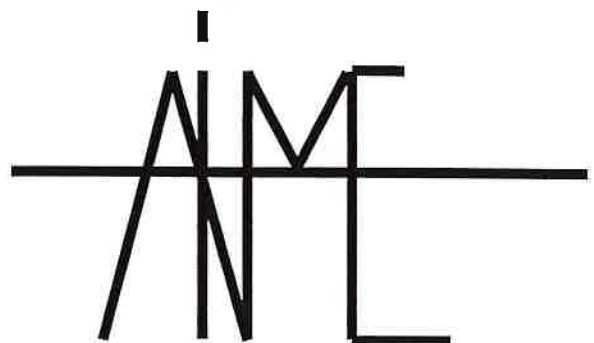
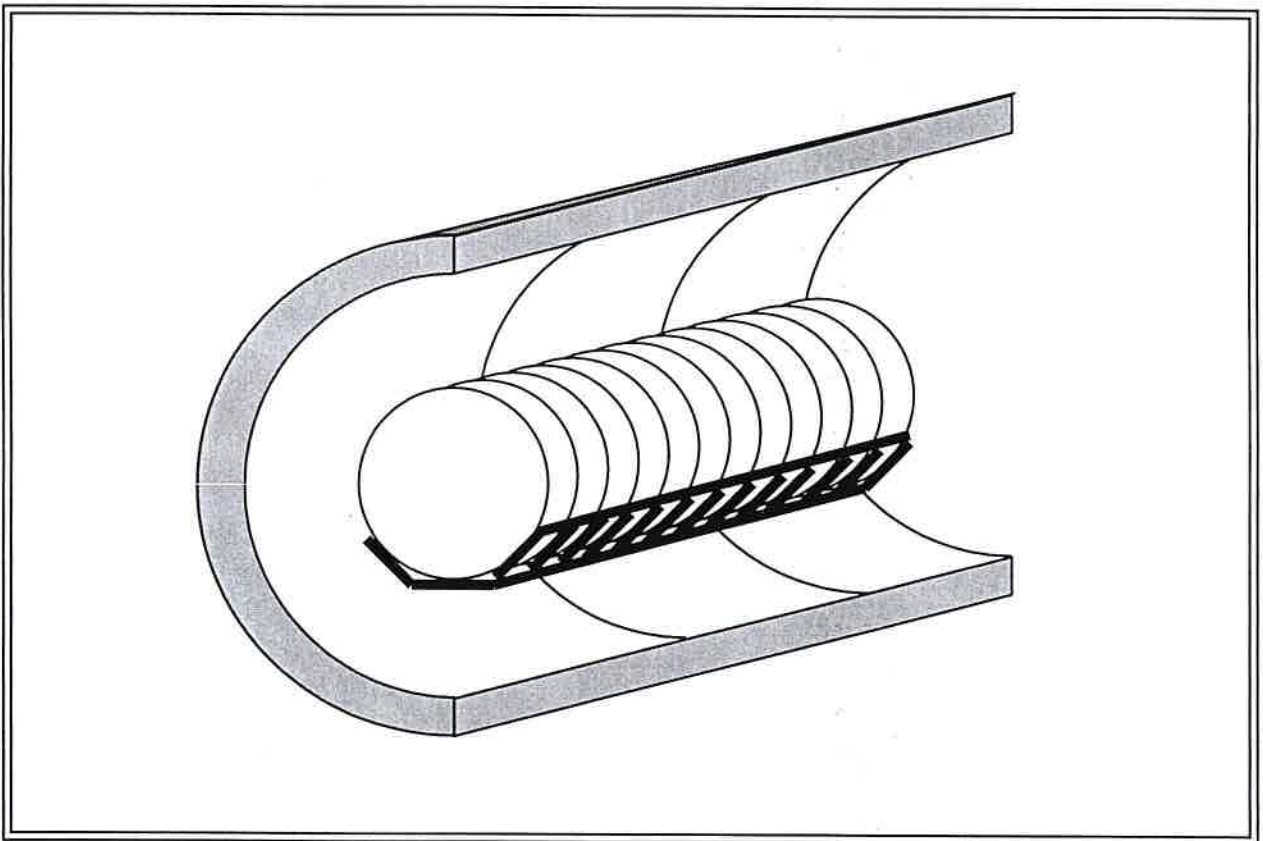


# FABRICATION DE COMPOSANTS MOS

## SILICIUM



**CONSIGNES D'EVACUATION**  
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 du sinistre.**

**EN SALLE BLANCHE N°1:**

- ⇒ Evacuer les étudiants par l'issue de secours qui donne directement dans le Hall.  
Ne pas repasser par le sas ; Ne pas se déshabiller.

**EN SALLE BLANCHE N°2 :**

- ⇒ Evacuer les étudiants par l'issue de secours qui donne en C.A.O.  
Traverser cette salle et sortir sur la pelouse.

**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 SECURITE

### REPÉREZ LES ÉQUIPEMENTS DE SÉCURITÉ :

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

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

- nettoyages chimiques (RCA et H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)
- toutes attaques humides

IL EST INTERDIT AUX STAGIAIRES DE TRANSPORTER LES PRODUITS CHIMIQUES d'un poste de travail a un autre.

Gardez présent à l'esprit que :

- le port des 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 boites 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 ou la plaquette est dans la boite
  - 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 boite.
- 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 boites ne supporte pas la température des plaquettes sortant juste d'un four, laisser celles-ci refroidir env. 20 secondes à l'air libre.
- Le papier est une source de contamination, faites-en l'usage minimum.

## PROCEDURE D'ENTREE EN SALLE BLANCHE

26/11/99

- Laisser les vêtements de ville et les sacs dans la salle de séminaire.
- Six casiers, fermant à clé, peuvent être utilisés dans le SAS pour des objets de valeur.

### Entrée 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 latex:        2 tailles mises à disposition dans 2 distributeurs muraux.

### Sortie de la salle Blanche :

Blouse :                    suspendre au cintre numéroté correspondant à chaque binôme.

Couvre-chaussure :    déposer dans la partie "USAGES" du coffre.

Charlotte :                garder dans la manche de la blouse.

Gants latex:                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).

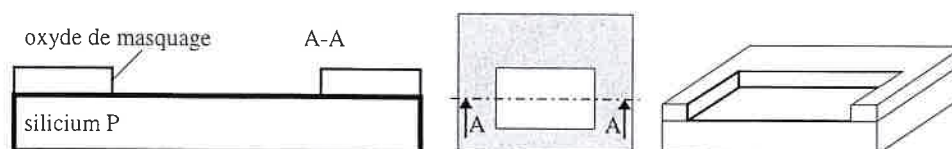
## EMPLOI DU TEMPS TYPE

GROUPES		A et B	C et D	E et F
<b>Lundi</b>	8h30 à 10h			
	10h15 à 12h	Nettoyage	Nettoyage	Nettoyage
		Oxyde de masquage		
	13h30 à 15h	Photogravure 1	Caractérisation	Caractérisation
	15h15 à 17h	Caractérisation		
<b>Mardi</b>	8h30 à 10h	Nettoyage R.C.A.	Photogravure 1	Caractérisation
	10h15 à 12h	Oxyde de grille	Nettoyage R.C.A.	Photogravure 1
		Dépôt de polysilicium	Oxyde de grille	
	13h30 à 15h	Photogravure 2 (GIR)	Dépôt de polysilicium	Nettoyage R.C.A.
	15h15 à 17h	Caractérisation	Caractérisation	Oxyde de grille
				Dépôt de polysilicium
<b>Mercredi</b>	8h30 à 10h	Diffusion	Photogravure 2 (GIR)	Caractérisation
	10h15 à 12h	Dépôt SiO <sub>2</sub>	Diffusion	Photogravure 2 (GIR)
	13h30 à 15h	Photogravure 3	Dépôt SiO <sub>2</sub>	Diffusion
	15h15 à 17h	Métallisation	Photogravure 3	Dépôt SiO <sub>2</sub>
<b>Jeudi</b>	8h30 à 10h	Caractérisation	Métallisation	Photogravure 3
	10h15 à 12h	Photogravure 4	Caractérisation	Métallisation
	13h30 à 15h	Tests / montage	Photogravure 4	Caractérisation
	15h15 à 17h	Tests en boîtier	Tests / montage	Photogravure 4
<b>Vendredi</b>	8h30 à 10h		Tests en boîtier	Tests / montage
	10h15 à 12h			Tests en boîtier
	13h30 à 15h			
	15h15 à 17h			



### III- PHOTOGRAVURE n° 1 : "OUVERTURE TRANSISTOR "

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



Masque n° 1

Opérations	Conditions
<input type="checkbox"/> 1°) Séchage	Etuve : (120°C) 5 min.
<input type="checkbox"/> 2°) Dépôt promoteur d'adhérence (H.M.D.S.)	Tournette ( 4000 t/min. , 30 s.)
<input type="checkbox"/> 3°) Dépôt résine positive	ref : Shipley S1813 Tournette ( 4000 t/min. , 30 s.)
<input type="checkbox"/> 4°) 1ère cuisson	Plaque chauffante (100 °C) 60 s.
<input type="checkbox"/> 5°) Aligne. - Insolation	..... (5 s.)
<input type="checkbox"/> 6°) Développement	(20 °C), 30 s.
<input type="checkbox"/> 7°) Observation	Microscope optique
<input type="checkbox"/> 8°) 2ème cuisson	Plaque chauffante (120° C), 45 s.
<input type="checkbox"/> <b>Traiter le témoin</b>	—————→
<input type="checkbox"/> 9°) Gravure SiO <sub>2</sub>	Buffer HF : temps d'après témoin 1
<input type="checkbox"/> 10°) Observation	Microscope optique
<input type="checkbox"/> 11°) Dissolution résine	Acétone puis eau
<input type="checkbox"/> 12°) Nettoyage	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (2 min.)
<input type="checkbox"/> 13°) Rinçage	Eau désionisée

Les données entre parenthèses correspondent à des réglages fixes. Ne pas les toucher. Pendant les passages dans les étuves, découper la plaquette témoin n°1 et enduire le petit morceau de cire Apiezon suivant les indications de l'opération n° 1 de la page 13 « Traitement du témoin ». Attaquer les morceaux du témoin ainsi traité au buffer HF en mesurant le temps d'attaque et utiliser ce résultat pour l'étape 9 de l'ouverture.

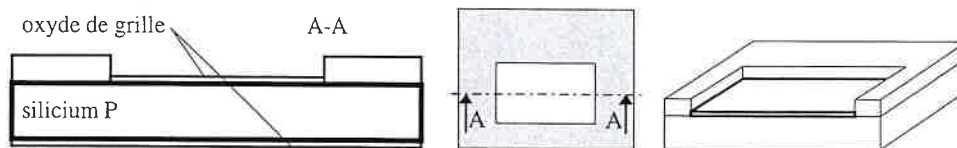
### IV- NETTOYAGE R.C.A.

