

Prova scritta del 13/02/08

ESERCIZIO 1

Una giunzione p^+n a base corta è definita da: $S = 200 \times 200 \mu\text{m}^2$, $N_A = 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, $N_D = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $\mu_{nn} = 10^3 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$, $\mu_{hn} = 450 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$, X_n (distanza fra il piano di giunzione e il contatto ohmico) = $3 \mu\text{m}$.

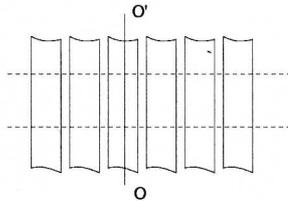
- 1) Calcolare la corrente quando $V = 0.6$ volt.
- 2) Nell'ipotesi che nella zona n ci sia neutralità di carica ricavare l'espressione del campo elettrico e calcolarne il valore.
- 3) Calcolare il tempo di transito utilizzando il modello del controllo di carica.

ESERCIZIO 2

Utilizzando il processo LOCOS:

a) descrivere i passi di processo e disegnare le maschere necessarie alla realizzazione di un CCD lineare a tre fasi. La parte di dispositivo da prendere in considerazione è quella della figura in cui le linee tratteggiate delimitano il canale di scorrimento degli elettroni. Mancano nella figura le metal che portano le fasi del clock ma che devono essere considerate nella soluzione.

b) Disegnare una sezione del dispositivo lungo la linea OO' . La precisione e la leggibilità del disegno sono elementi importanti di valutazione della soluzione.



ESERCIZIO 3

E' dato il seguente transistor NMOS: spessore ossido 20 nm , lunghezza di canale $3 \mu\text{m}$ ($W = L$), mobilità elettroni nel canale $\mu_n = 800 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, substrato $N_A = 5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, $V_{TH} = 1 \text{ V}$. Per una valutazione approssimata della corrente di diffusione nel canale, si facciano le seguenti assunzioni: a) la carica mobile per unità di superficie varia linearmente lungo il canale; b) la carica mobile è uniformemente distribuita in un layer di 2 nm di spessore ($t_l = 2 \text{ nm}$), a partire dell'interfaccia ossido-silicio.

Calcolare la corrente di diffusione, confrontandola con quella di trascinamento, nei casi:

- 1) $V_{GS} = 5 \text{ V}$ e $V_{DS} = V_{DSsat}$;
- 2) $V_{GS} = 5 \text{ V}$ e $V_{DS} = 12 \text{ V}$; valutare la regione di svuotamento drain-punto di strozzamento come dovuta alla caduta di tensione drain-punto di strozzamento.

SOLUZIONE 1

1)

$$I = \frac{qSD_h p_{n0}}{W^*} \exp\left(\frac{V}{V_T} - 1\right) \simeq \frac{qSD_h p_{n0}}{X_n - W(V)} \exp\left(\frac{V}{V_T}\right)$$

con

$$D = 0.026 \times 450 \times 10^{-4} = 1.17 \times 10^{-3} \text{ m}^2\text{s}^{-1},$$

:

$$V_0 = 0.026 \times \ln\left(\frac{10^{19} \times 10^{16}}{2.25 \times 10^{20}}\right) = 0.877 \text{ V}$$

$$I = \frac{1.6 \times 10^{-19} \times 200 \times 200 \times 10^{-12} \times 1.17 \times 10^{-3}}{\left(3 \times 10^{-6} - \sqrt{\frac{2 \times 11.8 \times 8.85 \times 10^{-12} \times (0.877 - 0.6)}{1.6 \times 10^{-19} \times 10^{22}}}\right)} \times 2.25 \times 10^{10} \times e^{\frac{0.6}{0.026}} = 6.332 \times 10^{-4} \text{ A.}$$

2) Il profilo di eccesso dei minoritari (lacune) è dato da

$$\delta p(x) = \delta p(0) \left(1 - \frac{x}{W^*}\right)$$

cui corrisponde per l'ipotesi fatta un profilo di eccesso di elettroni

$$\delta n(x) = \delta n(0) \left(1 - \frac{x}{W^*}\right)$$

con $\delta p(0) = \delta n(0)$.La corrente I è data da

$$I = -qSD_h \frac{d}{dx} \delta p(0) \left(1 - \frac{x}{W^*}\right) = \frac{qSD_h \delta p(0)}{W^*};$$

tuttavia al profilo $\delta n(x)$ corrisponde una corrente di diffusione di elettroni data dall'espressione

$$I_{ediff} = -\frac{qSD_n \delta p(0)}{W^*}$$

maggiore di I e di verso contrario. Dovrà essere

$$I_{ediff} + I_{edrift} = 0$$

e quindi

$$I_{edrift} = \frac{qSD_n \delta p(0)}{W^*} = qS\mu_{nn} \mathcal{E} (n_{n0} + \delta n(0)) \simeq qS\mu_{nn} \mathcal{E} n_{n0}$$

avendo fatto uso dell'ipotesi di bassa iniezione. Segue per il campo

$$\mathcal{E} = \frac{D_n \delta p(0)}{\mu_{nn} W^* n_{n0}} = \frac{V_T}{W^*} \frac{\delta p(0)}{n_{n0}}$$

che è costante e diretto nel verso positivo delle x .

