

# Technologie salle blanche et caractérisation

## Réalisation du circuit intégré MOSTEC

### Diodes diffusées

Mohamed Hage Hassan

Lucien Dos Santos

Nathanaël Marty

Ayoub Bargach

Benjamin Bony

14 Mars, 2017

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Caractérisation matériaux</b>	<b>3</b>
2.1	Substrat . . . . .	3
2.2	Oxyde de champs . . . . .	3
2.3	Diode . . . . .	3
2.4	Aluminium . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Fiche Procédés</b>	<b>4</b>
3.1	Étude oxyde de champ . . . . .	4
3.2	Nettoyage chimique . . . . .	4
3.2.1	Étapes du procédé . . . . .	4
3.2.2	Rôle de chaque étape . . . . .	5
3.3	Diode – réalisation de la jonction . . . . .	5
3.4	Dépôt des contacts métalliques . . . . .	5
3.4.1	Description de la technique de dépôt . . . . .	5
3.4.2	Paramètres de dépôts . . . . .	6
3.4.3	Épaisseur attendue . . . . .	6
3.5	Photolithogravure . . . . .	6
3.5.1	Mesures . . . . .	6
3.5.2	Données expérimentales . . . . .	6
3.5.3	Gravure aluminium . . . . .	6
3.5.4	Méthode du retrait de résine . . . . .	7
3.6	Nettoyage face arrière . . . . .	7
3.6.1	Raison de réalisation . . . . .	7
3.6.2	Méthode de mise en place . . . . .	7

<b>4</b>	<b>Fiche Mesures</b>	<b>8</b>
4.1	Ellipsométrie . . . . .	8
4.1.1	Description de la technique . . . . .	8
4.1.2	Mesure de l'épaisseur d'oxyde de champs . . . . .	8
4.2	Profilométrie . . . . .	8
4.2.1	Description de la méthode . . . . .	8
4.2.2	Mesure de l'épaisseur d'oxyde de champs . . . . .	8
4.2.3	Mesure de l'épaisseur d'aluminium . . . . .	8
4.3	Mesure de résistivité – 4 pointes alignées . . . . .	9
4.3.1	Description de la méthode . . . . .	9
4.4	Mesure de résistivité – méthode inductive . . . . .	9
4.4.1	Méthodologie . . . . .	9
4.4.2	Substrat . . . . .	9
4.4.3	Aluminium . . . . .	9
<b>5</b>	<b>Conclusion</b>	<b>10</b>

# 1 Introduction

Le développement du monde électronique se repose sur la miniaturisation des circuits, en accompagnant la loi de Moore. On passe de la microélectronique en nano, ce qui a toujours nécessiter des procédures complexes pour la mise en place de tels défis technologiques.

Ces procédures sont à la base de la création des salles blanches, qui ont pour but d'éviter toute intrusion d'impuretés présentes dans l'air à l'intérieur des circuits électroniques. A cette échelle, la moindre particule peut compromettre le fonctionnement d'une puce.

Dans notre cas, on va étudier la réalisation des 2 parties principaux d'un transistor MOSFET, l'élément essentiel d'un circuit électronique : la jonction PN, et la capacité MOS. Le présent compte rendu se focalisera sur la partie diode.

## 2 Caractérisation matériaux

### 2.1 Substrat

Données fabricant	Données mesurées
<ul style="list-style-type: none"><li>- Orientation <math>100 \pm 0.5</math> deg</li><li>- Dopant</li><li>- Epaisseur <math>e = 275 \pm 25</math> m</li><li>- Résistivité <math>\rho = 0.2 - 0.4 \text{ } \Omega/cm</math></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Résistance de feuille <math>R_{carre} = 12.4 \text{ } \Omega</math></li><li>- Résistivité <math>\rho = 37.2 \times 10^{-2} \text{ } \Omega/cm</math></li><li>- Dopage <math>N_a = 10^{17} m^{-3}</math></li></ul>

