Семинар №6
Твердотельная электроника

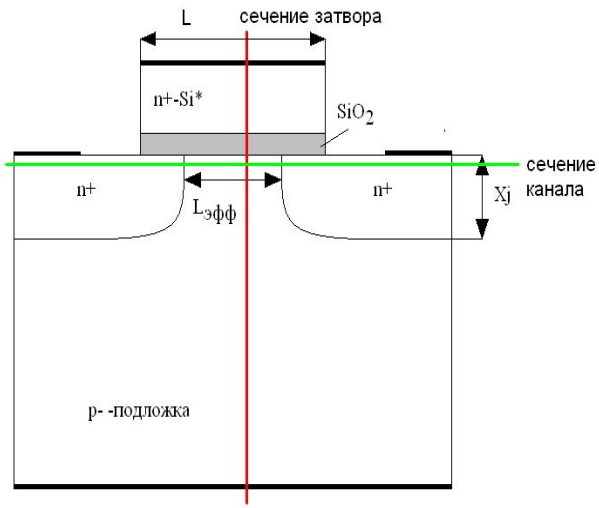
a_kras@org.miet.ru

Задание 3

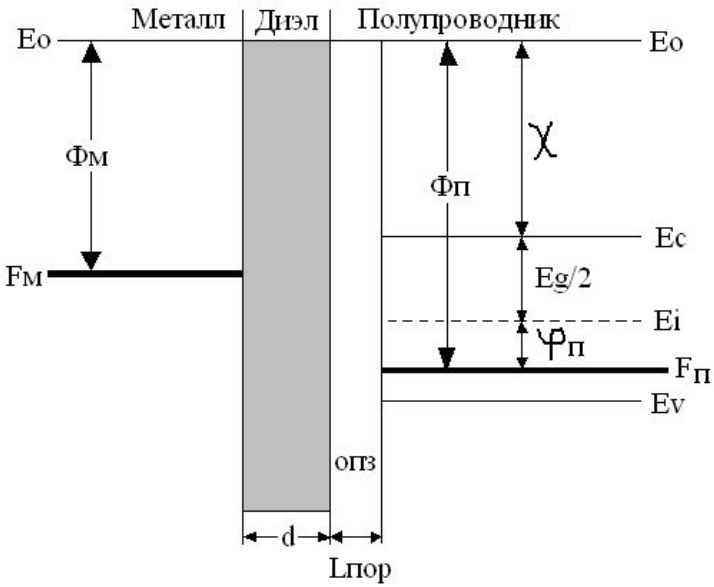
Дано: заданы параметры МДП-структуры:

Затвор		Исток, сток	Подложка		Подзатворный диэлектрик		
материал	$\Phi_м$, эВ		тип	$N_{подл}$, см$^{-3}$	d, нм	ε_d	N_{ss}, см$^{-2}$
N+-Si*	-	N+	P	1,E+15	100	4	1,0E+10

Построить зонную диаграмму МДП-структуры и рассчитать Vt0



Вид МДП-транзистора



Упрощенная зонная диаграмма МДП-структуры в вертикальном сечении затвора

- Fм, Fп – уровни Ферми в затворе и подложке
-Фм=Eo-Fм, Фп=Eo-Fп – работы выхода из затвора и подложки
-Eg=1.12эВ – ширина запрещенной зоны Si
- X=4.05 эВ – сродство к электронам Si

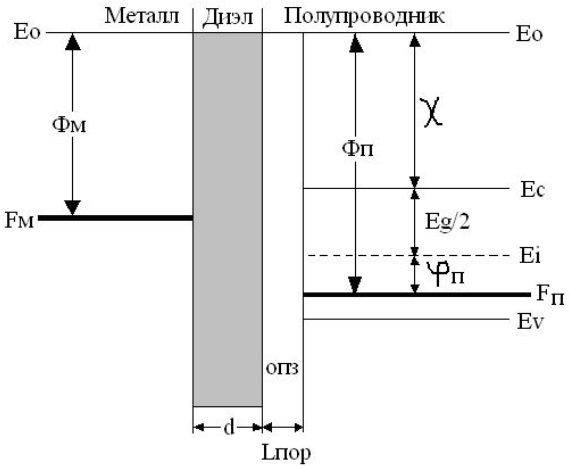
Задание 3

Варианты расчета работы выхода из затвора Фм

- Затвор металлический, Фм – определяется из справочных данных (4.1 эВ для алюминия)
- Затвор n+-Si*, $F_м = E_c$, $Ф_м = \chi = 4.05$ эВ (сродство к электронам)
- Затвор p+-Si*, $F_м = E_v$, $Ф_м = \chi + E_g = 4.05 + 1.12 = 5.17$ эВ

Варианты расчета работы выхода из подложки Фп

- подложка p-типа, Фп = χ + Eg/2 + φп (как видно из зонной диаграммы)
- подложка n-типа, Фп = χ + Eg/2 - φп ;



Расчет потенциала подложки Fin

$$Fin = \varphi_n = \varphi_t \cdot \ln(\frac{N_n}{n_i}) = 0.0258 \cdot \ln(\frac{10^{15}}{10^{10}}) = 0.29B$$

