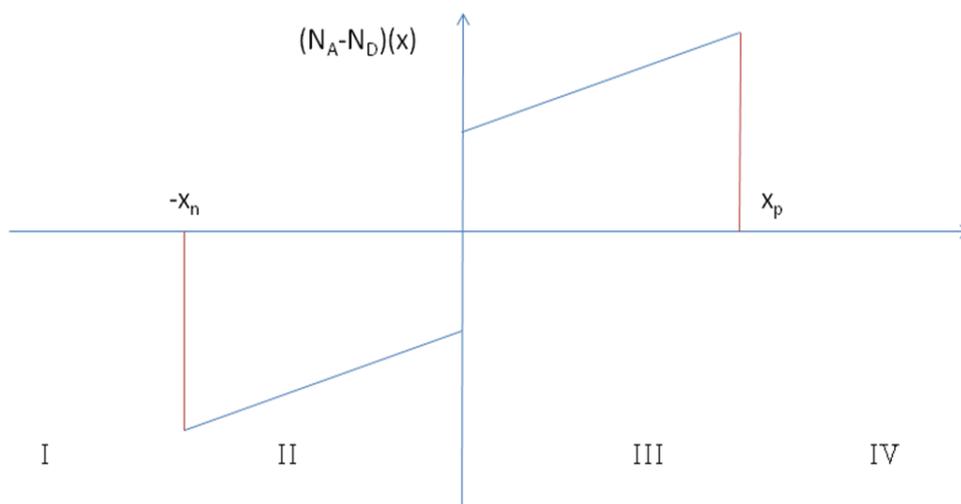


## ESERCIZIO 1

Una giunzione p-n è caratterizzata da un profilo

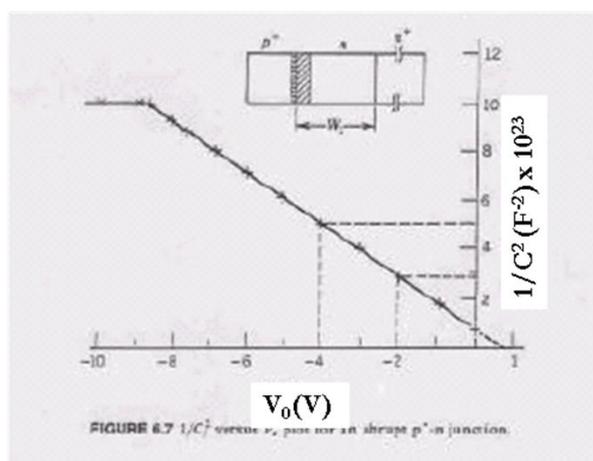
$$(N_A - N_D)(x) = \begin{cases} 2 \cdot 10^{20}x + 10^{17} & x \geq 0 \\ 2 \cdot 10^{20}x - 10^{17} & x \leq 0 \end{cases}$$

Trovare la relazione tra capacità di svuotamento ( $C_j$ ) e tensione di built in ( $V_{bi}$ )



## ESERCIZIO 2

Si consideri una struttura  $p^+ - n - n^+$  con il seguente andamento della capacità di svuotamento in funzione della tensione applicata



Nota l'area della giunzione, pari a  $10^{-3} \text{ cm}^2$ , determinare :

- il valore di  $V_{bi}$  e i valori di  $N_A$  e  $N_D$
- Il valore di  $W_1$  nella zona  $n$

## ESERCIZIO 3

Una giunzione  $pn$  realizzata con GaAs ( $E_g=1.43\text{eV}$ ,  $\epsilon_r=13,1$ ,  $n_i=1,8 \times 10^6 \text{ cm}^{-3}$ ) presenta i seguenti valori di capacità misurata in funzione della tensione applicata

C (pF)	V (V)
17.3	-0,5
15.6	-1
11.8	-3
9.85	-5

c)

Considerando l'area del dispositivo  $A=10^{-1}\text{mm}^2$

Dire se si tratta di una giunzione brusca o a gradiente lineare. Ricavare, a seconda dei casi, il valore del drogaggio di entrambi i portatori o il valore del gradiente della concentrazione dei droganti

