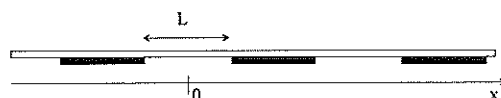


Prova scritta del 17/09/08

ESERCIZIO 1

La maschera per una metal è costituita da strisce parallele di larghezza e distanza $L = 1 \mu\text{m}$ (vedi sezione nella figura). L'intensità luminosa sul fotoresist ha l'andamento $I(x) = I_0 \cos^2\left(2\pi\frac{x}{4L}\right)$, con $I_0 = 100 \text{ mW/cm}^2$; $Q_F = 60 \text{ mJ/cm}^2$. Dopo l'esposizione ($t_0 = 1 \text{ s}$) e lo sviluppo si esegue un attacco dry completamente anisotropo. Il fotoresist non viene consumato durante l'attacco.



1) Disegnare il grafico di $I(x)$.

Ad attacco completato:

2) determinare la distanza fra le linee di metal.

3) Si supponga poi che l'attacco sia tarato in modo che la velocità di deposizione degli inibitori di reazione sia uguale alla velocità di etching dell'Al (che ha lo spessore di $0.15 \mu\text{m}$). Disegnare il profilo della metal e determinare la sua larghezza alla base.

ESERCIZIO 2

Una giunzione p^+n brusca è definita da: $N_A = 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, $N_D = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$. Detta $V = -10 \text{ V}$ la tensione inversa applicata calcolare

1) l'ampiezza x_0 della zds e il valore massimo del campo elettrico.

Si supponga poi che a partire dalla coordinata $x_1 = 1.5 \mu\text{m}$ la zona n sia drogata uniformemente con $N_{D1} = 10^{20} \text{ cm}^{-3}$.

2) Calcolare anche in questo caso il valor massimo del campo elettrico dopo averne graficato l'andamento in funzione di x .

L'asse x è orientata da p a n ; si trascurino i fenomeni di contatto fra le due zone n .

ESERCIZIO 3

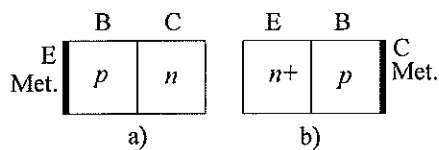
In figura sono mostrati schematicamente due dispositivi.

1) Nel caso (a) dire perchè il dispositivo non può funzionare come transistore.

2) Nel caso (b) determinare il range di funzioni di lavoro del metallo per cui (nel caso di giunzioni ideali) il dispositivo può funzionare come transistore.

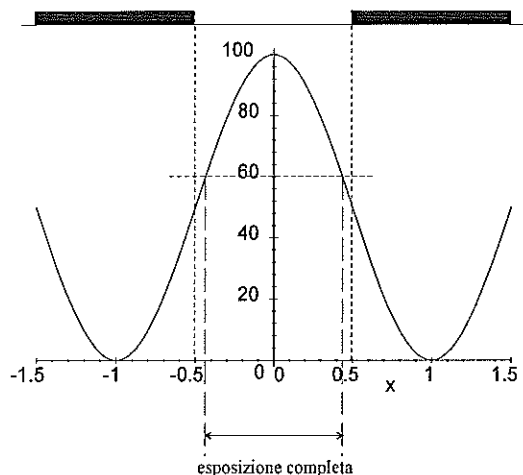
3) Nel caso (b) viene usato un metallo con funzione di lavoro pari a 4.5 eV , (drogaggio della base $N_A = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, mobilità degli elettroni nella base $\mu_n = 1000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, $\tau_n = 10^{-6} \text{ s}$, lunghezza metallurgica della base $3 \mu\text{m}$, $S = 1 \text{ mm}^2$), ed il dispositivo viene polarizzato con $I_B = 10 \mu\text{A}$ ($V_{BE} = 0.54 \text{ V}$). Calcolare la resistenza differenziale di uscita di questo dispositivo in configurazione ad emettitore comune ($\gamma = 1$).

