$I_D = -\frac{\mu_n b}{2L} C'_I \left[U_{DS}^2 - 2U_{DS} (U_{GS} - U_{th}) \right] \quad \text{für feste } U_{GS} \text{ und } U_{th}$$

$$\text{mit } C'_I = \frac{\epsilon}{d_I} \quad d_I = \text{Dicke des Gateoxids}$$

Ohmscher Bereich: $U_{GS} \geq U_{th} \Rightarrow U_{DS} \leq U_{GS} - U_{th}$

Kleinsignalwiderstand $r_{DS} = 1/g_{DS} \quad g_{DS} = \frac{dI_D}{dU_{DS}} = \frac{\mu_n b \epsilon}{L d_I} [U_{GS} - U_{th} - U_{DS}]$

- b) Berechnen Sie die Dicke d des Gate Oxids, für die der MOSFET bei $U_{DS} = 3 \text{ V}$ und $U_{GS} = 6 \text{ V}$ den Kleinsignalwiderstand $r_{DS} = 100 \Omega$ zwischen Source und Drain annimmt. Wie muss die Dicke d angepasst werden, um bei einer Drain-Source Spannung von $U_{DS} = 4 \text{ V}$, bzw. $U_{DS} = 5 \text{ V}$ den gleichen Kleinsignalwiderstand zu erhalten?

Geg.: $U_{GS} = 6 \text{ V}$, $r_{DS} = 100 \Omega$, $\epsilon_r(\text{SiO}_2) = 3,9$, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-14} \text{ F/cm}$

Fall 1: $U_{DS} = 3 \text{ V}$ **Fall 2:** $U_{DS} = 4 \text{ V}$ **Fall 3:** $U_{DS} = 5 \text{ V}$

Ges.: Dicke des Gateoxids d_I

Lösung:

- i) Wenn MOSFET im ohmschen Bereich ist
 $\rightarrow$ Einsetzen in Formeln aus a), Auflösen nach d_I

Bitte wenden

- **Fall 1** $U_{DS} = 3 \text{ V}$ $U_{GS} \geq U_{th} \Rightarrow U_{DS} \leq U_{GS} - U_{th}$ erfüllt

$$\rightarrow d_I = \frac{\mu_n b \varepsilon_0 \varepsilon_r r_{DS}}{L} [U_{GS} - U_{th} - U_{DS}] \approx 4.95 \text{ nm}$$

- **Fall 2** $U_{DS} = 4 \text{ V}$ $U_{GS} \geq U_{th} \Rightarrow U_{DS} \leq U_{GS} - U_{th}$ erfüllt

$$\rightarrow d_I = \frac{\mu_n b \varepsilon_0 \varepsilon_r r_{DS}}{L} [U_{GS} - U_{th} - U_{DS}] \approx 1.88 \text{ nm}$$

- **Fall 3** $U_{DS} = 5 \text{ V}$ $\rightarrow$ im Sättigungsbereich!

$$\text{Steigung im Kennlinienfeld } g_{DS} = 0 \Rightarrow g_{DS} \neq \frac{1}{r_{DS}}$$

$\rightarrow$ es gibt keine Dicke d_I für die eine Lösung möglich wäre!

Am Freitag, den 12.02.2016 findet um 14.00 Uhr eine Fragestunde im NTI Hörsaal statt. Fragen können Sie vorher per E-Mail an tobias.harter@kit.edu, s.wolf@kit.edu oder sascha.muehlbrandt@kit.edu senden.