

FABRICATION DE COMPOSANTS

NMOS SILICIUM

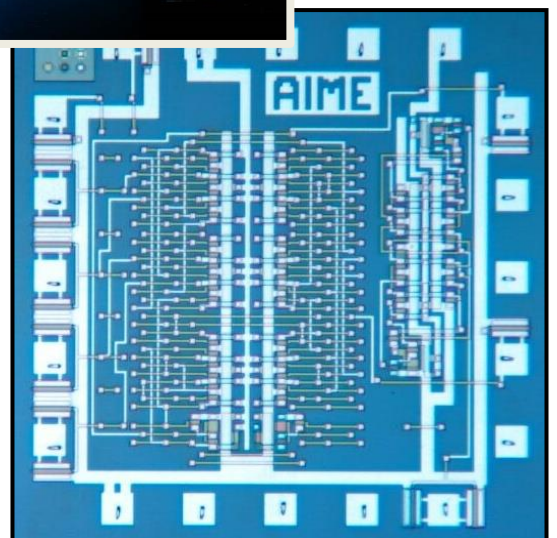
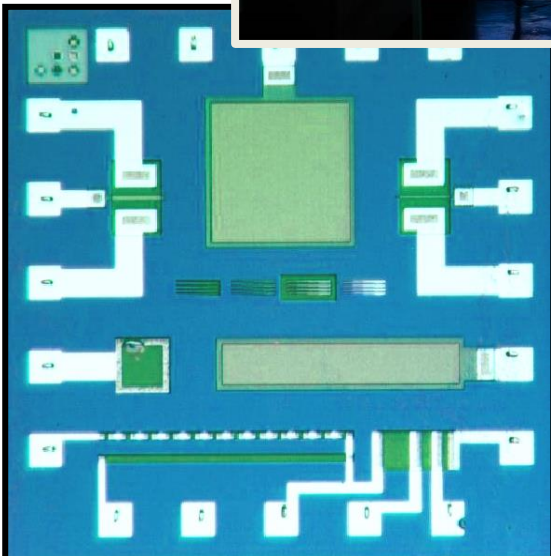
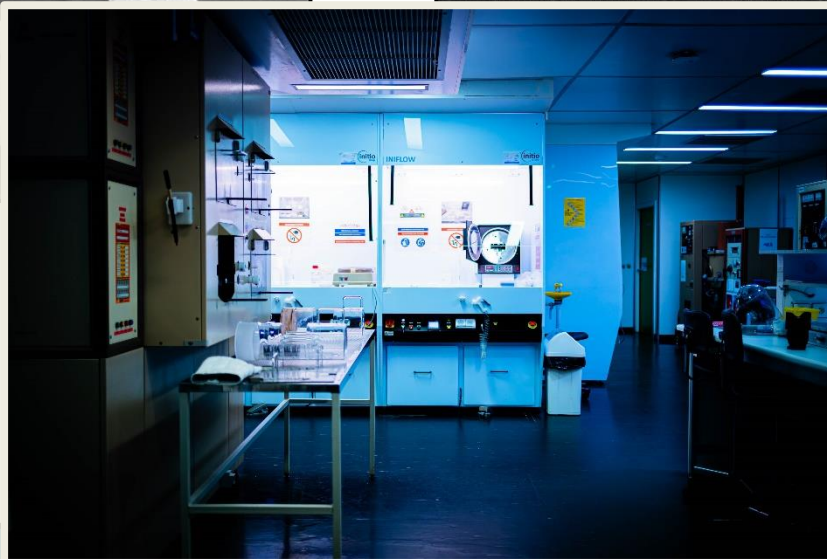
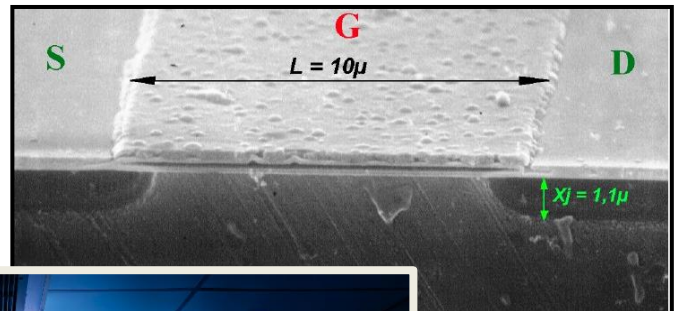
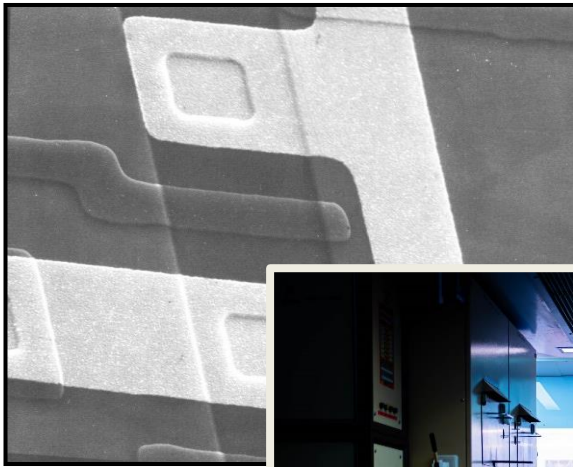


Table des matières

CONSIGNES D'EVACUATION DESTINEES AUX ENSEIGNANTS	4
CONSIGNES DE SECURITE	4
DIRECTIVES DE MANIPULATION	5
PROCEDURE D'ENTREE EN SALLE BLANCHE	6
FICHE DE PROCESS : TRANSISTOR A GRILLE POLYSILICIUM.....	7
I- CARACTERISATION DU SUBSTRAT.....	7
II- OXYDATION DE MASQUAGE	7
III- PHOTOGRAVURE n° 1 : "OUVERTURE TRANSISTOR"	8
IV- DECONTAMINATION ORGANIQUE	9
V- NETTOYAGE R.C.A.	9
VI- OXYDATION DE GRILLE	10
VII- DEPOT POLYSILICIUM.....	10
VIII- PHOTOGRAVURE n° 2: "GRAVURE POLYSILICIUM"	10
IX- DECONTAMINATION ORGANIQUE	11
X- DIFFUSION SOURCE ET DRAIN (de type N).....	12
XI- DEPOT SiO ₂ L.T.O (Low Temperature Oxide).....	12
XII- PHOTOGRAVURE n° 3 : "OUVERTURE CONTACTS"	13
XIII- METALLISATION	14
XIV- PHOTOGRAVURE n° 4 : "GRAVURE METAL"	14
XV- RECUIT METAL.....	16
XVI- TEST SOUS POINTES	16
XVII- ASSEMBLAGE.....	16
XVIII- TEST ELECTRIQUE	16
XIX- OPERATIONS SUR LES PLAQUETTES TEMOINS.....	17
XX- CARACTERISATIONS	19
XXI- MESURE DES PROFONDEURS DE JONCTIONS	21
XXII- MESURES DE RESISTIVITES 4 POINTES	22
XXIII- VUES EN COUPE DES DIFFERENTES ETAPES DU PROCESS.....	23
XXIV- LE JEU DE MASQUES DTC4R	24
XXV- FORMULAIRES POUR LES TESTS ELECTRIQUES	27

CONSIGNES D'EVACUATION DESTINEES 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 du sinistre.

EN SALLE BLANCHE PRINCIPALE :

- ⇒ Évacuer les étudiants par l'issue de secours qui donne directement dans le hall.
- ⇒ Ne pas repasser par le sas ; ne pas se déshabiller.
- ⇒ Sortir par l'entrée principale de l'AIME.

EN SALLE DE PHOTOLITHOGRAPHIE :

- ⇒ Évacuer les étudiants par l'issue de secours qui donne directement dans le couloir.
- ⇒ Ne pas repasser par le sas ; ne pas se déshabiller.
- ⇒ Sortir par l'entrée principale de l'AIME.

EN SALLES D'ASSEMBLAGE OU DE CARACTERISATION :

- ⇒ Évacuer les étudiants par l'issue de secours qui donne sur l'espace vert à l'arrière de l'AIME.
- ⇒ Ne pas repasser par le sas ; ne pas se déshabiller.
- ⇒ Faire le tour de l'AIME.

RASSEMBLER TOUS LES ETUDIANTS AU POINT DE RASSEMBLEMENT EN FACE DE L'AIME.

EFFECTUER UN RECENSEMENT.

NE PAS REINTEGRER LES LOCAUX SANS L'AVIS DES PERSONNELS CHARGES D'EVACUATION

CONSIGNES DE SECURITE

REPEREZ LES EQUIPEMENTS DE SECURITE :

- issues de secours
- douches de sécurité et rince-yeux
- extincteurs
- appareils respiratoires isolants

LE PORT DES LUNETTES DE PROTECTION EST OBLIGATOIRE SUR LES PAILLASSES DE CHIMIE POUR :

- nettoyages chimiques (RCA et H₂SO₄-H₂O₂)
- toutes attaques humides

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

- 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 chaque étape réalisée.
- Attention : les boîtes à 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. Ils ne sont absolument pas une protection efficace aux acides.
- Le plastique des boîtes ne supporte pas les températures supérieures à 250°C. En particulier, 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.

PROCEDURE D'ENTREE EN SALLE BLANCHE

- Laisser les vêtements de ville et les sacs dans la salle de séminaire.
- Des casiers, fermant à clé (monnayeur type piscine), sont à votre disposition dans l'espace étudiants.

ENTREE EN SALLE BLANCHE:

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

Couvre-chaussure : Placer la couture à l'intérieur
Ne poser le pied dans la partie propre qu'une fois chaussé.

Charlotte : Mise à disposition dans le distributeur mural.

Gants nitrile : 2 tailles mises à disposition dans 2 distributeurs muraux.

Lunettes de sécurité : Mise à disposition dans la boîte transparente.

SORTIE DE LA SALLE BLANCHE :

Blouse : ranger dans la boîte attribuée

Sur-lunettes : ranger dans la boîte attribuée

Charlotte : ranger dans la boîte attribuée

Couvre-chaussure : ranger au-dessus de la boîte attribuée

Gants nitrile : jeter à la poubelle.