SUGGERIMENTO: Calcolare I_C per due valori di V_{CE} , ad esempio 2 V e 5 V . Si consideri trascurabile la regione di svuotamento base-emettitore, e si consideri V_{BE} costante e pari a 0.54 V .



SOLUZIONE 1

1)



2) L'esposizione completa si ha per

$$I(x) \times t_0 = 60 \text{ mJ/cm}^2$$

ovvero per $I(x) \geq 60$.

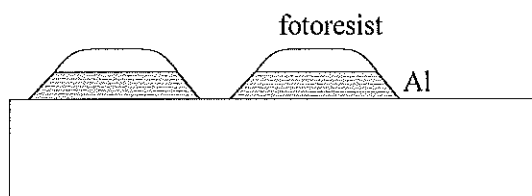
$$60 = 100 \cos^2 \left(\frac{\pi}{2} x \right)$$

si ottiene:

$$\cos^{-1}(\sqrt{0.6}) = 0.684$$

da cui $x = 2 \frac{0.684}{\pi} = 0.44 \mu\text{m}$; l'intervallo di esposizione completa è dunque di $0.88 \mu\text{m}$. La larghezza del fotoresist risulta $1 + 2 \times 0.06 = 1.12 \mu\text{m}$; dato che l'attacco dry non consuma il fotoresist la larghezza della metal avrà lo stesso valore.

3) Il profilo della metal sarà quello della figura con un angolo di 45° ; si deve tener conto quindi di una maggiore larghezza alla base di $0.15 \mu\text{m}$ per parte e quindi avremo una larghezza alla base pari a $1.12 + 0.3 = 1.42 \mu\text{m}$.



SOLUZIONE 2

$$x_0 = \sqrt{\frac{2\varepsilon_s(V_0 - V)}{qN_D}}$$

con

$$V_0 = V_T \ln\left(\frac{N_A N_D}{n_i^2}\right) = 0.026 \times \ln\left(\frac{10^{19} \times 10^{15}}{2.25 \times 10^{20}}\right) = 0.817 \text{ V};$$

$$x_0 = \sqrt{\frac{2 \times 11.8 \times 8.85 \times 10^{-12} \times (0.817 + 10)}{1.6 \times 10^{-19} \times 10^{21}}} = 3.76 \text{ } \mu\text{m}.$$

Per quanto riguarda il campo

$$V_0 - V = \frac{|\mathcal{E}_{MAX}| x_0}{2}$$

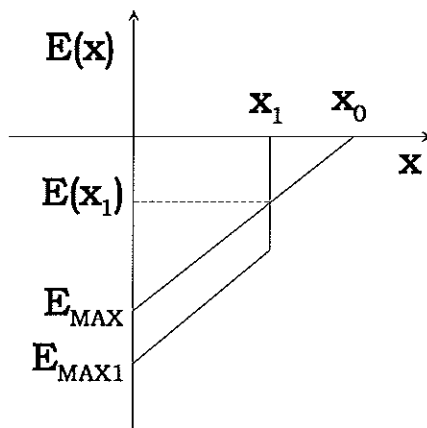
$$10.8 = \frac{|\mathcal{E}_{MAX}| \times 3.76 \times 10^{-6}}{2}$$

da cui

$$|\mathcal{E}_{MAX}| = \frac{2 \times 10.8}{3.76 \times 10^{-6}} = 5.7 \times 10^6 \text{ V/m}.$$

2) Come si è visto precedentemente la tensione non è che l'area sottesa dal campo.

L'andamento del campo in questo caso è il seguente (confrontato con quello precedente),



per cui

$$V_0 - V = \frac{(\mathcal{E}_{MAX1} + (\mathcal{E}(x_1) + \mathcal{E}_{MAX1} - \mathcal{E}_{MAX})) x_1}{2}$$

$$\mathcal{E}_{MAX1} = \frac{(V_0 - V)}{x_1} + \frac{\mathcal{E}_{MAX} - \mathcal{E}(x_1)}{2} \text{ V/m}.$$

dove si nota che a causa dell'elevato drogaggio che si ha per $x > x_1$ tutta la tensione cade praticamente fra 0 e x_1 . Si deve calcolare $\mathcal{E}(x_1)$;

