

## DEBUT DE L'ENONCE

### Autour du silicium

**Des données utiles pour la résolution du problème sont fournies à la fin de l'énoncé.**

*Le silicium (Si) est l'élément situé à la 3ème ligne et 14ème colonne de la classification périodique à 18 colonnes.*

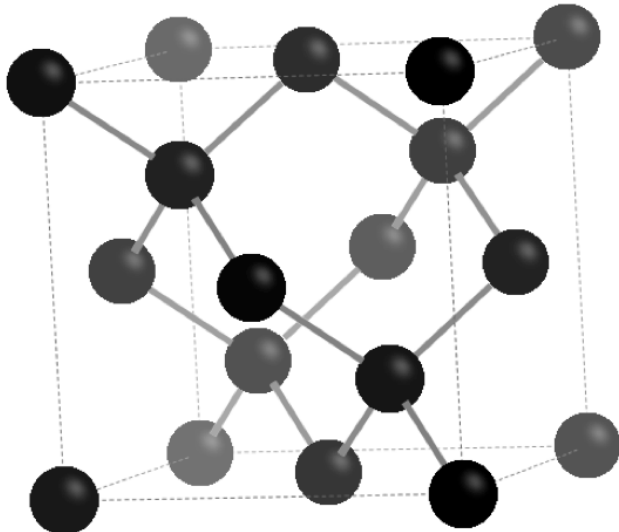
#### A) Structure électronique-cristallographie

**1-** Etablir la configuration électronique de l'atome de silicium dans son état fondamental en rappelant les règles appliquées. Quel est le nombre d'électrons de valence du silicium ?

*Certaines molécules à base de silicium peuvent être hypervalentes, c'est-à-dire que leur valence est supérieure à celle attendue. C'est le cas par exemple de  $[\text{SiF}_5]^-$  et  $[\text{SiF}_6]^{2-}$ .*

**2-** Donner la représentation de Lewis de ces 2 molécules.

*Le silicium cristallise selon la structure diamant rappelée ci-après. Les atomes sont disposés en structure cubique à faces centrées avec occupation d'un site tétraédrique sur deux. Dans la représentation les nuances de gris traduisent un effet de relief, les atomes les plus en avant étant les plus foncés.*



**3-** Rappeler la définition de la coordinence et la donner dans cette structure. Donner le nombre d'atomes dans la maille représentée.

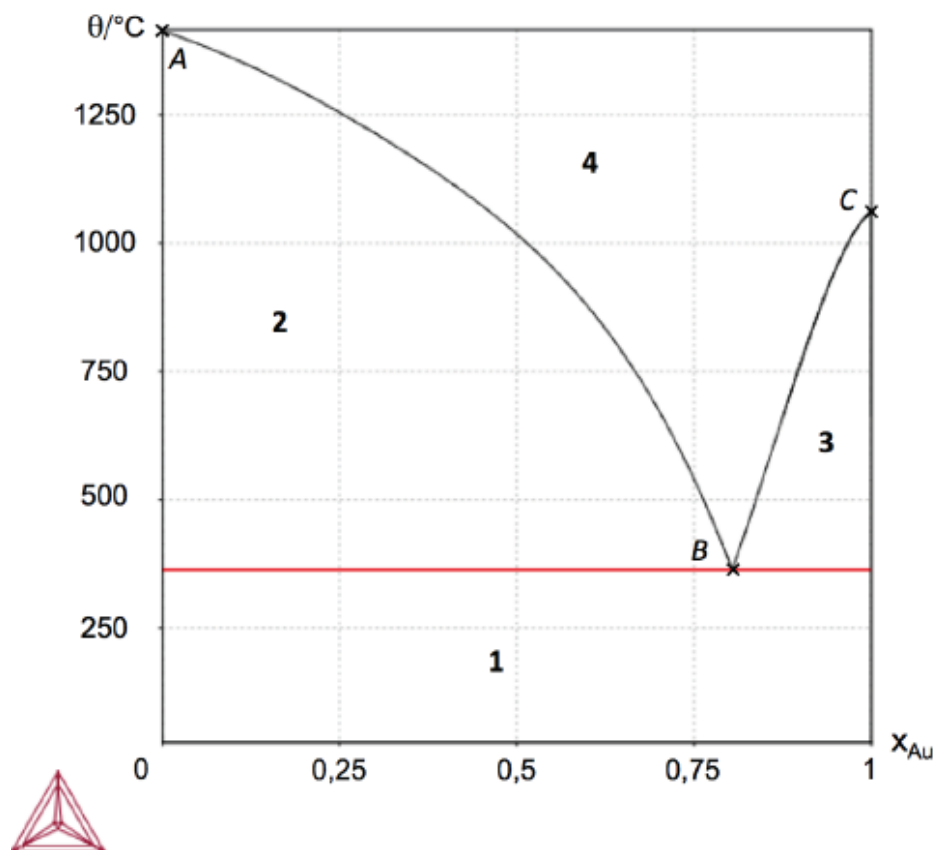
**4-** Calculer la valeur du paramètre de maille en expliquant la méthode.