$$\mathcal{E} = \frac{0.026}{2.81 \times 10^{-6}} \frac{2.25 \times 10^{10} \times e^{\frac{0.6}{0.026}}}{10^{22}} = 220 \text{ V/m.}$$

3)

$$\tau_t = \frac{Q}{I} = \frac{qS\delta p(0)W^*}{2} \frac{W^*}{qSD_n\delta p(0)} = \frac{W^{*2}}{2D_n} = \frac{(2.81 \times 10^{-6})^2}{2 \times 1.17 \times 10^{-3}} = 3.37 \times 10^{-9} \text{ s.}$$

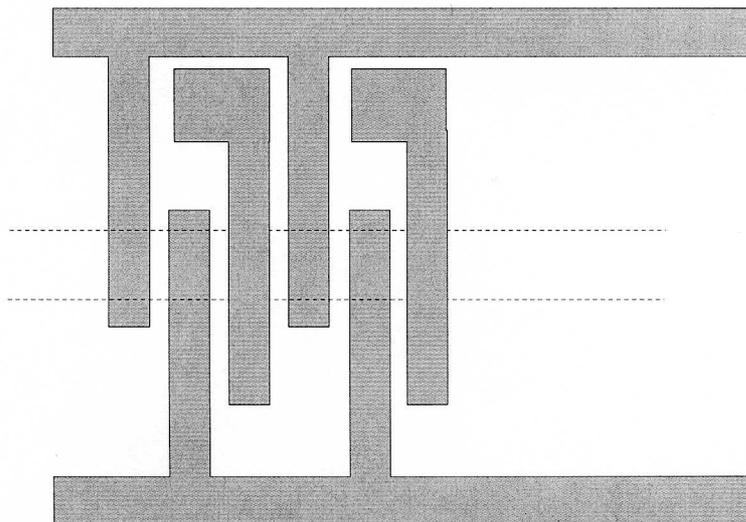
SOLUZIONE 2

a)

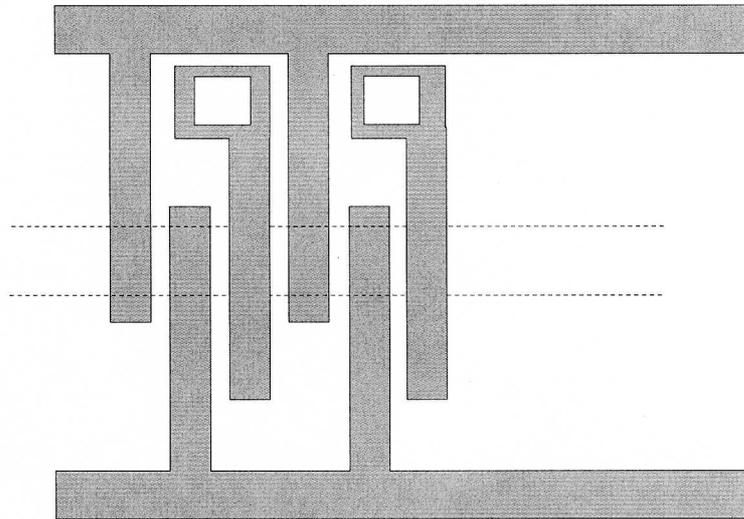
- 1) Crescita del pad oxide;
- 2) deposizione CVD del nitruro;
- 3) maschera 1 per la definizione del canale;



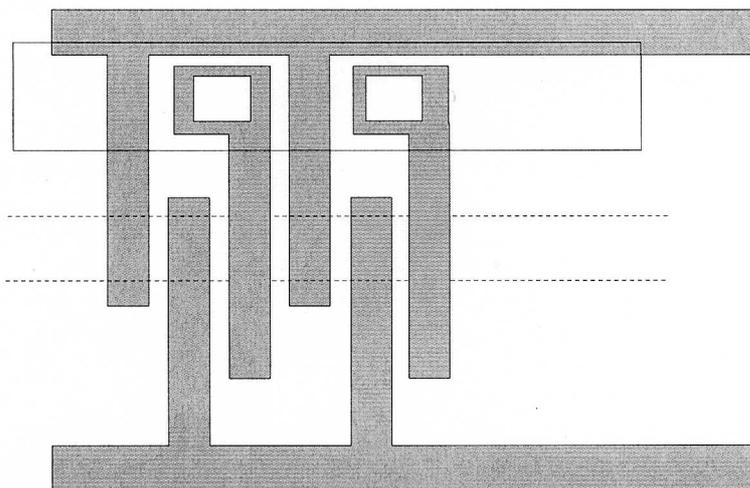
- 4) impianto di channel stop;
- 5) crescita dell'ossido di campo;
- 6) dry etching del nitruro e del pad oxide;
- 7) crescita ossido sacrificale;
- 8) wet etching del medesimo;
- 9) crescita ossido di gate;
- 10) deposizione del poly drogato oppure
- 11) drogaggio del poly;
- 12) definizione dei gate e delle metal V_1 e V_2 con la maschera 2;