Lunettes de sécurité : ranger dans la boîte attribuée

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 : TRANSISTOR A GRILLE POLYSILICIUM

I- CARACTERISATION DU SUBSTRAT

PLAQUETTE COMPOSANT n° :

MATERIAU: Si type P, orientation : (100)

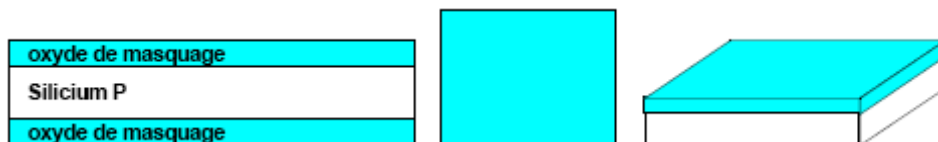
<input type="checkbox"/> Mesure épaisseur wafer	$e_s =$	μm
<input type="checkbox"/> Mesure 4 pointes	$V/I =$	Ω
<input type="checkbox"/> Calcul résistance carré	$R_{\square} =$	Ω/\square
<input type="checkbox"/> Calcul résistivité	$\rho_s =$	$\Omega.\text{cm.}$
<input type="checkbox"/> Calcul concentration dopant	$N_A =$	at.cm^{-3}

II- OXYDATION DE MASQUAGE

1- Nettoyage avant oxydation :

Opérations	Conditions
<input type="checkbox"/> 1°) Dégraissage	Acétone
<input type="checkbox"/> 2°) Rinçage	Eau DI
<input type="checkbox"/> 3°) Oxydation chimique	$\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$ (1/1) - 2 min
<input type="checkbox"/> 4°) Rinçage	Eau DI
<input type="checkbox"/> 5°) Attaque SiO_2	HF dilué - 30 s
<input type="checkbox"/> 6°) Rinçage	Eau DI
<input type="checkbox"/> 7°) Séchage	Tournette de séchage
<input type="checkbox"/> 8°) Lavage - séchage	Laveur-sécheur

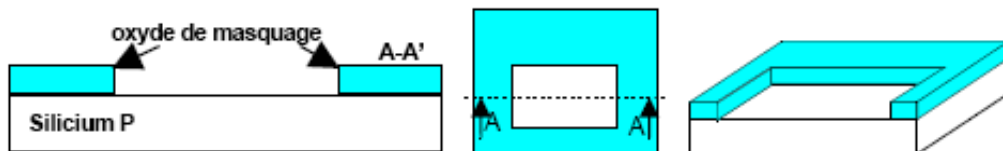
2- Oxydation thermique humide : cette opération s'effectue en cinq étapes dans le four N° 2-2



Conditions		
☐ Enfourner aussi les témoins 1 et 2		
Température	Durée	Débits
☐ de 800°C à 1100°C	25 min	N ₂ = 1 l/min
☐ 1100°C	35 min	H ₂ = 2,3 l/min - O ₂ = 1,5 l/min
☐ 1100°C	30 min	O ₂ = 2,2 l/min
☐ 1100°C	5 min	Ar = 1,5 l/min
☐ de 1100°C à 800°C	60 min	N ₂ = 1 l/min

III- PHOTOGRAVURE n° 1 : "OUVERTURE TRANSISTOR"

Cette opération fixe la largeur du canal « W » du transistor.



Visa de l'encadrant pour la poursuite des opérations		▼
Opérations	Conditions	
☐ 1°) Séchage	Plaque chauffante 120°C – 2 min	
☐ 2°) Dépôt HMDS (Promoteur d'adhérence)	Tournette 4000 t/min - 30 s	
☐ 3°) Dépôt résine positive	Résine Shipley S1813 Tournette 4000 t/min - 30 s	
☐ 4°) 1ère cuisson	Plaque chauffante 100°C – 60 s	
☐ 5°) Alignement - Insolation	Masque n°1 – 5 s	
☐ 6°) Développement	Bain à 20 °C - 25 s	
☐ 7°) Rinçage	Eau DI	
☐ 8°) Séchage	Tournette séchage	
☐ 9°) Observation	Microscope optique	
☐ 10°) 2ème cuisson	Plaque chauffante 120° C - 45 s	
☐ Traiter le témoin 1	Opération n°1 (§ XIX)	
☐ 11°) Gravure SiO ₂	Buffer HF : temps d'attaque d'après témoin 1	
☐ 12°) Rinçage	Eau DI	
☐ 13°) Séchage	Tournette séchage	
☐ 14°) Observation	Microscope optique	
☐ 15°) Dissolution résine	Acétone	

⇨ 16°) Rinçage	Eau DI
⇨ 17°) Séchage	Tournette séchage

IV- DECONTAMINATION ORGANIQUE

Opérations	Conditions
⇨ 1°) Nettoyage	H ₂ SO ₄ + H ₂ O ₂ - 2 min
⇨ 2°) Rinçage	Eau DI
⇨ 3°) Séchage	Tournette séchage

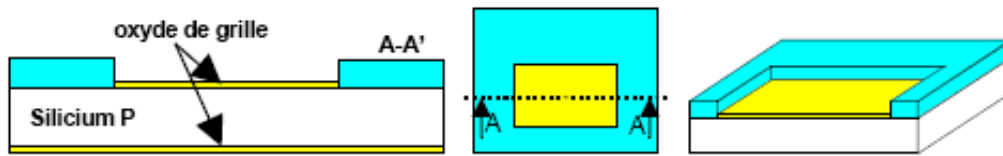
V- NETTOYAGE R.C.A.

Cette opération a pour but de préparer l'interface Si - SiO₂ avant la croissance de l'oxyde de grille.

Elle comporte 5 étapes (A' - A - A' - B - C) :

Conditions	
⇨ Nettoyer en même temps le témoin 1, <u>mais pas le témoin 2</u>	
Opérations	Conditions
⇨ 1°) Bain A'	HF dilué – 30 s
⇨ 2°) Rinçage	Eau DI – 3 min minimum
⇨ 3°) Séchage	Tournette de séchage
⇨ 4°) Bain A	HNO ₃ bouillant – 10 min
⇨ 5°) Rinçage	Eau DI – 3 min minimum
⇨ 6°) Bain A'	HF dilué – 30 s
⇨ 7°) Rinçage	Eau DI – 3 min minimum
⇨ 8°) Bain B	NH ₄ OH + H ₂ O ₂ + H ₂ O bouillant - 10 min
⇨ 9°) Rinçage	Eau DI – 3 min minimum
⇨ 10°) Bain C	HCl + H ₂ O ₂ + H ₂ O bouillant - 5 min
⇨ 11°) Rinçage	Eau DI – 3 min minimum
⇨ 12°) Séchage	Tournette de séchage

VI- OXYDATION DE GRILLE

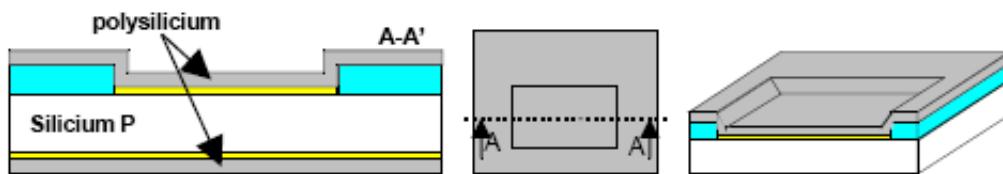


Cette oxydation thermique sèche se fait dans le four N° 2-1 et comporte deux étapes :

Conditions		
☐ Enfourner aussi le témoin 1, <u>mais pas le témoin 2</u>		
Température	Durée	Débits
☐ 1100°C	20 min	O ₂ = 2 l/min
☐ 1100°C	10 min	Ar = 2 l/min

Pendant cette opération, poursuivre la caractérisation du « process ».
(Voir pages de caractérisation)

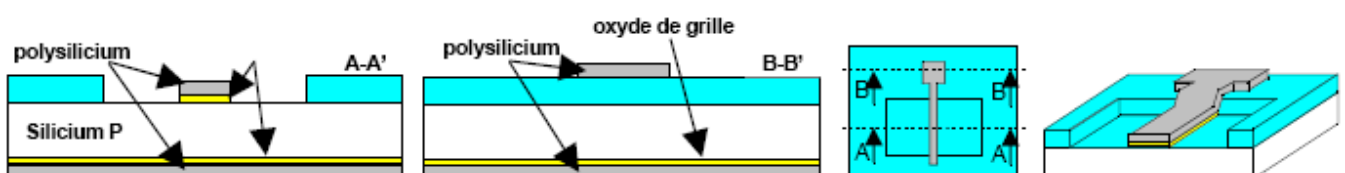
VII- DEPOT POLYSILICIUM




Cette opération s'effectue dans le réacteur LPCVD (Low Pressure Chemical Vapor Deposition) n°4-3 :

Conditions			
☐ Enfourner aussi le témoin 2, <u>mais pas le témoin 1</u>			
Température	Durée	Débits	Pression
☐ de 400°C à 585°C	20 min	N ₂ = 1 l/min	1 Torr
☐ 585°C	21 min	SiH ₄ = 50 cc/min	250 mTorr
☐ de 585°C à 400°C	20 min	N ₂ = 1 l/min (cycles de purge/vide)	1 Torr

VIII- PHOTOGRAVURE n° 2: "GRAVURE POLYSILICIUM"



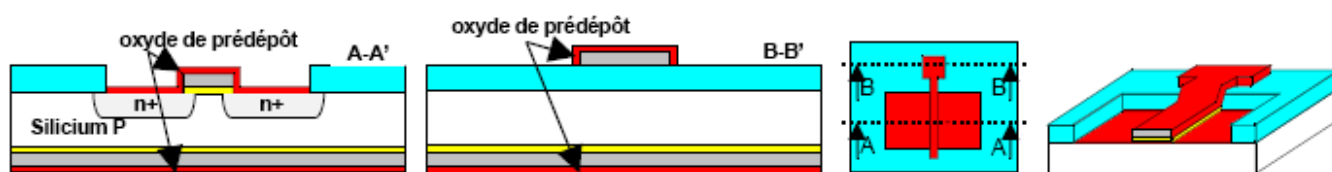
On ouvre la source et le drain qui vont être diffusés, on fixe la **longueur « L » du canal sous la grille.**

Visa de l'encadrant pour la poursuite des opérations		
Opérations	Conditions	
☐ 1°) Séchage	Plaque chauffante 120°C – 2 min	
☐ 2°) Dépôt HMDS (Promoteur d'adhérence)	Tournette 4000 t/min - 30 s	
☐ 3°) Dépôt résine positive	Résine Shipley S1813 Tournette 4000 t/min - 30 s	
☐ 4°) 1ère cuisson	Plaque chauffante 100°C - 60 s.	
☐ 5°) Alignement - Insolation	Masque n°2 – 5 s	
☐ 6°) Développement	Bain à 20 °C - 25 s	
☐ 7°) Rinçage	Eau DI	
☐ 8°) Séchage	Tournette séchage	
☐ 9°) Observation	Microscope optique	
☐ 10°) 2ème cuisson	Plaque chauffante 120° C - 45 s	
☐ 11°) Gravure Polysilicium (face composants)	Gravure ionique réactive Débit SF ₆ : 30 cc/min. Pression : 0,02 mbar Puissance RF : 50 W	
☐ 12°) Ne pas retirer la résine de photolithographie		
☐ 13°) Observation	Microscope optique	
☐ Traiter le témoin 1	Opération n°2 (§ XIX)	
☐ 14°) Gravure SiO ₂	Buffer HF: temps d'attaque d'après témoin 1	
☐ 15°) Rinçage	Eau DI	
☐ 16°) Séchage	Tournette séchage	
☐ 17°) Observation	Microscope optique	
☐ 18°) Dissolution résine	Acétone + eau DI	

IX- DECONTAMINATION ORGANIQUE

Opérations	Conditions
☐ 1°) Nettoyage	H ₂ SO ₄ + H ₂ O ₂ - 2 min
☐ 2°) Rinçage	Eau DI
☐ 3°) Séchage	Tournette séchage

X- DIFFUSION SOURCE ET DRAIN (de type N)



1- Prédépôt : Cette opération s'effectue en 3 étapes dans le four n°1-1

Conditions		
☐ Enfourner aussi les témoins 1 et 2		
Température	Durée	Débits
☐ 1050°C	5 min	N ₂ = 2 l/min - O ₂ = 0,1 l/min
☐ 1050°C	10 min	N ₂ = 2 l/min - O ₂ = 0,1 l/min – POCl ₃ = 10 mg/min
☐ 1050°C	6 min	N ₂ = 2 l/min - O ₂ = 0,1 l/min

2- Redistribution : Cette opération s'effectue dans le four n°1-1 dans les conditions :

