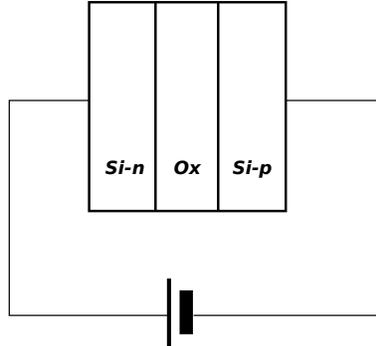


ESAME TELEMATICO DI DISPOSITIVI ELETTRONICI

11 Giugno 2020

Un condensatore è realizzato con un dielettrico (SiO_2 , $t_{ox} = 30 \text{ nm}$) e due armature di silicio, una n e l'altra p .



1) Determinare la tensione di soglia (modulo e segno) nel caso in cui sia $n = n^+$, $p = N_A = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ e nel caso in cui sia $n = N_D = 2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, $p = p^+$. [8]

Nel caso in cui sia $n = N_D = 2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ e $p = N_A = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, viene applicata la tensione tale che entrambe le due armature di silicio siano in inversione (una sarà al limite dell'inversione, l'altra sarà oltre).

2) Determinare le cadute di tensione nei due pezzi di silicio, nonché le cariche fisse e mobili (in modulo e segno) in ciascuno dei due pezzi. [11]

3) Determinare la tensione di soglia V_{TH} (tensione minima per cui si ha l'inversione sia in n che in p) e la capacità ad alta frequenza per $V = V_{TH}$. [11]

SOLUZIONE

1) Si tratta di calcolare due tensioni di soglia. Calcoliamo $C_{ox} = \epsilon_{ox}/t_{ox} = 1.15 \times 10^{-3} \text{ F/m}^2$. Nel caso $n^+, p = N_A = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$:

$$\psi_{Bp} = V_T \ln \frac{N_A}{n_i} = 0.347 \text{ V}$$

$$\Phi_{MS} = -\left(\frac{E_g}{2q} + \psi_{Bp}\right) = -0.907 \text{ V}$$

$$V_{TH} = \frac{\sqrt{2\epsilon_s q N_A 2\psi_{Bp}}}{C_{ox}} + 2\psi_{Bp} + \Phi_{MS} = 0.213 \text{ V}$$

Questa tensione deve essere applicata positiva dal silicio n^+ al p . Nel caso $n = N_D = 2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, p^+ :

$$\begin{aligned}\psi_{Bn} &= V_T \ln \frac{N_D}{n_i} = 0.305 \text{ V} \\ \Phi_{MS} &= \left(\frac{E_g}{2q} + \psi_{Bn} \right) = 0.865 \text{ V} \\ V_{TH} &= -\frac{\sqrt{2\epsilon_s q N_D 2\psi_{Bn}}}{C_{ox}} - 2\psi_{Bn} + \Phi_{MS} = 0.08 \text{ V}\end{aligned}$$

Questa tensione deve essere applicata dal p^+ al silicio n .

2) Se la tensione applicata è sufficiente per portare entrambi i pezzi di silicio all'inversione, in entrambi i pezzi la caduta di tensione è pari a $2\psi_B$:

$$\begin{aligned}V_{Sn} &= 2\psi_{Bn} = 0.305 \text{ V} \\ V_{Sp} &= 2\psi_{Bp} = 0.347 \text{ V}\end{aligned}$$

Da questo si ricavano le due cariche fisse, dovute alla regione di svuotamento:

$$\begin{aligned}Q_{wn} &= \sqrt{2\epsilon_s q N_D 2\psi_{Bn}} = 2.02 \times 10^{-4} \text{ C/m}^2 \\ Q_{wp} &= -\sqrt{2\epsilon_s q N_A 2\psi_{Bp}} = -4.84 \times 10^{-4} \text{ C/m}^2\end{aligned}$$

Le due cariche, positive e negative, devono essere uguali in valore assoluto (carica totale nel condensatore nulla). Quindi vuol dire che p è alla soglia dell'inversione, per la quale è richiesta una carica minima pari a $Q_{wp} = -4.84 \times 10^{-4} \text{ C/m}^2$, e che n è oltre la soglia con $Q_{nn} + Q_{wn} = 4.84 \times 10^{-4} \text{ C/m}^2$. Quindi $Q_{nn} = 4.84 \times 10^{-4} - Q_{wn} = 2.8 \times 10^{-4} \text{ C/m}^2$.

3) La tensione di soglia sarà data da (Φ_{MS} è la differenza tra i livelli di Fermi tra n e p presi separatamente):

$$\begin{aligned}V_{TH} &= V_{Sinv\ n} + V_{Sinv\ p} - \frac{Q}{C_{ox}} + \Phi_{MS} \\ \Phi_{MS} &= -(\psi_{Bn} + \psi_{Bp}) = -0.652 \text{ V} \\ V_{TH} &= 2\psi_{Bn} + 2\psi_{Bp} + \frac{4.84 \times 10^{-4}}{C_{ox}} - 0.652 = 1.07 \text{ V}\end{aligned}$$

Per quanto riguarda la capacità differenziale (ad alta frequenza), è la serie delle tre capacità: quelle dei due pezzi di silicio e quella dell'ossido. Avremo:

$$\begin{aligned} \frac{1}{C_{tot}} &= \frac{1}{C_{ox}} + \frac{1}{C_{Si\ n}} + \frac{1}{C_{Si\ p}} \\ C_{Si\ n} &= \frac{\epsilon_{Si}}{W(2\psi_{Bn})} = \frac{\epsilon_{Si}}{\sqrt{\frac{2\epsilon_{Si}}{qN_D}} 2\psi_{Bn}} = 1.66 \times 10^{-4} \text{ F/m}^2 \\ C_{Si\ p} &= \frac{\epsilon_{Si}}{W(2\psi_{Bp})} = \frac{\epsilon_{Si}}{\sqrt{\frac{2\epsilon_{Si}}{qN_A}} 2\psi_{Bp}} = 3.49 \times 10^{-4} \text{ F/m}^2 \\ C_{tot} &= 1.02 \times 10^{-4} \text{ F/m}^2 \end{aligned}$$