$$\mathcal{E}(x) = \frac{qN_D}{\varepsilon_s}(x - x_0)$$

$$|\mathcal{E}(x_1)| = \left| \frac{1.6 \times 10^{-19} \times 10^{21}}{11.8 \times 8.85 \times 10^{-12}} \times (1.5 - 3.76) \times 10^{-6} \right| = 3.46 \times 10^6 \text{ V/m}$$

$$\mathcal{E}_{MAX1} = \frac{10.82}{1.5 \times 10^{-6}} + \frac{(5.7 - 3.46) \times 10^6}{2} = 8.33 \times 10^6 \text{ V/m.}$$

SOLUZIONE 3

1) Il comportamento di una giunzione Schottky è basato sui maggioritari; non c'è infatti iniezione di minoritari. Al contrario il principio di funzionamento del transistor bipolare è basato sull'iniezione dei minoritari dall'emettitore alla base. Quindi una giunzione metallo-semiconduttore (Schottky) non può essere usata come emettitore.

2) Nel caso del collettore invece, quando la giunzione base-collettore è polarizzata inversamente i portatori minoritari in base vengono trascinati nel metallo (dove diventano maggioritari). Quindi un collettore Schottky funziona correttamente, purché la giunzione sia rettificante, polarizzata in inversa e non-ohmica. Nel caso di giunzioni ideali, poiché la base è di tipo p dovremo avere che la funzione di lavoro del metallo Φ_M deve essere minore di quella del silicio Φ_S .

$$q\Phi_S = q\chi + E_g - (E_f - E_v) = q\chi + E_g - \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{N_V}{N_A}\right) = 5 \text{ eV}$$

Avremo dunque:

$$\Phi_M < \Phi_S = 5 \text{ V.}$$

3) Con corrente di base costante, la corrente di collettore dipende dalla lunghezza effettiva di base W_e . La corrente di collettore può essere calcolata o con il modello a controllo di carica, o valutando il fattore di trasporto α_T e, sapendo che l'efficienza di emettitore γ è unitaria, il β .

Nel caso di giunzione Schottky ($\Phi_M = 5.5 \text{ V}$) avremo:

$$V_0 = 5.0 - 4.5 = 0.5 \text{ V}$$

Nel caso $V_{CE} = 2 \text{ V}$, $V_{CB} = 1.46 \text{ V}$, mentre nel caso $V_{CE} = 5 \text{ V}$, $V_{CB} = 4.46 \text{ V}$;

$$W_{BC}(2 \text{ V}) = \sqrt{\frac{2\varepsilon_s}{qN_A}(V_{CB} + V_0)} = 0.508 \text{ } \mu\text{m}$$

$$W_{BC}(5 \text{ V}) = \sqrt{\frac{2\varepsilon_s}{qN_A}(V_{CB} + V_0)} = 0.808 \text{ } \mu\text{m}$$

e quindi:

$$W_e(2 \text{ V}) = 2.49 \text{ } \mu\text{m}$$

$$W_e(5 \text{ V}) = 2.19 \text{ } \mu\text{m}$$

Calcolando α_T e β :

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

$$L_n = \sqrt{D_n \tau_n} = 50.89 \text{ } \mu\text{m}$$

$$\alpha_T = \frac{1}{1 + \frac{W_e^2}{2L_n^2}}$$

$$\alpha_T(2 \text{ V}) = 0.998804$$

$$\alpha_T(5 \text{ V}) = 0.999075$$

$$\beta(2 \text{ V}) = 835$$

$$\beta(5 \text{ V}) = 1080$$

da cui è immediato calcolare la corrente di collettore, e la resistenza differenziale di uscita:

$$I_C(2 \text{ V}) = 8.35 \text{ mA}$$

$$I_C(5 \text{ V}) = 10.80 \text{ mA}$$

$$\frac{1}{h_{oe}} = \frac{V_{CE1} - V_{CE2}}{I_{C1} - I_{C2}} = 1224 \text{ } \Omega.$$