### 2.2 Oxyde de champs

Epaisseur ellipso $e^{ellipso}(SiO_2)$	527 nm
Epaisseur profilomètre $e^{profilo}(SiO_2)$	535 nm

### 2.3 Diode

- Résistance de feuille (4 pointes):  $R_{carre} = 50.7 \text{ } m\Omega$
- Résistance de feuille (induction):  $R_{carre} = 8.4 \text{ } \Omega$

### 2.4 Aluminium

Epaisseur $e_{Al}$	449.3 nm
Résistance de feuille $R_{carre}$	$16.4\Omega$
Résistivité $\rho = R_{carre} \times e_{Al}$	$7 \times 10^{-6} \Omega/cm$
Résistivité théorique $\rho_{th}(Al)$	$27 \times 10^{-9} \Omega/m$

## 3 Fiche Procédés

### 3.1 Étude oxyde de champ

- **Technique**

La technique utilisée pour cette procédure est l'oxydation thermique humide.

- **Calculer les temps de croissance nécessaire pour obtenir 500 nm de SiO<sub>2</sub> sur silicium par oxydation humide et oxydation sèche à 1050 C**

L'épaisseur d'oxydation varie selon la lois suivante :

$$e^2 + A \times e = B.t$$

Alors :

$$t = \frac{e^2}{B} + A \frac{e}{B}$$

avec A et B dépendant de la température.

D'après les abaques du cours, à 1050 C pour une oxydation humide :

- $B = 3 \times 10^{-1} \mu m^2/h$

- $B/A = 2.8 \mu m/h$

$$\implies t_{humide} = 1 \text{ h}$$

Pour une oxydation sèche :

- $B = 1.5 \times 10^{-2} \mu m^2/h$

- $B/A = 2 \times 10^{-1} \mu m/h$

$$\text{Alors } t_{seche} = 19 \text{ h}$$

- **Justifier le choix de la technique utilisée**

L'oxydation sèche permet un énorme gain de temps et d'énergie.

### 3.2 Nettoyage chimique

#### 3.2.1 Étapes du procédé

Pour supprimer l'oxyde qui se forme naturellement lorsqu'on laisse la plaque à l'air libre, on réalise un nettoyage chimique.

1. La plaque est plongée dans un bain de Hf pendant 5 secondes.
2. Rinçage de la plaque à l'eau distillé puis purifiée
3. Nouvelle oxydation dans un bain d'acide sulfurique + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> pendant 15 mins.
4. Rinçage (cf 2/)

5. Suppression de la couche d'oxyde formée en réalisant à nouveau l'étape 1/
6. Rinçage (cf 2/)
7. Séchage à la centrifugeuse

### 3.2.2 Rôle de chaque étape

On explore aussi la conséquence sur le caractère hydrophile ou hydrophobe du silicium :

1. Supprime l'oxyde naturel. La surface arrière est hydrophile avant corrosion (couche d'oxyde) et hydrophobe après corrosion (surface de silicium).
2. Stoppe la corrosion de l'oxyde. On observe que la surface rejette l'eau.
3. Emprisonne les impuretés qui auraient pu diffuser dans le silicium dans une nouvelle couche d'oxyde. La couche d'oxyde ainsi formé est hydrophile et l'eau reste collé pendant le rinçage.
4. Stoppe l'oxydation.
5. Supprime la couche d'oxyde ainsi que les impuretés présentes dedans. Après cette étape la surface arrière est hydrophobe.
6. Arrête la corrosion de l'oxyde.
7. Sèche la plaque.

### 3.3 Diode – réalisation de la jonction

- **Technique de dopage utilisée, citer une technique de dopage alternative**

Le dopage employé est un dopage par diffusion de  $POCl_3$ .

Une autre méthode existe: *dopage par implantation ionique*.

