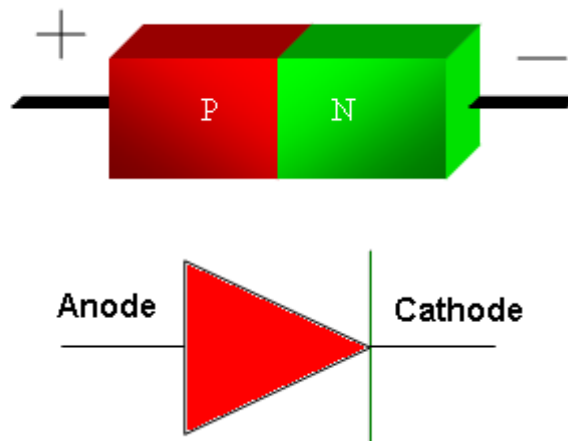




## FABRICATION DE DIODES P/N



## SOMMAIRE

Consignes d'évacuation	page 3
Consignes de sécurité	page 4
Directives de manipulation	page 4
Procédure d'entrée en salle blanche	page 5
Fiche de process	page 6
I- caractérisation du substrat	page 6
II- oxydation de masquage	page 6
1- nettoyage avant oxydation	page 6
2- oxydation thermique humide	page 7
III- photogravure n° 1 : "ouverture diffusion cathode"	page 7
1- photolithographie	page 8
2- protection face arrière	page 8
3- gravure oxyde de masquage	page 9
IV- diffusion cathode	page 10
1- pré-dépôt	page 11
2- redistribution	page 11
V- désoxydation fenêtres de diffusion	page 12
VI- métallisation	page 13
VII- photogravure n° 2 : "gravure métal"	page 14
VIII- tests et montage	page 16
1- test sous pointes	page 16
2- découpe	page 16
3- montage	page 16
4- micro-soudure	page 16
Masques DIO2	page 17
Puce composants montée sur embase	page 18
Coupes des différentes étapes du process	page 19
Fiche de caractérisation	page 20

## REMERCIEMENTS

Jean-Louis NOULLET, Jérémie GRISOLIA, Jean-Pierre ULMET

## **CONSIGNES D'ÉVACUATION**

### **Destinées aux enseignants**

**RAPPEL : chaque enseignant est responsable de l'évacuation dans l'ordre et le calme de tous les étudiants qu'il a en charge au moment de l'alerte.**

► **EN SALLES BLANCHES N°1 ET N°3 :**

- Évacuer l'ensemble des personnes présentes par les issues de secours qui donnent directement dans le hall d'entrée.
- Ne pas repasser par le SAS, ne pas se déshabiller.

► **EN SALLES BLANCHES N°2 ET N°4 :**

- Évacuer les étudiants par l'issue de secours qui donne en galerie d'observation puis sur la pelouse arrière.

**Rassembler tous les étudiants devant l'entrée de l'A.I.M.E.**

**Effectuer un recensement.**

**Ne pas réintégrer les locaux sans l'avis des pompiers ou du directeur (ou du responsable technique présent).**

## CONSIGNES DE SÉCURITÉ

### REPEREZ LES EQUIPEMENTS DE SECURITE :

- issues de secours
- douches de sécurité
- extincteurs
- équipements respiratoires autonomes

### LE PORT DES LUNETTES DE PROTECTION EST OBLIGATOIRE POUR :

- nettoyages chimiques (R.C.A.<sup>1</sup> et  $\text{H}_2\text{SO}_4$  -  $\text{H}_2\text{O}_2$ )
- toute attaque humide

IL EST **INTERDIT** AUX STAGIAIRES DE TRANSPORTER LES PRODUITS CHIMIQUES D'UN POSTE DE TRAVAIL À UN AUTRE.

### GARDEZ PRÉSENT À L'ESPRIT QUE :

- le port des gants est obligatoire mais ils ne constituent pas une protection suffisante contre les hautes températures ou les produits corrosifs
- certains bains dégagent des vapeurs nocives, normalement aspirées par les hottes à flux laminaire
- les couvre-chaussures rendent parfois le sol très glissant.

## DIRECTIVES DE MANIPULATION

**Attention :** les boîtes de plaquettes s'ouvrent en tournant le couvercle dans le **sens** des aiguilles d'une montre.

Pour prendre une plaquette avec la pince :

- profiter du méplat dans le cas où la plaquette est dans la boîte
- pincer à au moins **5 mm du bord** de la plaquette pour réduire le risque de rupture
- si la plaquette est sur une surface plane, la faire glisser jusqu'au bord pour la saisir plus facilement.

Toute plaquette sortant d'un traitement humide doit subir à la fin un rinçage à l'eau D.I. et un séchage mécanique avant d'être rangée dans sa boîte.

Un bon rinçage doit inclure un changement de pince, il faut avoir une seconde pince disponible et propre.

Les becs des pinces ne doivent pas être essuyés (ni sur la blouse, ni sur du papier), ils doivent être rincés à l'eau et séchés à l'azote.

La fonction des gants est de protéger les composants contre la contamination. Il faut aussi éviter de contaminer les gants.

Le plastique des boîtes ne supporte pas la température des plaquettes sortant juste d'un four : laisser celles-ci refroidir environ 20 secondes à l'air libre.

Le papier est une source de contamination, faites-en l'usage minimum.

---

<sup>1</sup> RCA : Radio Corporation of America

## PROCÉDURE D'ENTRÉE EN SALLE BLANCHE

Laisser les vêtements de ville et les sacs dans les casiers de l'espace étudiant, verrouillables par monnayeur.

### ► ENTRÉE EN SALLE BLANCHE

Blouse :            blanche : personnel permanent  
                      bleue :    stagiaire  
                      verte :    visiteur

Couvre-chaussures : à disposition dans le meuble bas à couvercles métalliques  
                              placer la couture à l'intérieur  
                              ne poser le pied dans la partie propre du sas qu'une fois chaussé.

Charlottes :            mises à disposition dans le distributeur mural.

Gants latex :            2 tailles mises à disposition dans 2 distributeurs muraux.  
                              (en cas d'allergie au latex, des gants nitrile peuvent être fournis).

