

1 Avertissement

Pour être valide 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 de 10 entières 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 des porteurs libres dans le Silicium intrinsèque à 300 K $\approx 12 \cdot 10^{15}$ m⁻³
- Largeur de la Bande Énergétique Interdite du Si intrinsèque $\approx 1,12$ eV
- Mobilité des électrons libres dans le Silicium à 300 K $\approx 0,15$ m² \cdot V⁻¹ \cdot s⁻¹
- Mobilité des trous libres dans le Silicium à 300 K $\approx 0,04$ 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 : $\ln(10/3) \approx 1,2$; $\ln(10) \approx 2,3$

3 Dopage et résistance

Nous désirons doper du Silicium pour obtenir une conductivité de porteurs négatifs : $\sigma_N = 960$ S \cdot m⁻¹.

1. Quel type de dopage (N, P), quel type d'atome (Accepteur, Donneur) appartenant à quelle colonne de la classification périodique des éléments (3 réponses à donner) devons nous utiliser ? *N, donneur, V*
2. Donner au moins 2 atomes dopants de ce type, avec leur nom, leur répartition électronique en sous couches et le nombre d'électrons sur leur couche extérieure, avec son numéro et sa lettre, pour démontrer le type de dopant.
Arsenic / Phosphore
3. Calculer la densité volumique d'atomes dopants à introduire pour obtenir la conductivité σ_N . AN.
Soit $\sigma_N = e \cdot \mu_n \cdot n$ $n = N_D$ car on cherche N_D donc $N_D = \frac{\sigma_N}{e \cdot \mu_n}$ $\mu_n = 0,15$ $N_D = \frac{960}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,15}$
4. Quels sont les porteurs majoritaires dans ce Si dopé ? Calculer leur densité volumique.
les électrons e^- , $n \approx N_D$ donc $n \approx n_i + N_D \approx N_D$
5. De même quels sont les porteurs minoritaires ? Calculer leur densité volumique AN.
les trous h^+ $p = \frac{n_i^2}{n}$
6. 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.
7. Calculer la résistance d'un cylindre de Si ainsi dopé, de longueur $L = 40$ mm et de rayon $r = 2$ mm ? AN.

4 Transistor MOS

Soit une technologie 20 nm CMOS sur Si, la grille d'un transistor NMOS de largeur 40 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.

5 Porte logique CMOS

Soit ci contre, la porte logique à 3 entrées (a, b, c) et une sortie (S).

Le modèle utilisé pour le fonctionnement du transistor est le modèle d'interrupteur logique et sans seuil.

Le réseau de transistors P est nommé R_P ,

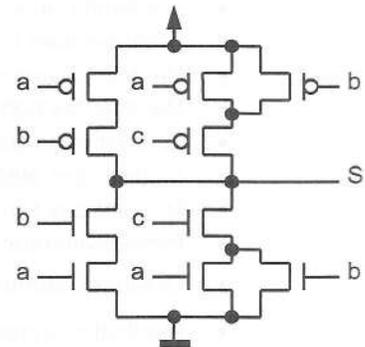
Le réseau de transistors N est nommé R_N ,

R_P est formé des branches B_{Pab} et B_{Pabc} ,

R_N est formé des branches B_{Nab} et B_{Nabc} ,

L'état «ouvert» (bloqué) d'un transistor, d'une branche ou d'un réseau est nommé O.

L'état «fermé» (passant) d'un transistor, d'une branche ou d'un réseau est nommé F.



1. Montrer que 2 des 3 règles de la logique complémentaire CMOS sont vérifiées.

2. Établir une table de vérité à 3 entrées (a, b, c) donnant l'état (O ou F) de B_{Pab} , B_{Pabc} , B_{Nab} , B_{Nabc} , R_P , R_N et l'état (0 ou 1) de S, en fonction des états d'entrée.

3. Montrer que la 3^{me} règle de la logique complémentaire CMOS est vérifiée.

4. Établir la fonction logique simplifiée ainsi réalisée.

5. Quelle est l'utilité de cette fonction logique ?