- **Profil de température, données expérimentales**

### 3.4 Dépôt des contacts métalliques

#### 3.4.1 Description de la technique de dépôt

La technique employé est la pulvérisation cathodique :

- Tout d'abord les échantillons sont placés dans une enceinte sous vide (pression à  $10^{-7}$  mbar)
- Un gaz d'argon est libéré et ionisé dans l'enceinte.
- Les ions  $Ar^+$  sont accélérés par un champ électrique pour venir arracher des atomes d'Al sur une surface placée au dessus des échantillons.
- Les atomes d'Al sont accélérés dans l'autre sens et viennent percuter la surface des échantillons pour s'y fixer.

### 3.4.2 Paramètres de dépôts

Cible	Aluminium	Pression de travail	$10^{-7}$ mbar
Gaz	Argon	Puissance	
Couleur du plasma	Violet	Durée	3 min

### 3.4.3 Epaisseur attendue

On attend une épaisseur d'aluminium de 500 nm environ.

## 3.5 Photolithogravure

### 3.5.1 Mesures

Epaisseur (résine)	1.135 $\mu m$ avant recui, 1.052 $\mu m$ après
Epaisseur (résine gravée + alu)	1.580 $\mu m$
Epaisseur (Alu)	0.530 $\mu m$

En déduire la sélectivité de la gravure :

La gravure attaque l'aluminium mais pas la résine.

### 3.5.2 Données expérimentales

Résine	S18 13	Durée (insolation)	7s
Vitesse d'étalement	5000 rpm	Durée (développement)	1 min
T(séchage)	120 C	T(durcissement)	130 C
Durée (séchage)	2 min 30 s	Durée(durcissement)	2 min 30 s

- o Epaisseur de résine attendue

1.3 $\mu m$

- o Role du séchage

Le séchage permet à la résine de ne plus être liquide et donc de rester en place sur la plaque, car l'épaisseur doit rester constante.

- o Role du recuit

Le recuit permet, une fois le développement réalisé, de rendre la résine résistante à la gravure de l'aluminium.

### 3.5.3 Gravure aluminium

- o Données expérimentales

Gravure à l'acide acétique + acide phosphorique à 45 C pendant 3 min environ. À la fin de la gravure, la face avant de la plaque passe d'une couleur argentée à une couleur sombre rapidement.

- o **En tenant compte de la vitesse de gravure annoncée, estimer l'épaisseur d'aluminium**  
En théorie en 3min on devrait pouvoir retirer  $0.9\mu m$  d'aluminium.

### **3.5.4 Méthode du retrait de résine**

Gravure de résine à l'aide d'un plasma d' $O_2$  qui ne va pas attaquer l'aluminium et le silicium.

## **3.6 Nettoyage face arrière**

### **3.6.1 Raison de réalisation**

Afin de retirer le dopage à l'arrière du wafer. Cette étape est importante car elle permet d'éviter une diffusion des impuretés à la surface et un meilleur contact, la face arrière étant utilisée comme une masse.

### **3.6.2 Méthode de mise en place**

On utilise la méthode RIE (Reactive Ion Etching), on combine mécanisme chimique (qui sélectionne la couche à graver) et un mécanisme physique par abrasion anisotrope.

Cette méthode fonctionne à l'aide d'un réacteur plasma avec deux électrodes, le substrat jouant le rôle de la cathode. Le gaz qui entre dans le réacteur est ionisé, et sous l'effet de champ, bombarde notre cible.

## 4 Fiche Mesures

### 4.1 Ellipsométrie

#### 4.1.1 Description de la technique

L'ellipsométrie permet de mesurer de manière non-destructive l'épaisseur de fines couches de diélectriques. On envoie une onde monochromatique plane polarisée rectilignement au niveau de la cible, puis on mesure le déphasage ainsi que le rapport des amplitudes entre l'onde incidente et l'onde réfléchie.

#### 4.1.2 Mesure de l'épaisseur d'oxyde de champs

Après manipulation nous obtenons 5 valeurs d'épaisseur :

- 526.75 nm
- 521.29 nm
- 524.87 nm
- 522.20 nm
- 529.75 nm

On en déduit une moyenne de 524.97 nm.

