

**Dispositivi Elettronici**  
**Prova scritta - Quiz e domande aperte [19pt]**  
**20 dicembre 2004**

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

1. (1pt) In un campione di semiconduttore drogato uniformemente con atomi donatori, la ionizzazione di un atomo drogante corrisponde:
  - (a) alla cattura di un elettrone dalla banda di valenza
  - (b) alla liberazione di una lacuna verso la banda di conduzione
  - (c) alla liberazione di un elettrone verso la banda di conduzione
  - (d) alla generazione di una carica negativa fissa.
  
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 lineare, 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  $n$ , 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 lungo:
- (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 doppia rispetto alla 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 capacità di diffusione
- (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) In un transistor bipolare  $npn$ , il fattore di trasporto in base 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.
10. (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.
11. (1pt) Disegnare il più semplice circuito equivalente di piccolo segnale di un transistor bipolare in zona attiva diretta, trascurando le capacità parassite.

12. (1pt) In un sistema MOS su substrato  $p$  in forte inversione, la tensione sullo strato di ossido al crescere della tensione di gate  $V_G$
- (a) resta costante
  - (b) dipende da  $V_{DS}$
  - (c) cresce linearmente con  $V_G$ ,
  - (d) decresce con  $V_G$ .
13. (1pt) In un transistor MOS a canale  $n$ , un valore di  $\lambda$  diverso da zero determina - a parità di  $V_{GS}$  e al crescere di  $V_{DS}$ :
- (a) una diminuzione della corrente in regione di saturazione
  - (b) un aumento della corrente in regione di saturazione
  - (c) una diminuzione della tensione di soglia
  - (d) un aumento della tensione di soglia.
14. (1pt) Un transistor MOS a canale  $n$  è polarizzato con  $V_G = V_D = 4\text{ V}$ ,  $V_S = V_B = 0\text{ V}$ . Sapendo che  $V_{th} = 2.5\text{ V}$ , dire in quale regione di funzionamento opera il dispositivo:
- (a) quadratica
  - (b) interdizione
  - (c) accumulo
  - (d) saturazione.
15. (2pt) Disegnare la *transcaratteristica*  $I_{DS}(V_{GS})$  di un MOSFET a canale  $n$  normalmente on (*depletion*) in saturazione (si supponga  $V_{th} = -1\text{ V}$ ) e il corrispondente andamento della transconduttanza  $g_m(v_{GS})$

**Dispositivi Elettronici**  
**Prova scritta - Esercizi [14pt]**  
**20 dicembre 2004**

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

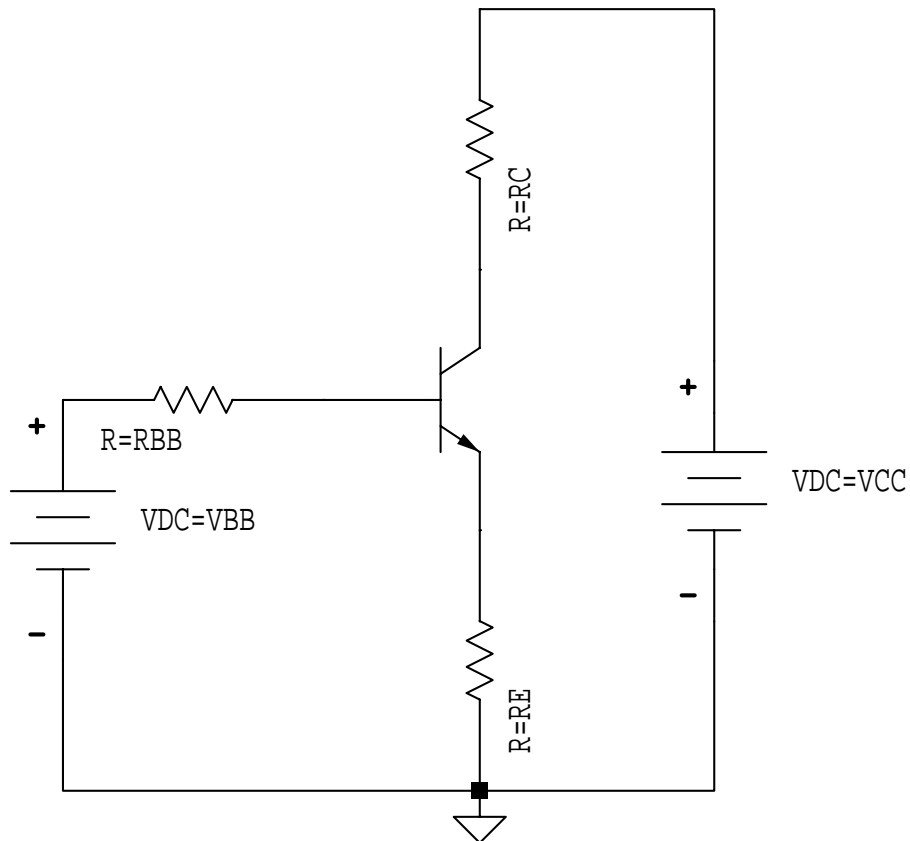
Esercizi	Quiz	Totale

**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] Un campione omogeneo di materiale semiconduttore ( $T = 300\text{ K}$ ,  $E_g = 1.2\text{ eV}$ ,  $N_c \approx N_v$ ,  $n_i = 1 \times 10^7\text{ cm}^{-3}$ ,  $\mu_n = 1000\text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ ,  $\mu_p = 200\text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ ) ha lunghezza  $L = 200\text{ }\mu\text{m}$  ed è drogato in modo uniforme con una concentrazione di atomi donatori  $N_D = 1 \times 10^{16}\text{ cm}^{-3}$  e una concentrazione di atomi accettori  $N_A = 1 \times 10^{17}\text{ cm}^{-3}$  (*semiconduttore parzialmente compensato*).
- (2pt) Determinare (all'equilibrio termodinamico) la concentrazione di elettroni e lacune nel campione, nell'ipotesi che le impurità droganti siano completamente ionizzate.
  - (1.5pt) Determinare (all'equilibrio termodinamico) la corrispondente posizione del livello di Fermi, e disegnare il diagramma a bande quotato del materiale.
  - (1.5pt) Determinare la conducibilità del materiale.
  - (2pt) Determinare la densità di corrente che scorre nel campione quando questo è sottoposto a una differenza di potenziale di 5 V.

2. [7pt] Si consideri il seguente circuito di polarizzazione di un transistor bipolare *npn*:



Date le seguenti informazioni:

- guadagno di corrente del transistor  $\beta_F = 50$
- $V_{CC} = 15\text{ V}$ ,  $V_{BB} = 7\text{ V}$
- $R_{BB} = 50\text{ k}\Omega$ ,  $R_C = 1.3\text{ k}\Omega$

si richiede di:

- (3pt) dimensionare  $R_E$  in modo tale che la caduta di tensione sulla resistenza di emettitore sia pari a  $1.5\text{ V}$ , nell'ipotesi di funzionamento in zona attiva diretta (supporre  $V_{BE} = 0.6\text{ V}$ );
- (2pt) disegnare la caratteristica ibrida d'uscita  $I_C(V_{CE})$ , rappresentandovi la retta di carico (quotando i suoi punti d'intersezione con gli assi) e la posizione del punto di lavoro in continua del transistor (verificando che sia compatibile con l'ipotesi di funzionamento in zona attiva diretta);
- (2pt) disegnare il circuito equivalente a  $\pi$  del transistor per il punto di lavoro trovato, e valutarne i parametri (trascurando i componenti reattivi e l'effetto Early).