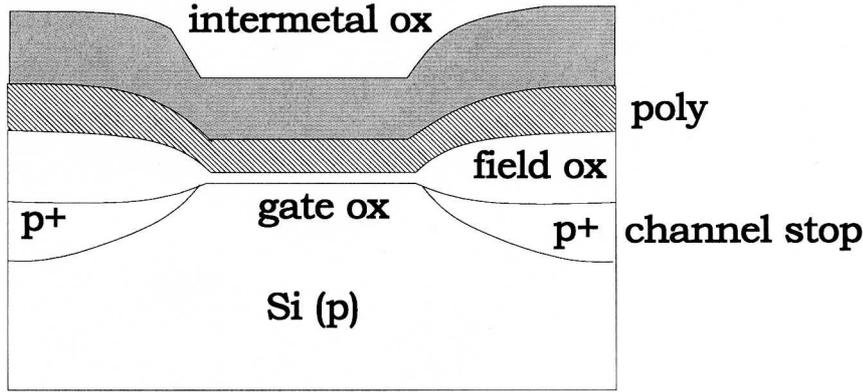
- 11) deposizione CVD di SiO_2 ;
- 12) apertura delle finestre per i gate V_3 ;



- 13) evaporazione di Al per la V_3 ;
- 14) definizione della metal V_3 con la maschera 4 (per motivi di chiarezza la maschera è stata disegnata trasparente).



b)



SOLUZIONE 3

1) La carica mobile per unità di superficie Q_n in prossimità del source è pari a:

$$Q_n(S) = C_{ox} (V_{GS} - V_T) = 6.91 \times 10^{-3} \text{ C/m}^2$$

con

$$C_{ox} = \frac{\varepsilon_{ox}}{t_{ox}} = 1.73 \times 10^{-3} \text{ F/m}^2$$

mentre in prossimità del drain la carica mobile è nulla ($Q_n(D) = 0$). La concentrazione di elettroni all'inizio del canale risulta:

$$n = \frac{Q_n(S)}{qt_l} = 2.15 \times 10^{25} \text{ m}^{-3}.$$

Poiché la carica nel canale è lineare, per calcolare la corrente di diffusione basta calcolare la derivata come la pendenza della retta. In valore assoluto:

$$I = qD_n S \frac{dn}{dy}$$

$$D_n = \frac{kT}{q} \mu_n$$

$$S = Wt_l$$

dove t_l è lo spessore dello strato di carica mobile nel canale (vedi testo). Quindi:

$$I = qD_n S \frac{n(S) - n(D)}{L} = qD_n W t_l \frac{n(S)}{L} = 14.3 \mu\text{A}.$$

Gli elettroni diffondono dal source al drain, quindi questa corrente di diffusione scorre dal drain al source. La corrente dovuta al campo elettrico (cioè la corrente standard in saturazione) risulta:

$$I_{DS} = \frac{\mu_n C_{ox} W}{2} \frac{V_{GS} - V_{TH}}{L} = 1.11 \text{ mA}$$

2) In questo caso il canale è strozzato, e la concentrazione di elettroni è nulla nel punto di strozzamento. Lo svolgimento è simile al punto precedente, ma la lunghezza di canale è ridotta della regione di svuotamento drain-strozzamento.

$$V_{DStroz} = V_{DS} - V_{DSSat} = 12 - 4 = 8 \text{ V.}$$

Per il calcolo della regione di svuotamento drain-strozzamento:

$$qV_0 = E_g - (E_F - E_V) = 0.883 \text{ V}$$

$$W_{Drain-Strozz.} = \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{qN_A} (V_0 + V_{DStrozz})} = 1.53 \text{ } \mu\text{m.}$$

Quindi la lunghezza effettiva di canale risulta:

$$L_{eff} = L - W_{Drain-Strozz.} = 1.47 \text{ } \mu\text{m.}$$

Ripetendo i passaggi precedenti (la concentrazione di elettroni in prossimità del source è inalterata):

$$I = qD_n S \frac{n(S) - n(D)}{L_{eff}} = qD_n W t_l \frac{n(S)}{L_{eff}} = 29.1 \text{ } \mu\text{A}$$

$$I_{DS} = \frac{\mu_n C_{ox}}{2} \frac{W}{L_{eff}} (V_{GS} - V_T)^2 = 2.17 \text{ mA.}$$