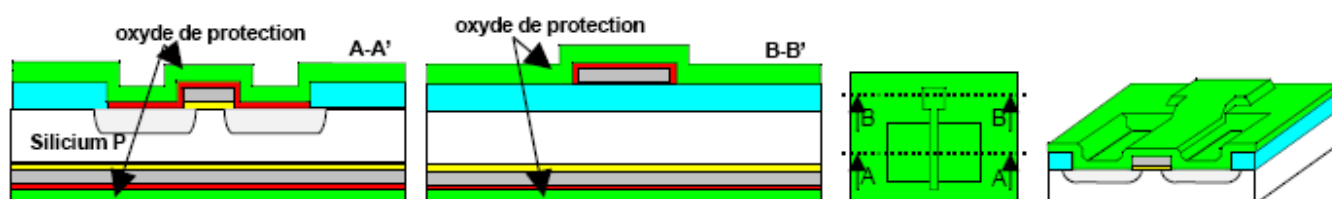
Température	Durée	Débits
☐ 1100°C	7 min	N ₂ = 1 l/min

Visa de l'encadrant pour la poursuite des opérations ▼

☐ Mesure épaisseur oxyde de diffusion e_d sur le témoin 1 - **Opération n°3 (§ XIX)**

☐ Mesure 4 pointes sur plaquette test four (désoxydation et V/I)

XI- DEPOT SiO₂ L.T.O (Low Temperature Oxide)

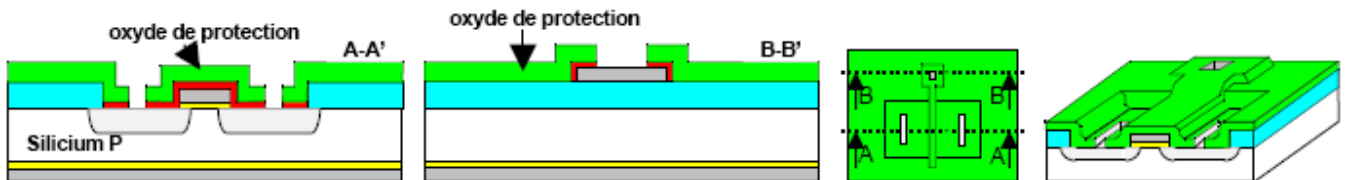


Après la diffusion de la source et du drain, on couvre toute la plaquette d'une couche isolante protectrice de SiO₂ L.T.O. (low temperature oxide). Cette opération s'effectue dans le four LPCVD n°3-1 dans les conditions suivantes :

Conditions			
☐ Enfourner aussi le témoin 2, mais pas le témoin 1			
Température	Durée	Débits	Pression
☐ 420°C	20 min	Stabilisation T° + purge	
☐ 420°C	15 min	SiH ₄ = 30 cc/min - O ₂ = 60 cc/min	200 mTorr
☐ 420°C	10 min	N ₂ = 1 l/min (cycles de purge/vide)	1 Torr

☐ Mesure profondeur de jonction diffusée sur le témoin 1 - Opération n°3 (§ XIX)
☐ Mesure épaisseur {oxyde diffusion e _d + oxyde LTO e _n } sur le témoin 2 par profilométrie - Opération n°4 (§ XIX)
☐ Déduire épaisseur oxyde LTO e _n

XII- PHOTOGRAVURE n° 3 : "OUVERTURE CONTACTS"

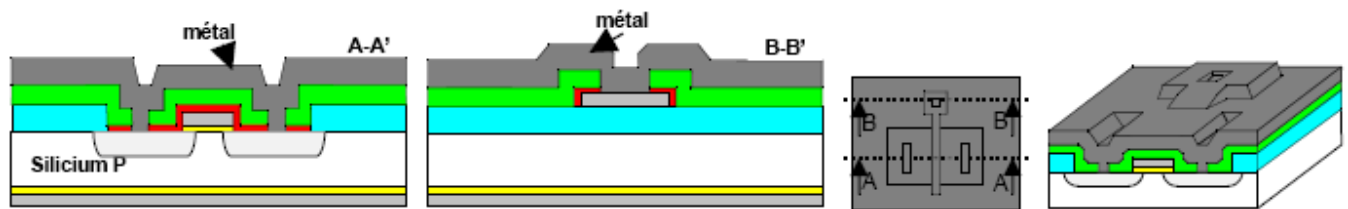


Visa de l'encadrant pour la poursuite des opérations		▼
Opérations	Conditions	
☐ 1°) Séchage	Plaque chauffante 120°C – 2 min	
☐ 2°) Dépôt HMDS (Promoteur d'adhérence)	Tournette 4000 t/min - 30 s	
☐ 3°) Dépôt résine	Résine Shipley S1813 Tournette 4000 t/min - 30 s	
☐ 4°) 1ère cuisson	Plaque chauffante 100°C – 60 s	
☐ 5°) Alignement - Insolation	Masque n°3 – 5 s	
☐ 6°) Développement	Bain à 20 °C - 35 s	
☐ 7°) Rinçage	Eau DI	
☐ 8°) Séchage	Tournette séchage	
☐ 9°) Observation	Microscope optique	
☐ 10°) 2ème cuisson	Plaque chauffante 120° C - 45 s	
☐ 11°) Gravure SiO ₂	Buffer HF : temps d'attaque d'après témoin 2	
☐ 12°) Rinçage	Eau DI	
☐ 13°) Séchage	Tournette séchage	
☐ 14°) Observation	Microscope optique	
☐ 15°) Dissolution résine	Acétone	

↳ 16°) Rinçage	Eau DI
↳ 17°) Séchage	Tournette de séchage
↳ 18°) Donner la plaquette « composants » au personnel technique pour la mise sous vide	

↳ Mesure épaisseur polysilicium sur le témoin 2 - **Opération n°5 (§ XIX)**

XIII- METALLISATION



Cette opération consiste à déposer sur la face composant une couche de 300 nm d'Aluminium.

Soit par pulvérisation cathodique

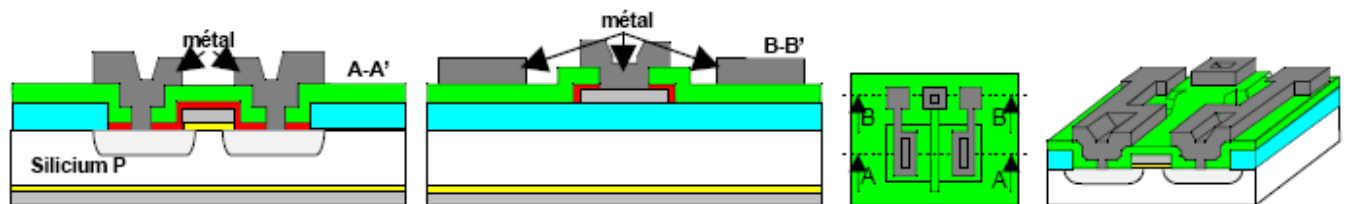
↳ Dépôt	Pression avant dépôt =	10^{-7} mbar
	Pression pendant dépôt =	$2 \cdot 10^{-3}$ mbar
	Puissance RF =	150 W
	Distance cible-substrat =	90 mm
	Durée du dépôt =	15 min

OU

Soit par évaporation thermique sous vide

↳ Dégazage	T(subst.) =	°C
	Temps =	min
↳ Dépôt	Pression avant dépôt =	mbar
	Pression pendant dépôt =	mbar

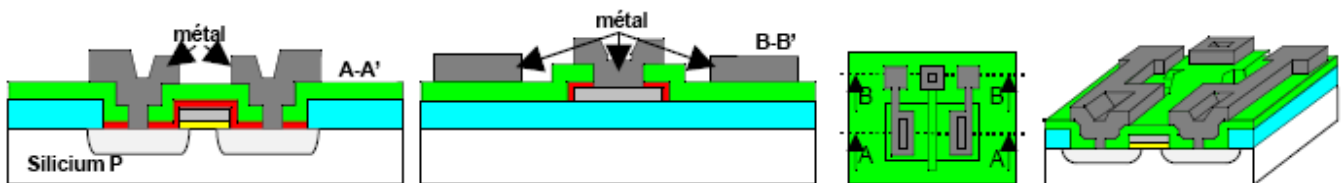
XIV- PHOTOGRAVURE n° 4 : "GRAVURE METAL"



Visa de l'encadrant pour la poursuite des opérations		▼
Opérations	Conditions	
↳ 0°) Homogénéiser attaque alu.	Allumer le bac à ultrasons contenant le bain d'attaque aluminium	
↳ 1°) Séchage	Plaque chauffante 120°C – 2 min	
↳ 2°) Dépôt résine	Résine Shipley S1813 Tournette 4000 t/min - 30 s	

Visa de l'encadrant pour la poursuite des opérations		▼
○ 3°) 1ère cuisson	Plaque chauffante 100°C – 60 s	
○ 4°) Alignement - Insolation	Masque n°4 – 5 s	
○ 5°) Développement	Bain à 20 °C - 25 s	
○ 6°) Rinçage	Eau DI	
○ 7°) Séchage	Tournette séchage	
○ 8°) Observation	Microscope optique	
○ 9°) 2ème cuisson	Plaque chauffante 120° C - 45 s	
○ 10°) Bain attaque aluminium	Arrêter le bain ultrasons, et en sortir le bain attaque aluminium	
○ 11°) Gravure aluminium	Bain attaque alu (40vol. H ₃ PO ₄ + 7vol. HNO ₃ + 7vol. H ₂ O) avec contrôle final visuel + 30 s d'attaque supplémentaire	
○ 12°) Rinçage	Eau DI	
○ 13°) Séchage	Tournette séchage	
○ 14°) Observation	Microscope optique	

Cette photolithographie est suivie de la désoxydation de la face arrière du wafer.



Visa de l'encadrant pour la poursuite des opérations		▼
○ 15°) Protection face AV	Film UV	
○ 16°) Gravure polysilicium face AR	Bain attaque polysilicium (1vol.HF + 71vol.HNO ₃ + 28vol.H ₂ O) contrôle final visuel : couleur grise homogène dans le bain	
○ 17°) Désoxydation face AR	Buffer HF (attaque SiO ₂ grille) contrôle visuel de l'hydrophobie de la surface AR	
○ 18°) Rinçage	Eau DI	
○ 19°) Séchage	Tournette séchage	
○ 20°) Dégradation colle film UV	Lampe UV – 5 min	
○ 21°) Nettoyage résine (2 faces)	Acétone	
○ 22°) Rinçage	Eau DI	
○ 23°) Séchage	Tournette séchage	

XV- RECUIT METAL

Cette opération se fait dans le four n°3-2 suivant les conditions :

Température	Durée	Débits
400°C	20 min	N ₂ + H ₂ (5%)= 1 l/min

☐ Mesure épaisseur aluminium sur plaquette « composants » avec le profilomètre

☐ Remplir 1^{ère} partie de la feuille de résultats avant le test sous pointes.

XVI- TEST SOUS POINTES

☐ Faire rapidement une cartographie de la tranche pour déterminer la région où se situent les meilleurs composants et les sélectionner.