Cette opération de 5 étapes prépare l'interface Si - SiO<sub>2</sub> avant la croissance de l'oxyde de grille.

Nettoyer en même temps le témoin 1, mais pas le témoin 2.

<input type="checkbox"/> bain A'	HF dilué	30 s.	puis rinçage et séchage ;
<input type="checkbox"/> bain A	HNO <sub>3</sub> bouillant	10 min.	puis rinçage et séchage ;
<input type="checkbox"/> bain A'	HF dilué	30 s.	puis rinçage;
<input type="checkbox"/> bain B	NH <sub>4</sub> OH + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O bouillant	10 min.	puis rinçage ;
<input type="checkbox"/> bain C	HCl + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O bouillant	5 min.	puis rinçage et séchage.

## V- OXYDATION DE GRILLE



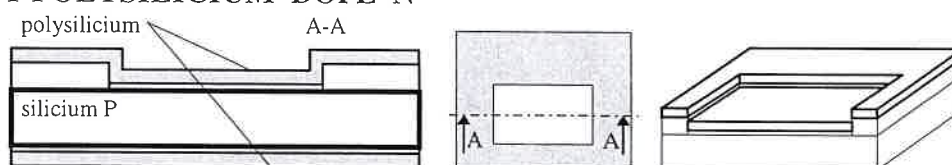
☐ Enfournier aussi le témoin 1, mais pas le témoin 2.

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

Température	Temps	Débits
☐ T = 1100 °C	t = 20 min.	O <sub>2</sub> = 2 l/min.
☐ T = 1100 °C	t = 10 min.	Ar = 2 l/min.

☐ Pendant cette opération, commencer la caractérisation du process. Voir pages 13 à 15 de caractérisation

## VI- DEPOT POLYSILICIUM DOPE N

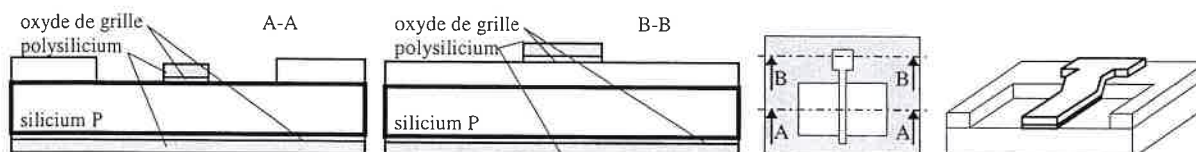


☐ Enfournier aussi le témoin 2, mais pas le témoin 1.

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

Températures	Temps	Débits	Pressions
T= 400°C à 585°C	t = 45 min.	N <sub>2</sub> = 1 l/min.	p = 1 Torr
T= 585°C	t = 20 min.	SiH <sub>4</sub> = 50 cc/min. PH <sub>3</sub> = 0 cc/min.	p=250 mTorr
T= 585°C à 400°C	t = 4 x 2 min.	N <sub>2</sub> = 1 l/min. : cycles de purges et vides	p=1 Torr

## VII- PHOTOGRAVURE n° 2 : "GRAVURE POLYSILICIUM"



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

## Masque n° 2

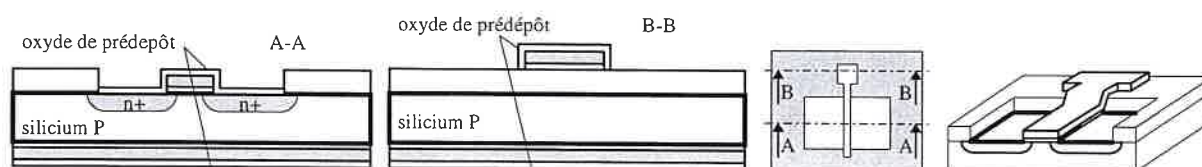
Opérations	Conditions
☐ 1°) Séchage	Etuve (120°C) 5 min.
☐ 2°) Dépôt résine positive	ref : Shipley S1813 Tournette ( 4000 t/min. , 30 s.)
☐ 3°) 1ère cuisson	Plaque chauffante (100 °C) 60 s.
☐ 4°) Aligne. - Insolation	..... (5 s.)
☐ 5°) Développement	(20 °C) 30 s.
☐ 6°) Observation	Microscope optique
☐ 7°) 2ème cuisson	Plaque chauffante (120° C) 45 s.
☐ 8°) Gravure Polysilicium (face composants)	Gravure ionique réactive: Débit SF6 : 30 cc/min. Pression : 0,02 mbar Puissance RF : 50 W
☐ <b>Traiter le témoin</b>	—————→
☐ 9°) Gravure SiO <sub>2</sub>	Buffer HF : temps d'après témoin 1
☐ 10°) Observation	Microscope optique
☐ 11°) Dissolution résine	Acétone puis eau
☐ 12°) Nettoyage	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (2 min.)
☐ 13°) Rinçage	Eau désionisée

Les données entre parenthèses correspondent à des réglages fixes. Ne pas les toucher.

Pendant les passages dans les étuves, découper la plaquette témoin n°1 et enduire le petit morceau de cire Apiezon suivant les indications de l'opération n° 2 de la page 13 « Traitement du témoin ».

Attaquer les morceaux du témoin ainsi traité au buffer HF en mesurant le temps d'attaque et utiliser ce résultat pour l'étape 9 de la gravure.

## VIII- DIFFUSION SOURCE ET DRAIN (de type N ).



☐ Enfourner aussi les témoins 1 et 2.

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

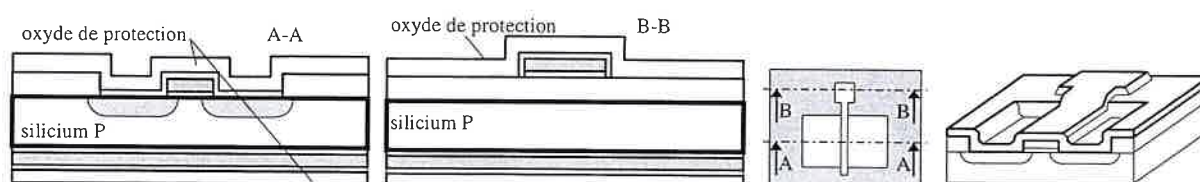
Température	Temps	Débits
☐ T = 1050 °C	t = 5 min.	N <sub>2</sub> = 2 l/min. O <sub>2</sub> = 0.1 l/min.
☐ T = 1050 °C	t = 5 min.	N <sub>2</sub> = 2 l/min. O <sub>2</sub> = 0.1 l/min. POCl <sub>3</sub> = 5 mg/min.
☐ T = 1050 °C	t = 5 min.	N <sub>2</sub> = 2 l/min. O <sub>2</sub> = 0.1 l/min.

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

Température	Temps	Débits
$T = 1100\text{ °C}$	$t = 10\text{ min.}$	$N_2 = 1\text{ l/min.}$

☐ Mesurer l'épaisseur d'oxyde de diffusion sur témoin 1 par ellipsométrie pendant le dépôt suivant.

### IX- DEPOT $SiO_2$ L.T.O.



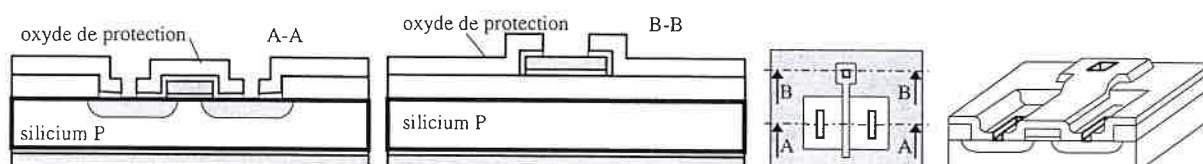
☐ Enfourner aussi le témoin 2, mais pas le témoin 1.

Après la diffusion de la source et du drain, on couvre toute la plaquette d'une couche isolante protectrice de  $SiO_2$  L.T.O. (low temperature oxydation). Cette opération s'effectue dans le four LPCVD n°3-1 dans les conditions suivantes :

Températures	Temps	Débits	Pressions
$T = 420\text{ °C}$	$t = 30\text{ min.}$	$SiH_4 = 30\text{ cc/min.}$ $O_2 = 60\text{ cc/min.}$	$p = 200\text{ mTorr}$
$T = 420\text{ °C}$	$t = 2 \times 2\text{ min.}$	$N_2 = 1\text{ l/min.}$ : cycles de purges et vides	$p = 1\text{ Torr}$

☐ Pendant cette étape, mesurer la profondeur de jonction diffusée, voir opération n°3 page 13 « Traitement du témoin ».

### X- PHOTOGRAVURE n° 3 : "OUVERTURE CONTACTS"



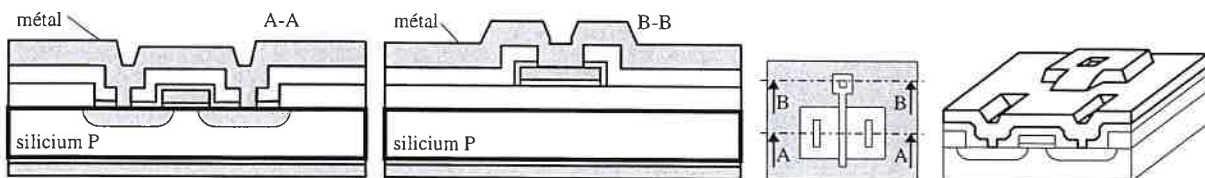
## Masque n° 3

Opérations	Conditions
<input type="checkbox"/> 1°) Séchage	Etuve : (120°C) 5 min.
<input type="checkbox"/> 2°) Dépôt promoteur d'adhérence (H.M.D.S.)	Tournette (4000 t/min. , 30 s.)
<input type="checkbox"/> 3°) Dépôt résine	ref : Shipley S1813 Tournette (4000 t/min. , 30 s.)
<input type="checkbox"/> 4°) 1ère cuisson	Plaque chauffante (100 °C) 60 s.
<input type="checkbox"/> 5°) Aligne. - Insolation	..... (5 s.)
<input type="checkbox"/> 6°) Développement	(20 °C), 40 s.
<input type="checkbox"/> 7°) Observation	Microscope optique
<input type="checkbox"/> 8°) 2ème cuisson	Plaque chauffante (120° C), 45 s.
<input type="checkbox"/> <b>Traiter le témoin</b>	—————→
<input type="checkbox"/> 9°) Gravure SiO <sub>2</sub>	Buffer HF : temps d'après témoin 2
<input type="checkbox"/> 10°) Observation	Microscope optique
<input type="checkbox"/> 11°) Dissolution résine	Acétone puis eau
<input type="checkbox"/> 12°) Séchage	Tournette de séchage

Les données entre parenthèses correspondent à des réglages fixes. Ne pas les toucher.  
 Pendant les passages dans les étuves, enduire la plaquette témoin n°2 de cire Apiezon suivant les indications de l'opération n° 4 de la page 13 « Traitement du témoin ». Attaquer le témoin ainsi traité au buffer HF en mesurant le temps d'attaque et utiliser ce résultat pour l'étape 9 de l'ouverture des contacts. Effectuer ensuite l'opération n°5 sur le témoin n°2.

