

**Dispositivi Elettronici**  
**Prova scritta - Quiz e domande aperte [15pt]**  
**7 gennaio 2005**

Nome: \_\_\_\_\_  
Cognome: \_\_\_\_\_  
Matricola: \_\_\_\_\_  
Firma: \_\_\_\_\_

1. (1pt) In un semiconduttore, la mobilità al crescere del campo elettrico:
  - (a) resta costante
  - (b) diminuisce
  - (c) prima aumenta e poi diminuisce
  - (d) aumenta.
  
2. (1pt) In un semiconduttore in condizioni di equilibrio termodinamico, il prodotto delle concentrazioni di elettroni in banda di conduzione e lacune in banda di valenza
  - (a) è indipendente dall'ampiezza dell'*energy gap*
  - (b) dipende dalla posizione del livello di Fermi
  - (c) dipende dalla temperatura
  - (d) dipende dal livello di drogaggio.
  
3. (1pt) Se all'equilibrio termodinamico in una regione di semiconduttore il diagramma a bande ha andamento parabolico, allora
  - (a) la regione è neutra
  - (b) la regione è drogata tipo  $n$
  - (c) nella regione la densità di carica è costante e diversa da zero
  - (d) nel semiconduttore il campo elettrico è nullo.
  
4. (1pt) In un semiconduttore drogato di tipo  $p$ , indicando con  $n_0, p_0$  le concentrazioni di elettroni e lacune all'equilibrio termodinamico e con  $n, p$  le concentrazioni dei portatori fuori equilibrio, la condizione di *basso livello di iniezione* si verifica quando:
  - (a)  $n \approx n_0, p \approx p_0$
  - (b)  $n > n_0, p \approx p_0$
  - (c)  $n \approx n_0, p > p_0$
  - (d)  $n > n_0, p > p_0$ .

5. (1pt) Una concentrazione in eccesso di portatori minoritari tende ad estinguersi nello spazio in un campione corto:
- (a) esponenzialmente con costante di decadimento pari alla lunghezza di diffusione
  - (b) esponenzialmente con costante di decadimento pari alla lunghezza fisica del campione
  - (c) linearmente
  - (d) quadraticamente
6. (2pt) Disegnare il profilo della densità di carica netta  $\rho(x)$  e del campo elettrico  $\mathcal{E}(x)$  per una giunzione  $pn$  asimmetrica all'equilibrio termodinamico, facendo uso dell'ipotesi di completo svuotamento nella regione di carica spaziale e supponendo che la concentrazione di accettori nel lato  $p$  sia la metà della concentrazione di donatori nel lato  $n$ .
7. (2pt) Disegnare l'andamento qualitativo della carica fissa  $Q_f$  accumulata nella regione di svuotamento di una giunzione  $pn$  brusca in funzione della tensione applicata. Sullo stesso grafico, riportare la corrispondente curva della capacità di svuotamento  $C_s(V)$ . Per quale ragione non è possibile osservare valori di  $C_s$  arbitrariamente grandi?

8. (1pt) In una giunzione  $pn$  in polarizzazione diretta  $V_A > 0$ , la conduttanza differenziale
- (a) aumenta con l'aumentare di  $V_A$
  - (b) è trascurabile
  - (c) diminuisce con l'aumentare di  $V_A$
  - (d) rimane pressoché costante a causa dell'aumento della caduta di potenziale sulle regioni neutre del diodo.
9. (1pt) La rottura (*breakdown*) di una giunzione  $pn$  può essere dovuta a
- (a) eccessivo valore della tensione di polarizzazione diretta
  - (b) generazione di portatori liberi nella regione di carica spaziale per effetto valanga
  - (c) eccessivo valore di corrente
  - (d) eccessivo aumento della temperatura.
10. (1pt) In un transistor bipolare  $npn$ , il guadagno di corrente nella configurazione a emettitore comune  $\beta_F$  descrive
- (a) il rapporto tra la corrente di collettore e quella di base
  - (b) la percentuale della corrente di emettitore che è dovuta all'iniezione di elettroni dall'emettitore nella base
  - (c) la frazione di corrente di elettroni iniettata dall'emettitore nella base che viene raccolta dal collettore
  - (d) il rapporto tra la corrente di elettroni e quella di lacune nella base.
11. (2pt) Disegnare la caratteristica ibrida d'uscita  $I_C(V_{CE})$  di un transistor bipolare in configurazione a emettitore comune, mettendo in evidenza la zona attiva diretta (si trascuri l'effetto Early) e la zona di saturazione.

12. (1pt) Disegnare il più semplice circuito equivalente di piccolo segnale di un transistor a effetto di campo (JFET o MOSFET) in saturazione, trascurando le capacità parassite.