XVII- ASSEMBLAGE

☐ DECOUPE du wafer « composants » à la scie diamantée

☐ MONTAGE sur embase : soudure par eutectique Or-Silicium à T = 370°C

☐ MICROSOUDURE par ultra-sons (wedge bonding de fil Al-Si 5%, Ø 25µm)

XVIII-TEST ELECTRIQUE

Voir pages « caractérisation »

1° - Mesures I(V) :

☐ Tracer les caractéristiques I_D (V_{DS}) d'un transistor à canal long

☐ Tracer les caractéristiques I_D (V_{GS}) d'un transistor à canal long

☐ Tracer les caractéristiques I_D (V_{DS}) d'un transistor à canal court

☐ Tracer les caractéristiques I_D (V_{GS}) d'un transistor à canal court

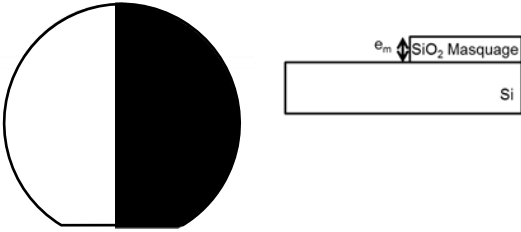
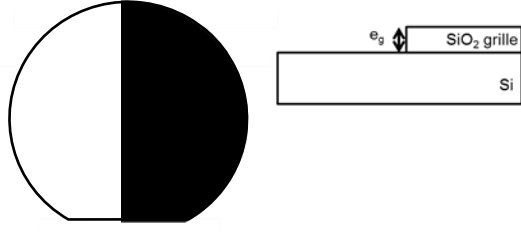
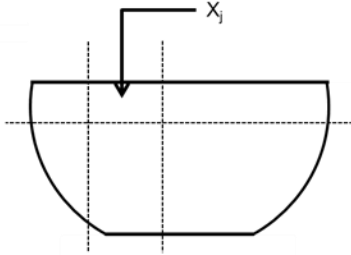
☐ Tracer la caractéristique I (V) de la diode

2° - Mesures C(V) :


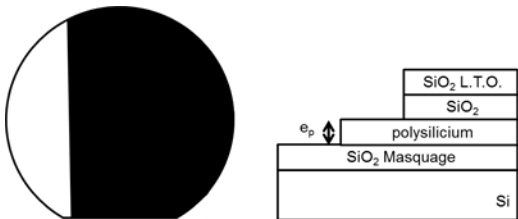
☐ Tracer la caractéristique C = f(V) de la capacité MOS

XIX- OPERATIONS SUR LES PLAQUETTES TEMOINS

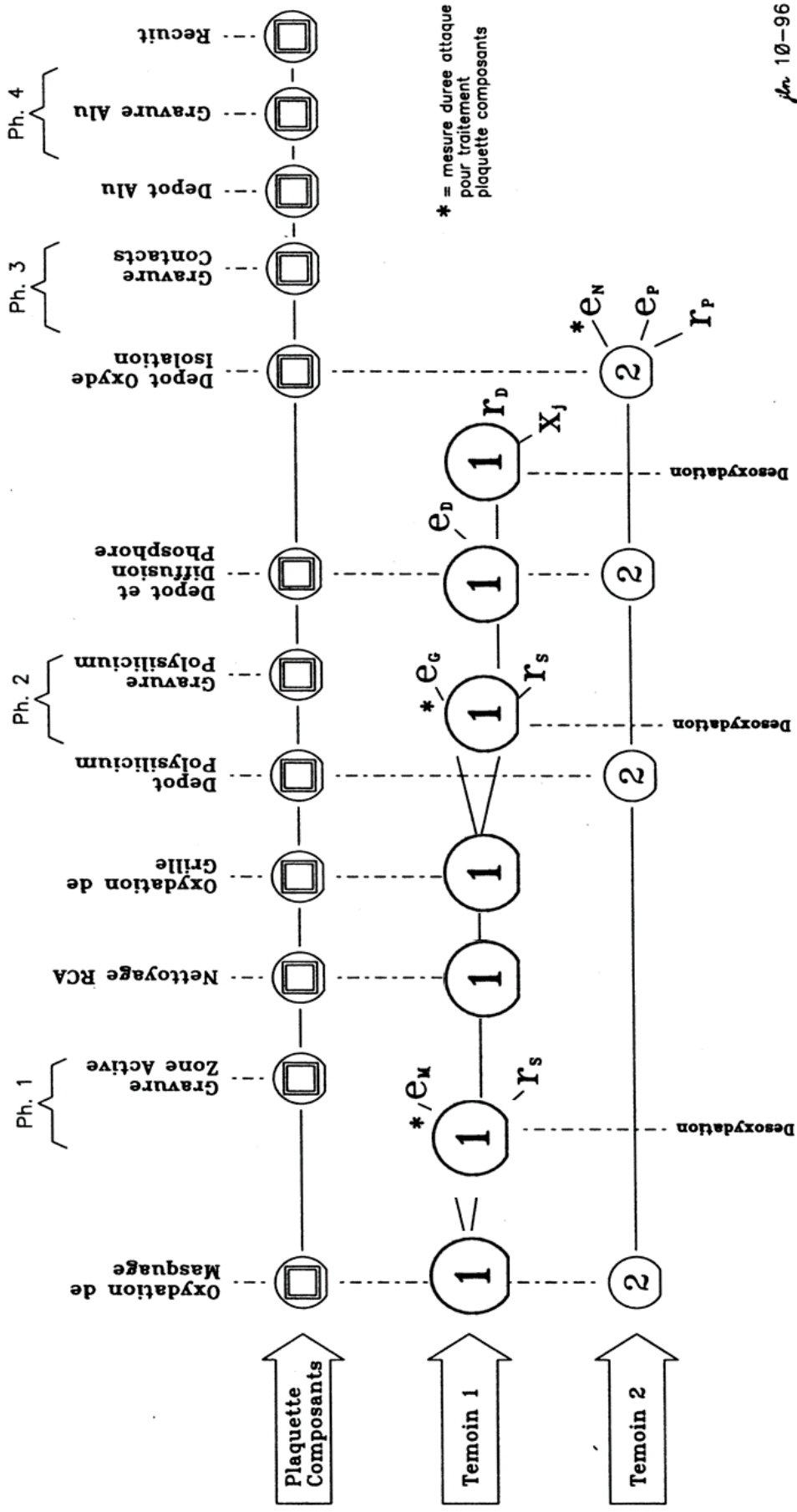
TEMOIN 1 :

<p>Opération n°1 :</p> <p>Pendant la photogravure n°1, traiter le témoin n°1 comme sur la figure ci-contre, c'est à dire :</p> <p>a - Placer sur la moitié droite du témoin un film UV</p> <p>b - Plonger dans le buffer HF en mesurant avec précision le temps nécessaire à l'attaque de la silice.</p> <p>NB - Lorsque toutes les caractérisations seront effectuées sur le témoin, ce dernier pourra être complètement désoxydé (si possible, lors de l'attaque des plaquettes composantes).</p>	
<p>Opération n°2 :</p> <p>a - Placer sur la moitié droite du témoin un film UV</p> <p>b - Plonger dans le buffer HF en mesurant avec précision le temps nécessaire à l'attaque de la silice.</p> <p>NB - Lorsque toutes les caractérisations seront effectuées sur le témoin, ce dernier pourra être complètement désoxydé (si possible, lors de l'attaque des plaquettes composantes).</p>	
<p>Opération n°3 :</p> <p>Pendant le dépôt SiO₂ L.T.O., traiter le témoin n°1 comme sur la figure ci-contre, c'est à dire :</p> <p>a - mesurer l'épaisseur de l'oxyde de diffusion à l'ellipsomètre.</p> <p>b - plonger le témoin dans le buffer HF (1mn environ) pour enlever la silice créée lors de la diffusion.</p> <p>c - couper un carré de 9 mm environ et faire un rodage au rouleau + pâte diamantée, puis rincer et sécher.</p> <p>d - mettre une goutte plate de révélateur sur le rodage et observer au microscope, puis sécher à la soufflette lorsque la jonction diffusée apparaît.</p> <p>e - mesurer la profondeur de jonction diffusée « X_j » au microscope et avec le formulaire.</p>	

TEMOIN 2 :

<p>Opération n°4 :</p> <p>Pendant la photogravure n° 3, traiter le témoin n°2 comme sur la figure ci-contre, c'est à dire :</p> <p>a - Placer sur la moitié droite du petit morceau un film UV;</p> <p>b - plonger le témoin dans le buffer HF en mesurant avec précision le temps nécessaire à l'attaque de la silice.</p>	
<p>Opération n°5 :</p> <p>Pendant la photogravure n° 3, traiter le témoin n°2 comme sur la figure ci-contre, c'est à dire :</p> <p>a - Placer sur la moitié droite du petit morceau un film UV (recouvrir la marche précédente) ;</p> <p>b - plonger le témoin dans le bain d'attaque polysilicium (attaque terminée quand la couleur est grise homogène : on voit alors le silicium sous le SiO₂ qui est incolore dans le bain).</p>	

e_M	Epaisseur Oxyde Masquage (mesure par couleur, profilometre, ellipsometre)	e_N	Epaisseur Oxyde Isolation (mesure par profilometre, soustraire oxyde de diffusion)	I_S	Resistance Substrat (rapport V/I du test a 4 pointes apres desoxydation)
e_G	Epaisseur Oxyde Grille (mesure par couleur, profilometre, ellipsometre)	e_P	Epaisseur Polysilicium (mesure par profilometre)	I_D	Resistance Diffusion (rapport V/I du test a 4 pointes apres desoxydation)
e_D	Epaisseur Oxyde Diffusion (mesure par ellipsometre avant deoxydation)	X_J	Profondeur Jonction (Rodage cylindrique)	I_P	Resistance Polysilicium (rapport V/I du test a 4 pointes sur region desoxydee)



XX- CARACTERISATIONS

I- CARACTERISATION DU SUBSTRAT:

Au début du process on relève :

- la mesure des quatre pointes: $V/I = \dots\dots\dots \Omega$

- l'épaisseur des tranches : $e_s = \dots\dots\dots \mu\text{m}$

On en déduit :

$\rightarrow R_{\square s} = \dots\dots\dots \Omega$

$\rightarrow \rho_s = \dots\dots\dots \Omega.\text{cm}$

$\rightarrow N_A = \dots\dots\dots \text{at}/\text{cm}^3$

II - MESURES DES EPAISSEURS D'OXYDES:

a- Oxyde de masquage après l'opération II $e_m = \dots\dots\dots \mu\text{m}$

b- Oxyde de grille après l'opération VI $e_g = \dots\dots\dots \mu\text{m}$

c- Oxyde de diffusion après l'opération X $e_d = \dots\dots\dots \mu\text{m}$

d- Dépôt d'oxyde L.T.O. après l'opération XI $e_h = \dots\dots\dots \mu\text{m}$

III- CARACTERISATION DE LA DIFFUSION:

Après l'étape X (diffusion du substrat), mesures de :

$V/I = \dots\dots\dots \Omega \quad \rightarrow \quad R_{\square d} = \dots\dots\dots \Omega$

$X_j = \dots\dots\dots \mu\text{m} \quad \rightarrow \quad \rho_d = \dots\dots\dots \Omega.\text{cm}$

$\rightarrow \quad C_s = \dots\dots\dots \text{at} / \text{cm}^3$

IV- CARACTERISATION DE LA COUCHE DE POLYSILICIUM DOPEE:

Après l'étape X (diffusion du substrat), mesures de :

$V/I = \dots\dots\dots \Omega \quad \rightarrow \quad R_{\square p} = \dots\dots\dots \Omega$

$e_p = \dots\dots\dots \mu\text{m} \quad \rightarrow \quad \rho_p = \dots\dots\dots \Omega.\text{cm}$

V- TESTS ELECTRIQUES:

La liste des mesures mentionnées ci-dessous est donnée à titre d'exemple pour permettre soit des comparaisons avec des valeurs théoriques, soit la détermination de nouveaux paramètres technologiques.