### ► SORTIE DE LA SALLE BLANCHE

Blouse :                    à suspendre au cintre numéroté correspondant à chaque binôme

Couvre-chaussures : à jeter la poubelle

Charlottes :            à garder dans la manche de la blouse

Gants latex :            à jeter à la poubelle

### ► RECOMMANDATIONS

- Veiller à ne pas entrer dans le sas avec des chaussures de ville boueuses ou mouillées (utiliser le paillason à l'entrée de l'AIME).
- Limiter le nombre d'objets et de documents qui entrent en salle blanche (crayon à mine carbone proscrit).

## FICHE DE PROCESS

### Remarque préliminaire :

Pendant toute la durée du process, le contrôle de la qualité de chaque étape doit être un souci permanent si l'on veut aboutir à un composant final en état de marche, ainsi qu'à un bon rendement sur l'ensemble de la plaquette. Dans ce but, on utilisera, en parallèle avec la plaquette « composants », une plaquette témoin qui permettra de caractériser avec précision chaque étape réalisée avant de passer à la suivante.

### I- CARACTERISATION DU SUBSTRAT

Le substrat utilisé est du silicium de type P (dopé Bore), d'orientation <100>, dont vous devrez dans un premier temps déterminer les caractéristiques suivantes et les reporter sur la fiche de résultats (ces mesures se font sur les tranches n'ayant subi aucun traitement) :

Opérations	Conditions
<input type="checkbox"/> 1°) Mesure épaisseur wafer	$e =$ $\mu\text{m}$
<input type="checkbox"/> 2°) Mesure 4 pointes	$V/I =$ $\Omega$
<input type="checkbox"/> 3°) Calcul résistance carré	$R_{\square} =$ $\Omega/\square$
<input type="checkbox"/> 4°) Calcul résistivité	$\rho_s =$ $\Omega.\text{cm}$
<input type="checkbox"/> 5°) Calcul concentration dopant	$N_A =$ $\text{at.cm}^{-3}$

### II- OXYDATION DE MASQUAGE

Cette étape est généralement réalisée par le personnel de l'AIME. Elle consiste à nettoyer la surface de la plaquette pour réaliser une oxydation thermique permettant de former un oxyde  $\text{SiO}_2$  épais. Cet oxyde dit « **oxyde de masquage** » protège l'ensemble de la plaquette. Par photogravure on ouvre les différentes « fenêtres » nécessaires aux étapes ultérieures du process (oxydation mince, ouvertures de contact,...).

#### 1- Nettoyage avant oxydation

Opérations	Conditions
<input type="checkbox"/> 1°) Dégraissage	Trichloréthylène, acétone, eau DI
<input type="checkbox"/> 2°) Oxydation chimique	$\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$ (1 / 1) – 2 min
<input type="checkbox"/> 3°) Rinçage	Eau DI
<input type="checkbox"/> 4°) Attaque $\text{SiO}_2$	HF dilué - 30 s
<input type="checkbox"/> 5°) Rinçage	Eau DI
<input type="checkbox"/> 6°) Séchage	Tournette de séchage
<input type="checkbox"/> 7°) Lavage - séchage	Laveur-sécheur – 4 min

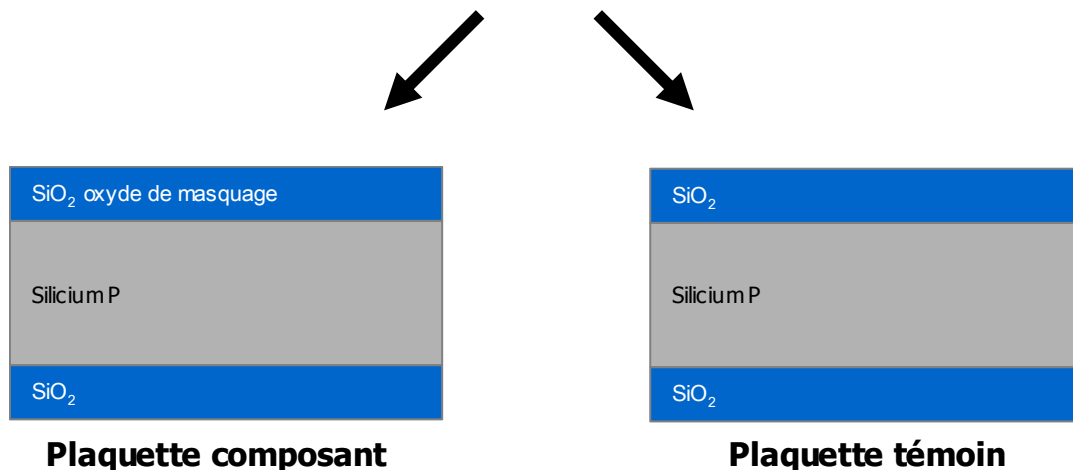
## 2- Oxydation thermique humide

Cette opération s'effectue en cinq étapes dans le four N° 2-2

Température	Temps	Débit
de 600 à 1100 °C	20 min	N <sub>2</sub> = 1 l/min
1100 °C	35 min	H <sub>2</sub> = 2,7 l/min - O <sub>2</sub> = 1,5 l/min
1100 °C	30 min	O <sub>2</sub> = 2,2 l/min
1100 °C	10 min	Ar = 1,5 l/min
de 1100 à 600 °C	60 min	N <sub>2</sub> = 1 l/min

A la fin de cette étape d'oxydation, vous récupèrerez deux plaquettes :

- une plaquette dite « **composant** » où seront réalisés les composants
- une plaquette dite « **témoin** » qui vous servira à caractériser les principales étapes du process.

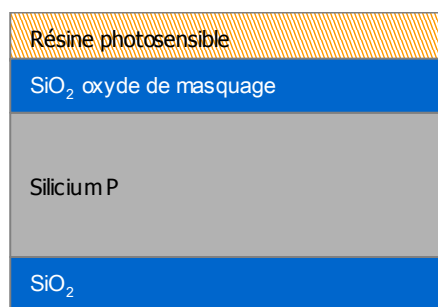


### III- PHOTOGRAVURE n° 1 : "OUVERTURE POUR LA DIFFUSION DE LA CATHODE"

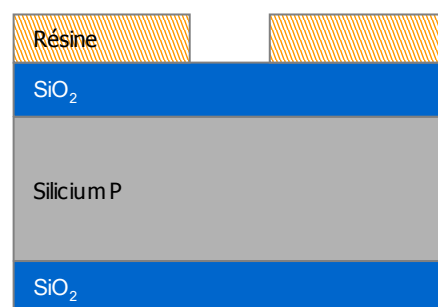
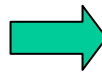
Cette étape est destinée à graver l'oxyde de masquage précédemment formé sur la face avant de la plaquette. Elle se déroule en deux phases successives : une première opération dite de Photolithographie au cours de laquelle une résine est déposée puis développée après insolation à travers le masque n°1. A ceci s'ajoute, une étape intermédiaire de protection de la face arrière et enfin une seconde étape dite de gravure humide (wet en anglais) du SiO<sub>2</sub>. Les opérations nécessaires à ces différentes étapes sont décrites ci-dessous :

