



CONCOURS COMM

OLYTECHNIQUES

ÉPREUVE SPÉCIFIQUE - FILIÈRE PSI

PHYSIQUE 2

DURÉE 4 heures

Les calculatrices programmables et alphanumériques sont autorisées, sous réserve des conditions définies dans la circulaire n° 99-186 du 16.11.99 — BOEN n°42 du 25.11.99.

L'épreuve comporte un problème de physique et un problème de chimie. Les candidats traiteront les deux problèmes dans l'ordre de leur choix et les rédigeront de façon séparée.

*Durées approximatives : physique - 2 heures
 chimie - 2 heures*

PROBLEME DE PHYSIQUEDIFFERENTS MONTAGES UTILISANT DES TRANSISTORS

Les trois parties sont indépendantes (la deuxième comprend elle-même deux parties indépendantes).

PREMIERE PARTIE**AMPLIFICATEUR ET OSCILLATEUR A TRANSISTOR****1.1. Amplificateur**

La figure 1 représente le schéma d'un amplificateur à transistor amplifiant la tension v_e variable (entrée v_e , sortie v_s). T_1 est un transistor à effet de champ (connecté par ses trois bornes G, D et S).

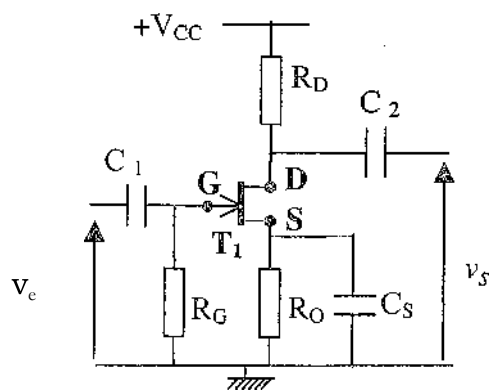


figure 1

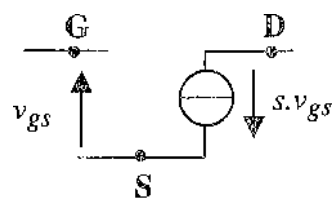


figure 2

P OBLÈME DE CHIMIE

LES PROCÉDÉS CHIMIQUES DANS L'INDUSTRIE DE LA MICROÉLECTRONIQUE

Le problème proposé s'articule autour de quelques opérations chimiques de la fabrication des circuits intégrés sur substrat de silicium, circuits universellement employés dans les systèmes électroniques, aussi bien « grand public » que de haute technologie.

I. ÉLABORATION DU SILICIUM MONOCRISTALLIN

I.1. Le silicium de qualité « métallurgique »

Le silicium élémentaire est produit, dans un four électrique, à l'état liquide, par réduction carbothermique de la silice (sable de rivière ou de carrière), selon l'équation-bilan :



Il est ensuite solidifié en lingots ; sa pureté ne dépasse pas 95-98%.

Quelle est la variance du système où les quatre constituants de l'équation [1] sont à l'équilibre thermodynamique ?

Le diagramme de la Figure 1, qui présente l'évolution avec, la température de l'enthalpie libre de formation des différents composés pris en compte dans ce problème, permet de répondre graphiquement aux trois questions suivantes, sans effectuer le calcul du $\Delta_r G$ de la réaction [1] :

Q2 : Quelle est la température d'inversion de la réaction [1] à la pression atmosphérique ?

Q3 Pourquoi doit-on se placer au-dessus de cette température pour préparer le silicium élémentaire et non au-dessous ?

