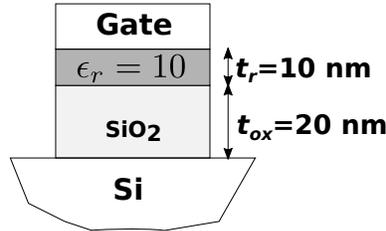


ESAME TELEMATICO DI DISPOSITIVI ELETTRONICI

22 Settembre 2020

Si consideri un condensatore MOS ideale con $N_A = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$.

Il dielettrico è costituito per 20 nm da ossido di silicio, e per 10 nm da un materiale con $\epsilon_r = 10$ (vedi figura).



1) Determinare l'andamento (quantitativo) del campo elettrico alla soglia dell'inversione, ed eseguirne un grafico. Determinare inoltre l'espressione ed il valore della tensione di soglia. [15]

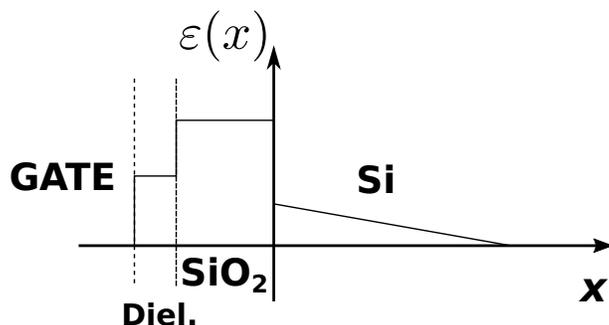
2) Determinare la concentrazione di elettroni alla superficie del silicio per $V_{GB} = V_{TH}/2$. [10]

3) Determinare l'espressione della tensione di soglia nel caso sia presente una carica Q_{ox} all'interfaccia ossido-silicio. [5]

SOLUZIONE

1) Alla superficie del silicio (all'interfaccia ossido-silicio) avremo che il campo elettrico $\epsilon(x = 0) = -\frac{Q_{Si}(2\psi_B)}{\epsilon_{si}}$. Nell'ossido il campo elettrico è dato da $\epsilon_{ox} = -\frac{Q_{Si}(2\psi_B)}{\epsilon_{ox}}$, mentre nel dielettrico con $\epsilon_r = 10$ avremo $\epsilon_{diel} = -\frac{Q_{Si}(2\psi_B)}{\epsilon_r \epsilon_0}$. Dunque:

$$\begin{aligned}\psi_B &= 2V_T \ln \frac{N_A}{n_i} = 0.347 \text{ V} \\ Q(2\psi_B) &= -\sqrt{2\epsilon_S i q N_A 2\psi_B} = -0.484 \text{ mC/m}^2 \\ \epsilon(x = 0^+) &= -\frac{Q_{Si}(2\psi_B)}{\epsilon_{si}} = 4.6 \text{ MV/m} \\ \epsilon_{ox} &= -\frac{Q_{Si}(2\psi_B)}{\epsilon_{ox}} = 14.0 \text{ MV/m} \\ \epsilon_{diel} &= -\frac{Q_{Si}(2\psi_B)}{\epsilon_r \epsilon_0} = 5.5 \text{ MV/m}\end{aligned}$$



L'andamento è rappresentato in figura.

Per quanto riguarda l'espressione della tensione di soglia avremo semplicemente (all'inversione $V_{Si} = 2\psi_B$):

$$\begin{aligned}
 V_{TH} &= V_{ox} + V_{diel} + V_{Si} \\
 V_{TH} &= \frac{\epsilon_{ox} t_{ox} + \epsilon_{diel} t_r}{C_{ox}} + V_{Si} \\
 V_{TH} &= \frac{\sqrt{2\epsilon_s q N_A 2\psi_B}}{C_{ox}} + \frac{\sqrt{2\epsilon_s q N_A 2\psi_B}}{C_r} + 2\psi_B
 \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned}
 C_{ox} &= \frac{\epsilon_{ox}}{t_{ox}} = 5.27 \times 10^{-3} \text{ F/m} \\
 C_r &= \frac{\epsilon_r \epsilon_0}{t_r} = 8.85 \times 10^{-3} \text{ F/m}
 \end{aligned}$$

Quindi possiamo scrivere:

$$V_{TH} = \left(\frac{1}{C_{ox}} + \frac{1}{C_r} \right) \sqrt{2\epsilon_{Si} q N_A 2\psi_B} + 2\psi_B = 0.84 \text{ V} \quad (1)$$

2) Bisogna determinare V_S per $V_{GB} = V_{TH}/2$, e poi determinare $n_s = n_0 e^{\frac{V_S}{V_T}}$. Trascurando la carica mobile, come si fa usualmente per $V_{GS} \leq V_{TH}$:

$$\frac{V_{TH}}{2} = \left(\frac{1}{C_{ox}} + \frac{1}{C_r} \right) \sqrt{2\epsilon_{Si} q N_A V_S} + V_S \quad (2)$$

si ottiene per V_S il valore accettabile $V_S = 0.32$. Quindi abbiamo:

$$n_s = n(x=0) = \frac{n_i^2}{N_A} e^{\frac{V_S}{V_T}} = 5.35 \times 10^{15} \text{ 1/m}^3 \quad (3)$$

3) Dato che l'effetto dei due dielettrici (l'ossido e quello con $\epsilon_r = 10$) è quello di due condensatori in serie ($\frac{1}{C_{tot}} = \frac{1}{C_{ox}} + \frac{1}{C_r}$), l'espressione della tensione di soglia si può scrivere come:

$$V_{TH} = \left(\frac{1}{C_{ox}} + \frac{1}{C_r} \right) \sqrt{2\epsilon_{Si}qN_A2\psi_B} + 2\psi_B - \left(\frac{1}{C_{ox}} + \frac{1}{C_r} \right) Q_{ox} \quad (4)$$