1 - Pour chacun des transistors d'une puce :

⇨ Tracer le réseau des caractéristiques $I_D(V_{DS})$ et $I_D(V_{GS})$ et en déduire :

- la transconductance g_m
- la résistance à l'état passant R_{on} (pour $V_{GS} = 5 \text{ V}$)¹

⇨ On pourra également évaluer :

- le courant I_{DS0} à $V_{GS} = 0$
- la tension de seuil V_T
- la tension de claquage V_B

Pour pouvoir faire les calculs, il faut connaître les dimensions géométriques des composants réalisés :

Transistor MOS "canal long"			Transistor MOS "canal court"		
L = μm - W = μm			L = μm - W = μm		
$g_m = \dots\dots\dots \text{mS}$		$R_{on} = \dots\dots\dots \Omega$	$g_m = \dots\dots\dots \text{mS}$		$R_{on} = \dots\dots\dots \Omega$
$V_T = \dots\dots\dots \text{V}$	$V_B = \dots\dots\dots \text{V}$	$I_{DS0} = \dots\dots\dots \mu\text{A}$	$V_T = \dots\dots\dots \text{V}$	$V_B = \dots\dots\dots \text{V}$	$I_{DS0} = \dots\dots\dots \mu\text{A}$

2 - Pour la capacité MOS :

⇨ Tracer la courbe $C(V)$ en hautes fréquences et en déduire C_{ox} , C_{dep} , V_T et Q_{SS} :

Capacité MOS :		S =	cm^2
$C_{ox} = \dots\dots\dots \text{pF}$		$\epsilon_{ox} = \dots\dots\dots \mu\text{m}$	
$C_{dep} = \dots\dots\dots \text{pF}$			
$V_T = \dots\dots\dots \text{V}$		$N_{ox} = \dots\dots\dots \text{charges.cm}^{-2}$	

¹ La valeur expérimentale de R_{on} s'obtient en mesurant la pente de la caractéristique $I_D(V_{DS})$ à $V_{GS} = \text{Cte}$ dans la région où le courant croît linéairement avec la tension.

XXI- MESURE DES PROFONDEURS DE JONCTIONS

DEFINITION :

x_j est la distance comptée à partir de la surface de silicium telle que $C(x_j) = C_B$
 $C(x)$ correspondant au profil de dopage de la zone diffusée et C_B à celui du substrat.

MODE OPERATOIRE :

a- Rodage mécanique de l'échantillon par un cylindre de rayon R enduit de pâte diamantée pour obtenir une empreinte de profondeur supérieure à X_j .

b- Révélation chimique qui colore différemment la zone N et la zone P.

c- Observation sous microscope optique et mesure des quantités x et y (fig. 3).

CALCUL DE X_j :

Avec les notations de la figure, les longueurs mesurées x et y sont telles que :

$$\left. \begin{array}{l} x = a - b \\ y = a + b \end{array} \right\} xy = a^2 - b^2$$

Par ailleurs de simples considérations géométriques conduisent à :

$$x_j = \{R^2 - b^2\}^{\frac{1}{2}} - \{R^2 - a^2\}^{\frac{1}{2}}$$

$$8 R \left\{ \left(1 - \frac{b^2}{2R^2} \right) - \left(1 - \frac{a^2}{2R^2} \right) \right\} = \frac{xy}{2R}$$

$$= \frac{xy}{2R}$$

Compte tenu du rayon du cylindre $R = 1,25 \text{ cm}$ et du grossissement du microscope, on a :

objectif x3,2 1 division tambour $\rightarrow 1 \mu\text{m}$ et

$$x_j (\mu\text{m}) = 39,9 \cdot 10^{-6} x_{(\text{div})} \cdot y_{(\text{div})}$$

objectif x5 1 division tambour $\rightarrow 0,6 \mu\text{m}$ et

$$x_j (\mu\text{m}) = 14,40 \cdot 10^{-6} x_{(\text{div})} \cdot y_{(\text{div})}$$

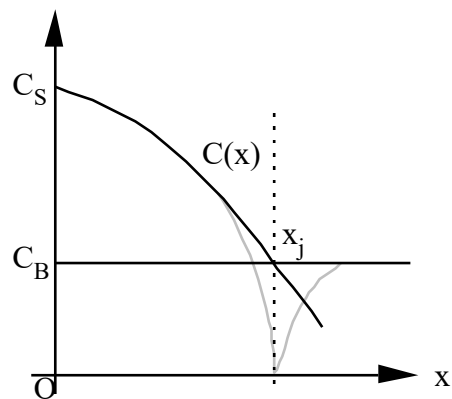


Figure 1

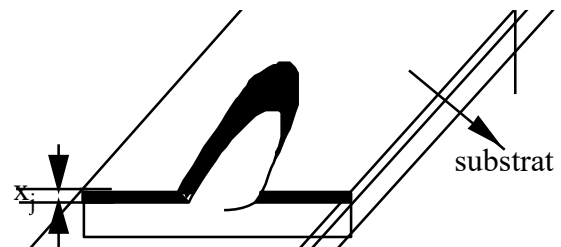


Figure 2

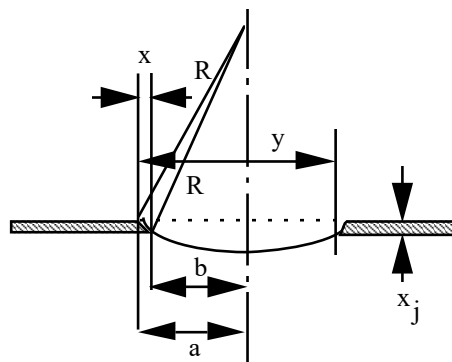


Figure 3

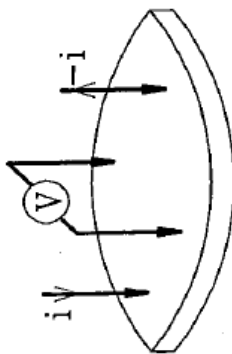
Mesure 4 points

1. Mesure V/I sur une couche mince d'épaisseur e et de résistivité ρ

Si l'épaisseur est négligeable par rapport aux autres dimensions, on peut construire un modèle bidimensionnel de la conduction qui donne :

$$\frac{V}{I} = K \cdot \frac{\rho}{e} \quad (1)$$

K étant un coefficient sans dimension caractéristique de la géométrie 2D (forme des contours, position des contacts).

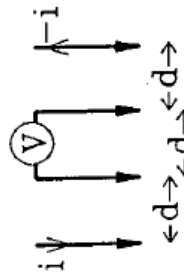


Le rapport ρ/e caractérise la couche, on le note R_Q . On a alors :

$$\frac{V}{I} = K \cdot R_Q \quad (2)$$

(N.B. R_Q s'exprime en Ohms)

2. Valeur de K (cas particulier)



Le coefficient K peut être calculé analytiquement dans quelques cas particuliers très simples, par exemple pour 4 points alignés équidistants sur une couche sans limites (infinie) :

$$K = \frac{\log(2)}{\pi} \quad (3)$$

(valeur pratique : $1/K = 4.532$)

3. Cas d'une couche dopée

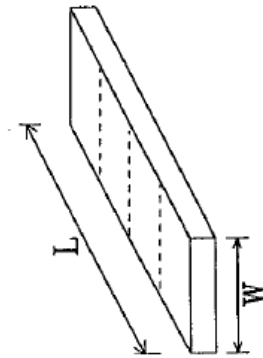
La résistivité n'est pas uniforme sur l'épaisseur e , mais les formules (2) et (3) sont toujours applicables, par généralisation de l'utilisation de R_Q .

On définit alors une résistivité moyenne ρ_m telle que :

$$R_Q = \frac{\rho_m}{e} \quad (4)$$

Si la loi de distribution du dopant est connue, on peut déduire de ρ_m la concentration en surface et pour différentes profondeurs (voir abaques).

4. Relation avec le dessin de masques



Résistance d'une piste conductrice de longueur L et de largeur W (un parallélogramme) :

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S} = \rho \cdot \frac{L}{eW} = \frac{L}{W} \cdot R_Q \quad (5)$$

où L et W caractérisent le dessin des masques alors que R_Q caractérise la technologie.

Le rapport L/W peut être considéré comme une "nombre de carrés", d'où l'appellation de R_Q : "résistance par carré".

5. Cas d'une épaisseur non négligeable

Si l'épaisseur de la couche n'est pas négligeable mais encore raisonnablement petite, on peut appliquer les formules (2) et (3) en remplaçant K par un coefficient K' corrigé, fonction du rapport entre l'épaisseur et les autres dimensions.

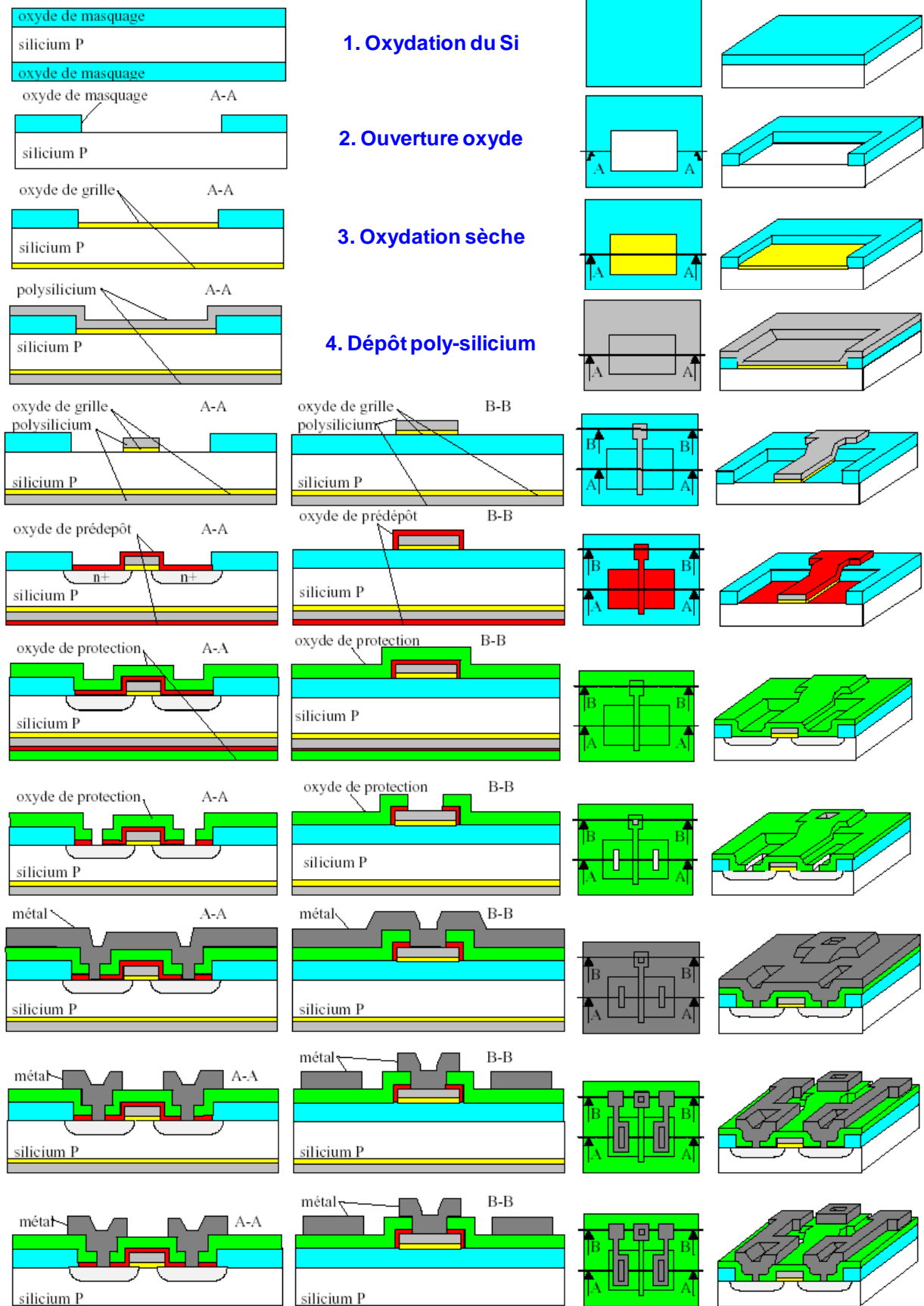
Dans le cas des 4 points équidistants de distance d , la correction est négligeable tant que :

$$\frac{e}{d} < 0.25$$

Méthode Pratique pour la mesure 4 points :