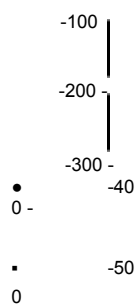
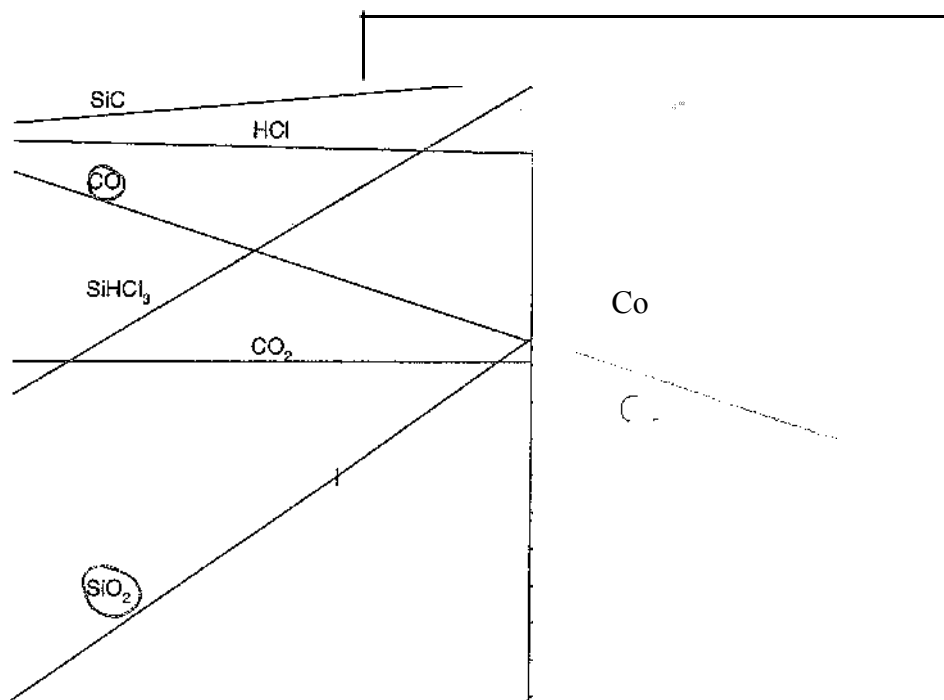
Q4 : La réaction parasite de formation du carbure de silicium SiC (solide) selon :



est-elle possible à la température d'inversion ?

Les réponses aux questions 2 et 4 nécessitent d'effectuer sur le diagramme de la Figure 1 des constructions géométriques simples dont on précisera la nature.

Q5 : Comment se déplacerait la température d'inversion de la réaction [1] avec une diminution de pression ?



1.2. La purification par distillation fractionnée

Q6 : Dessiner la molécule de trichlorosilane en représentation perspective.

Q7 : Cette molécule est-elle optiquement active ? Pourquoi ?

Q9 : Déterminer, en vous aidant de la Figure 1, les valeurs approchées des enthalpies standard de formation de SiHCl_3 et de HCl .

Q10 : En déduire, en le justifiant, le sens de déplacement de la réaction du Q8 ci-dessus (synthèse ou dissociation du trichlorosilane) quand on élève la température.

1.3. La fabrication des monocristaux

Le silicium issu de l'étape de réduction contient infiniment peu d'impuretés hormis celles qu'on a choisi de lui ajouter pour le doper « n » ou « p » (arsenic, bore, phosphore). Il n'est pas tenu compte

de ces ajouts dans la suite. Un procédé de fusion-solidification très lente le transforme en lingots monocristallins. Ce silicium monocristallin est décrit par un système cubique à faces centrées dans lequel la moitié des sites tétraédriques contient un atome de silicium (structure type diamant). La Figure 2 présente une vue en perspective de la maille du silicium. Le paramètre de maille a (longueur de l'arête de la maille) est égal à 543,07 pm.