## 1- Photolithographie

Opérations	Conditions
1°) Séchage	Plaque chauffante 120 °C – 2 min
2°) Dépôt résine *	Shipley S1813 - 4000 tr/min – 30 s
3°) 1ère cuisson	Plaque chauffante 100 °C – 1 min
4°) Alignement - Insolation	Masque n°1 – 4 s
5°) Développement **	Bain à 20 °C – 30 s
6°) Rinçage	Eau DI
7°) Séchage	Tournette de séchage
8°) Observation	Microscope optique
9°) 2ème cuisson	Plaque chauffante 120 °C – 45 s



**Après le dépôt de la résine\***

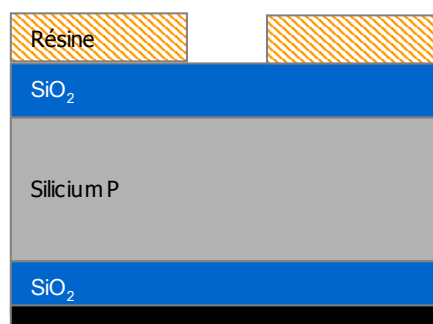


**Après le développement de la résine\*\***

## 2- Protection face arrière

A cette étape du process, la protection de la face arrière est nécessaire afin de préserver la couche d'oxyde épais qui évitera la formation de jonctions parasites sur la face arrière lors de l'étape de diffusion.

Opérations	Conditions
10°) Protection face AR	Cire Apiézon



**Après protection face arrière**



### 3- Gravure de l'oxyde de masquage

Le but de cette étape est de graver, à travers le masque de résine, l'oxyde de masquage et de délimiter ainsi des régions de la plaquette où apparaît le silicium. Ces régions sont appelées « fenêtres de diffusion » car c'est à travers elles qu'aura lieu la diffusion du dopant, l'oxyde de masquage faisant ainsi office de barrière à la diffusion. Cette gravure est une gravure dite humide (wet) qui s'effectue par immersion de la plaquette dans une solution acide appropriée. Cette solution gravera sélectivement l'oxyde vis à vis du silicium. Il est très important de connaître le temps d'attaque du bain employé car celle-ci peut varier d'un bain à un autre ou encore selon la température et l'âge de la solution.

La détermination de cette vitesse, et donc du temps d'attaque à employer, s'effectuera sur la plaquette témoin à l'aide des opérations suivantes :

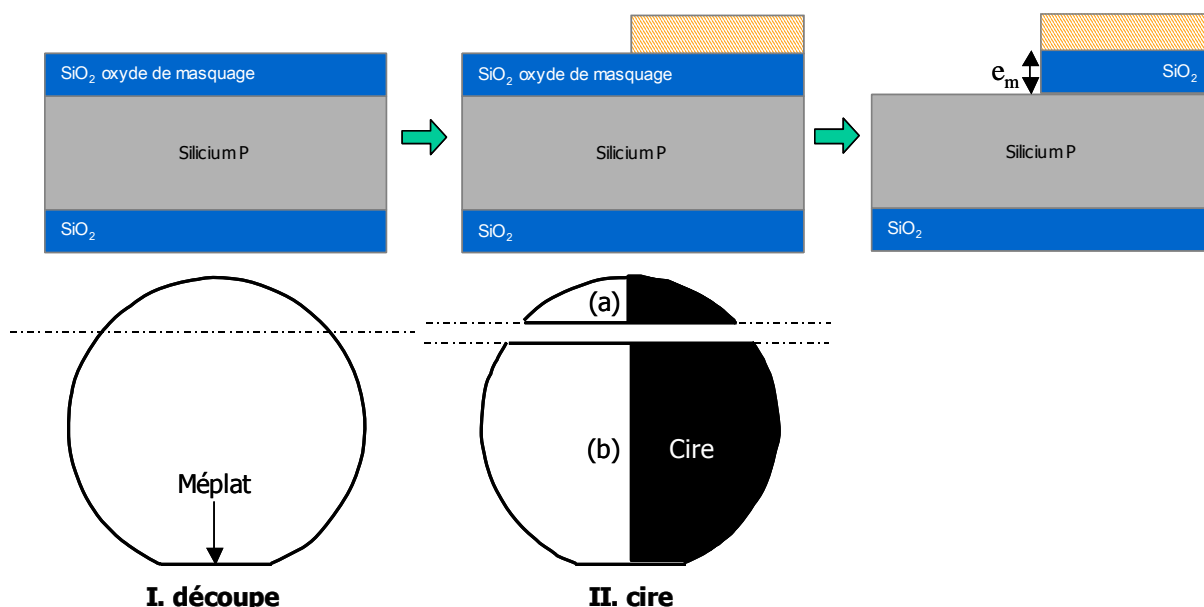
Opérations	
☐ 1°)	Couper au scribing une bande d'environ 1 cm parallèlement au méplat et à l'opposé de celui-ci
☐ 2°)	Enduire de cire Apiézon la moitié droite des deux morceaux (méplat vers le bas)
☐ 3°)	Plonger un premier morceau dans le buffer HF en déclenchant un chronomètre pour déterminer le temps d'attaque $t_1$ de l'oxyde épais
☐ 4°)	Procéder de même avec le second morceau pour confirmation et affinage de la précision sur le temps $t_1$ que l'on utilisera ensuite pour la plaquette composant.

#### Nota :

Toute solution aqueuse glisse sur le Si tandis qu'elle mouille sur le  $\text{SiO}_2$ . L'attaque sera donc terminée lorsqu'on constatera visuellement que le HF ne tient plus sur la partie gauche de la plaquette.