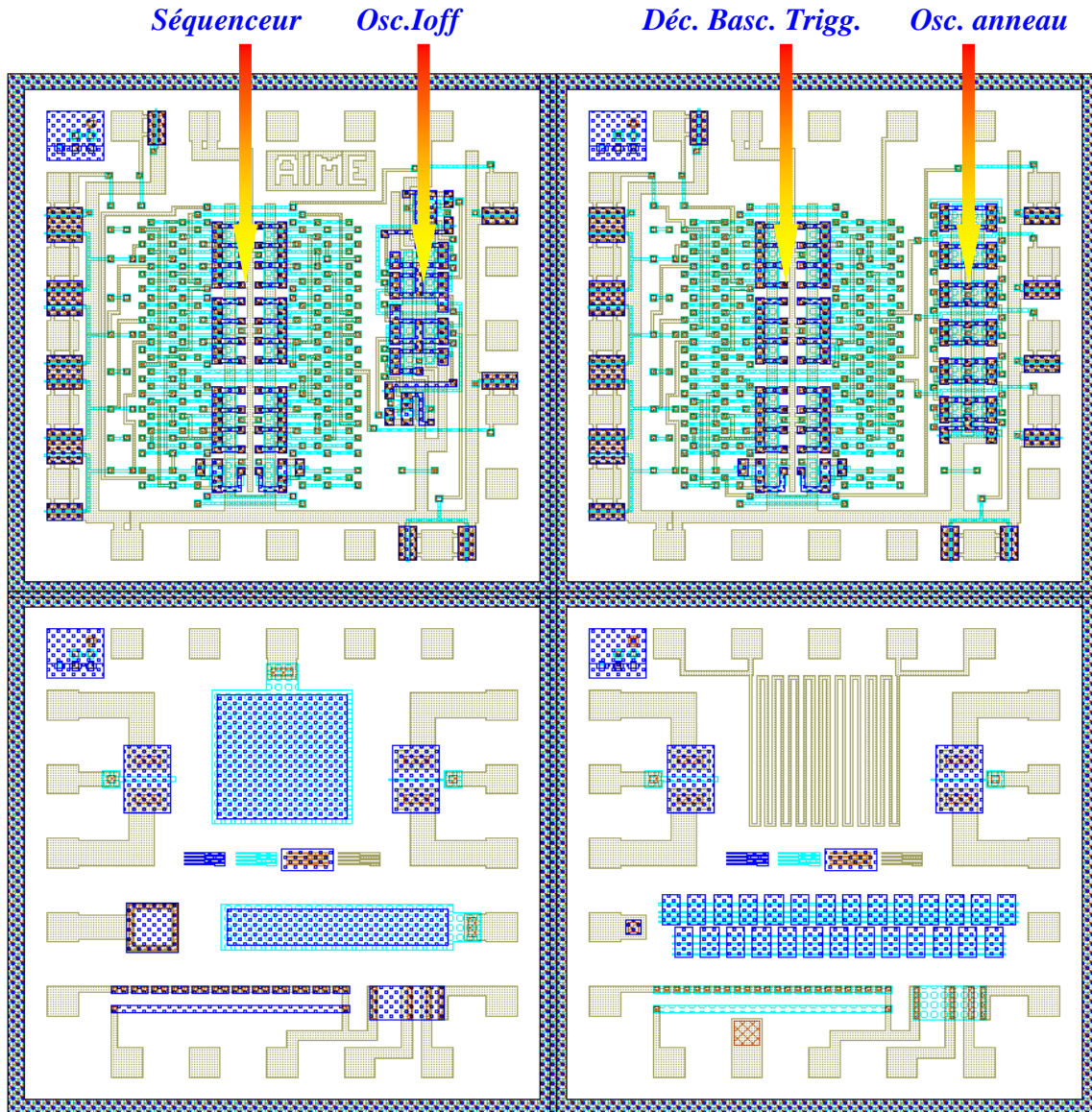
- effectuer une mesure V/I pas trop près des bords de l'échantillon
 - exprimer la mesure en Ohms
 - multiplier par 4.532 pour obtenir R_Q , noter ce résultat (toujours en Ohms)
 - (la distance entre pointes étant de 1.59 mm, la correction d'épaisseur n'est pas nécessaire)
 - exprimer l'épaisseur e de la couche en cm
 - multiplier R_Q par e pour obtenir la résistivité ρ ou ρ_m , noter ce résultat (en Ohm.cm)
 - utiliser un abaque pour en déduire la concentration de dopant (après éventuellement calcul de la conductivité en $\text{Ohm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$).
- ATTENTION : ce n'est pas le même abaque selon que le dopage est uniforme (substrat, polysilicium déposé) ou non (couche diffusée ou implantée).