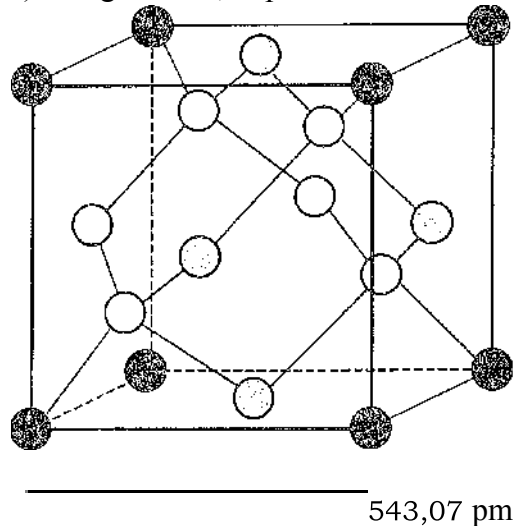


Figure 2 : Vue en perspective de la maille cubique du silicium. Les atomes gris foncé occupent les sommets de la maille, les atomes gris clair les centres des faces, les atomes blancs les lacunes tétraédriques, comme mentionné dans le texte.

Dans ce matériau monocristallin, on tronçonne puis on polit « miroir » des tranches fines (diamètre 15 cm, épaisseur 0,5 mm) de deux types :

Tranches [100] : surface des tranches contenant les atomes d'une des faces de la maille cristalline c.f.c. du silicium,

Tranches [111] : surface des tranches contenant les atomes de coordonnées ($x = a, y = a, z = a$) de la maille (a est le paramètre de la maille cubique).

Q11 : En utilisant des cercles pour représenter les atomes de silicium, schématiser l'arrangement atomique à deux dimensions du plan atomique de la surface de chacune de ces tranches. Seuls les atomes dont les centres sont contenus dans le plan de surface seront représentés. On veillera à ce que ressorte expressément l'environnement d'un atome de silicium par ses plus proches voisins de ce plan.

Q12 : Calculer la densité atomique (atomes Si x cm^{-2}) de chacun de ces plans.

II. GÉNÉRATION DES MOTIFS MICROMÉTRIQUES

Après une étape d'oxydation thermique générant une couche très fine de silice SiO_2 sur les tranches, les étapes de masquage et de gravure permettent d'obtenir des motifs de taille micrométrique, autorisant une très grande intégration des transistors élémentaires (VLSI : Very Large Scale Integration).

ILL Le masquage

Il est réalisé par étalement d'un polymère photosensible qu'on détruit localement par insolation et développement chimique (résine positive). L'un des matériaux utilisés pour les insulations par Rayons X est le PMMA, polyméthacrylate de méthyle, obtenu par polymérisation de son monomère, le 2-méthyl, propénoate de méthyle.

Q13 Quelle est la formule développée de ce monomère ?

Q14 Dans le cas où la synthèse du PMMA est une réaction de polymérisation anionique induite par NH_2 , quelles sont les formules des deux anions monomères isomères qui peuvent se former ?

Q15 L'un de ces deux anions isomères possède une stabilité remarquable due à un phénomène de résonance. Ecrire la relation de mésomérie en cause. On notera clairement les déplacements électroniques, les positions des doublets électroniques non liants et les charges électriques.

Q16 : Représenter le motif du matériau polymère PMMVA.

Q17 Par des considérations simples sur la force des bases mises en jeu, justifier le fait que l'anion amidure ne soit pas stable dans l'eau.

Q18 : Ecrire la réaction de cet anion avec l'eau.

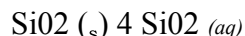
11.2. La gravure chimique de la silice :

Gravure basique

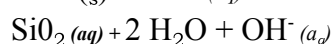
Dans les zones de la tranche non protégées par le PMMA, on peut dissoudre la couche de silice thermique sous forme de pentahydroxosilicate (IV) de potassium en utilisant une solution aqueuse d'hydroxyde de potassium.

Q19 Ecrire l'équation-bilan correspondante.

Q20 : Connaissant la solubilité moléculaire S de la silice et la constante de stabilité K_{st} de l'anion pentahydroxosilicate (IV) à partir de la silice dissoute, déterminer au-dessus de quel pH la dissolution devient quantitative (solubilité du silicium (IV) supérieure à $10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$).



$$pS = 2,7$$



$$pK_{st} = 4,4$$

Gravure acide

Si on ne souhaite pas travailler en milieu basique, on emploie souvent des solutions d'acide fluorhydrique HF qui solubilisent la silice sous forme de fluorosilicate SiF_6^{2-} .