#### Attention :

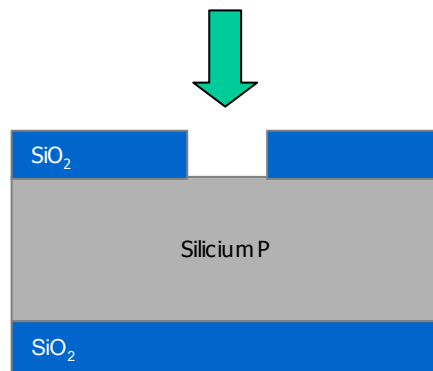
Il faudra veiller à utiliser lors de l'attaque de la plaquette composant le **même** buffer que celui qui a permis d'évaluer le temps d'attaque sur la plaquette témoin.



Opérations	Conditions
⇨ 11°) Gravure $\text{SiO}_2$	Buffer HF ( $t_1$ d'après témoin)
⇨ 12°) Rinçage	Eau DI
⇨ 13°) Séchage	Tournette de séchage
⇨ 14°) Contrôle gravure	Microscope optique
⇨ 15°) Dissolution cire / résine	Trichloréthylène, acétone, eau DI
⇨ 16°) Nettoyage	$\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$ (1 :1) - 2 min
⇨ 17°) Rinçage	Eau DI
⇨ 18°) Séchage	Tournette de séchage

L'épaisseur ( $e_m$ ) sera mesurée sur la plaquette témoin à l'aide du **profilomètre** (TENCOR) **et** de l'**ellipsomètre** et reportée sur la fiche de caractérisation.

A ce stade du process, le profil en coupe de la plaquette « composant » est le suivant :



#### IV- DIFFUSION DE LA CATHODE

Nous allons maintenant aborder la fabrication de la jonction PN.

##### Rappel :

*Dans notre procédé, la plaquette (ou le substrat de silicium) est de type P (les trous sont les porteurs majoritaires) et constitue l'anode de la diode. La cathode sera donc de type N (les électrons sont les porteurs majoritaires) et sera obtenue par diffusion d'un dopant de type donneur, comme le phosphore dans notre cas.*

En résumé, cette étape permet de diffuser une zone dopée N dans le silicium de départ dopé P.

##### Nota :

*La partie (b) de la plaquette témoin subira elle aussi les deux étapes de diffusion.*

L'étape de diffusion sera réalisée entre deux phases successives : pré-dépôt et redistribution.

## 1. Pré-dépôt

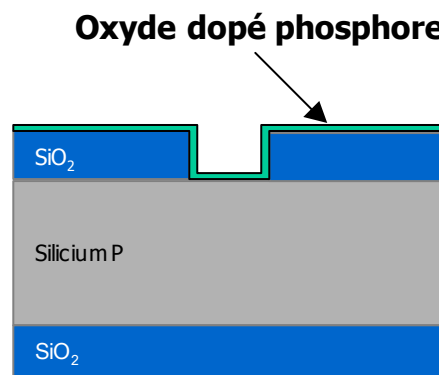
Le pré-dépôt s'effectue dans le four n°1-1. Il consiste à placer, à haute température, les tranches de silicium dans un tube balayé par :

- un gaz neutre  $N_2$ ,
- de l'oxygène,
- un composé gazeux contenant l'élément dopant, ici du  $POCl_3$ .

On réalise donc une première diffusion des impuretés N (phosphore) au voisinage de la surface du silicium dans le four n°1.1 :

Température	Temps	Débit
☐ 1050 °C	5 min	$N_2 = 2 \text{ l/min}$ - $O_2 = 0,1 \text{ l/min}$
☐ 1050 °C	10 min	$N_2 = 2 \text{ l/min}$ - $O_2 = 0,1 \text{ l/min}$ $POCl_3 = 5 \text{ mg/min}$
☐ 1050 °C	5 min	$N_2 = 2 \text{ l/min}$ - $O_2 = 0,1 \text{ l/min}$

A haute température, l'oxygène réagit avec la surface du silicium pour former un verre dopé qui servira de source à la diffusion lors de l'étape de redistribution.



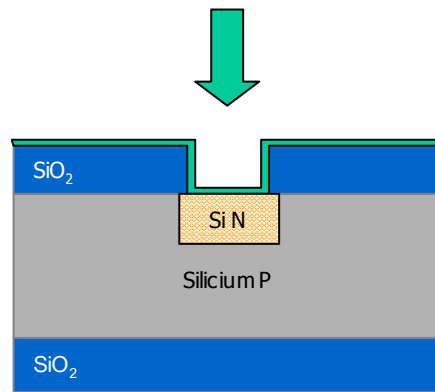
## Pré-dépôt

## 2- Redistribution

Cette étape est réalisée dans le même four à la suite du pré-dépôt (sans défournement). La couche de type N pré-déposée précédemment est encapsulée (recouverte d'un oxyde de redistribution empêchant toute exo-diffusion). Cette étape thermique permet donc d'homogénéiser le dopage et de diminuer les effets de surface. La quantité de dopant introduite lors du pré-dépôt n'étant pas modifiée, on constate une augmentation de la profondeur de jonction ainsi qu'une diminution de la concentration en surface.

Les paramètres de recuit sont les suivants :

