

Dispositivi Elettronici
Prova scritta - Quiz e domande aperte [19pt]
8 gennaio 2004

Nome: _____
Cognome: _____
Matricola: _____
Anno di frequenza: _____
Firma: _____

1. (1pt) Fra i materiali Si, Ag, GaAs, InP, Cu, Ge, SiO₂ dire quali sono metalli, quali semiconduttori semplici, quali semiconduttori composti, quali isolanti.

2. (1pt) L'ampiezza della banda proibita nel Si e nel Ge vale rispettivamente 1.2 e 0.6 eV. Alla temperatura $T = 77$ K, la concentrazione intrinseca:
 - (a) è maggiore nel Si
 - (b) è uguale nei due materiali
 - (c) è maggiore nel Ge.

3. (1pt) In un semiconduttore la mobilità delle lacune vale $100 \text{ cm}^2/\text{Vs}$. La diffusività delle lacune è:
 - (a) $2.6 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ a temperatura ambiente
 - (b) $2.6 \text{ cm}^2/\text{s}$ a temperatura ambiente
 - (c) $2.6 \text{ cm}^2/\text{s}$ alla temperatura di 0 K.

4. (1pt) In presenza di un gradiente di concentrazione uguale di elettroni e lacune:
 - (a) Elettroni e lacune danno correnti di uguale direzione e verso opposto
 - (b) Elettroni e lacune danno correnti di uguale direzione e verso coincidente
 - (c) Elettroni e lacune danno correnti uguali.

5. (1pt) **(Solo studenti pre-2003.)** In un semiconduttore fuori equilibrio termodinamico, la condizione di *basso livello di iniezione* si verifica quando:
- (a) Le concentrazioni dei portatori in eccesso n' , p' sono maggiori della concentrazione dei portatori maggioritari in equilibrio termodinamico
 - (b) Le concentrazioni dei portatori in eccesso n' , p' sono molto maggiori della concentrazione dei portatori minoritari in equilibrio termodinamico, molto minori della concentrazione dei portatori maggioritari
 - (c) Le concentrazioni dei portatori in eccesso n' , p' sono molto minori delle concentrazioni dei portatori maggioritari e minoritari in equilibrio termodinamico.
6. (1pt) All'esterno della regione di carica spaziale di una giunzione pn all'equilibrio termodinamico, il campo elettrico:
- (a) è costante
 - (b) decresce rapidamente
 - (c) è identicamente nullo.
7. (1pt) **(Solo studenti pre-2003.)** In una giunzione pn in polarizzazione diretta $V_A > 0$:
- (a) La capacità di diffusione aumenta con l'aumentare di V_A
 - (b) La capacità di diffusione diminuisce con l'aumentare di V_A
 - (c) La capacità di diffusione è comunque trascurabile.
8. (1pt) In un diodo p^+n la corrente:
- (a) È prevalentemente una corrente di diffusione di elettroni iniettati nella regione p
 - (b) È circa uguale alla corrente di diffusione delle lacune iniettate nella zona n , valutata all'estremità della regione di carica spaziale
 - (c) È una corrente di diffusione di lacune in tutta la regione n .
9. (2pt) **(Solo studenti pre-2003.)** Che cosa è il breakdown di un diodo? Quali meccanismi possono determinarlo?

10. (1pt) In un transistoro bipolare in zona attiva diretta la tensione base-emettitore è:
- (a) Circa 0.6-0.7 V
 - (b) Di poco maggiore di 0 V (circa 26 mV)
 - (c) Minore della tensione di soglia della giunzione.
11. (1pt) In un transistoro bipolare:
- (a) l'effetto Early ha luogo in condizioni di alta iniezione
 - (b) l'effetto Early è causato dalla variazione della larghezza della base in funzione della tensione base-collettore
 - (c) l'effetto Early ha luogo quando la base è più drogata dell'emettitore.
12. (2pt) Disegnare la transcaratteristica ibrida d'uscita $I_C(V_{CE})$ di un transistoro bipolare in configurazione a emettitore comune, mettendo in evidenza la zona attiva diretta e la zona di saturazione.
13. (2pt) Disegnare l'andamento tipico della transcaratteristica ibrida d'uscita $I_{DS}(V_{DS})$ di un FET in configurazione a source comune, mettendo in evidenza le differenti regioni di funzionamento, e la corrispondente curva $I_{DS}(V_{GS})$ in saturazione.

14. (1pt) Un FET a giunzione in saturazione approssima il comportamento ideale di:
- (a) Un generatore di tensione comandato in tensione
 - (b) Un generatore di tensione comandato in corrente
 - (c) Un generatore di corrente comandato in tensione
 - (d) Un generatore di corrente comandato in corrente.
15. (2pt) Disegnare il più semplice circuito equivalente di piccolo segnale di un FET (a giunzione o MOS; si trascurino le capacità parassite).
16. (1pt) **(Solo studenti 2003.)** Un MOS a canale n ha una tensione di soglia di -2 V ed è polarizzato a $V_{DS} = 2\text{ V}$, $V_{GS} = 1\text{ V}$. Il dispositivo:
- (a) è in interdizione
 - (b) è in zona triodo
 - (c) è in saturazione.
17. (1pt) **(Solo studenti 2003.)** In un MOS a canale n la tensione di soglia è pari a -3 V .
- (a) il dispositivo è normalmente on
 - (b) il dispositivo è normalmente off
 - (c) non si può dire, sulla base dell'informazione data.
18. (2pt) **(Solo studenti 2003.)** Disegnare lo schema circuitale di una porta logica NOT (inverter) realizzata in tecnologia CMOS (ovvero con una coppia di transistori MOS complementari).