Q21 : Quel est le nom de l'anion SiF_6^{2-} ?

Q22 L'acide fluorhydrique est un acide faible de pK_a voisin de 3,2. Quel est le pH d'une solution dans laquelle on a dissous 1 mol.L^{-1} de HF ?

Q23 : Ecrire la réaction de solubilisation de la silice dans cette solution.

On observe sur le diagramme potentiel-pH du silicium en présence de fluor (—I) (Figure 4), qu'une telle solution est susceptible d'attaquer également le silicium élémentaire dès que la couche de silice aura disparu.

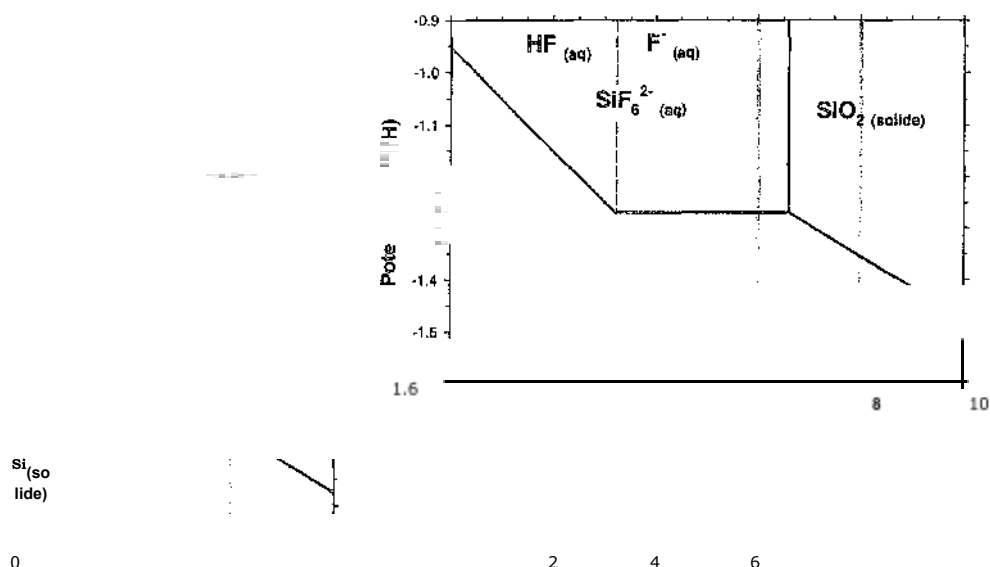


Figure 4 : Diagramme potentiel-pH du silicium à 25°C en présence de solutions contenant 1 mol/l de fluor (I) ; concentration de l'espèce dissoute SiF_6^{2-} : 10^{-2} mol/L .

Q24 : Ecrire cette réaction de dissolution du silicium.

L'observation expérimentale montre que, si l'attaque de la silice par HF est rapide à ce pH, celle du silicium est extrêmement lente.

Q25 : En déduire une valeur par défaut de la surtension du dihydrogène sur le silicium.

III. ENCAPSULATION DES CIRCUITS

Une fois terminés, les circuits intégrés sont encapsulés dans un matériau polymère qui autorise leur manipulation et leur confère une certaine protection contre les agressions extérieures (chocs, corrosion, La molécule de la Figure 5 (DGEBA) permet, par exemple, de synthétiser certains de ces matériaux.

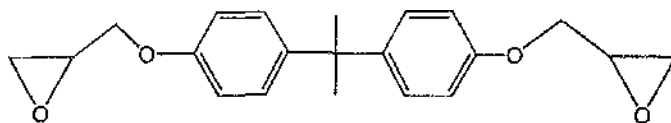


Figure 5 : Diglycidyléther du bisphénol A utilisable comme résine pour la préparation de

Fin de l'énoncé.

polyépoxydes d'encapsulation.

Q26 : Quelle est sa formule brute ?