Dès la fin de cette opération, donner la tranche composants au personnel chargé de la métallisation pour la placer immédiatement dans l'enceinte à vide.

## XI- METALLISATION



Cette opération consiste à déposer sur la face composant une couche de 500 nm d'aluminium .

Soit par évaporation thermique sous vide :

<input type="checkbox"/> Dégazage	T(subst) =                    °C
	Temps =                    min.
<input type="checkbox"/> Dépôt	Pression avant dépôt =            mbar
	Pression pendant dépôt =            mbar

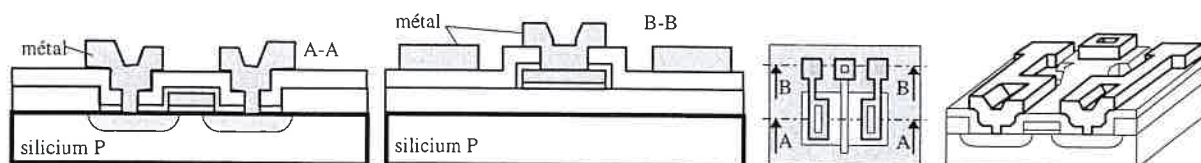
OU

Soit par pulvérisation cathodique :

<input type="checkbox"/> Dépôt	Pression avant dépôt =    10 <sup>-7</sup> mbar
	Pression pendant dépôt =    2.10 <sup>-3</sup> mbar
	Puissance RF =            250 W
	Distance cible-substrat =    75 mm
	Temp de dépôt =            10 min.

Pendant ce dépôt, mesurer les 2 marches du témoin 2 avec le profilomètre.

## XII- PHOTOGRAVURE n° 4 : "GRAVURE METAL"



Masque n° 4

Opérations	Conditions
○ 0°) Homogénéiser attaque alu.	Mettre le bain d'attaque aluminium dans le bac à ultrasons
○ 1°) Séchage	Etuve : (120°C) 5 min.
○ 2°) Dépôt résine	ref : Shipley S1813 - Tournette (4000 t/min., 30 s.)
○ 3°) 1ère cuisson	Plaque chauffante (100 °C) 60 s.
○ 4°) Alignement - Insolation	..... (5 s.)
○ 5°) Développement	(20 °C), 30 s.
○ 6°) Observation	Microscope optique
○ 7°) 2ème cuisson	Plaque chauffante (120° C), 45 s.
○ 8°) Bain attaque aluminium	Arrêter le bain ultrasons, et en sortir le bain attaque alu.
○ 9°) Gravure aluminium	bain attaque (40vol. H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> + 7vol. HNO <sub>3</sub> + 7vol. H <sub>2</sub> O) avec <b>contrôle final visuel</b> + 30 sec. d'attaque supplémentaire
○ 10°) Observation	Microscope optique
○ 11°) Nettoyage résine (2 faces)	Acétone + eau + séchage avec tournette
○ 12°) Protection face AV	Cire Apiézon
○ 13°) Gravure polysilicium sur la face AR	Bain attaque polysilicium (1vol.HF + 71vol.HNO <sub>3</sub> + 28vol.H <sub>2</sub> O) <b>contrôle final visuel</b> : couleur grise homogène dans le bain
○ 14°) Desoxydation face AR	Buffer HF (attaque SiO <sub>2</sub> grille)
○ 15°) Dissolution cire	Trichlo + acétone + eau
○ 16°) Séchage	Tournette de séchage

## XIII- RECUIT METAL

○ Cette opération se fait dans le four n°5-1 suivant les conditions :

Température	Temps	Débits
○ T = 400 °C	t = 20 min.	N <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> (5%) = 1 l/min.

○ Mesurer l'épaisseur d'aluminium sur la plaquette composants, entre 2 plots de contacts, avec le profilomètre.

**XIV- MONTAGE**

- TEST SOUS POINTES : faire rapidement une cartographie de la tranche pour déterminer la région où se situent les meilleurs composants et les sélectionner.
- DECOUPE de la tranche à la scie diamantée.
- MONTAGE sur embase : soudure par eutectique Or- Silicium  $T = 370 \text{ }^\circ\text{C}$
- MICROSOUDURE par ultra-sons (Wedge bonding de fil d'aluminium-silicium 5%,  $\phi 25\mu\text{m}$ )

**XV- TEST ELECTRIQUE**

*Voir pages de caractérisation*

**1° - Mesures I(V) :**

- Tracer les caractéristiques  $I_d = f(V_{ds}, V_{gs})$  d'un transistor à canal long.
- Tracer les caractéristiques  $I_d = f(V_{ds}, V_{ds})$  d'un transistor à canal long.
- Tracer les caractéristiques  $I_d = f(V_{ds}, V_{gs})$  d'un transistor à canal court.
- Tracer les caractéristiques  $I_d = f(V_{ds}, V_{ds})$  d'un transistor à canal court.
- Tracer la caractéristique  $I = f(V)$  de la diode.

**2° - Mesures C(V) :**

- Tracer la caractéristique  $C = f(V)$  de la capacité MOS.

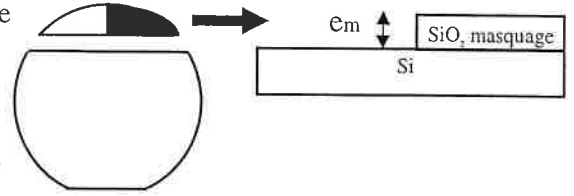
## OPERATIONS SUR LES PLAQUETTES TEMOINS

### TEMOIN 1 :

#### Opération n°1 :

Pendant la photogravure n°1 traiter le témoin n°1 comme sur la figure ci-contre, c'est à dire :

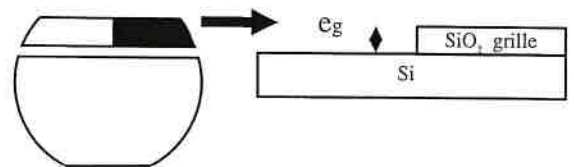
- a** - couper au scribeur une bande d'environ 1 cm à l'opposé du méplat
- b** - enduire la moitié droite du petit morceau de cire Apiézon ;
- c** - plonger l'un après l'autre les **deux morceaux** dans le buffer HF en mesurant avec précision le temps nécessaire à l'attaque de la silice.



#### Opération n°2 :

Pendant la photogravure n° 2, traiter le témoin n°1 comme sur la figure ci-contre, c'est à dire :

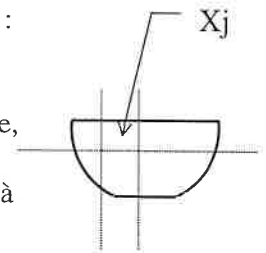
- a** - couper au scribeur une autre bande d'environ 1 cm à l'opposé du méplat ;
- b** - enduire la moitié droite du petit morceau de cire Apiézon ;
- c** - plonger l'un après l'autre les deux morceaux dans le buffer HF en mesurant avec précision le temps nécessaire à l'attaque de la silice.



#### Opération n°3 :

Pendant le dépôt SiO<sub>2</sub> L.T.O., traiter le témoin n°1 comme sur la figure ci-contre, c'est à dire :

- a** - plonger le témoin dans le buffer HF (1mn environ) pour enlever la silice créée lors de la diffusion.
- b** - couper au scribeur un carré de 9 mm environ et faire un rodage au rouleau + pâte diamantée, puis rincer et sécher.
- c** - mettre une goutte plate de révélateur sur le rodage et observer au microscope, puis sécher à la soufflette lorsque la jonction diffusée apparaît.
- d** - mesurer la profondeur de jonction diffusée « Xj » au microscope et avec le formulaire.

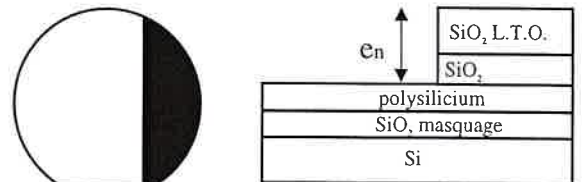


### TEMOIN 2 :

#### Opération n°4 :

Pendant la photogravure n° 3, traiter le témoin n°2 comme sur la figure ci-contre, c'est à dire :

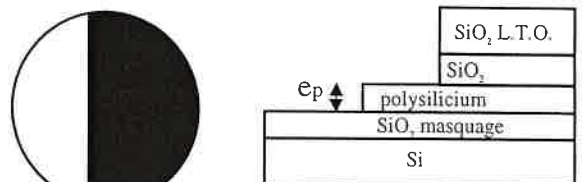
- a** - enduire la partie droite du témoin de cire Apiézon ;
- b** - plonger le témoin dans le buffer HF en mesurant avec précision le temps nécessaire à l'attaque de la silice.



#### Opération n°5 :

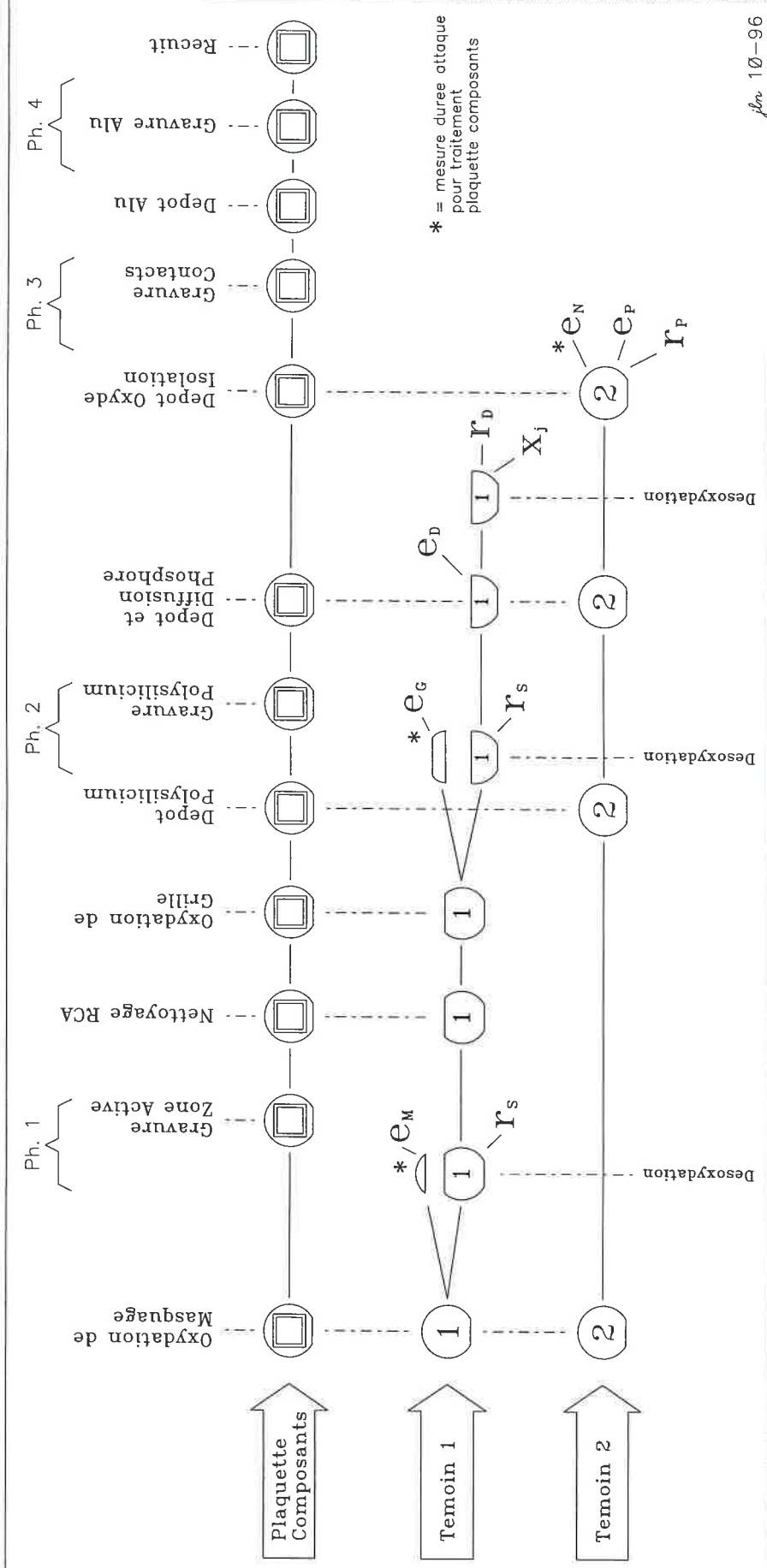
Pendant la photogravure n° 3 traiter le témoin n°2 comme sur la figure ci-contre, c'est à dire :