Расчет составляющих пороговое напряжение слагаемых

$$U_{mn} = \frac{\Phi_m - \Phi_n}{e} = 4.05 - (4.05 + 0.56 + 0.29) = -0.84B$$

$$U_n = \pm 2 \cdot \varphi_n, (+nMOS, -pMOS) = +0.58B$$

$$Q_{ss} = e \cdot N_{ss} = 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{10} = 1.6 \cdot 10^{-9} Kl / cm^2$$

$$l_{t0} = \sqrt{\frac{2 \cdot \varepsilon\varepsilon_0 \cdot 2 \cdot \varphi_n}{e \cdot N_n}} = \sqrt{\frac{2.2 \cdot 10^{-12} \cdot 2 \cdot 0.29}{1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{15}}} = 8.9 \cdot 10^{-5} см$$

$$Q_{sn} = -e \cdot N_n \cdot l_{t0} = -1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{15} \cdot 8.9 \cdot 10^{-5} = -1.424 \cdot 10^{-8} Kl / cm^2$$

Задание 3

Расчет составляющих пороговое напряжение слагаемых

$$C_s = \frac{\varepsilon_d \cdot \varepsilon_0}{d_{ox}} = \frac{4 \cdot 8.85 \cdot 10^{-14}}{100 \cdot 10^{-7}} = 3.54 \cdot 10^{-8} [F / cm^2]$$

$$U_d = -\frac{Q_{ss} + Q_{sn}}{C_s} = -\frac{1.6 \cdot 10^{-9} - 1.4 \cdot 10^{-8}}{3.54 \cdot 10^{-8}} = 0.35B$$

Окончательный расчет Vt0

$$V_{t0}(V_{bs} = 0) = U_{mn} + U_d + U_n = -0.84 + 0.35 + 0.58 = 0.09B$$

Задание 4

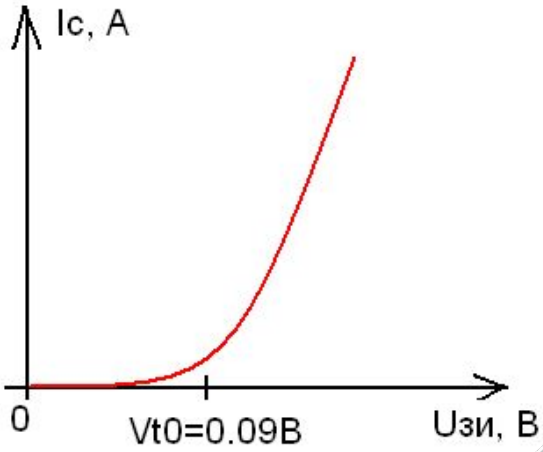
На основе расчета порогового напряжения $U_{пор0}$ определить тип канала (встроенный или индуцированный), схематично нарисовать проходную ВАХ такого транзистора ($I_c(U_{зи})$)

1. Так как подложка p-типа, то транзистор n-канальный

2. Так как Vt0>0 и транзистор n-канальный, то канал индуцированный

Виды ВАХ:

1. **Входная: Iвх(Uвх) Iз(Uзи) Ig(Ugs)**
2. **Выходная: Iвых(Uвых) Ic(Uси) Id(Uds)**
3. **Проходная: Iвых(Uвх) Ic(Uзи) Id(Ugs)**



Примерный вид проходной ВАХ nМДПТ

Задание 5

Внести изменения в конструкцию прибора чтобы довести Vt0=+1В

Решение:

1. Надо увеличить пороговое напряжение dV= +1 - (0.09) = 0.91В.
2. В нашем случае затвор сделан из n^+ - Si* и если заменить затвор на p^+ - Si*, то Vt0 увеличится на 1.12В. Vt0=0.09+1.12=1.21В
3. Теперь надо уменьшить пороговое напряжение на dV=0.21В
   Подлегируем поверхность донорами (мелко).

$$\Delta V_{t0} = -\frac{Q_{sn}}{C_s} = \frac{e \cdot D}{C_s}$$

Требуемая доза подлегирования

$$D = \Delta V_{t0} \cdot C_s / e = 0.21 \cdot 3.54 \cdot 10^{-8} / (1.6 \cdot 10^{-19}) = 4.6 \cdot 10^{10}\, cm^{-2}$$

$$D = \Delta N \cdot \Delta x$$

$$\Delta N = \frac{D}{\Delta x}$$

Следует обратить внимание на выбор

$\Delta X << l_{t0}$

Можно взять $\Delta X = 0.1 \cdot l_{t0}$ =8.9e-6 см,

тогда $\Delta N = 5.1 \cdot 10^{15}$ см$^{-3}$

Дополнительные задания к семинару 6

1. Эти задания необязательны
2. Нужно в программе Sim1D выполнить расчеты характеристик МОП-структуры
3. При выполнении работы рекомендуется изучить **лабораторные работы №7 и № 8** в программе Sim1D в дисциплине МЭТТЭ.

(Описание работы выложено в ОРИОКС – МЭТТЭ)