Dispositivi Elettronici
Prova scritta - Esercizi [13pt]
8 gennaio 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. **[3pt]** Calcolare la conducibilità σ di un campione uniforme di Si ($E_g = 1.12$ eV) parzialmente compensato con drogaggio $N_A = 1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $N_D = 5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$. Si supponga $T = 300$ K, concentrazione intrinseca $n_i = 1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$, mobilità degli elettroni $\mu_n = 1200 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$, mobilità delle lacune $\mu_h = 600 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$, e si consideri approssimativamente uguale la densità efficace degli stati nelle bande di conduzione e di valenza.

2. Un diodo pn in Si a $T = 300\text{ K}$ ($\epsilon_r = 12$, $E_g = 1.1\text{ eV}$, $n_i = 1 \times 10^{10}\text{ cm}^{-3}$, $\tau_n = \tau_h = 1\ \mu\text{s}$, $\mu_n = 1200\text{ cm}^2/\text{V/s}$, $\mu_h = 600\text{ cm}^2/\text{V/s}$, area 1 mm^2) ha drogaggio $N_A = 1 \times 10^{15}\text{ cm}^{-3}$ nel lato p , $N_D = 1 \times 10^{17}\text{ cm}^{-3}$ nel lato n .

- **[2pt]** Si disegni il diagramma a bande (quotato) per tensione applicata nulla, valutando anche le ampiezze delle regioni di svuotamento nel lato n e p .
- **[2pt]** Si disegni il circuito equivalente di piccolo segnale del diodo, calcolando i valori dei suoi componenti all'equilibrio termodinamico.

3. (Solo per gli studenti che hanno frequentato nel 2003.) Un transistor MOSFET di silicio a canale n ($E_g = 1.12$ eV, $n_i = 1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$, $\epsilon_{r\text{Si}} = 11.9$, $\epsilon_{r\text{ox}} = 3.9$, $q\chi = 4.05$ eV, $\mu_n = 600 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$) ha le seguenti caratteristiche a 300 K:

- gate di polisilicio fortemente drogato di tipo n ;
- concentrazione di droganti nel substrato: $N_A = 5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$;
- spessore dell'ossido: $t_{\text{ox}} = 80 \text{ \AA}$;
- lunghezza del canale: $L = 0.5 \text{ }\mu\text{m}$;
- larghezza del canale: $W = 2 \text{ }\mu\text{m}$;

Trascurando l'effetto delle cariche intrappolate nell'ossido:

- (a) [2pt] si disegni il diagramma a bande quotato del sistema MOS all'equilibrio termodinamico;
- (b) [2pt] si calcoli la tensione di soglia V_T per una tensione di polarizzazione del substrato $V_B = 0 \text{ V}$;
- (c) [2pt] si rappresentino le caratteristiche $I_{DS}(V_{DS})$ del MOSFET, quotando in particolare la tensione V_{DSs} e la corrente I_{DSs} della curva corrispondente a $V_{GS} = 5 \text{ V}$.

4. (Solo per gli studenti che hanno frequentato in anni precedenti al 2003.) Un transistor bipolare *pnp* di silicio a 300 K ($n_i = 1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$, $\epsilon_{r\text{-Si}} = 11.9$) ha le seguenti caratteristiche:

- lunghezza dell'emettitore: $W_E = 2.0 \mu\text{m}$;
 - lunghezza del collettore: $W_C = 4.0 \mu\text{m}$;
 - concentrazione di droganti nell'emettitore: $N_{AE} = 7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$;
 - concentrazione di droganti nella base: $N_{DB} = 3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$;
 - concentrazione di droganti nel collettore: $N_{AC} = 1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$;
 - mobilità degli elettroni: $\mu_n = 1200 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$;
 - mobilità delle lacune: $\mu_p = 600 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$;
 - tempo di vita medio dei portatori minoritari nella base: $\tau_0 = 1 \mu\text{s}$.
- (a) [2pt] Si valuti la lunghezza della base che corrisponde a un fattore di trasporto $b = 0.995$, e si determini la corrispondente amplificazione di corrente a emettitore comune in zona attiva diretta e in zona attiva inversa.
- (b) [2pt] Si calcoli quale tensione di polarizzazione inversa della giunzione base-collettore provoca la perforazione diretta della base.
- (c) [2pt] Si disegni il circuito equivalenti per piccolo segnale a π del transistor, e se ne valutino i parametri (trascurando l'effetto Early e le capacità parassite) in corrispondenza di una corrente di collettore di polarizzazione $I_C = 20 \text{ mA}$.