- a** - enduire la moitié droite du témoin de cire Apiézon (recouvrir la marche précédente);
- b** - plonger le témoin dans le bain d'attaque du polysilicium (attaque terminée quand la couleur est grise homogène : on voit alors le silicium sous le SiO<sub>2</sub> qui est incolore dans le bain).



LES 9 MESURES DE CARACTERISATION SUR TEMOINS A EFFECTUER EN COURS DE PROCESS  
(Auxquelles il faut ajouter l'epaisseur du substrat, de l'aluminium depose et les parametres a calculer a partir des mesures)

$E_M$	Epaisseur Oxyde Masquage (mesure par couleur, profilometre, ellipsometre)	$E_N$	Epaisseur Oxyde Isolation (mesure par profilometre, soustraire oxyde de diffusion)	$R_s$	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)	$R_D$	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)	$R_P$	Resistance Polysilicium (rapport V/I du test a 4 pointes sur region desoxydee)



## CARACTERISATION

### I- CARACTERISATION DU SUBSTRAT

Au début du process on relève :

- la mesure des quatre pointes :  $V/I = \Omega$
- l'épaisseur des tranches :  $e_s = \mu\text{m}$

.....On en déduit :

- $\rightarrow R_{\square s} = \Omega$
- $\rightarrow \rho_s = \Omega.\text{cm}$
- $\rightarrow N_A = \text{at}/\text{cm}^3$

### II - MESURES DES EPAISSEURS D'OXYDES

- a- Oxyde de masquage après l'opération II  $e_m = \mu\text{m}$
- b- Oxyde de grille après l'opération V  $e_g = \mu\text{m}$
- c- Oxyde de diffusion après l'opération VIII  $e_d = \mu\text{m}$
- d- Dépôt d'oxyde L.T.O. après l'opération IX  $e_n = \mu\text{m}$

### III- CARACTERISATION DE LA DIFFUSION

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

$$\begin{array}{llll}
 V / I = & \Omega & \rightarrow & R_{\square d} = \Omega \\
 X_j = & \mu\text{m} & \rightarrow & \rho_d = \Omega.\text{cm} \\
 & & \rightarrow & C_s = \text{at}/\text{cm}^3
 \end{array}$$

### IV- CARACTERISATION DE LA COUCHE DE POLYSILICIUM DOPEE

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

$$\begin{array}{llll}
 V / I = & \Omega & \rightarrow & R_{\square p} = \Omega \\
 e_p = & \mu\text{m} & \rightarrow & \rho_p = \Omega.\text{cm}
 \end{array}$$

## V- TEST ELECTRIQUE

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  $V_{GS} = 5 \text{ V}$ )<sup>1</sup>

☐ on pourra également évaluer :

- le courant  $I_{DSO}$  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 (voir page 19 ).

Transistor MOS "canal long"		
L = $\mu\text{m}$ ,    W = $\mu\text{m}$		
$g_m =$ mS	$R_{on} =$ $\Omega$	
$V_T =$ V	$V_B =$ V	$I_{DSO} =$ $\mu\text{A}$

Transistor MOS "canal court"		
L = $\mu\text{m}$ ,    W = $\mu\text{m}$		
$g_m =$ mS	$R_{on} =$ $\Omega$	
$V_T =$ V	$V_B =$ V	$I_{DSO} =$ $\mu\text{A}$

### 2 - Pour la capacité MOS :

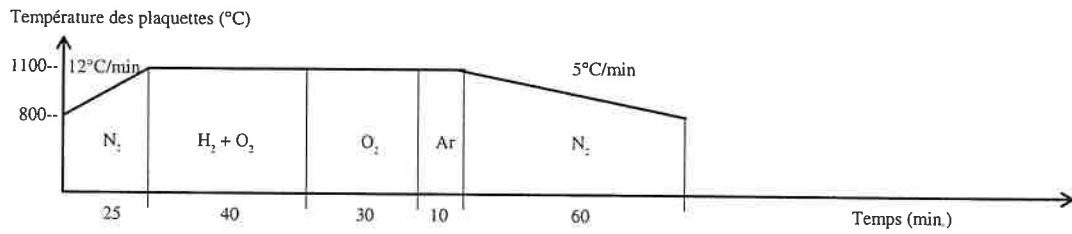
☐ tracer la courbe  $C(V)$  en hautes fréquences et en déduire  $C_{ox}$ ,  $C_{dep}$ ,  $V_T$  et  $Q_{SS}$  :

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

<sup>1</sup> 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.

