

TD SC équilibre et hors équilibre

Exercice 1 : déterminer le nombre relatif d'électrons sur le niveau donneur comparé au nombre total d'électrons. On donne $N_d=10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $T=300 \text{ K}$ et $N_c=2.8 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$. On supposera que $E_D-E_F \gg kT$. On donne $E_c-E_d = 45 \text{ meV}$

Exercice 2 : supposez que du silicium, du germanium et du GaAs ont chacun des concentrations en dopants de $N_d= 1 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ et $N_a= 2.5 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$. Pour chacun des trois matériaux, (a) est ce que ce matériau est n ou p ? (b) calculez n_0 et p_0 . On donne $n_i(\text{Ge})$

Exercice 3 : On désire fabriquer une résistance avec un semi-conducteur. Du Silicium est utilisé et on se place à 300 K. Il est initialement dopé avec des donneurs en densité $5 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$. On rajoute des accepteurs pour le compenser et le rendre de type p. La résistance doit avoir une valeur de $10 \text{ k}\Omega$ et supporter une densité de courant de 50 A/cm^2 lorsqu'une tension de 5 volts est appliquée. On donne $\mu_p = 410 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ et le champ électrique limite de 100 V/cm . Déterminer :

1. la section de la résistance
2. la longueur de la résistance
3. le dopage en accepteurs.

Exercice 4 : On réalise des contacts aux extrémités d'un barreau de GaAs de type p, de dimensions : longueur 5 mm, épaisseur 0.25 mm, largeur 2 mm. Les caractéristiques électriques du GaAs sont :

$$N_a=10^{14} \text{ cm}^{-3} \quad n_i = 10^7 \text{ cm}^{-3} \quad \mu_n = 8600 \text{ cm}^2/\text{Vs} \quad \mu_p = 250 \text{ cm}^2/\text{Vs} \quad E_g = 1.43 \text{ eV}$$
$$\tau = \tau_p = \tau_n = 10 \text{ ns}.$$

1. On applique 12 V entre les contacts, calculer le courant I qui traverse le semi-conducteur.
2. On l'éclaire uniformément de telle sorte que l'on crée en nombre égal des électrons et des trous. On suppose que le taux de création est le même en tout point du barreau : $g=g_n=g_p=2 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}/\text{s}$. calculer le photo - courant résultant. Quelle est la longueur d'onde limite pour ce processus.
3. A l'instant $t=0$, on cesse brutalement d'éclairer, quelle est la loi de décroissance du courant en fonction du temps.

1. PN Junction

- Esquissez le diagramme de la bande d'énergie, le potentiel électrique, la distribution du champ électrique et le profil de charge d'espace d'une jonction PN en équilibre ($V = 0$)
- Répétez (a) avec une tension positive appliquée du côté n. Le courant circule? Pourquoi?
- Répétez (a) avec une tension positive appliquée du côté p. Le courant circule? Pourquoi?

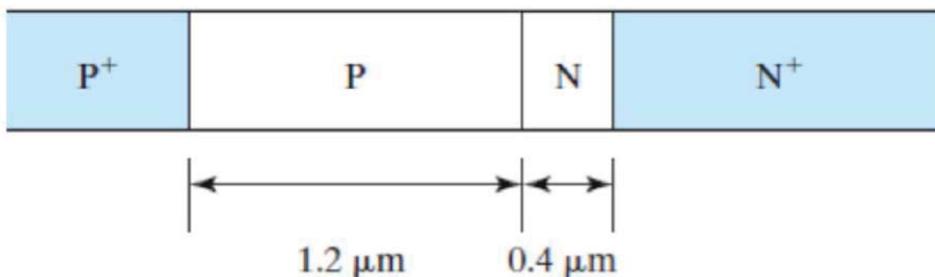
2. pn Junction - considérons une jonction PN avec $N_A = 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ et $N_D = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, et $n_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$, $kT = 26 \text{ meV}$ avec $V = 0$.

- quelles sont les densités de porteurs minoritaires aux bords de la région de déplétion?

Nous supposons maintenant $V = 0,6 \text{ V}$ (polarisation directe)

- quelles sont les densités de porteurs minoritaires aux bords de la région de déplétion?
- quelles sont les densités de porteurs minoritaires en excès aux bords de la région de déplétion
- quelle est la densité de porteurs majoritaires
- sous une tension inverse de $V = 1,8 \text{ V}$, quelles sont les densités de porteurs minoritaires aux bords de la région d'appauvrissement.