### ESERCIZIO 4

In una giunzione pn brusca asimmetrica in silicio con  $N_A = 10^{17}\text{cm}^{-3}$  e  $N_D = 5 \cdot 10^{15}\text{cm}^{-3}$ ,  $n_i = 10^{10}\text{cm}^{-3}$ ,  $A = 1\text{mm}^2$ , si misura una corrente pari a  $1\mu\text{A}$  in corrispondenza di una tensione inversa pari a  $-10\text{V}$ . Si considerino le costanti di tempo  $\tau_n = \tau_p = 1\mu\text{s}$ .

Calcolare:

- il campo critico di breakdown per tale giunzione
- Il fattore di moltiplicazione M
- Il campo elettrico massimo

(per semplicità consideriamo il diodo a base lunga)

### ESERCIZIO 5

In una giunzione brusca  $p^+ - n$  in Silicio di area  $A = 1 \text{ mm}^2$ ,  $n_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ ,  $\tau_n = \tau_p = 1 \text{ }\mu\text{s}$ , lunghezza della regione p pari a  $W_p = 1 \text{ mm}$ , lunghezza della regione n pari a  $W_n = 0.5 \text{ mm}$  e tensione di built in  $V_{bi} = 0.898 \text{ V}$ , si misura, per una tensione inversa  $V_a = -5 \text{ V}$ , una capacità pari a  $120 \text{ pF}$ .

1. Determinare il drogaggio del semiconduttore.

Eseguendo una seconda misura, si fa scorrere nel dispositivo una corrente pari a  $12.5 \text{ mA}$ .

2. Determinare il potenziale applicato ai capi del diodo (supponendo il diodo perfettamente ideale e trascurando i valori delle resistenze serie).

### ESERCIZIO 6

Sia dato un diodo pn ( $N_A = N_D = 1 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ), ideale, con il lato n a base lunga ed il lato p di larghezza  $W_p = 1 \mu\text{m}$ .

Nel lato p, vengono per errore incorporate delle impurità, uniformemente distribuite, a partire da una distanza  $d = 0.5 \mu\text{m}$  dalla giunzione.

1. Qual è il valore della tensione di punch-through?
2. Qual è il valore della corrente totale che fluisce nel diodo per una tensione inversa pari a  $-8\text{V}$ ?

Si considerino tutte le costanti di tempo pari a  $1 \text{ }\mu\text{s}$ .

### ESERCIZIO 7

Si consideri un diodo p-n di silicio con fattore di idealità pari a 1.5.

1. Si calcoli per quale valore di tensione si ottiene un valore di corrente pari a 1000 volte il valore della corrente di saturazione inversa.

Si consideri ora l'espressione della corrente dovuta alla sola ricombinazione.

2. Si calcoli quanto dovrebbe valere il rapporto

$$\frac{N_D + N_A}{N_D \cdot N_A}$$
 affinché questa sola componente sia pari al valore di corrente precedentemente indicato (per lo stesso valore di tensione).

Dati:

$$I_0 = 10^{-10} \text{ A}$$

$$\tau_r = 10^{-6} \text{ s}$$

$$V_{bi} = 0.7 \text{ V}$$

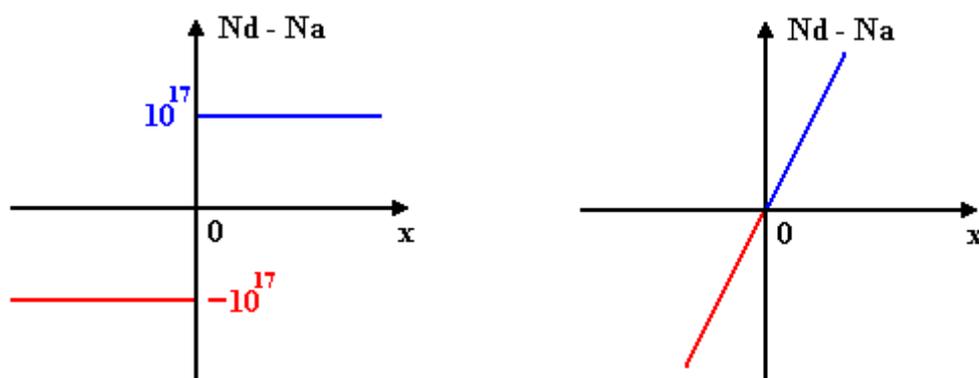
$$A = 10^{-3} \text{ cm}^2$$

### ESERCIZIO 8

Si considerino due giunzioni p-n: la prima è brusca simmetrica ( $N_A = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ,  $N_D = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ), mentre la seconda è a gradiente lineare ( $N_A - N_D = kx$ )

Stabilire quanto deve valere  $k$  affinché:

1. a tensione applicata nulla, l'estensione della regione di svuotamento sia identica nei due casi
2. la tensione di built-in sia identica nei due casi
3. Nelle condizioni trovate al punto precedente, trovare quanto deve valere la tensione applicata alla seconda giunzione affinché la regione di svuotamento abbia identica estensione a quella della regione di svuotamento della giunzione brusca quando a questa non è applicata alcuna tensione



### ESERCIZIO 9

È data una giunzione p-n in silicio (si consideri  $n_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ ) di area  $A = 1 \text{ mm}^2$  avente  $N_a = 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  e  $N_d = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ . È noto che il rapporto fra la corrente di diffusione e di generazione, con una polarizzazione applicata di  $V = -5 \text{ V}$ , è pari a 0.8, mentre il rapporto fra la corrente di diffusione e quella di ricombinazione, con una polarizzazione applicata di  $V = 0.5 \text{ V}$ , è pari a 870.

Si determini il rapporto fra tempo efficace di ricombinazione e tempo di generazione  $\tau_r / \tau_g$ .

Sapendo inoltre che il tempo di diffusione delle lacune è pari a  $\tau_p = 50 \text{ ns}$ :

Determinare il tempo efficace di ricombinazione e la corrente che fluisce nel dispositivo quando è applicata una tensione pari a  $V = 0.5 \text{ V}$ .

### ESERCIZIO 10

Si consideri una **giunzione p - n brusca simmetrica** caratterizzata da una corrente di saturazione inversa

$$I_0 = 10^{-14} \text{ A}$$

e da un coefficiente di idealità = 1,

$$\text{drogaggi } N_a = N_d = 8 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$$

Si conosce il valore della **resistenza serie delle regioni neutre** che è pari a **100  $\Omega$**  con trascurabili variazioni al variare della tensione applicata.

1. Calcolare il valore di tensione per cui la differenza tra corrente ideale e corrente effettiva è pari al 10% della corrente che si avrebbe nel caso ideale.
2. Dire (giustificandolo quantitativamente) se per tale valore di tensione sono rilevabili alti livelli di iniezione.

### ESERCIZIO 11

È data una giunzione pn in Silicio (si consideri  $n_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ ) di area

$$A = 1 \text{ mm}^2$$

$$N_a = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$$

$$N_d = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$$

$$\tau_n = \tau_p = 1 \text{ } \mu\text{s}$$

Sapendo che la **resistenza serie della sola zona p** è pari a **0.125Ω** e che la giunzione raggiunge il punch through per una **tensione di polarizzazione di 6.7V** (in inversa)

si determinino la corrente di saturazione inversa  $I_0$  e la resistenza serie della zona n.

### ESERCIZIO 12

Si calcolino i parametri di piccolo segnale (conduttanza differenziale, resistenza serie, capacità di giunzione, capacità di svuotamento) per un diodo a  $T = 300 \text{ K}$  avente le seguenti caratteristiche:

$$N_a = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$$

$$N_d = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$$

$$\epsilon_r = 12$$

$$n_i = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$$

$$W_p = W_n = 200 \text{ } \mu\text{m}$$

$$\tau_p = \tau_n = 1 \text{ } \mu\text{s}$$

$$\mu_n = 1000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$$

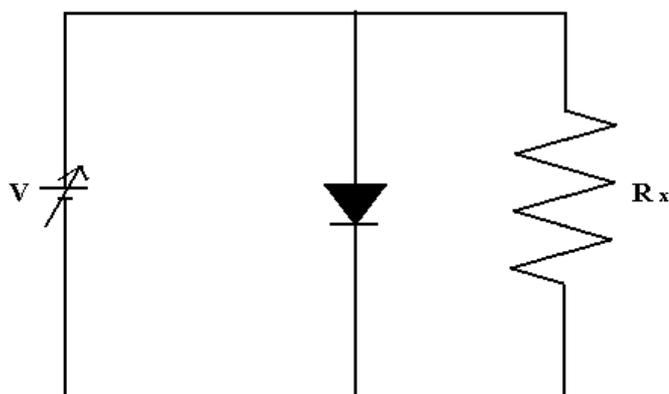
$$\mu_p = 400 \text{ cm}^2/\text{Vs}$$

$$A = 1,5 \text{ mm}^2$$

$$V_v = 0,6 \text{ V}$$

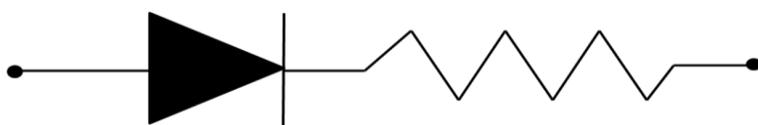
### ESERCIZIO 13

Una giunzione p-n è posta in parallelo ad una resistenza di valore ignoto e viene alimentata da un generatore di tensione variabile. La misura della conduttanza del sistema per  $V=0.8\text{V}$  fornisce il valore  $G=0.7\Omega^{-1}$ . Sapendo che la corrente che attraversa il diodo è pari a  $8\text{mA}$ , calcolare il valore della resistenza e quello della conduttanza del sistema per  $V=0$ .



### ESERCIZIO 14

Un diodo ideale è posto in serie ad una resistenza  $R_s$ , per una corrente diretta  $I=100\text{mA}$ , si misura una conduttanza dell'intero dispositivo  $G=0.5\Omega^{-1}$  ed una differenza di potenziale di  $0.8\text{V}$ . Sapendo che  $J_0=3.2\times 10^{-10}\text{A/cm}^2$ , si calcoli l'area del diodo.



### ESERCIZIO 15

È data una giunzione PN in Silicio avente  $N_a = N_d = 10^{16}\text{ cm}^{-3}$ ,  $n_i = 10^{10}\text{ cm}^{-3}$ , lunghezza delle regioni neutre pari a  $L = 2\text{ mm}$ , area di giunzione  $A = 1\text{ mm}^2$ , corrente di saturazione inversa  $I_0 = 10^{-13}\text{ A}$ .

L'impedenza della giunzione, vista da un piccolo segnale sinusoidale di frequenza  $f = 50\text{ Hz}$ , è pari a  $Z = (210 - j0.19)\Omega$ .

Dopo aver disegnato il circuito a piccolo segnale e determinato il valore della resistenza serie del dispositivo, si determini la tensione di polarizzazione del dispositivo e la lunghezza di diffusione dei portatori di carica, supposta identica per elettroni e lacune ( $L_p = L_n$ ).

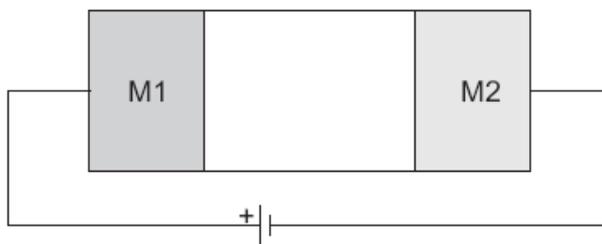
## ESERCIZIO 16

Si consideri un contatto metallo-semiconduttore ideale di cui sono noti i seguenti dati:  $q\chi = 4$  eV,  $E_g = 1.2$  eV,  $n_i = 10^{10}$  cm<sup>-3</sup>,  $N_d = 10^{16}$  cm<sup>-3</sup>,  $A^* = 100$  A/cm<sup>2</sup>K<sup>2</sup>.