## CHRONOGRAMMES DES FOURS

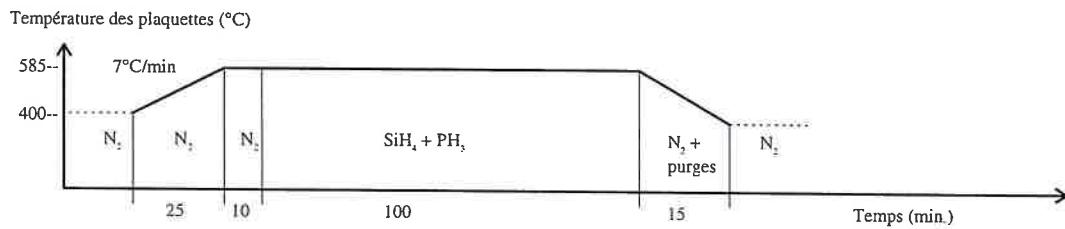
### I - OXYDATION DE MASQUAGE



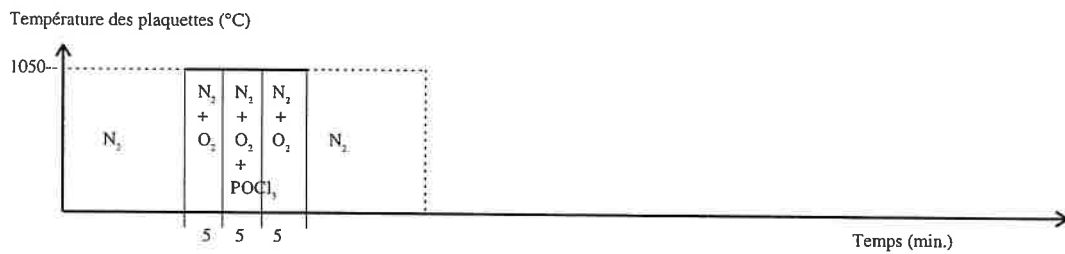
### II - OXYDATION DE GRILLE



### III - DEPOT POLYSILICIUM DOPE N



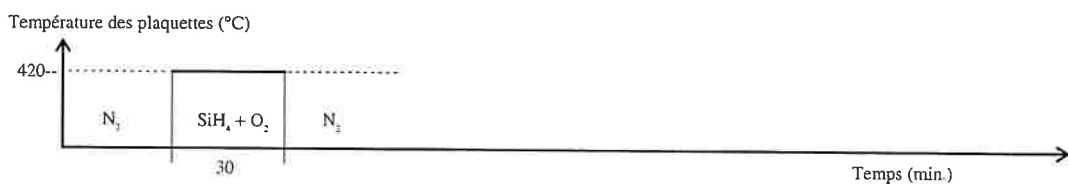
### IV - PREDEPOT PHOSPHORE

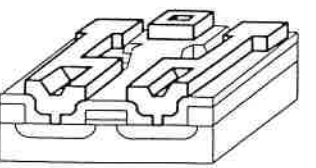
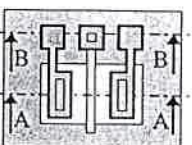
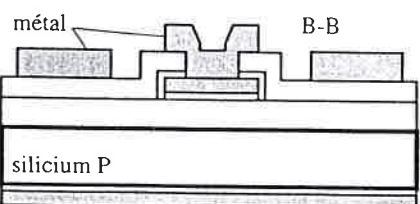
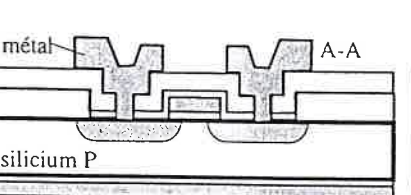
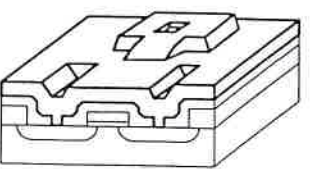
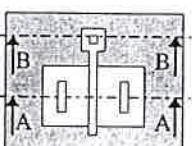
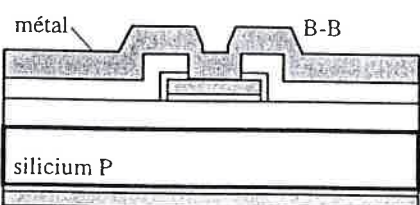
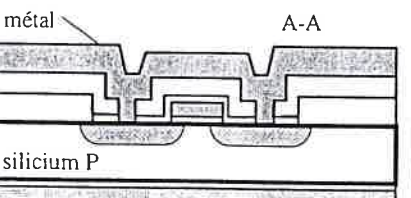
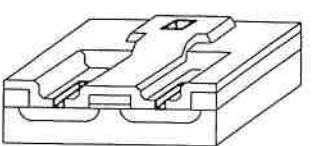
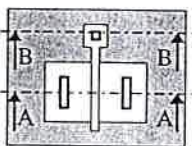
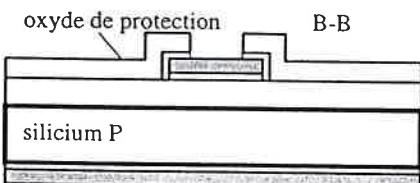
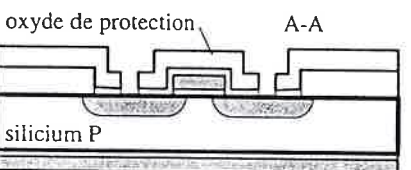
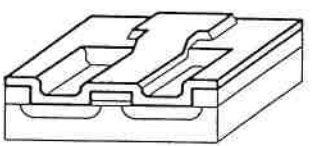
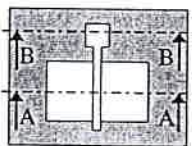
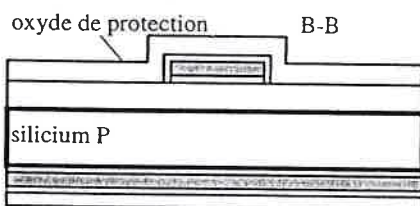
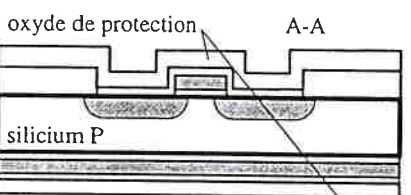
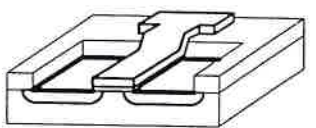
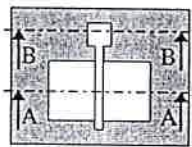
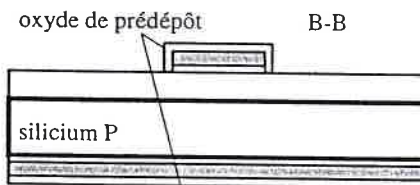
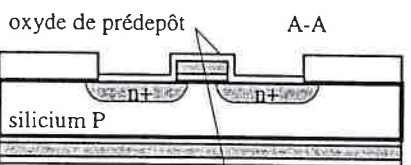
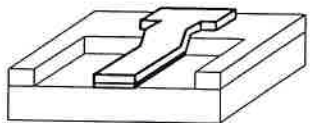
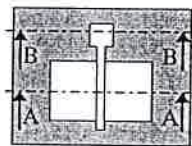
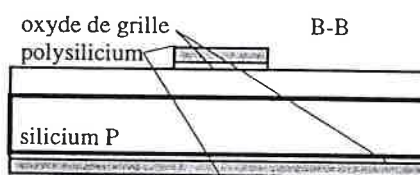
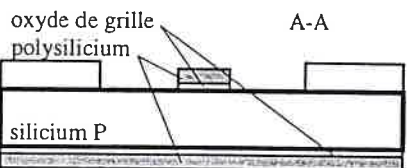
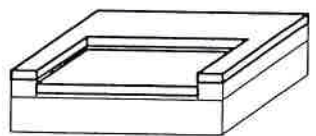
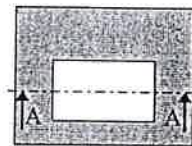
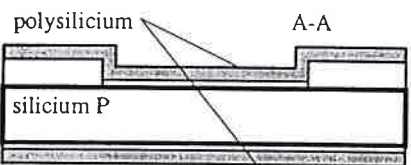
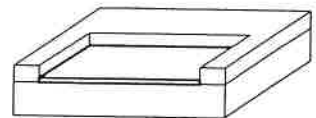
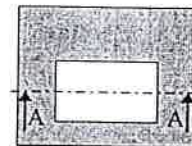
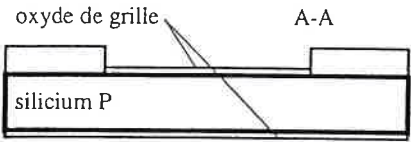
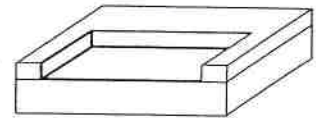
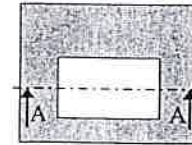
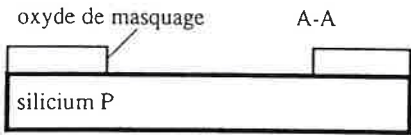
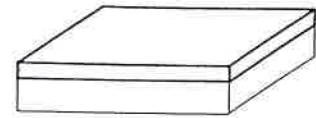
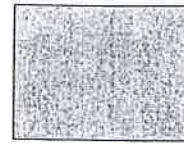
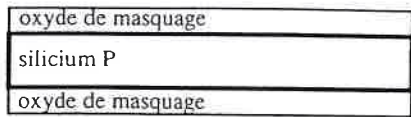


### V - REDISTRIBUTION



### VI - DEPOT OXYDE DE SILICIUM (L.T.O.)





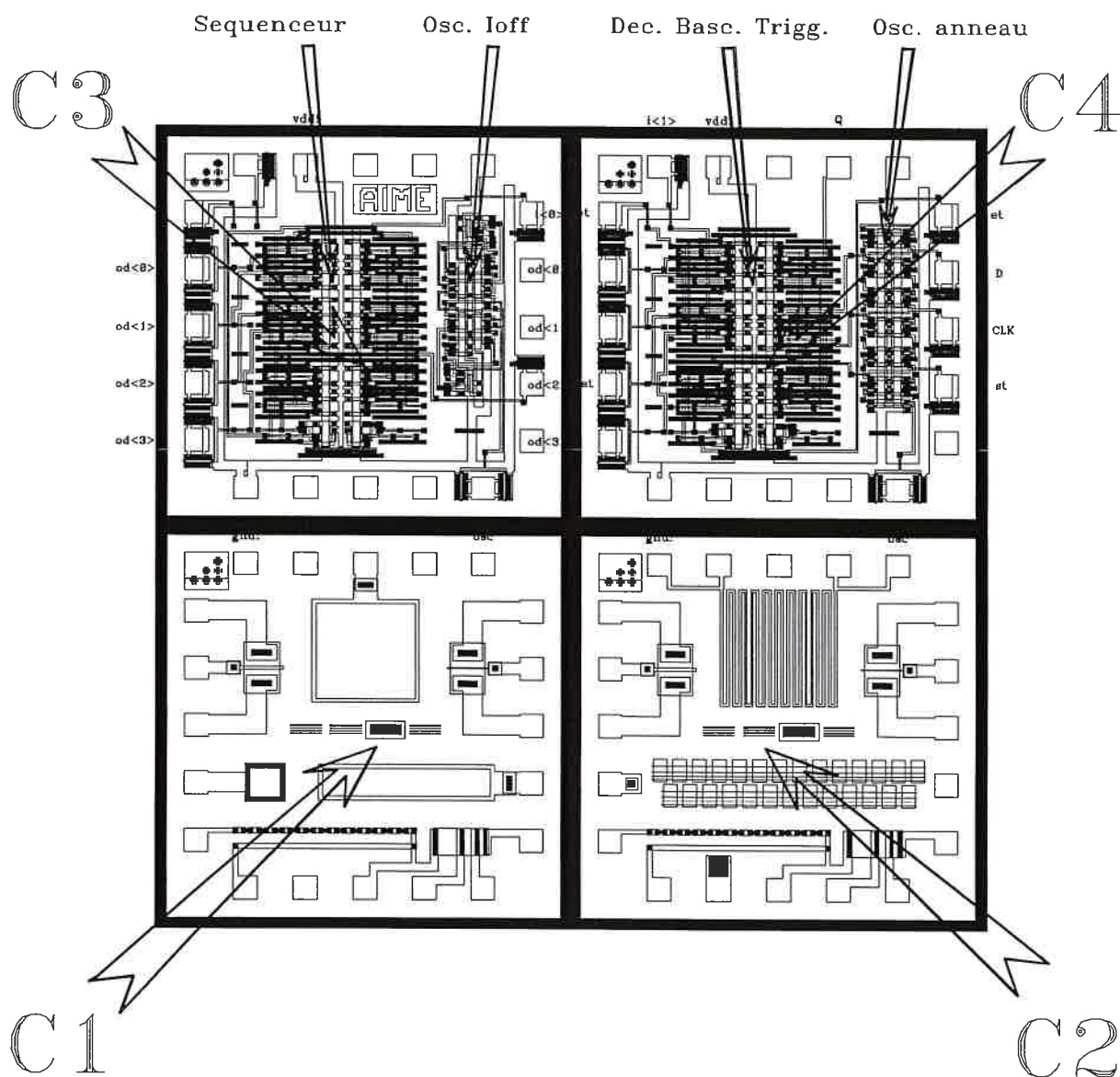
## Le jeu de masques DTC4R

Ce jeu de 4 masques est destiné à la fabrication de circuits NMOS à enrichissement, à grille auto-alignée (process AIME AN4). Il remplace le jeu DTC2 dont il reprend les fonctions de base, avec les modifications suivantes :

- longueur de canal minimale réduite de 10 microns à 6 microns
- densité d'intégration augmentée (facteur 2.32 en surface)
- architecture type "réseau prédiffusé" ("gate array")
- éléments nouveaux : motif test litho, motif de caractérisation des contacts "TLM" et oscillateur à courants de fuite

Il contient 64 répétitions d'un bloc de 4 puces dites C1, C2, C3 et C4.

- C1 et C2 contiennent des dispositifs élémentaires destinés à la caractérisation électrique,
- C3 et C4 contiennent des circuits intégrés basés sur la porte NOR.

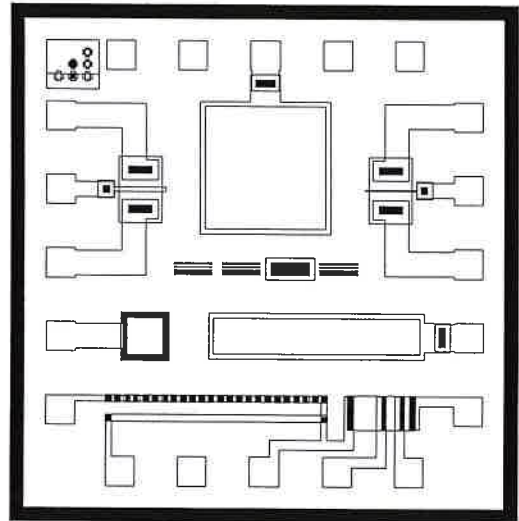


## Les 4 puces de DTC4R

## 1. La Puce C1

Les éléments de la puce C1 destinés à la caractérisation électrique sont les suivants :

- Un transistor NMOS “court” (longueur 6 microns, largeur 180 microns)
- Un transistor NMOS “long” (longueur 18 microns, largeur 180 microns)
- Une capacité MOS carrée de 500 microns par 500 microns
- Une capacité MOS rectangulaire de 146 microns par 854 microns
- Une diode N+/P- de 200 microns par 200 microns
- Une résistance diffusée N+ de 31.3 carrés
- Une chaîne de 24 contacts “minimaux” sur diffusion N+
- Un motif de caractérisation des contacts “TLM” sur diffusion N+



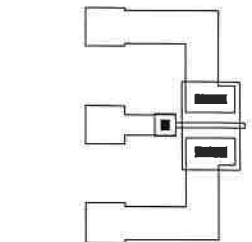
De plus la puce contient sur chaque niveau un motif de test de résolution de lithographie.

