

Correction de l'examen de micro 78
« Industrie de Microélectronique »

Questions de cours (20pts)

1- Donner la définition de microélectronique en citant la technologie qui a permis l'avancée de l'industrie microélectronique et donnez quelques applications les plus courantes. (1pt)

Réponse

La microélectronique est une spécialité du domaine de l'électronique qui s'intéresse à l'étude et à la fabrication de composants électroniques à l'échelle micrométrique. Ces composants sont fabriqués à partir de matériaux semi-conducteurs (Si, GaAs,..). Cette technologie permet l'intégration de nombreuses fonctions électroniques sur un même morceau de silicium (ou autre semi-conducteur) et donc à un coût de fabrication moins élevé. 0.5pts

Les applications courantes de l'industrie microélectronique sont : les composants électroniques; l'électronique grand public; les télécommunications; les communications militaires; les ordinateurs et les périphériques; l'électronique industrielle; l'électronique médicale. 0.5pts

2- Dites pourquoi dans l'industrie de microélectronique, le silicium est plus utilisé que le germanium pour la fabrication des composants électroniques. (1pts)

Réponse

L'industrie microélectronique repose en majeure partie sur le Silicium (Si) car il existe en grande quantité sous forme de silice, il est le deuxième élément le plus fréquent de la croûte terrestre (O₂ : 46%, Si : 28%, Al : 8%). Sa température de fusion est plus grande (1415°C) et surtout grâce à la possibilité très aisée de déposer le SiO₂ sur le silicium dans la Technologie PLANAR qui a révolutionnée l'ère de la microélectronique contrairement à l'oxyde de germanium GeO₂ qui est impossible

de le faire croître et c'est pour cela que le germanium a été abandonné dans la fabrication des composants électroniques.

- 3- Pourquoi la microfabrication des composants électronique nécessite une salle blanche.
(1pt)

Réponse

La microfabrication des composants électroniques nécessite un environnement propre dite « salle blanche » dans laquelle la concentration des particules en suspension dans l'air est maîtrisée. Donc, elle est construite et utilisée de façon à minimiser l'introduction, la production et la rétention des particules à l'intérieur, tels que la poussière, la température, l'humidité et la pression.

Aussi, les personnes travaillant à l'intérieur des salles blanches doivent porter des vêtements particuliers pour minimiser la dispersion des micro-organismes et des particules qu'ils génèrent eux-mêmes telles que les cheveux, les pellicules cutanées et les fibres de vêtements.

- 4- Quel est l'intérêt de faire croître des couches oxydes ou isolantes dans un process technologique, Citez l'oxyde le plus utilisé et les techniques qui permettent son dépôt.
(2pts)

Réponse

L'intérêt de faire croître des oxydes ou isolants dans un process technologique est leur utilisation comme couche de passivation, zones d'isolation dans les circuits intégrés. Le plus utilisé est le SiO₂, puisqu'il s'adapte bien à la technologie Silicium PLANAR en raison de son utilisation comme masque pour la diffusion des impuretés dopantes, et comme oxyde de grille dans la technologie MOS.

Les techniques qui permettent le dépôt du SiO₂ sont :

- ✓ Dépôt par voie thermique en présence d'O₂ (oxydation sèche) ou en présence de vapeur d'eau (oxydation humide).*

- ✓ *Dépôt en phase chimique à basse pression LPCVD ou à pression atmosphérique APCVD, oxydation anodique, oxydation par pulvérisation (Sputtering)*

5- L'élaboration de couches actives dans les dispositifs à semiconducteurs s'effectue par trois manières :

Epitaxie, Diffusion thermique et Implantation ionique

- Il existe principalement 3 types de méthodes expérimentales d'épitaxie (VPE, LPE, MBE). Définissez les termes et donner brièvement l'utilisation de chacune pour le Si et pour le GaAs. (2pt)
- Donner les trois types de sources qui permettent de fournir les espèces dopantes en les faisant pénétrer dans le substrat. Classifier ces composés chimiques suivant les sources utilisées : B_2H_6 , $POCl_3$, P_2O_5 , B_2O_3 et PH_3 en spécifiant le type N ou P. (1pts)
- L'étape de diffusion se fait pratiquement en deux étapes. Citez-les. (1 pt)
- Quel est l'intérêt de faire le dopage par implantation ionique ? expliquer brièvement le principe (1pt)

Réponse

- ✓ *Epitaxie*

VPE : (Vapor Pressure Epitaxy soit Epitaxie en Phase Vapeur) est utilisée pour le silicium

LPE : (Liquid Pressure Epitaxy soit Epitaxie en Phase Liquide)

MBE : (Molecular Beam Epitaxy soit Epitaxie par Jet Moléculaire)

LPE et MBE utilisé pour les semiconducteurs III-V (GaAs, InP, GaP,..)