Si considerino di volta in volta metalli con le seguenti funzioni lavoro:

$$q\phi_M = 4.1, 4.25, 4.5, 4.75, 5.0 \text{ eV}$$

1. Tracciare il grafico della tensione di built-in in funzione della  $\phi_M$ ;
2. Disegnare il circuito equivalente alla struttura (M1-S-M2), in cui il semiconduttore ha le caratteristiche elencate sopra e i metalli hanno rispettivamente funzione lavoro pari a 5 e pari a 4.1 eV. Calcolare la densità di corrente che scorre in questo circuito quando è applicata una differenza di potenziale tra M1 e M2 pari a 1 V.



## ESERCIZIO 17

Si consideri una giunzione metallo-semiconduttore di tipo n della quale sono state misurate le caratteristiche corrente tensione e capacità tensione ricavando i seguenti valori:

V(Volt)	I(mA)
0.40	0.03
0.45	0.2
0.5	1.4

## Elettronica dei dispositivi 2016/2017 - Esercizi

---

V(Volt)	C(F)
-0.5	5.8E-11
-1	4.9E-11
-2	3.9E-11

Calcolare:

Drogaggio semiconduttore

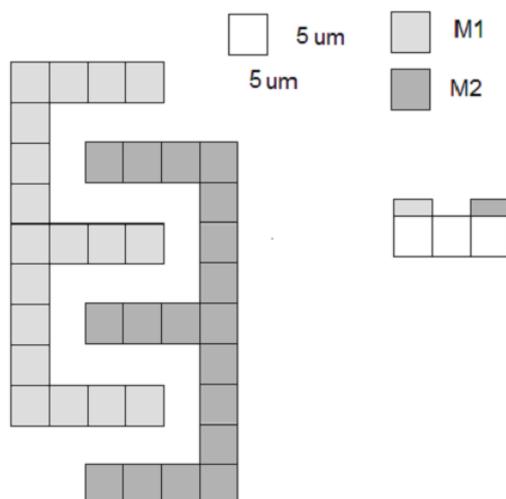
Altezza di barriera della giunzione

Area della giunzione

Tensione intrinseca

### ESERCIZIO 18

Un contatto metallo Silicio ( $N_A = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ) ha la struttura a pettine mostrata in figura. M1 e M2 sono rispettivamente Oro (5.0 eV) e Alluminio (4.75 eV). Quale tipo di contatto formano rispettivamente i due metalli? Qual è il circuito corrispondente a questa struttura? Calcolare la/le corrente/i di saturazione inversa e/o la/le resistenze di contatto corrispondenti a ciascun contatto (trascurando le resistenze delle regioni neutre del semiconduttore). Quanto vale la corrente totale che scorre nella struttura quando la tensione applicata tra M1 e M2 vale +3V?



## ESERCIZIO 19

Si voglia realizzare una giunzione metallo-semiconduttore avente una densità di corrente di saturazione inversa pari al  $9.4 \cdot 10^{-4} \text{ A cm}^{-2}$ . Si dispone di un substrato di silicio drogato n ( $N_D = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ ); indicare un possibile metallo per rispettare la specifica sulla corrente fornita. Ricavare il potenziale di built-in della giunzione e disegnare la curva  $1/C^2$  della giunzione per almeno quattro valori di polarizzazione.

## ESERCIZIO 20

Si considerino le seguenti curve capacità-tensione relative rispettivamente da una giunzione p+-n e ad un contatto metallo-semiconduttore. A partire dai dati ricavabili dai grafici, e considerando  $\tau_p = \tau_n = 1 \mu\text{s}$  e  $n_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ , determinare il rapporto tra le aree dei due dispositivi sapendo che la corrente di saturazione inversa del diodo Schottky è 1000 volte maggiore rispetto a quella del diodo a giunzione p+-n.

## Elettronica dei dispositivi 2016/2017 - Esercizi

---

(NB: per la curva relativa al contatto metallo-semiconduttore, la tensione è riferita al metallo rispetto al semiconduttore).