### 1.1 Transistors MOS

Les transistors sont symétriques (source et drain identiques), et ont 3 plots de connexion chacun.

La connexion de substrat se fait par la face arrière de la puce.

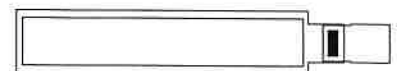
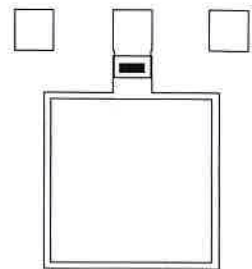
Attention : les caractéristiques du MOS dépendent du potentiel du substrat, qui doit être contrôlé.



### 1.2 Capacités MOS

Les capacités MOS sont destinées à la mesure “C de V” et à la mesure électrique de l’épaisseur de l’oxyde de grille. Dans les deux cas on peut vouloir éliminer les capacités parasite du périmètre et du plot de connexion. Dans ce but on a dessiné deux capacités ayant les mêmes éléments parasites (périmètre et plot) mais des aires différentes, ce qui permet par soustraction des mesures d’éliminer les éléments parasites.

La capacité carrée a une aire de 0.25 mm<sup>2</sup>, la capacité rectangulaire une aire de 0.125 mm<sup>2</sup>



### 1.3 Diode N+/P-

La cathode est une région N+ similaire aux drains et sources des MOS.

L’anode est le substrat (connexion par face arrière).

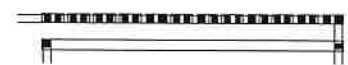
La connexion de cathode est accessible par un plot. Le contact de cathode est annulaire, ce qui laisse une fenêtre permettant d’exposer la diode à la lumière pour l’utiliser comme photodiode.



### 1.4 Mesures de Résistances

Pour mesurer les paramètres relatifs à la couche N+ on dispose de deux conducteurs :

- une bande de 31.3 carrés (878u \* 28u) et 2 contacts minimaux (16u \* 16u),
- une chaîne de 24 contacts minimaux reliés par 12 bandes totalisant 8.6 carrés.



De la mesure de résistance de ces deux conducteurs on peut déduire :

- la résistance par carré de la couche N+,
- la résistance d'un contact minimal sur N+.

De plus le motif "TLM" permet l'extraction des paramètres des contacts aluminium sur diffusion N+ avec une méthode plus générale. (voir document TLM).



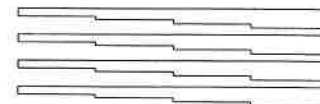
### 1.5 Test de Résolution de Lithographie

Sur chaque niveau, motif de test contient des bandes de 4 largeurs :

4 microns, 6 microns, 8 microns, 10 microns

Les espacements entre les bandes prennent les 4 mêmes valeurs.

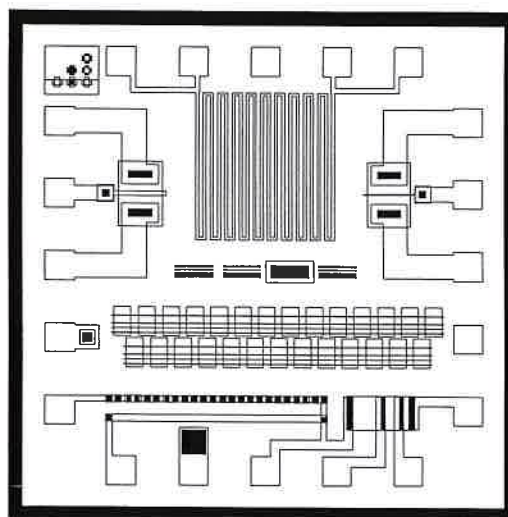
Une reproduction incorrecte des bandes et intervalles de 4 microns n'implique pas l'échec du process, ces éléments étant plus fins que les motifs minimaux utilisés dans les circuits intégrés du même jeu.



## 2. La Puce C2

Les éléments de la puce C2 destinés à la caractérisation électrique sont les suivants :

- Un transistor NMOS "court" (identique a celui de C1)
- Un transistor NMOS "long" (identique a celui de C1)
- Une diode N+/P- de 60 microns par 60 microns
- Une résistance en aluminium de 1033 carrés
- Une résistance en polysilicium de 31.3 carrés
- Une chaîne de 24 contacts "minimaux" sur polysilicium
- Un motif de caractérisation des contacts "TLM" sur polysilicium



De plus la puce contient un motif de test de résolution (identique a celui de C1) et une rangée de motifs pour micro-section.

### 2.1 Diode N+/P-

La cathode est une région N+ similaire aux drains et sources des MOS.

L'anode est le substrat (connexion par face arrière).

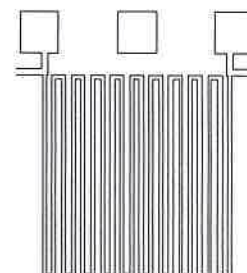
La connexion de cathode est accessible par un plot. Le contact de cathode est opaque, ce qui diminue la sensibilité de la diode à la lumière.



### 2.2 Mesures de Résistances

La résistivité de l'aluminium étant faible, la résistance en aluminium a été dessinée avec une grande longueur. En comptant chaque coude pour 0.6 carré, on obtient un total de 1033 carrés.

Cette résistance est munie de 4 plots pour exclure de la mesure les résistances parasites des connexions.

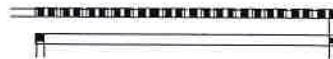


Pour mesurer les paramètres relatifs à la couche Poly on dispose de deux conducteurs :

- une bande de 31.3 carrés (878u \* 28u) et 2 contacts minimaux (16u \* 16u),
- une chaîne de 24 contacts minimaux reliés par 12 bandes totalisant 8.6 carrés.

De la mesure de résistance de ces deux conducteurs on peut déduire :

- la résistance par carré de la couche Poly,
- la résistance d'un contact minimal sur Poly.



De plus le motif "TLM" permet l'extraction des paramètres des contacts aluminium sur Poly avec une méthode plus générale. (voir document TLM).



### 2.3 Motifs pour Micro-Section

Ces motifs sont destinés à faciliter l'observation de coupes transversales de transistors MOS.

Ils contiennent des transistors dépourvus de contacts.

Les longueurs de canal disponibles sont :

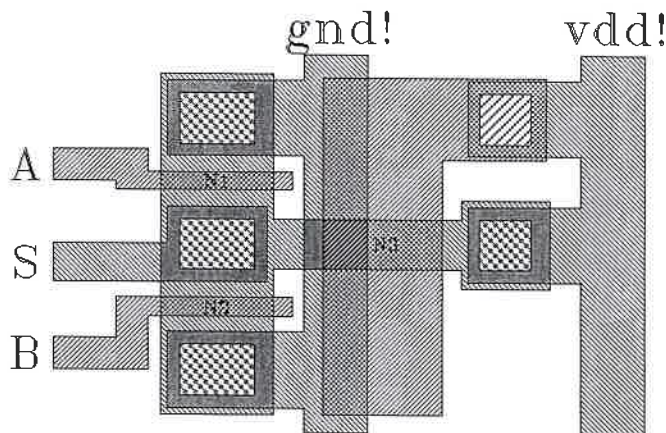
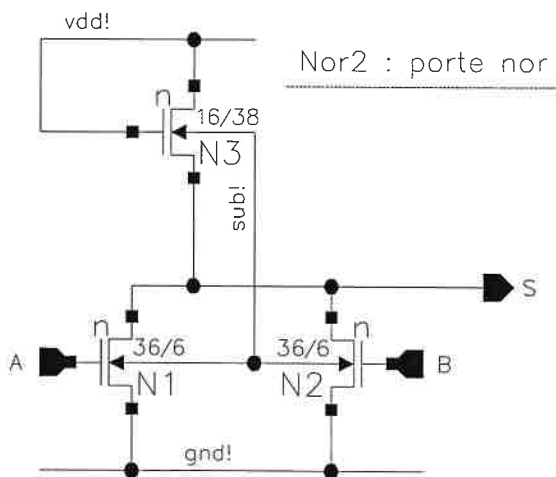
4 microns (deux fois), 5 microns, 6 microns.



### 3. Portes logiques NMOS

Les cellules digitales de ces circuits sont basées sur la porte NOR constituée seulement de transistors à canal N à enrichissement. Cette architecture est similaire à la logique NMOS classique (enrichissement + déplétion), à ceci près que la grille du transistor "pull-up" est polarisée par une tension constante au lieu d'être reliée à la source.

La porte NOR est "universelle", elle permet de réaliser tous les systèmes discrets. En particulier l'inverseur est simplement une porte NOR à une entrée.



Trois modules digitaux sont proposés, par ordre de difficulté croissante :

- un circuit combinatoire : le décodeur 2-vers-4
- un circuit séquentiel : la bascule sensible au front
- un circuit à réaction : le "trigger" de Schmitt

De plus un circuit dédié à la mesure du temps de propagation dans les portes est disponible : l'oscillateur en anneau.

L'architecture "gate array" (réseau prédiffusé) met en oeuvre une disposition régulière des transistors et des connexions en polysilicium (matrice), de telle sorte que la fonction réalisée ne dépende que du dessin des niveaux supérieurs (interconnexions métalliques).

L'intérêt est économique, pour les petites et moyennes séries : les étapes les plus coûteuses de la fabrication sont réalisées sur des puces génériques produites en grande série, la "personnalisation" intervenant seulement à la fin du process.

Le "gate array" AIME est personnalisé seulement par le dernier niveau de masque (Alu).

#### 4. La Puce C3

La puce C3 contient le "séquenceur" constitué de ces 3 modules, réalisés en style "gate array" et interconnectés de la façon suivante :

- l'entrée d'horloge de la bascule reçoit la sortie du trigger de Schmitt,
- la bascule reçoit dans son entrée D sa propre sortie complémentée Qb (Q-barre), formant ainsi un compteur binaire,
- le décodeur reçoit comme bit de faible poids l'horloge de la bascule, et comme bit de fort poids la sortie Q de la bascule.
- Les sorties du décodeur sont équipées de transistors à drain ouvert placés autour des pads, de largeur suffisante pour commander directement des diodes électroluminescentes (LED) ou les 4 phases d'un petit moteur pas-à-pas.