Température	Temps	Débit
☐ 1050 °C	7 min	$N_2 = 1 \text{ l/min}$

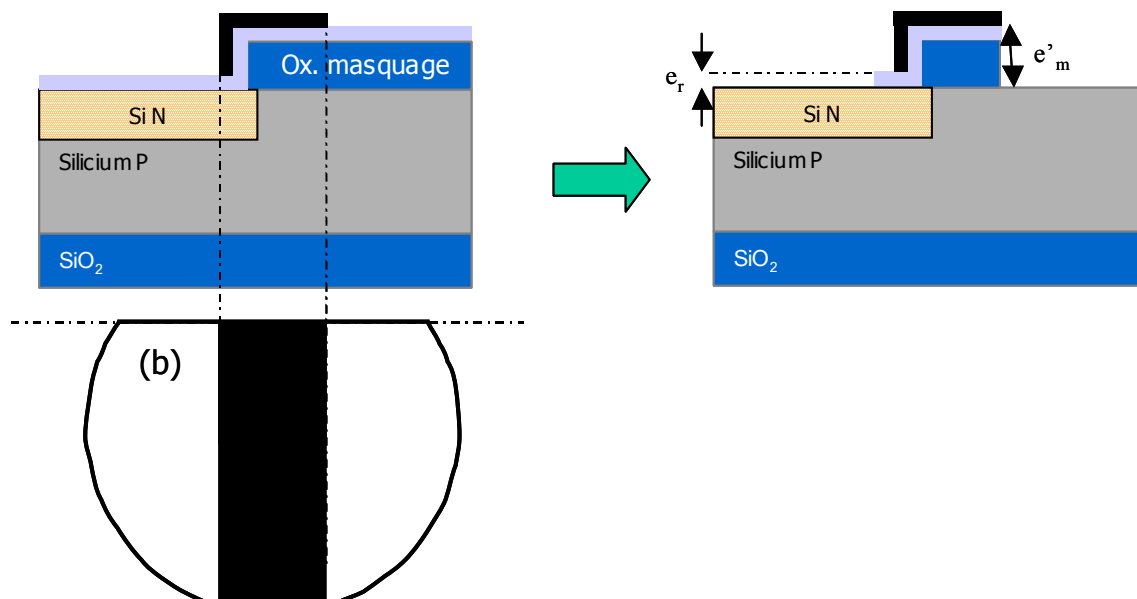


### Redistribution

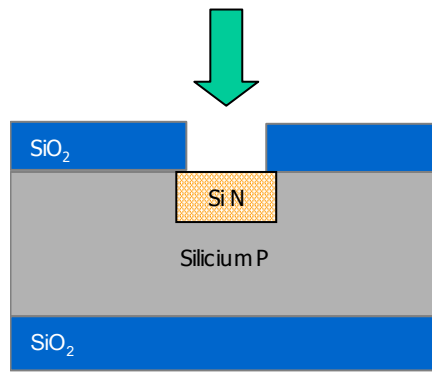
## V. DÉSOXYDATION DES FENÊTRES DE DIFFUSION

Pour pouvoir venir prendre les contacts de cathode en face avant, on attaquera l'oxyde de manière à revenir au niveau silicium dans les fenêtres de diffusion. Il faudra donc auparavant mesurer le temps d'attaque  $t_2$  nécessaire à cette gravure sur la partie gauche de la plaquette témoin. On effectuera en réalité une légère sur-gravure pour être sûr d'éliminer tout l'oxyde et d'obtenir ainsi des contacts de bonne qualité.

Opérations	Conditions
1°) Gravure $\text{SiO}_2$	Buffer HF
2°) Rinçage	Eau DI
3°) Séchage	Tournette de séchage
4°) Contrôle gravure	Microscope optique



Les épaisseurs  $e'_m$  et  $e_r$  seront mesurées sur la plaquette témoin à l'aide du **profilomètre** (TENCOR) et de l'**ellipsomètre** puis reportées sur la fiche de caractérisation.



## VI. MÉTALLISATION

Cette opération consiste à déposer sur la face avant de la plaquette une couche d'aluminium de 5000Å environ, obtenue par pulvérisation cathodique ou par évaporation thermique. Dans les deux cas, il est nécessaire d'avoir un vide suffisant dans l'enceinte pour garantir la pureté de la couche métallique déposée.

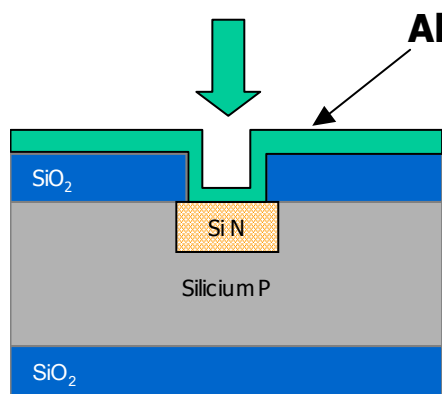
Il faudra noter les paramètres du dépôt dans l'un ou l'autre des tableaux suivants :

- pour l'évaporation thermique :

Opérations	Conditions
1°) Dégazage	T(subst.) = °C Temps = min
2°) Dépôt	Pression avant dépôt = mbar Pression pendant dépôt = mbar

- pour la pulvérisation cathodique :

Opérations	Conditions
1°) Dépôt	Pression avant dépôt = mbar Pression pendant dépôt = mbar Puissance RF = W Distance cible-substrat = mm Temps de dépôt = min

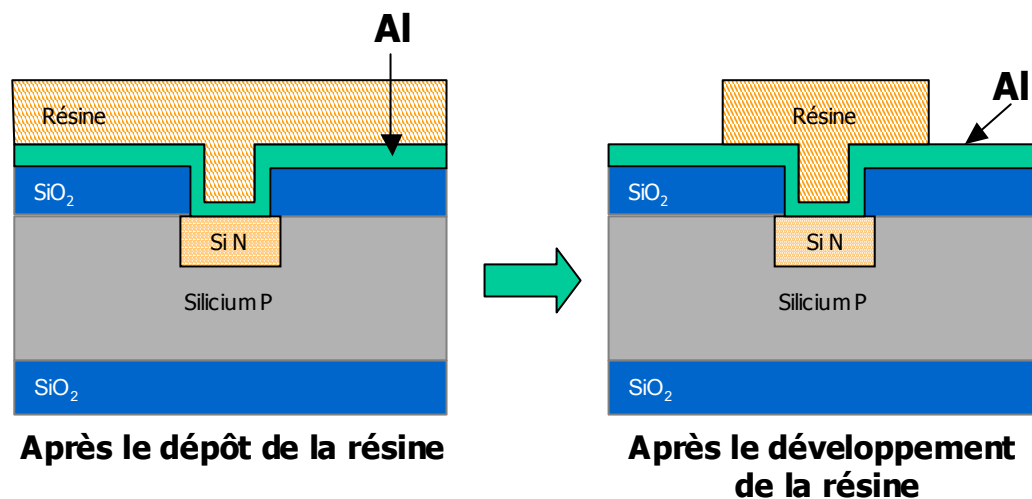


## VII. PHOTOGRAVURE N°2 (GRAVURE MÉTAL)

Le deuxième niveau de masque a pour but de venir protéger les régions du composant où l'on souhaite conserver le dépôt d'aluminium (sur la cathode). Les conditions de la photolithographie sont résumées ci-dessous :

Opérations	Conditions
1°) Homogénéiser le bain d'attaque Al*	Mettre le bain d'attaque dans les ultra-sons
2°) Séchage	Plaque chauffante 120 °C – 2 min
3°) Dépôt résine	Shipley S1813 - 4000 tr/min – 30 s
4°) 1ère cuisson	Plaque chauffante 100°C - 1min
5°) Alignement - Insolation	Masque n°2 – 4 s
6°) Développement	Bain à 20°C- 30s
7°) Rinçage	Eau DI
8°) Séchage	Tournette de séchage
9°) Observation	Microscope optique
10°) 2ème cuisson	Plaque chauffante 120°C - 45s