**5-** Calculer et commenter la compacité de la structure.

**B) Diagramme binaire Si-Au.**

Le diagramme de phases liquides/solides isobare du système binaire Si-Au est donné ci-après. Les points remarquables ont les coordonnées ( $x_{Au}$ ,  $\theta/^{\circ}C$ ) suivantes:

$A(0; 1416,2^{\circ}C)$  ;  $B(0,8; 363,5^{\circ}C)$  et  $C(1; 1064,2^{\circ}C)$



6- Affecter à chaque zone numérotée de 1 à 4 du diagramme la ou les espèce(s) physico-chimique(s) correspondante(s).

7- En détaillant le raisonnement, calculer la variance dans chaque zone et au point B.

On considère à présent un mélange de composition  $x_{Au}=0,25$  à  $1300^{\circ}C$ .

8- Tracer l'allure de la courbe d'analyse thermique correspondant au refroidissement de ce mélange, en justifiant les changements de pente.

9- Donner la composition du système à  $1000^{\circ}C$  (nature et proportion des phases présentes).

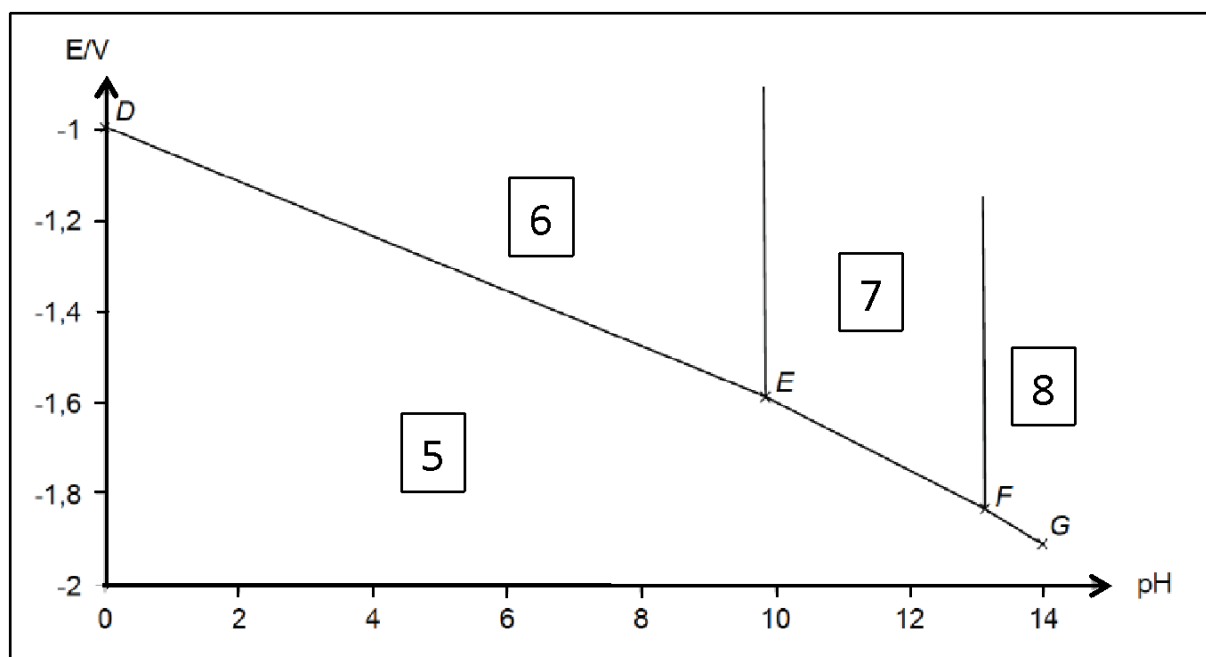
A partir de la température ambiante, on chauffe un mélange de composition  $x_{Au}=0,5$ . On observe alors à un moment un palier de température.

10- A quelle température intervient ce palier ? Donner la composition du système à la fin de ce palier (nature et proportion des phases présentes).