XXIII-VUES EN COUPE DES DIFFERENTES ETAPES DU PROCESS



PUCE C3

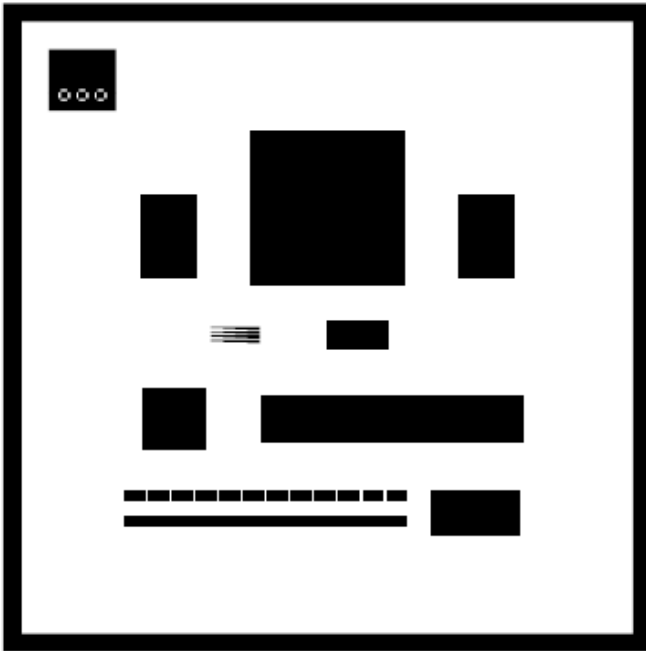
PUCE C4



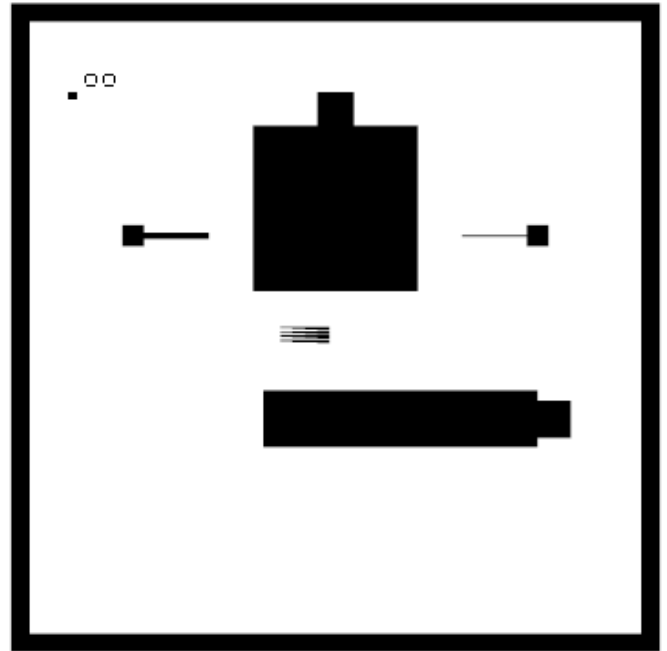
PUCE C1

PUCE C2

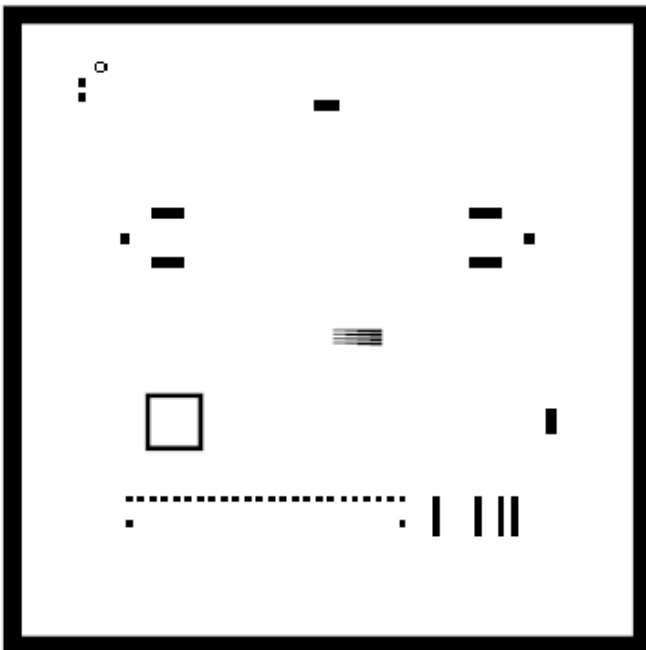
DTC4R : PUCE C1



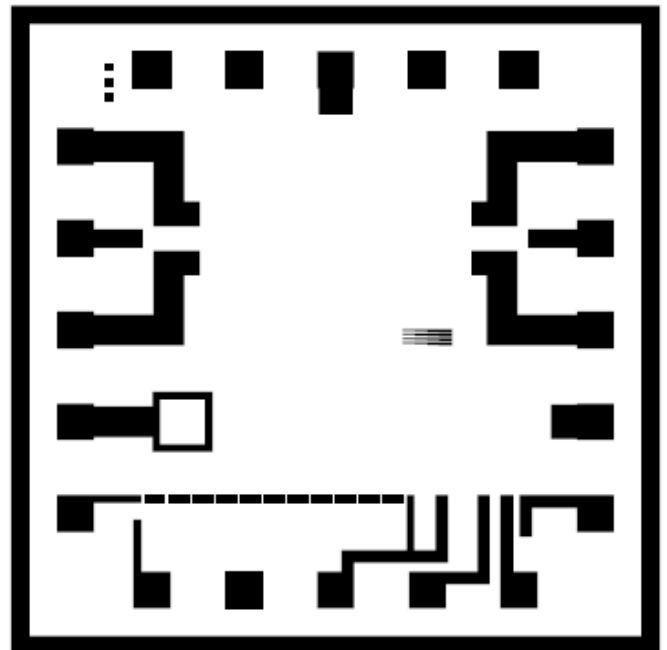
NIV. 1 : Zone Active



NIV. 2 : Polysilicium

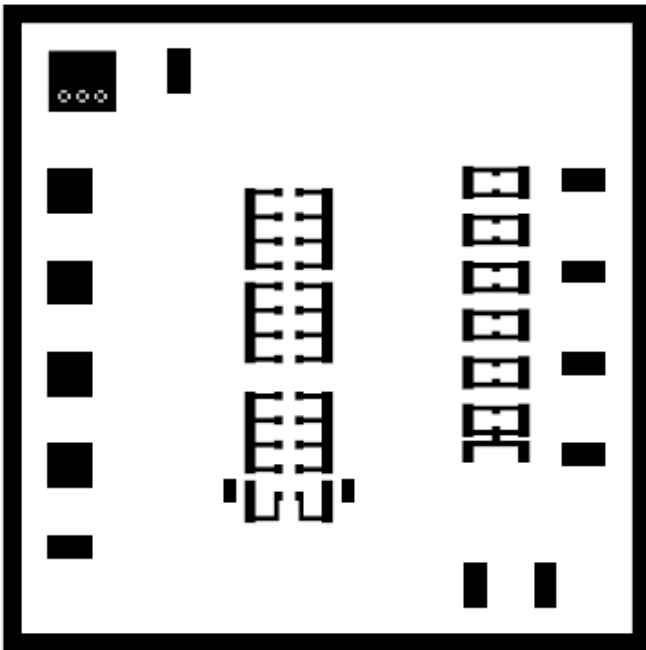


NIV. 3 : Contact

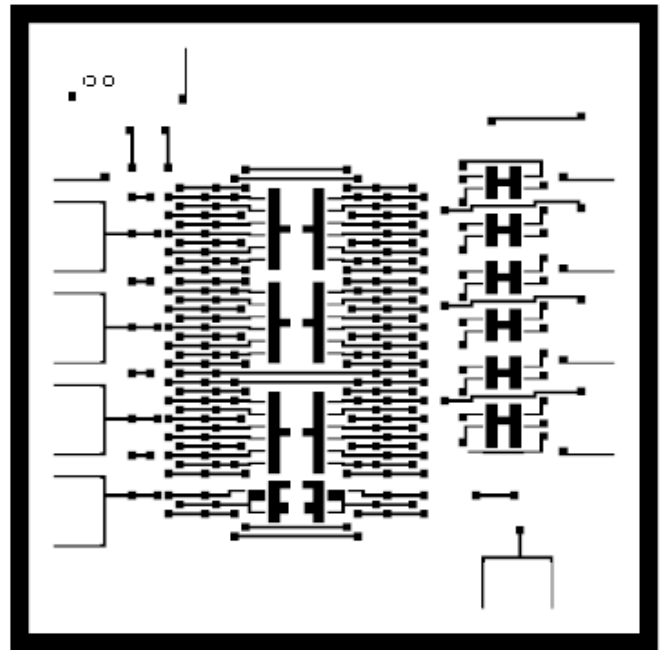


NIV. 4 : Alu

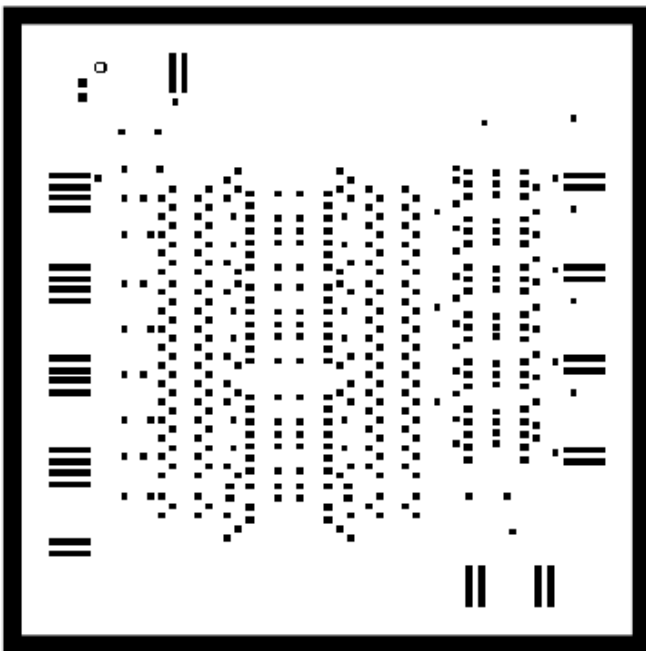
DTC4R : PUCE C4



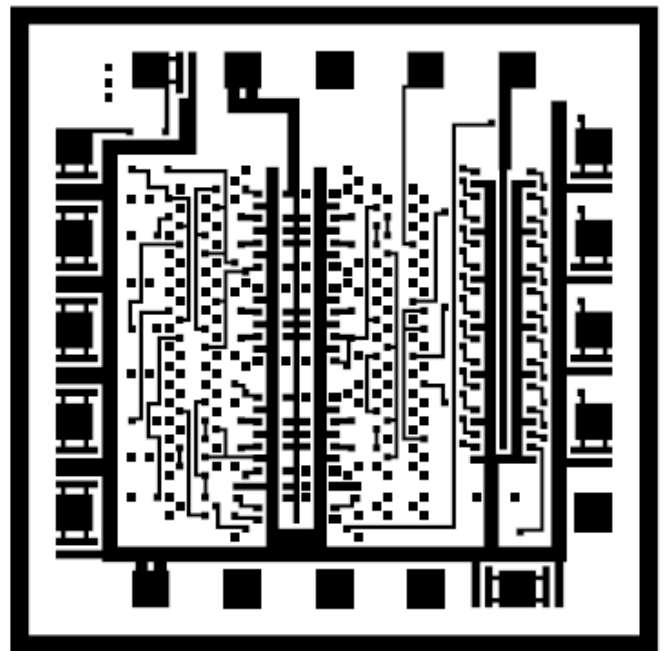
NIV. 1 : Zone Active



NIV. 2 : Polysilicium



NIV. 3 : Contact



NIV. 4 : Alu

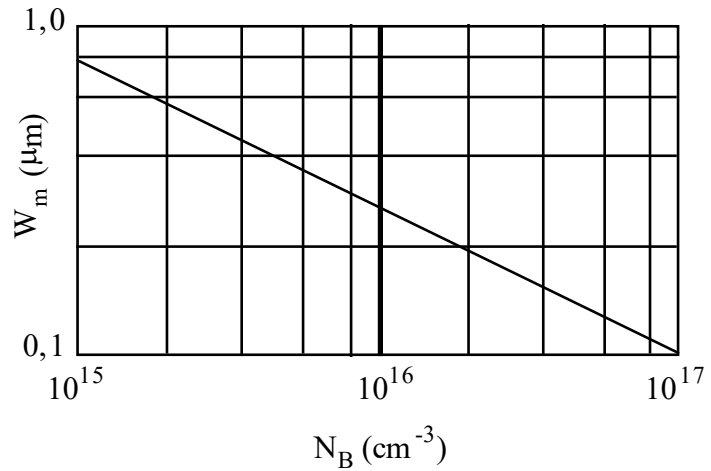
I- CAPACITE MOS (Substrat P, Mesures en haute fréquence (1 MHz))

$$C_{MAX} = C_{OX} = S \frac{\epsilon_o \epsilon_{OX}}{e_{OX}}$$

$$\frac{1}{C_{MIN}} = \frac{1}{C_{OX}} + \frac{1}{C_{dep}}$$

$$C_{dep} = S \frac{\epsilon_o \epsilon_{Si}}{W_{MAX}}$$

$$W_{MAX}^2 = \frac{kT}{q} \frac{4 \epsilon_o \epsilon_{Si}}{q N_A} \log \left(\frac{N_A}{n_i} \right)$$



II- TRANSCONDUCTANCE D'UN TRANSISTOR MOS (régime saturé)

$$g_m = \frac{Z}{L} \mu_n \frac{\epsilon_o \epsilon_{OX}}{e_{OX}} (V_G - V_T) \quad \rightarrow \quad Z \frac{\epsilon_o \epsilon_{OX}}{e_{OX}} v_s$$

III- TENSION DE SEUIL (canal N)

$$V_{Tmes} = V_{Tid} - \frac{Q_{SS}}{C_{OX}} \quad \text{ou} \quad N_{SS} = (V_{Tmes} - V_{Tid}) \frac{C_{OX}}{qS} \quad (\text{cm}^{-2})$$

$$\text{et} \quad V_{Tid} = \Phi_{ms} + 2 \Phi_F + \sqrt{2 \Phi_B \Phi_F}$$

$$\text{avec} \quad \Phi_B = 2 N_A \frac{\epsilon_{OX}^2 \epsilon_{Si}}{\epsilon_o \epsilon_{OX} \epsilon_{OX}} \quad \Phi_F = \frac{kT}{q} \text{Log} \frac{N_A}{n_i}$$

$$\Phi_{ms} = \Phi_m - \left(X_{Si} + \frac{E_g}{2q} + \Phi_F \right)$$

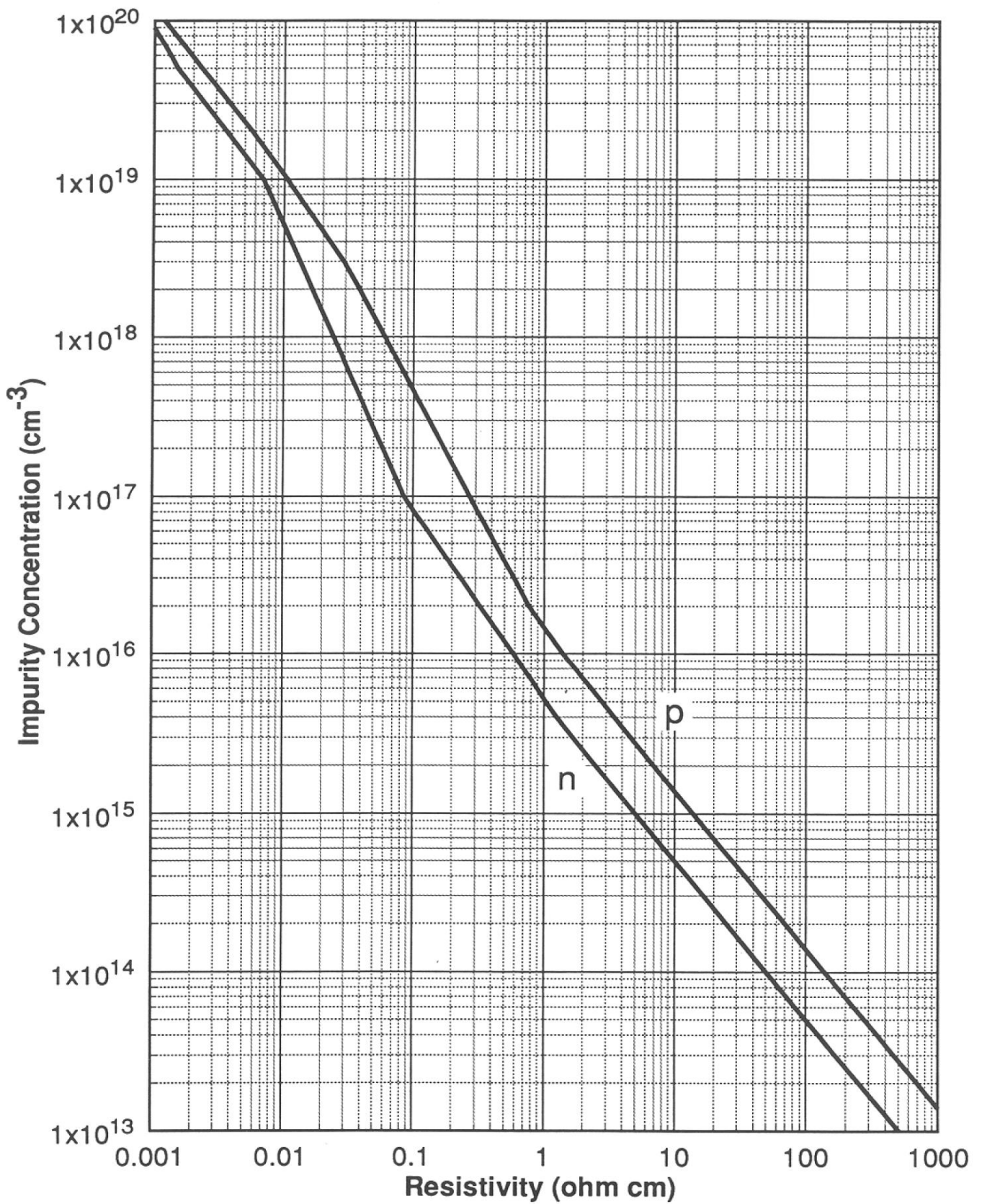
IV- QUELQUES VALEURS NUMERIQUES (Si, T = 300 °K)

$$U_T = \frac{kT}{q} = 0,0259 \text{ V} \quad ; \quad \frac{E_g}{2q} = 0,56 \text{ V} \quad ; \quad n_i = 1,45 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$$