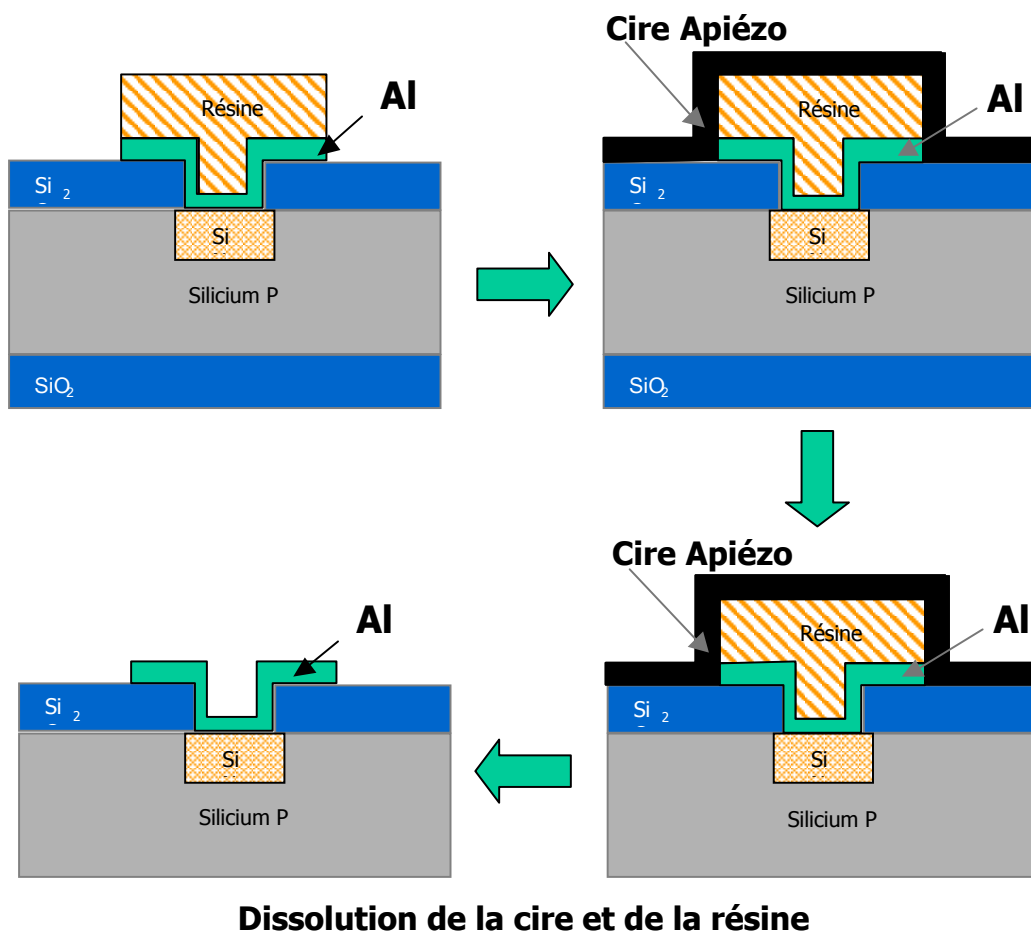
\* Le bain d'attaque de l'aluminium doit être parfaitement homogène. Dans ce but, on le plongera dans le bac à ultra-sons avant de commencer le dépôt de la résine.



La procédure à suivre pour la gravure métal est la suivante :

Opérations	Conditions
11°) Gravure Aluminium**	$\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ - contrôle visuel
12°) Rinçage	Eau DI
13°) Séchage	Tournette de séchage
14°) Contrôle Gravure	Microscope optique
15°) Nettoyage face AR	Acétone, eau DI
16°) Séchage	Tournette de séchage
17°) Protection face AV	Cire Apiézon
18°) Désoxydation face AR	Buffer HF
19°) Dissolution cire / résine	Trichloréthylène, acétone, eau DI
20°) Séchage	Tournette de séchage
21°) Recuit métal	$T=400^\circ\text{C}$ , $t=20\text{mn}$ , $\text{N}_2 + \text{H}_2$ (5%) = 1l/min

\*\* L'attaque de l'aluminium sera poursuivie pendant 20 ou 30 secondes au-delà de l'instant où tous les motifs de la tranche seront apparus.



## VIII. TESTS ET MONTAGE

### 1- Test sous pointes

La machine de test sous pointes permet de tester individuellement chacune des diodes P/N de la plaquette composant. Cette machine est constituée d'un ensemble de pointes qui, après réglage, se positionnent automatiquement sur les plots de métallisation de la plaquette, permettant ainsi l'obtention immédiate de courbes  $I(V)$  sur un traceur de caractéristiques. Elle permet alors d'effectuer une cartographie de la plaquette afin de déterminer rapidement où se trouvent les meilleurs composants du lot qui seuls seront montés en boîtier.

### 2- Découpe

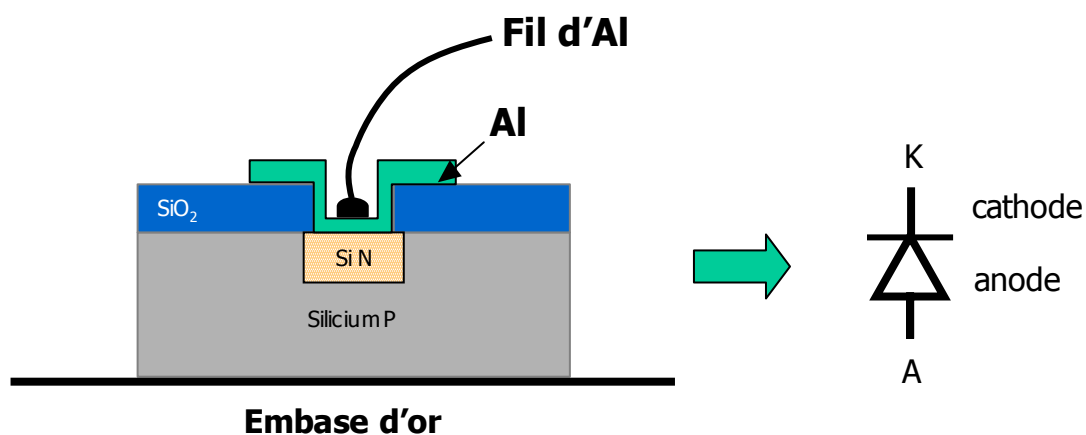
Une scie diamantée à commande numérique permet de découper la plaquette composant et d'individualiser les puces sélectionnées en vue de leur montage en boîtier.