**C) Diagramme potentiel-pH.**

On donne ci-après le diagramme potentiel-pH du système silicium-eau à 298 K. Les espèces présentes sont  $\text{Si}(s)$ ,  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{SiO}_4^-$  et  $\text{H}_2\text{SiO}_4^{2-}$ . Les coordonnées (pH; E/V) des points remarquables sont les suivantes:

$D(0,0 ; -0,996 \text{ V})$  ;  $E(9,8 ; -1,584 \text{ V})$  ;  $F(13,1 ; -1,832 \text{ V})$  et  $G(14,0 ; -1,913 \text{ V})$



11- En justifiant la réponse, affecter à chaque domaine numéroté de 5 à 8 du diagramme l'espèce correspondante.

La droite (DE) a pour équation  $E = a + b \cdot \text{pH} + c \cdot \log(C_6)$ ,  $C_6$  correspondant à la concentration de l'espèce 6.

12- Déterminer les valeurs de a, b et c.

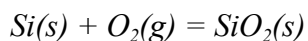
13- Quelle est la concentration de tracé utilisée pour établir ce diagramme ?

14- En justifiant la réponse, déterminer les pK des constantes d'acidité (qu'on notera  $\text{pK}_{a1}$  et  $\text{pK}_{a2}$ ) des couples acido-basiques du système étudié.

15- Calculer les pentes des droites (EF) et (FG).

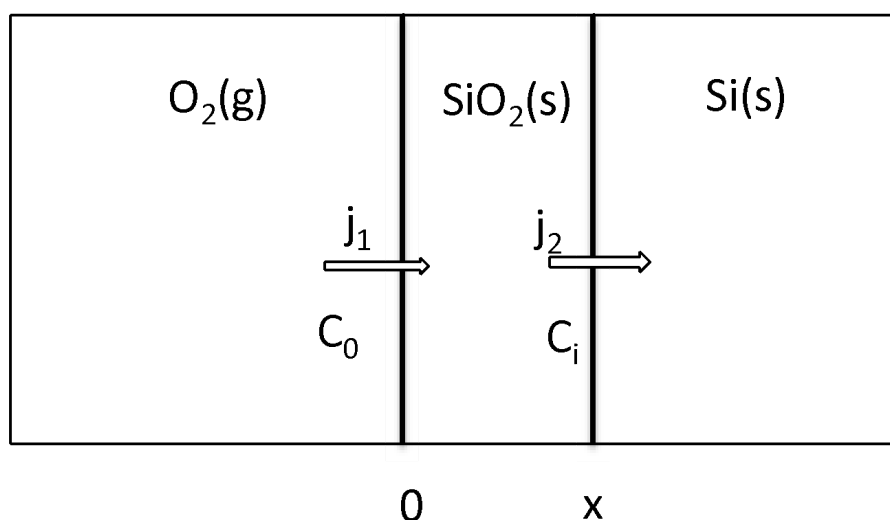
**D) Oxydation du silicium**

*L'oxydation en surface du silicium est une étape importante dans la réalisation de circuits intégrés au silicium en jouant notamment un rôle d'isolation électrique et de passivation. Le silicium peut être oxydé en présence de dioxygène selon la réaction:*



16- Evaluer et commenter l'ordre de grandeur de la constante d'équilibre à 298K (qu'on notera  $K^\circ$ ). Comment varie-t-elle avec la température ?

*On s'intéresse à présent à l'évolution cinétique de la couche de croissance de l'oxyde en surface du silicium. Le modèle est le suivant:*



*On appelle  $C_0$  la concentration (en nombre de molécules par unité de volume) en  $\text{O}_2$  à la surface de l'oxyde et  $D$  son coefficient de diffusion dans la couche d'oxyde. On appelle  $C_i$  la concentration en dioxygène à l'interface  $\text{Si/SiO}_2$ .*

17- En faisant une hypothèse simple, exprimer la densité de courant de molécules de dioxygène  $j_1$  entrant dans la couche d'oxyde en fonction de  $C_0$ ,  $C_i$  et de l'épaisseur  $x$  de la couche de  $\text{SiO}_2$ .

*La vitesse de réaction à l'interface  $\text{Si/SiO}_2$  est proportionnelle à la concentration de dioxygène à l'interface. La densité de courant de molécules de dioxygène à l'interface peut donc s'écrire  $j_2 = kC_i$ .*

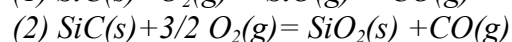
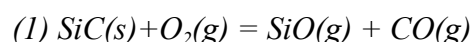
18- En supposant l'état stationnaire, exprimer  $j_2$  en fonction de  $D$ ,  $C_0$ ,  $k$  et  $x$ .

*On appelle  $N$  le nombre d'unités (molécules)  $\text{SiO}_2$  par unité de volume de  $\text{SiO}_2$ .*

19- Quel nombre de molécules de dioxygène introduit-on par unité de volume de  $\text{SiO}_2$  ? Exprimer alors la densité de courant  $j_2$  de molécules de dioxygène à l'interface  $\text{Si/SiO}_2$  en fonction de  $N$  et de la vitesse de déplacement de l'interface  $dx/dt$ .