3. Considérez la jonction pn ci-dessous. Si $N_A = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ et $N_D = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, sous une tension inverse croissante, quelle région (N ou P) deviendra complètement épuisée en premier? Quel est la tension inverse dans cette condition?



Jonction PN -3

Soit une jonction P+N au silicium de section $10000\mu\text{m}^2$ dont les caractéristiques en faible injection, sont les suivantes :

Côté P : $N_a = 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ Largeur : $W_p = 5 \mu\text{m}$ région courte
Côté N : $N_d = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ Largeur : $W_n = 400 \mu\text{m}$, $\mu_n = 1000 \text{ cm}^2/\text{V/s}$, $\mu_p = 400 \text{ cm}^2/\text{V/s}$
On suppose que la durée de vie des porteurs est la même dans toute la structure : $\tau = 1\mu\text{s}$

Données supplémentaires : $n_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$, $kT/e = 25 \text{ mV}$ $\varepsilon = 10^{-12} \text{ F/cm}$.

- 1) Déterminer la valeur du courant inverse théorique de cette diode.
- 2) Donner les valeurs de tensions directes correspondant à des courants de 0,1 ; 0,5 ; 1 ; 5 mA.
- 3) Evaluer la résistance série de la diode et déterminer la chute de tension correspondante pour les mêmes valeurs de courant qu'en 2.
- 4) Déterminer les valeurs du courant inverse pour les tensions appliquées $V = -10, -15, -20 \text{ V}$.
- 5) Déterminer la tension de claquage et calculer la valeur du courant à la limite du claquage. On donne le champ critique $E_c = 30 \text{ V}/\mu\text{m}$.

On raccourcit le côté N et on prend $W_n = 10 \mu\text{m}$.

- 6) Calculer la densité de courant J_h et la tension V_h qui détermine le début de l'injection forte.
- 7) Répondre aux questions 1) et 2)
- 8) Calculer le temps de transit des trous en faible injection
- 9) Evaluer le courant de recombinaison dans la zone déserte pour un courant de 0.1 mA.
- 10) Calculer la capacité de transition pour $V_a = -20 \text{ V}$
- 11) Déterminer le schéma équivalent de la diode en alternatif pour $I = 0.1 \text{ mA}$
- 12) Dans le cas où le côté N est très mince (par exemple $W_n = 1\mu\text{m}$) peut on envisager un autre mode de claquage en polarisation inverse.

Jonction PN

Exercice 1 : Considérons une jonction pn au silicium et de largeur n et p identiques dont les caractéristiques sont regroupées dans le tableau ci-dessous. Déterminer pour les largeurs de région n et p suivantes le courant de saturation I_s : $5\mu\text{m}$ et $35\mu\text{m}$. On donne la surface du dispositif 10^{-3} cm^2 .

On donne $\tau_p=\tau_n=1\mu\text{s}$, $N_d=10^{16}\text{ cm}^{-3}$, $N_a=10^{18}\text{ cm}^{-3}$.

| Région n | | Région p | |
|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| $\mu_p=300\text{cm}^2/\text{Vs}$ | $\mu_n=1300\text{cm}^2/\text{Vs}$ | $\mu_p=100\text{cm}^2/\text{Vs}$ | $\mu_n=280\text{cm}^2/\text{Vs}$ |
| $D_p=7.8\text{ cm}^2/\text{s}$ | $D_n=33\text{ cm}^2/\text{s}$ | $D_p=2.6\text{ cm}^2/\text{s}$ | $D_n=7.3\text{ cm}^2/\text{s}$ |

Exercice 2 : Soit une jonction P⁺N au silicium. On donne :

- $N_D=4\ 10^{15}\text{ cm}^{-3}$
- $N_A=10^{18}\text{ cm}^{-3}$
- $\tau_p=10^{-5}\text{s}$ $\frac{kT}{e} = 25\text{mV}$ $\varepsilon = 10^{-10}\text{ F / m}$
- $D_p=10\text{ cm}^2/\text{s}$ $S=22500\ \mu\text{m}^2$ $d_n = 10^{-6}\text{ m}$

Des mesures de capacité sur cette diode ont donné ces résultats :

- En direct ($V=650\text{ mV}$), $C=3\text{ pF}$
- En inverse on note $C=0.75\text{pF}$

Déterminer à partir de ces mesures :

1. La valeur de la tension inverse correspondant à la deuxième mesure de capacité
2. La valeur du courant de génération I_g correspondant à cette polarisation
3. La valeur du courant direct pour $V=650\text{ mV}$. En déduire la valeur du courant inverse théorique de cette diode.