- ✓ *Les sources de dopants :*

- *Sources solides: P_2O_5 pour type N ; B_2O_3 pour type P*
- *Sources liquides : $POCl_3$ pour type N*
- *Sources gazeuses: PH_3 pour type N ; B_2H_6 pour type P*

- ✓ *La diffusion thermique se fait en deux étapes :*

- *la première se déroule à source constante à une température et un temps court ce qui permet un dépôt d'une quantité Q dans le substrat à une profondeur très faible c'est l'étape de pré-dépôt*
 - *la seconde est le drive-in ou pénétration où la source de dopants est supprimée, la diffusion de la quantité introduite Q se fait à T pendant un temps adéquat qui va définir la profondeur de la jonction x_j .*
- ✓ *L'implantation ionique est une technique d'introduction des atomes dopants qui permet un contrôle précis de la quantité totale d'atomes implantés (dose d'implantation) et du profil de concentration du dopant. Cette précision permet en particulier l'ajustement de la valeur du gain en courant d'un transistor bipolaire ou l'ajustement de la tension de seuil du transistor MOS..*
- 6- *Quelle est l'étape technologique qui permet l'élimination d'une couche déposée ? Citer les plus utilisées dans l'industrie microélectronique en donnant brièvement le principe.*

(2pt)

Réponse

C'est l'étape de gravure qui sert à attaquer la couche non protégée par la résine photosensible qui peut être par exemple de l'oxyde pour introduire des atomes dopants par diffusion thermique ou implantation ionique ou du métal pour laisser subsister ce dernier que dans les zones de contacts,..

Il existe :

- *la gravure chimique : emploi des solutions chimiques pour attaquer ces couches (acide fluorhydrique HF pour le SiO_2 , l'acide phosphorique H_3PO_4 pour l'aluminium,..)*
- *la gravure sèche : qui nécessite une chambre sous vide poussée et sous tension élevée où des gaz réactifs éliminent la couche non protégée par la résine photosensible par bombardement en présence d'un plasma (gravure purement sèche) ou par un gaz chimiquement réactif tel que tétra fluorure de carbone (CF_4) c'est la gravure sèche chimique.*

7- Citez quelques impacts de l'industrie microélectronique sur la santé humaine et sur l'environnement. Donner quelques solutions nécessaires pour minimiser ces risques.

(2pt)

Réponse

L'utilisation des gaz dans la microfabrication (arsine et phosphine, par exemple) sont hautement toxiques, des produits chimiques, des gaz inflammables peuvent nuire la santé humaine (cancer, atteinte des branches respiratoire, brulure, ..),

Les produits chimiques entrant dans la fabrication des pièces et des composants électroniques et les déchets produits créent des problèmes d'environnement (déchets solides, air, eaux usées,..)

Les solutions sont :

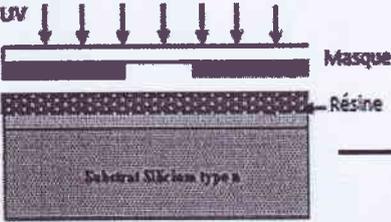
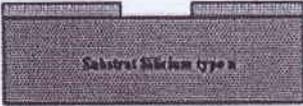
- port des vêtements spéciaux couvrant entièrement le corps (combinaisons), des coiffes, des couvre-chaussures et souvent même des masques faciaux (voire des appareils de protection respiratoire à adduction d'air).

-systèmes de ventilations de plus en plus rénovés.

-recyclage/récupération/incinération ; E.puration de l'air (absorption) ;

Recyclage/retraitement

8- La fabrication de la jonction PN au silicium par la technologie PLANAR est décrite par les étapes de (1) à (9). Faites la correspondance de chaque étape avec son nom spécifié par une des lignes de (a) à (i). Expliquer brièvement chaque étape. (6 pts)

- (1)  → (d) Nettoyage RCA et préparation du substrat (étape nécessaire pour éliminer tous les déchets de type organiques, métalliques,..) et l'oxyde natif
- (2)  → (h) Oxydation humide (dépôt du SiO₂ épais pour le 1^{er} masque de diffusion)
- (3)  → (i) Insolation aux UV : c'est l'étape de photolithographie qui permet le transfert du motif dessiné sur un masque en quartz vers la plaquette à travers un aligneur
- (4)  → (a) Développement de la résine : éliminer la résine détruite par les UV (ici c'est le cas de la résine positive)
- (5)  → (f) Gravure : attaque de la couche non protégé par la résine (a) puis élimination de la résine restante
- (6)  → (b) Dopage par diffusion thermique ou implantation pour créer la région de type P
- (7)  → (c) Ouverture des contacts
- (8)  → (e) Dépôt d'une couche métallique en Aluminium(Al)
- (9)  → (g) Gravure d'Al et prise de contact d'Anode et de Cathode.