### 4.2 Profilométrie

#### 4.2.1 Description de la méthode

La profilométrie est une technique pour mesurer la rugosité d'une surface, ou même sa micro-géométrie. Dans notre cas, une pointe très fine vient se poser sur un bloc qu'on désire mesurer l'épaisseur. Ces blocs sont notamment les plots des diodes qu'on a établie dans les démarches précédentes. Cette technique est utilisée dans plusieurs étapes (après la gravure humide ainsi que le nettoyage RIE face arrière).

#### 4.2.2 Mesure de l'épaisseur d'oxyde de champs

On mesure l'épaisseur de l'oxyde de champs, on retrouve :

$$e_{SiO_2} = 500nm$$

La mesure actuelle est plus précise que l'ellipsométrie.

#### 4.2.3 Mesure de l'épaisseur d'aluminium

L'épaisseur d'aluminium est mesurée à :

$$e_{SiO_2} = 449.3 \text{ nm}$$



### 4.3 Mesure de résistivité – 4 pointes alignées

#### 4.3.1 Description de la méthode

La mesure de résistivité 4 pointes consiste à prélever l'intensité sur l'ensemble de l'échantillon, et la tension sur une portion de l'échantillon. Contrairement à une mesure classique de résistance, celle-ci permet de mesurer la résistance réelle de l'échantillon (sans considérer les résistances de contact avec les fils). On utilise notamment cette technique pour mesurer des résistivité très faibles, pour lesquelles les résistances de contacts ne sont pas négligeables par rapport à celle de l'échantillon.

Nous n'avons pas utilisé la technique de mesure de résistivité 4 pointes, mais la méthode par induction.

### 4.4 Mesure de résistivité – méthode inductive

#### 4.4.1 Méthodologie

C'est une technique qui utilise deux bobines. L'une induit des courants de Foucault dans notre matériau, Puis, cela induit un champ magnétique, lui-même créant un courant, dans la bobine placée à proximité. Le courant induit permet alors de récupérer la conductivité sans contact et sans branchement avec le métal.

#### 4.4.2 Substrat

- $R_{carre}$  du substrat :  $12.4 \Omega$
- Epaisseur de la couche de Si :  $0.03 \text{ cm}$
- Résistivité du Substrat :  $0.372 \Omega.cm$

On obtient bien une résistivité comprise entre 0.2 et 0.4 Ohm.cm données par le fabricant.

En lisant sur les graphiques (Résistivité/Dopage), on obtient un dopage  $Na = 10^{17} \text{ m}^{-3}$ .

#### 4.4.3 Aluminium

Calcul de la résistance de feuille :

- $R_{carre}$  total de l'échantillon =  $R_{feuille} // R_{substrat}$
- $R_{carre}$  total :  $8.4 \Omega$

On a alors :

$$\frac{1}{R_{totale}} = \frac{1}{R_{feuille}} + \frac{1}{R_{substrat}}$$

Ce qui implique que :

$$R_{Alu} = 26.04 \Omega$$

## 5 Conclusion

Au cours de la séance et afin de réaliser une jonction PN munie d'un point de contact métallique, nous avons dû suivre toute une procédure. Chaque étape nécessitait d'être précis et concentré (pour ne pas inverser deux sous étapes ou même casser une plaque). Au final cette séance montre bien les exigences qu'imposent les procédés d'intégration en salle blanche: Chaque étape est suivie d'une vérification par la mesure et la propreté de l'environnement de travail se doit d'être irréprochable. De plus, certaines étapes n'appartiennent pas au procédés de fabrication à proprement parlé mais sont quand même indispensable, comme le nettoyage des plaques par exemple.

Enfin pour vérifier que la jonction PN final répond bien aux attentes, nous procédons à une caractérisation lors d'une autre séance hors salle blanche.