Si on applique un signal périodique à l'entrée du trigger, les 4 sorties du décodeur vont être activées une par une en séquence. De plus, il est possible d'utiliser le trigger en oscillateur, en lui réinjectant sa sortie via un circuit RC externe.

Toutes les entrées sont protégées contre les décharges électro-statiques (ESD) par un transistor N avec la grille à la masse.

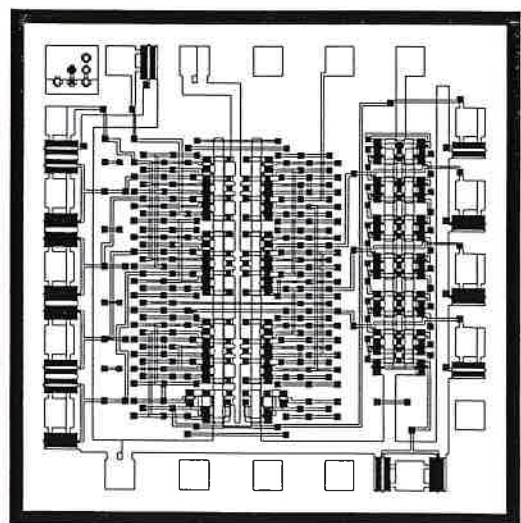
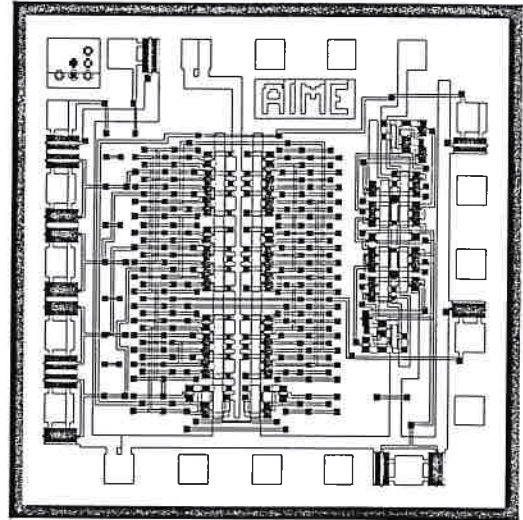
Accessoirement, la puce C3 contient aussi, hors du gate-array, l'oscillateur à courants de fuite dont le but (expérimental) est d'effectuer une évaluation interne du courant de fuite du MOS. Pour une épaisseur d'oxyde de grille donnée, la fréquence d'oscillation est proportionnelle au courant de fuite.

#### 5. La Puce C4

La puce C4 contient les 3 modules trigger, bascule et décodeur également réalisés sur le gate-array, mais munis d'entrées et sorties indépendantes, en vue d'être testés séparément.

C'est en quelque sorte un prototype du séquenceur.

La puce C4 contient aussi, hors du gate-array, l'oscillateur en anneau constitué de 25 inverseurs. Cette structure est utilisée classiquement pour mesurer le temps de propagation des portes logiques. On obtient la valeur du temps de propagation dans un inverseur en divisant par 25 la demi-période du signal obtenu. La sortie est amplifiée par un transistor configuré en drain ouvert, qui doit être relié à une résistance de charge externe de quelques k $\Omega$



## 6. Règles de dessin du process AN4

Les règles ont été établies afin d'obtenir un bon compromis rendement de fabrication/densité d'intégration, en présence des inévitables causes d'altération des géométries :

- fabrication des masques
- alignement
- insolation par contact
- développement de la résine
- gravure

N.B. Le masque du niveau 1 a plusieurs appellations possibles :

- Zone active
- Diffusion (abus de langage)
- Ouverture oxyde de grille (abus de langage)

### Règles sur 1 niveau

	largeur mini ( $\mu$ )	espace mini ( $\mu$ )
<b>Zone Active</b>	16	14
<b>Poly</b>	10 ou 6	10
<b>Contact</b>	16	16
<b>Alu</b>	12	12

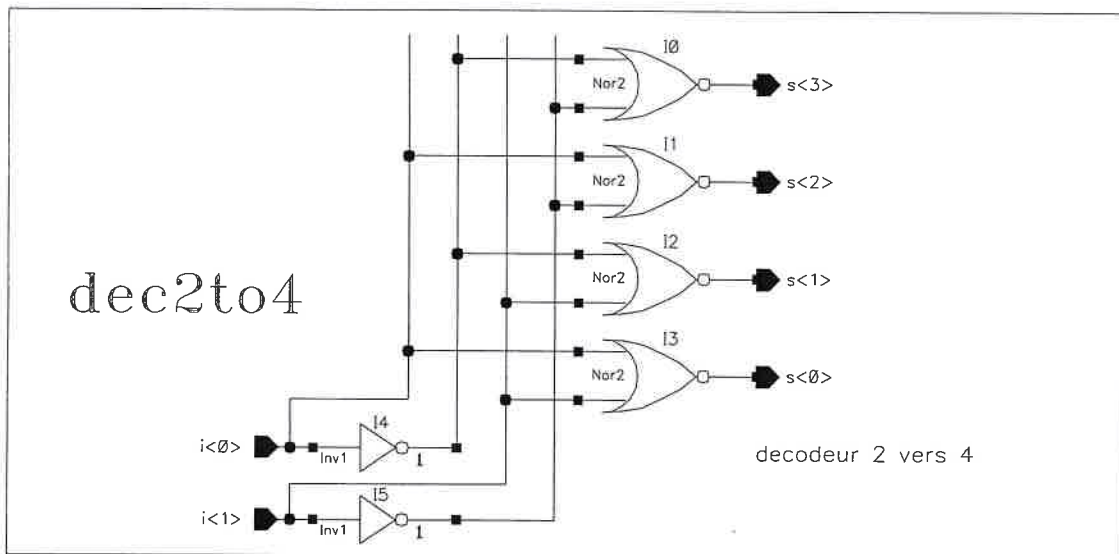
### Marges autour des contacts

	Zone Active	Poly	Alu
<b>marge (<math>\mu</math>)</b>	6	5	4

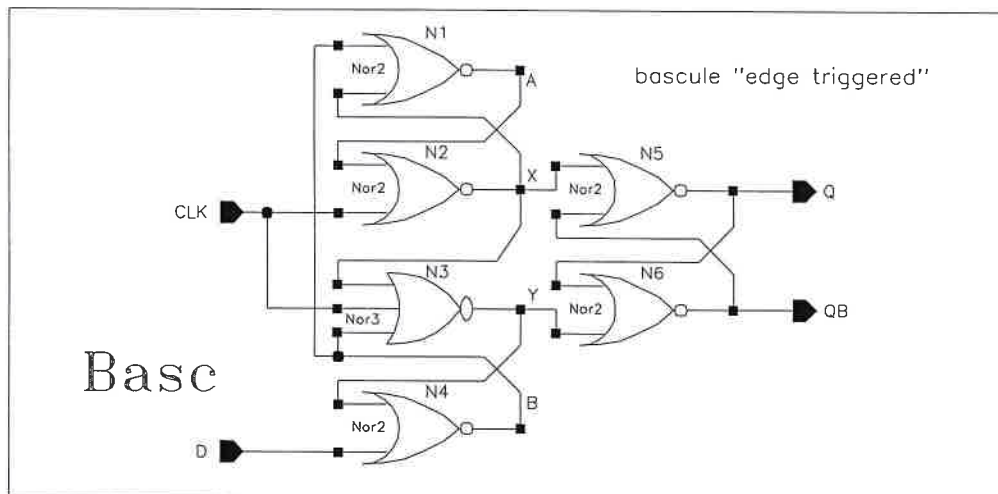
### Règles sur deux niveaux

<b>espace Zone Active - Poly</b>	4
<b>espace Contact - Canal MOS</b>	9
<b>extension Poly au delà du canal</b>	6
<b>extension Zone active au delà du canal</b>	10