**Dispositivi Elettronici**  
**Prova scritta - Esercizi [18pt]**  
**7 gennaio 2005**

Nome: \_\_\_\_\_  
Cognome: \_\_\_\_\_  
Matricola: \_\_\_\_\_  
Anno di frequenza: \_\_\_\_\_  
Firma: \_\_\_\_\_

Esercizi	Quiz	Totale

**Costanti fisiche**

$$\begin{array}{ll} h = 6.62 \times 10^{-34} \text{ Js} & \hbar = h / (2\pi) \\ k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K} & c = 3 \times 10^8 \text{ m/s} \\ m_0 = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg} & q = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C} \\ \epsilon_0 = 8.86 \times 10^{-12} \text{ F/m} & \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m} \end{array}$$

1. [7pt] Si consideri un campione di HgTe a  $T = 77\text{ K}$  ( $E_g = 0.3\text{ eV}$ ,  $N_c = N_v = 10^{17}\text{ cm}^{-3}$ ) drogato uniformemente con  $N_D = 5 \times 10^{16}\text{ cm}^{-3}$ .
- (a) [2pt] Calcolare la concentrazione intrinseca  $n_i$  a  $T = 77\text{ K}$  e  $T = 300\text{ K}$  (si trascuri la dipendenza dalla temperatura di  $E_g$ ,  $N_c$ ,  $N_v$ ).
  - (b) [2pt] Calcolare le concentrazioni di portatori  $n_0$ ,  $p_0$  all'equilibrio termodinamico a  $T = 77\text{ K}$ , supponendo che tutti gli atomi droganti siano ionizzati.
  - (c) [3pt] Disegnare il diagramma a bande all'equilibrio termodinamico a  $T = 77\text{ K}$ , quotando la distanza tra il livello di Fermi  $E_F$  e il fondo della banda di conduzione, la sommità della banda di valenza, e il livello di Fermi intrinseco.

2. [7pt] Un diodo  $p^+n$  lungo in silicio a  $T = 300\text{ K}$  ( $\epsilon_r = 12$ ,  $n_i = 1 \times 10^{10}\text{ cm}^{-3}$ ,  $\mu_n = 1000\text{ cm}^2/\text{V/s}$ ,  $\mu_h = 400\text{ cm}^2/\text{V/s}$ ,  $\tau_n = \tau_h = 10\text{ }\mu\text{s}$ ) ha i lati  $p$  ed  $n$  drogati in modo uniforme con concentrazioni  $N_A = 2 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$  e  $N_D = 1 \times 10^{16}\text{ cm}^{-3}$ , rispettivamente. Il diodo presenta una conduttanza differenziale  $g_d = 500\text{ mS}$  in corrispondenza di una tensione di polarizzazione diretta  $V_A = 0.4\text{ V}$ .
- (a) [1pt] Disegnare il circuito equivalente di piccolo segnale del diodo.
  - (b) [1pt] Calcolare la conduttanza differenziale del diodo per  $V_A = 0\text{ V}$ .
  - (c) [2pt] Calcolare la corrente inversa di saturazione del dispositivo.
  - (d) [3pt] Valutare la capacità di diffusione  $C_d$  per  $V_A = 0.6\text{ V}$  e  $V_A = 0\text{ V}$ .

3. [4pt] (solamente per gli studenti che hanno frequentato prima dell'anno accademico 2003/04.) La transconduttanza di un transistor JFET su silicio a canale  $n$  vale 50 mS per  $V_{GS} = 0$ , e si annulla per  $V_{GS} = -15$  V.
- (a) [2pt] Usando il modello quadratico, calcolare la corrente di saturazione  $I_{DSS}$ .
- (b) [2pt] Supponendo  $V_{bi} = 0.8$  V, valutare la conduttanza di canale aperto del dispositivo.

4. [4pt] (solamente per gli studenti che hanno frequentato dall'anno accademico 2003/04.)

Si consideri un transistor MOSFET di silicio a canale  $n$  a  $T = 300$  K ( $E_g = 1.2$  eV,  $n_i = 1 \times 10^{10}$  cm $^{-3}$ ,  $\epsilon_{rSi} = 11.9$ ,  $\epsilon_{rOx} = 3.9$ ,  $q\chi = 4.05$  eV) con le seguenti caratteristiche geometriche:

- larghezza:  $W = 10$   $\mu$ m;
- lunghezza:  $L = 2$   $\mu$ m;
- spessore dell'ossido:  $t_{ox} = 10$  nm.

Sapendo che la corrente di drain in saturazione, misurata in corrispondenza di due diverse tensioni  $V_{GS}$ , vale:

- $I_{DS}(V_{GS} = 3$  V) = 2 mA;
- $I_{DS}(V_{GS} = 5$  V) = 10 mA;

si calcoli la tensione di soglia  $V_{th}$  del dispositivo e la mobilità degli elettroni nel canale.