### 3- Montage

Les puces sont fixées par leur face arrière sur l'embase du boîtier en utilisant l'eutectique Or-Silicium à la température théorique de  $370^{\circ}\text{C}$ .

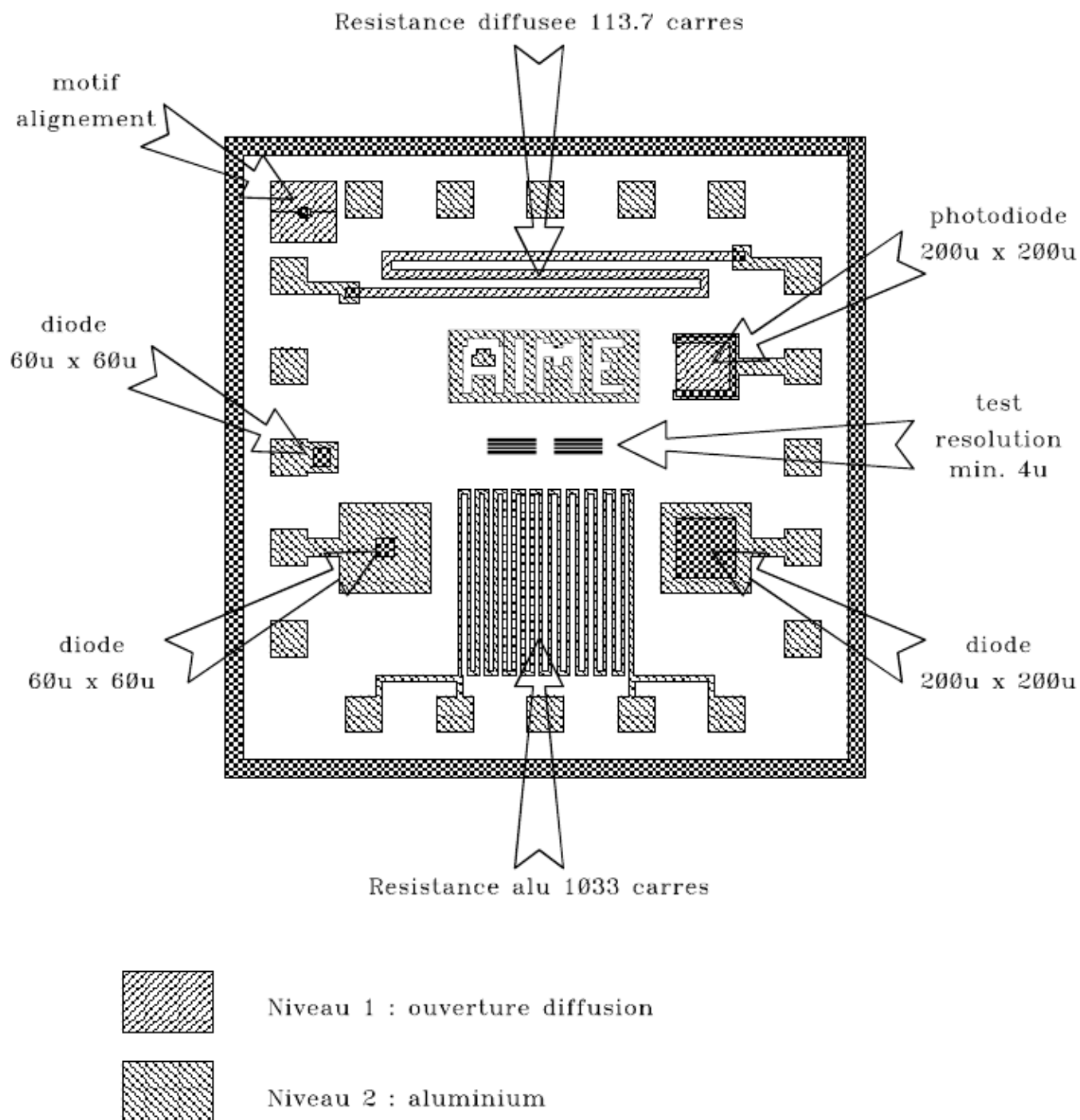
### 4- Micro-soudure

Les contacts en face avant sont pris sur les plots métallisés de sortie à l'aide de fils d'aluminium. La technique utilisée est celle du wedge-bonding faisant appel aux ultra-sons qui effectuent une interpénétration moléculaire entre le fil et le plot de contact. Cette étape est réalisée à la température ambiante.