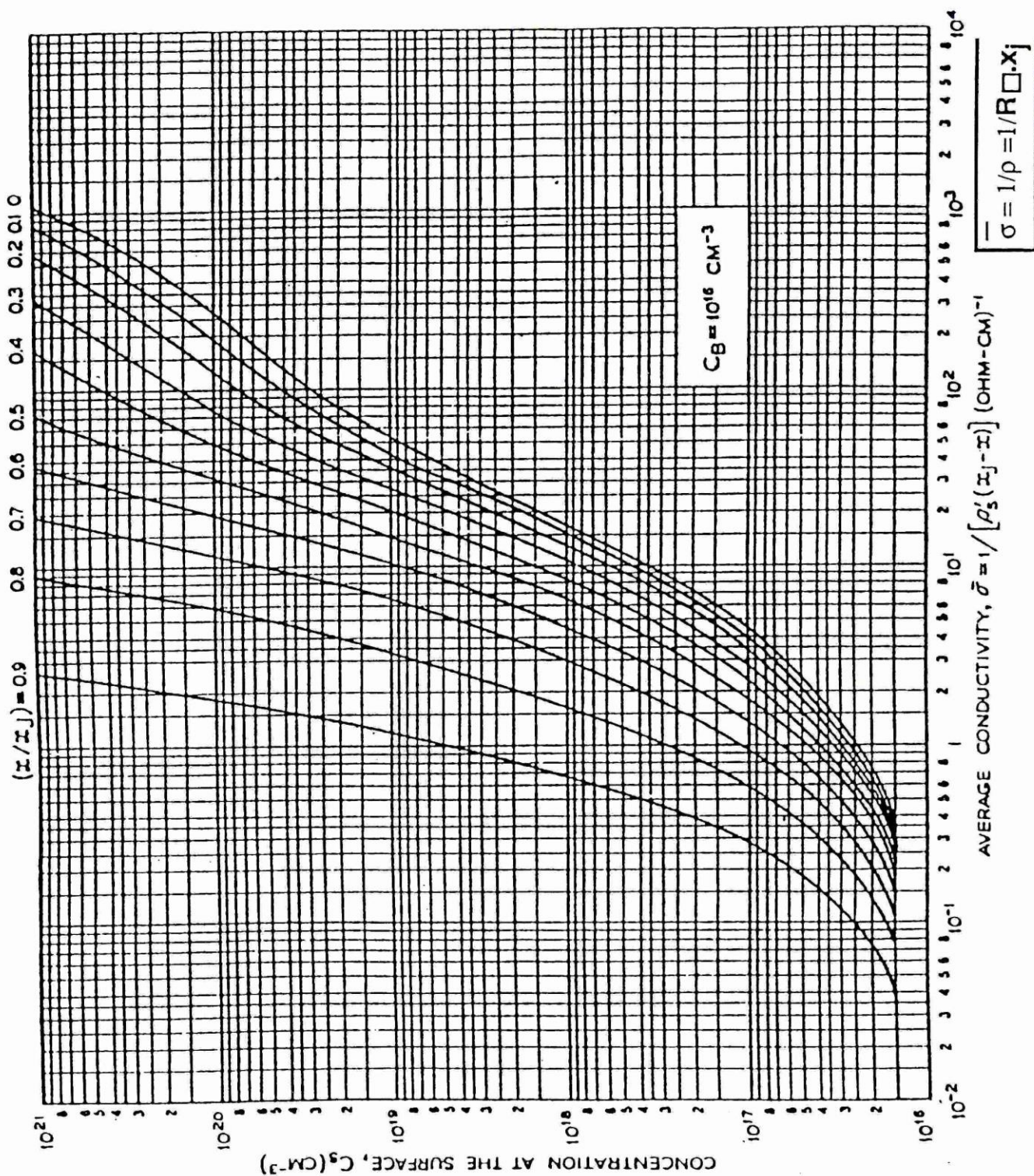
$$\epsilon_{Si} = 11,9 \quad ; \quad \epsilon_{OX} = 3,9 \quad ; \quad \epsilon_o = 8,85 \cdot 10^{-14} \text{ F.cm}^{-1} \quad ; \quad v_s = 10^7 \text{ cm.s}^{-1}$$

$$\text{Pour une grille en Al : } \Phi_m - \chi_{Si} = -0,11 \text{ V}$$

V- DOPAGE DU SILICIUM



VI- DOPAGE DES COUCHES DIFFUSEES APRES PREDEPOT



I Calcul théorique de la tension de seuil V_T du MOS

Notations

- W_G et W_{Si} travaux de sortie de grille et du Si respectivement.
- $\phi_{ms} = \frac{W_G - W_{Si}}{q}$ équivalent tension de la différence de travaux de sortie
- ϕ_{dep} : tension supportée par la zone dépeuplée d'épaisseur $W_{dep\ max}$
- ΔV_{OX} : tension supportée par l'oxyde de grille au seuil.
- Q_{SS} : charge en C/cm^2 dans l'oxyde (charge négative dans le canal)
- $N_{SS} = \frac{Q_{SS}}{q}$ équivalent en atomes/cm²
- e_{OX} = épaisseur de l'oxyde de grille
- $C_{OX} = \epsilon_{OX}/e_{OX}$ Capacité de l'oxyde de grille par unité de surface
- tension de seuil $V_T = V_{Tid} + V_{FB}$ doit être > 0 dans le NMOS.
- V_{FB} : tension de bande plate négative

$$V_{FB} = \frac{W_G - W_{Si}}{q} - \frac{Q_{SS}}{C_{OX}} < 0$$

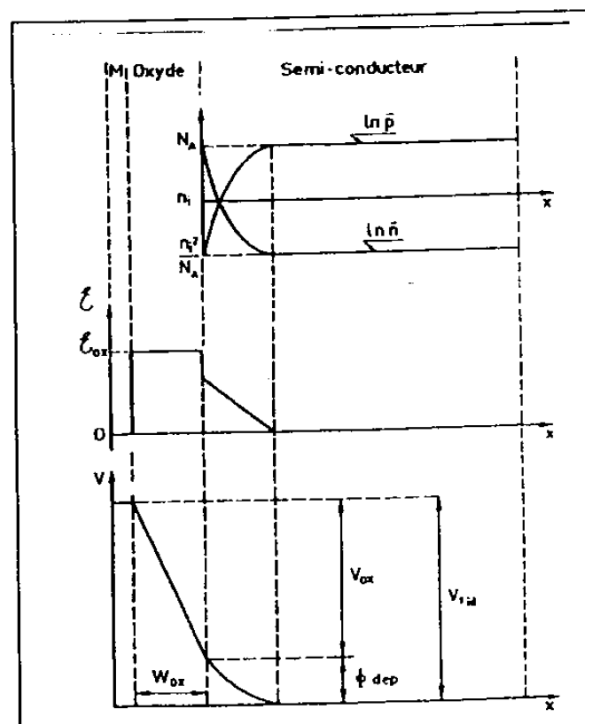
Cas idéal

$$\phi_{ms}=0 \text{ et } Q_{SS}=0$$

$$V_{Tid} = \Delta V_{OX} + \phi_{dep} > 0 \text{ dans NMOS}$$

$$\phi_{dep} = 2U_T \ln \frac{N_A}{n_i}$$

$$\Delta V_{OX} = \frac{e_{OX}}{\epsilon_{OX}} \sqrt{2q\epsilon_{Si} N_A \phi_{dep}}$$



A propos de ϕ_{ms}

L'abaque suivante permet de déterminer la différence de travaux de sortie entre grille et Si selon le type de substrat (N ou P) et en fonction de son dopage et pour diverses natures de grilles (Poly SiN⁺, Poly SiP⁺ ou Al).

Ex : substrat P, $N_A=10^{16}$, Grille N⁺Si $\Rightarrow \phi_{ms} \approx -0,8V$

- Données diélectriques

$$\epsilon_{OX}=3,9 \epsilon_0$$

$$\epsilon_0=8,85 \cdot 10^{-14} \text{F/cm}$$

$$\epsilon_{Si}=11,9 \epsilon_0$$

- Données Si à 300°K : densité intrinsèque $n_i=10^{10} \text{cm}^{-3}$

largeur bande interdite $E_g=1,12 \text{eV}$

$$\text{tension thermodynamique } U_T = \frac{kT}{q} = 26 \text{mV}$$

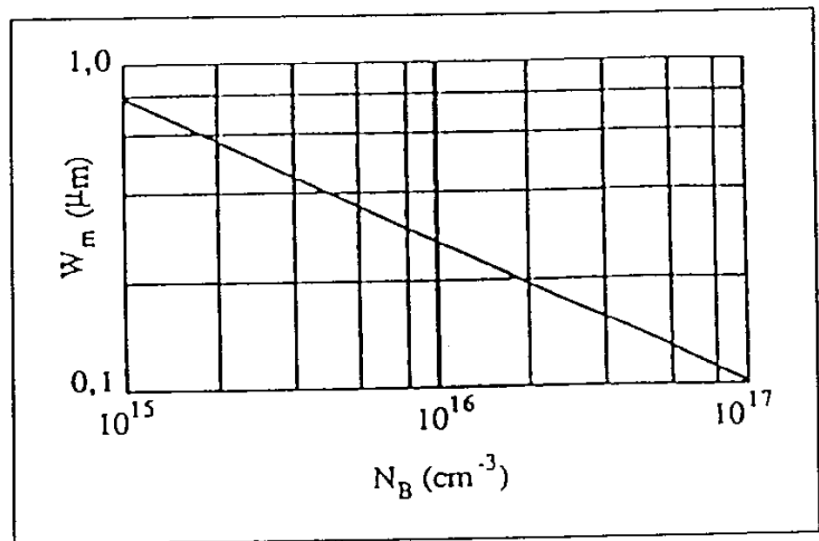
II Capacité MOS (Substrat P, Mesures en haute fréquence (1 MHz))

$$C_{MAX} = C_{OX} = S \frac{\epsilon_o \epsilon_{OX}}{e_{OX}}$$

$$\frac{1}{C_{MIN}} = \frac{1}{C_{OX}} + \frac{1}{C_{dep}}$$

$$C_{dep} = S \frac{\epsilon_o \epsilon_{Si}}{W_{MAX}}$$

$$W_{MAX}^2 + \frac{kT}{q} \frac{4\epsilon_o \epsilon_{Si}}{qN_A} \log\left(\frac{N_A}{n_i}\right)$$



III Transconductance d'un transistor MOS (régime saturé)

$$g_m = \frac{Z}{L} \mu_n \frac{\epsilon_o \epsilon_{OX}}{e_{OX}} (V_G - V_T) \rightarrow Z \frac{\epsilon_o \epsilon_{OX}}{e_{OX}} v_s$$

ϕ_{MS} versus Silicon Doping for Various Gate Electrodes

