

1 Avertissement

Pour être validé un résultat doit comporter une démonstration s'appuyant sur un raisonnement scientifique aboutissant à une équation littérale voire une application numérique présentée en unités SI, sous forme scientifique (puissances entières de 10 multiples de 3 ou avec les multiplicateurs usuels : T, G, M, k, m, μ , n, p, f, a...).

2 Données pour les applications numériques (AN)

- Charge élémentaire $\approx 0,16$ aC
- Masse de l'électron $\approx 0,9 \cdot 10^{-30}$ kg
- Permittivité du vide $\approx 8,85$ pF \cdot m⁻¹
- Constante de Planck $\approx 0,66 \cdot 10^{-33}$ J \cdot s
- Constante de Boltzmann $\approx 14 \cdot 10^{-24}$ J \cdot K⁻¹
- Potentiel thermo dynamique à la température normale ≈ 25 mV
- Densité atomique volumique du Silicium $\approx 50 \cdot 10^{27}$ m⁻³
- Densité de paires thermiques dans le Silicium intrinsèque à la température normale $\approx 10 \cdot 10^{15}$ m⁻³
- Largeur de la Bande Énergétique Interdite du Si intrinsèque $\approx 1,12$ eV
- Mobilité des électrons libres dans le Silicium à la température normale $\approx 0,15$ m² \cdot V⁻¹ \cdot s⁻¹
- Mobilité des trous libres dans le Silicium à la température normale $\approx 0,04$ m² \cdot V⁻¹ \cdot s⁻¹
- Permittivité relative du dioxyde de Silicium : $\kappa_{ox} \approx 3,9$
- Quelques atomes : $^{75}_{33}\text{As}$, $^{11}_5\text{B}$, $^{12}_6\text{C}$, $^{69}_{31}\text{Ga}$, $^{74}_{32}\text{Ge}$, $^{115}_{49}\text{In}$, $^{31}_{15}\text{P}$, $^{121}_{51}\text{Sb}$, $^{28}_{14}\text{Si}$, $^{120}_{50}\text{Sn}$
- Applications numériques : $\ln(5) \approx 1,6$; $\ln(10) \approx 2,3$

3 Atome de Bohr

Soit un atome d'Hydrogène.

1. Rappeler par un schéma, le modèle de Bohr, ses constituants et les 3 principaux vecteurs appliqués à la charge en mouvement en les explicitant qualitativement
2. Exprimer le rayon quantique d'une orbitale de l'électron excité en fonction du rayon r_1 de l'orbite fondamentale et de l'entier positif n . Donner la valeur approchée de r_1 . De même pour l'énergie en fonction de E_1

4 Cristallographie

1. Décrire la structure cristalline du Silicium
2. Calculer le nombre d'atomes de Silicium induit dans le cube de cristallisation d'arrête de longueur a
3. Avec $a \approx 543$ pm, retrouver la densité volumique du Silicium en atomes m⁻³
4. Identifier 4 atomes en liaison de valence 2 à 2 avec un 5^{me} ainsi que leurs coordonnées en fonction de a
5. Calculer en fonction de a , la distance entre le centre de 2 atomes en liaison de valence. AN
6. En déduire en fonction de a , la longueur du rayon de valence d'un atome de Si. AN

5 Dopage et résistance

Un cylindre de Silicium est dopé avec de l'Arsenic en densité $N_{As} = 50 \cdot 10^{21} \text{ m}^{-3}$

1. Donner la répartition électronique (en couches : K, L, M... et en sous couches : s, p, d...) et le nombre d'électrons sur sa couche extérieure (numéro et lettre) de cet élément
2. En déduire de quel type de dopage (N, P), de quel type d'atome (Accepteur, Donneur) appartenant à quelle colonne de la classification périodique des éléments (3 réponses à donner) il s'agit
3. Donner un autre atome dopant de ce type : nom, répartition électronique
4. Calculer la conductivité σ_{As} de ce cylindre de Si dopé. AN
5. Quels sont les porteurs majoritaires dans ce Si dopé ? Calculer leur densité volumique
6. De même quels sont les porteurs minoritaires ? Calculer leur densité volumique. AN
7. Dans quel sens et de quelle quantité (en eV et en J) s'est déplacé le niveau de Fermi de ce Si dopé par rapport au niveau de Fermi intrinsèque ? AN. Faire le schéma énergétique
8. Calculer la résistance d'un cylindre de Si ainsi dopé, de longueur $L = 60 \text{ mm}$ et de rayon $r = 2 \text{ mm}$? AN

6 Transistor MOS

Soit une technologie 15 nm CMOS sur Si, la grille d'un transistor NMOS de largeur 20 nm et de longueur minimale, l'isolant (SiO_2) de grille d'épaisseur 1 nm et la tension de seuil des NMOS de +0,2 V.

1. Quelle est la capacité de la grille ? AN

Source et Substrat étant reliés à la masse, la tension de Grille est +1 V et celle du Drain est : +0,5 V.

2. Le transistor est-il bloqué ? Si non, quel est le type des porteurs libres du canal ? Quel est le régime de conduction du transistor (quadratique, pincé ou saturé) ?
3. Dans ces conditions et en tenant compte de l'effet de seuil, calculer la quantité de charges d'inversion. AN
4. Calculer le nombre de porteurs libres contenus dans le canal ? AN