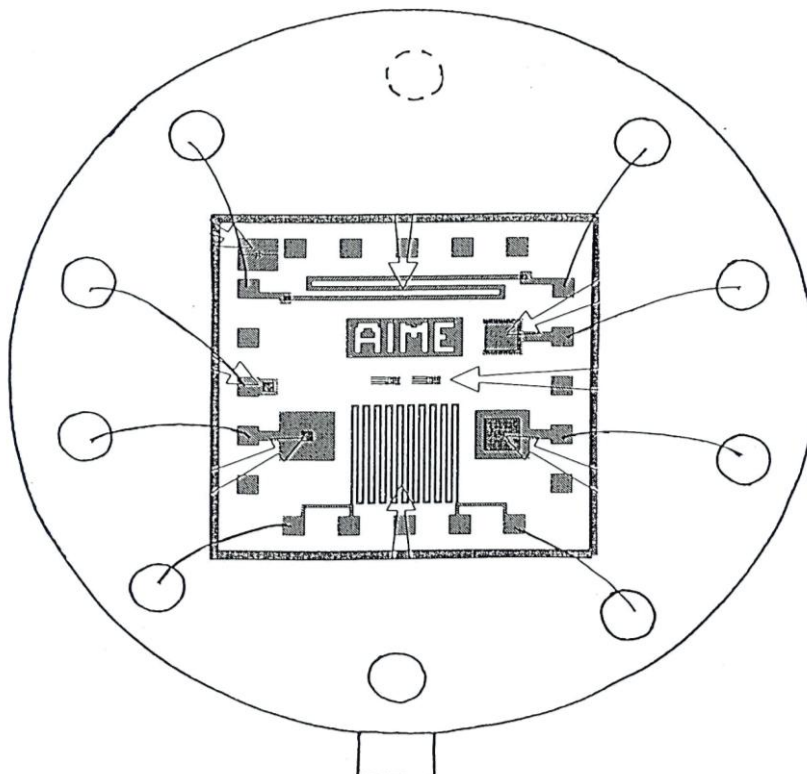
## MASQUES DIO2



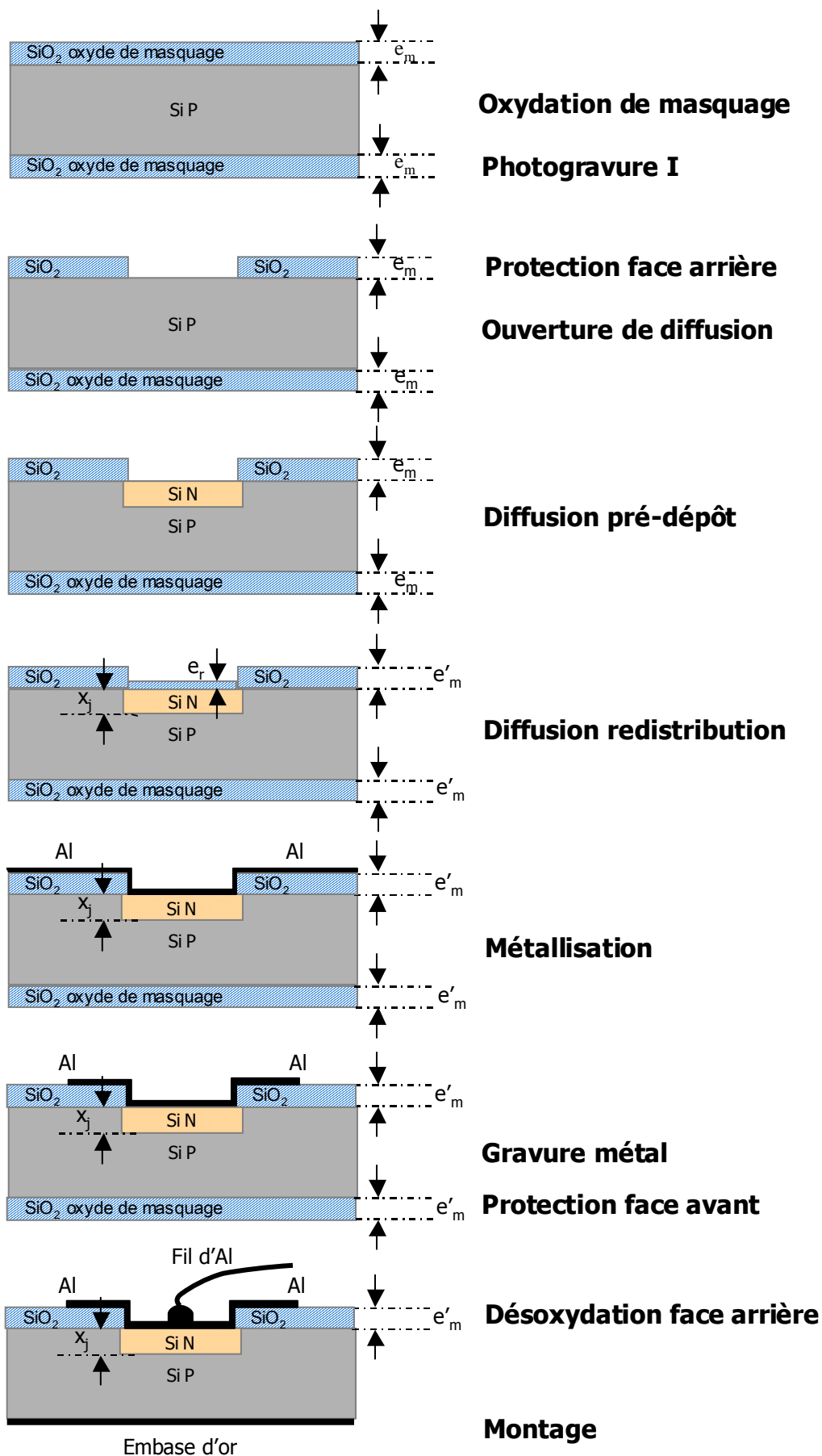
# PUCE COMPOSANTS MONTÉE SUR EMBASE

## LES MICROSOUDURES SUR LA PUCE

(Vue de dessus)



# COUPES DES DIFFÉRENTES ÉTAPES DU PROCESS



## FICHE DE CARACTERISATION

Caractérisation du substrat de départ		
⇨1°) Épaisseur wafer	$e =$	$\mu\text{m}$
⇨2°) Méthode 4 pointes	$V/I =$	$\Omega$
⇨3°) Résistance carré	$R_{\square} =$	$\Omega/\square$
⇨4°) Résistivité	$\rho_s =$	$\Omega.\text{cm}$
⇨5°) Concentration dopant	$N_A =$	$\text{at}.\text{cm}^{-3}$

Épaisseurs d'oxyde		
⇨1°) Oxyde de masquage	$e_m =$	$\mu\text{m}$
⇨2°) Oxyde de redistribution	$e_r =$	$\mu\text{m}$
⇨3°) Évolution oxyde masquage	$e'_m =$	$\mu\text{m}$

Caractérisation de la diffusion		
⇨1°) Méthode 4 pointes	$V/I =$	$\Omega$
⇨2°) Résistance carré	$R_{\square} =$	$\Omega/\square$
⇨3°) Profondeur de jonction	$x_j =$	$\mu\text{m}$
⇨4°) Résistivité couche diffusée	$\rho_d =$	$\Omega.\text{cm}$
⇨5°) Concentration en surface de la couche diffusée	$C_s =$	$\text{cm}^{-3}$

Test électrique		
⇨1°) Diode	Tension de seuil $V_d =$	$V$
	Résistance dynamique $R_{ON} =$	$\Omega$
	Tension de claquage $V_b =$	$V$
⇨2°) Résistance	Résistance mesurée $R_m =$	$\Omega$
	Résistance théorique $R_t =$	$\Omega$