20- En déduire l'équation différentielle reliant l'épaisseur  $x$  et le temps  $t$ . Donner la forme générale de sa solution sous la forme  $t = f(x)$  et comparer les comportements selon l'épaisseur de la couche d'oxyde.

*Le carbure de silicium  $\text{SiC}$  peut être obtenu par carboréduction de la silice. Par analogie avec les phénomènes de corrosion en milieu humide, on peut observer deux types d'oxydation de ce matériau: une oxydation passive et une oxydation active. Les équilibres en jeu sont les suivants:*



21- Quelle réaction correspond à l'oxydation passive ? Justifier.

22- Indiquer les deux paramètres principaux qui vont avoir un rôle déterminant sur le régime d'oxydation observé.

23- Décrire le mode d'oxydation passif du carbure de silicium à l'aide d'un schéma faisant apparaître les interfaces et les flux de gaz.

### **Données :**

Constante d'Avogadro :  $N_A = 6,0 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .

Constante des gaz parfaits :  $R = 8,3 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

Constante de Faraday :  $F = 96500 \text{ C.mol}^{-1}$

Constante de Nernst à 298 K :  $\frac{RT}{F} \ln 10 = 0,06V$

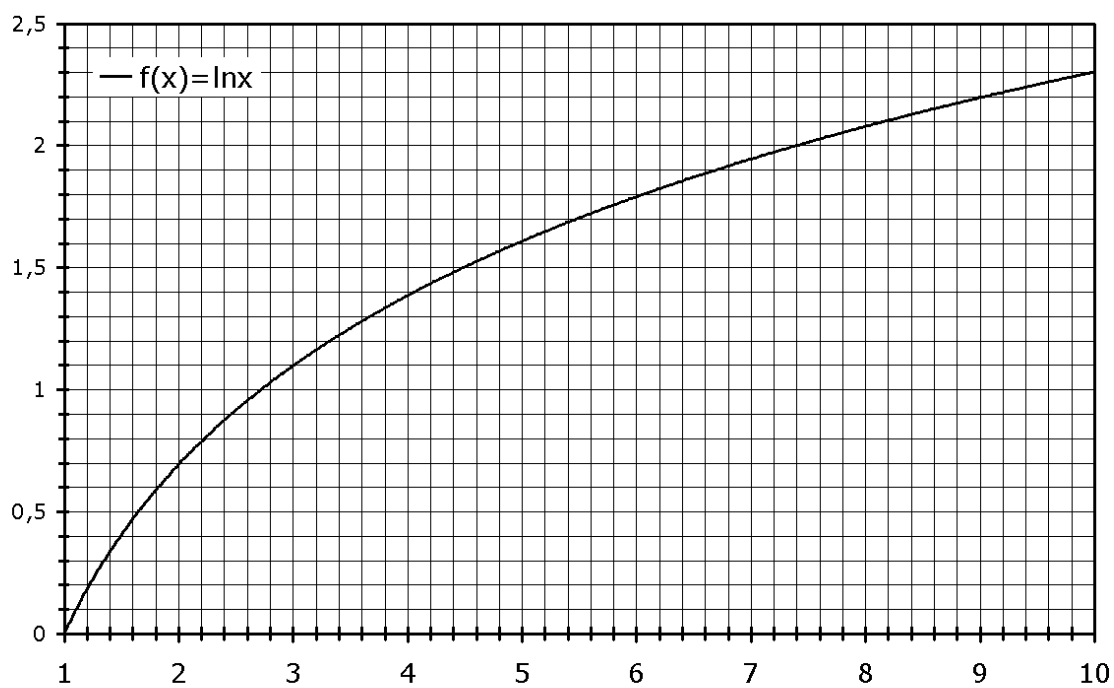
Rayon atomique du silicium:  $r_{\text{Si}} = 118 \text{ pm}$

$E^\circ(\text{H}_4\text{SiO}_4(\text{aq})/\text{Si}(s)) = -0,951 \text{ V}$  à  $\text{pH}=0$

### **Enthalpies standard de formation et entropies standard (à 298 K):**

|                   | $\Delta_f H^\circ (\text{kJ.mol}^{-1})$ | $S_m^\circ (\text{J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1})$ |
|-------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|
| $\text{Si}(s)$    | 0                                       | 19                                            |
| $\text{O}_2(g)$   | 0                                       | 205                                           |
| $\text{SiO}_2(s)$ | -904                                    | 47                                            |

Approximations numériques :  $\sqrt{2} \approx \frac{10}{7}$        $\sqrt{3} \approx \frac{7}{4}$



**FIN DE L'ENONCE**