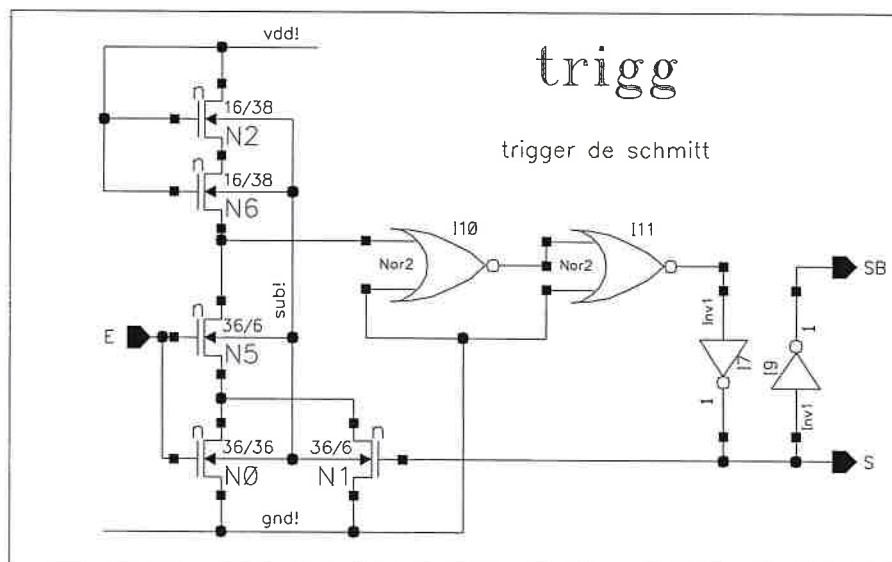
## 7. Annexe A : schémas complets



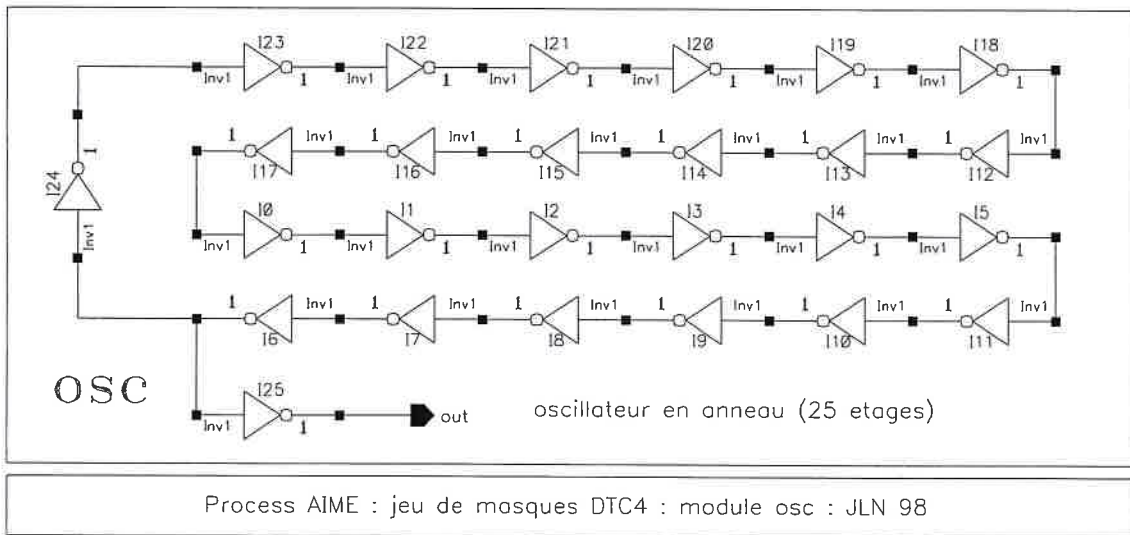
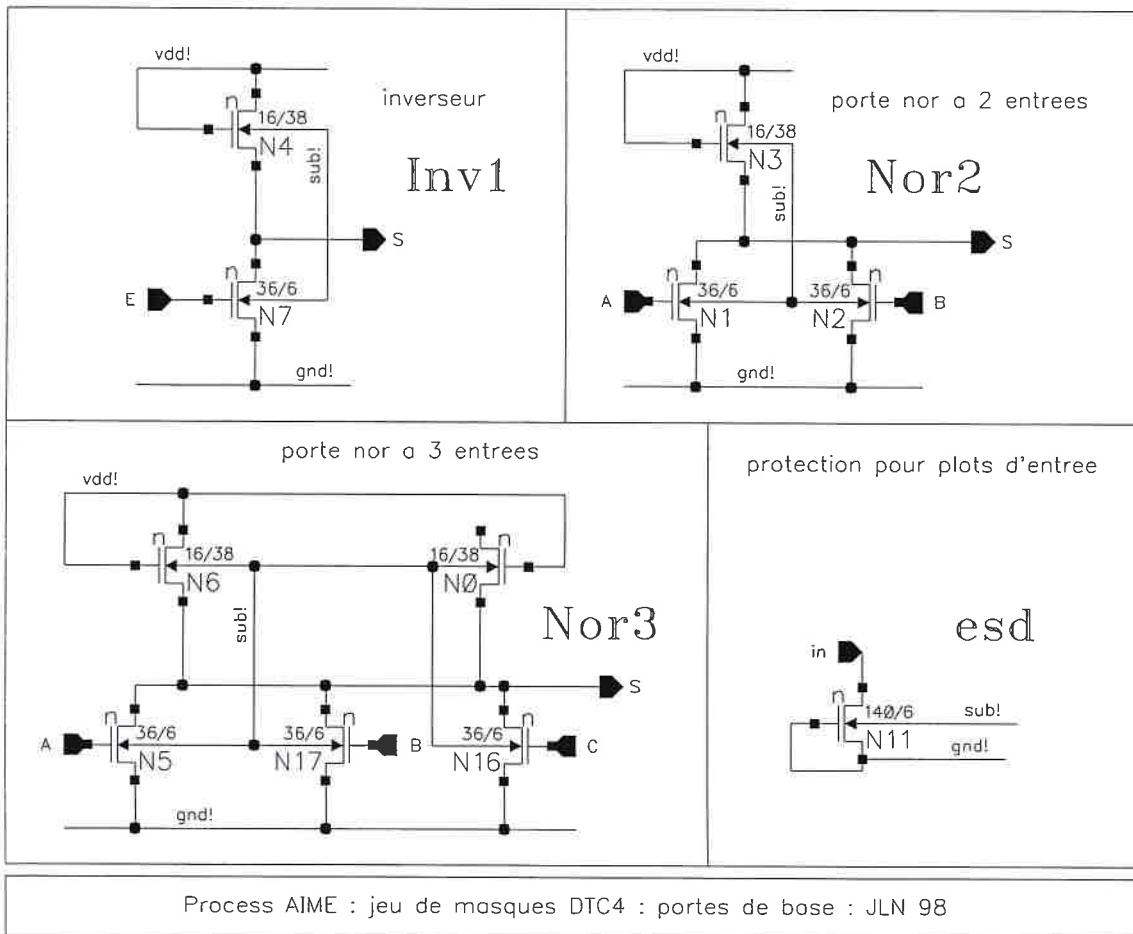
Process AIME : jeu de masques DTC4 : module dec2to4 : JLN 98



Process AIME : jeu de masques DTC4 : module Basc : JLN 98



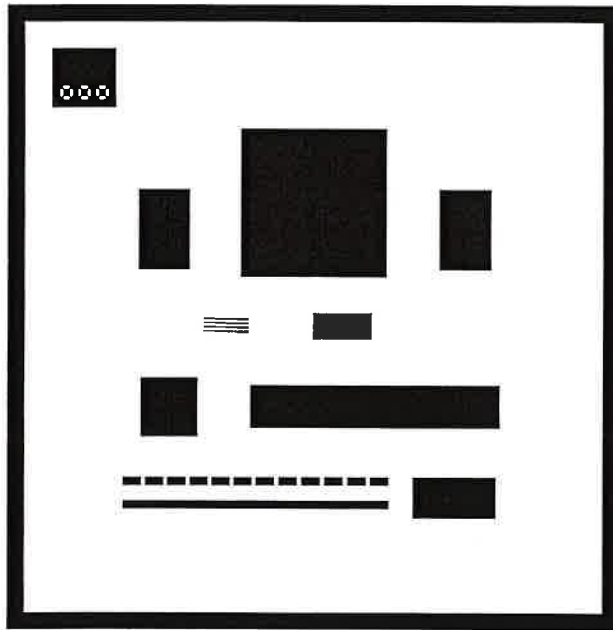
Process AIME : jeu de masques DTC4 : module trigg : JLN 98



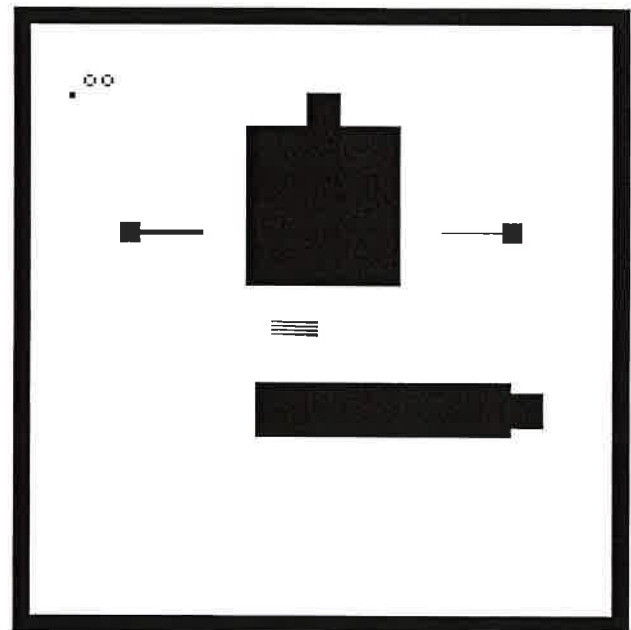
Note : l'oscillateur à courants de fuites fosc4 fait l'objet d'une documentation séparée.



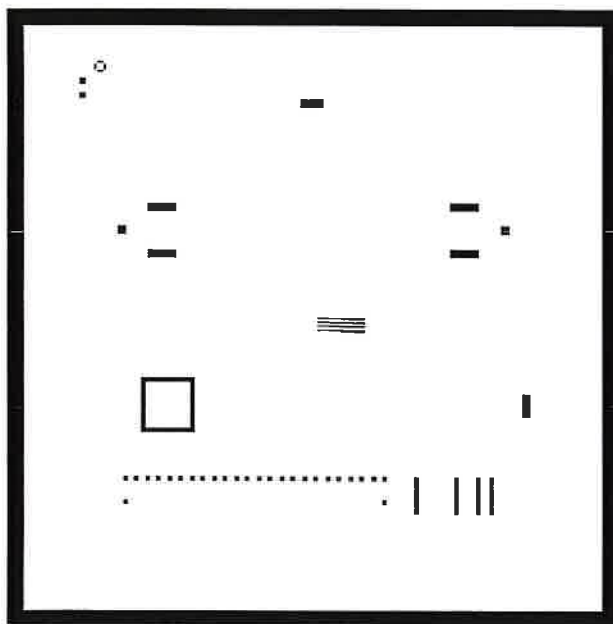
## 8. Annexe B : vue des masques séparés



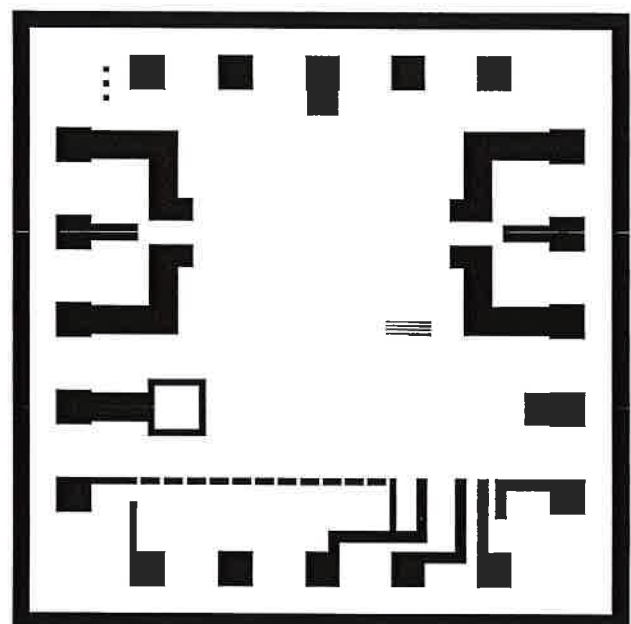
NIV. 1 : Zone Active



NIV. 2 : Polysilicium

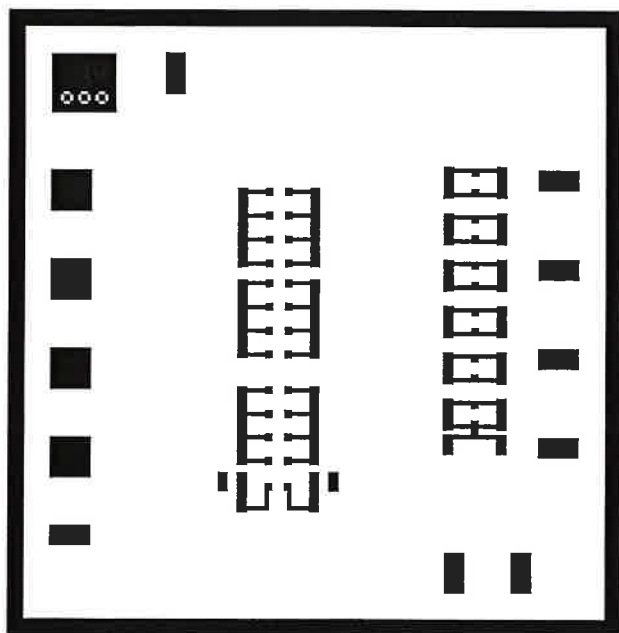


NIV. 3 : Contact

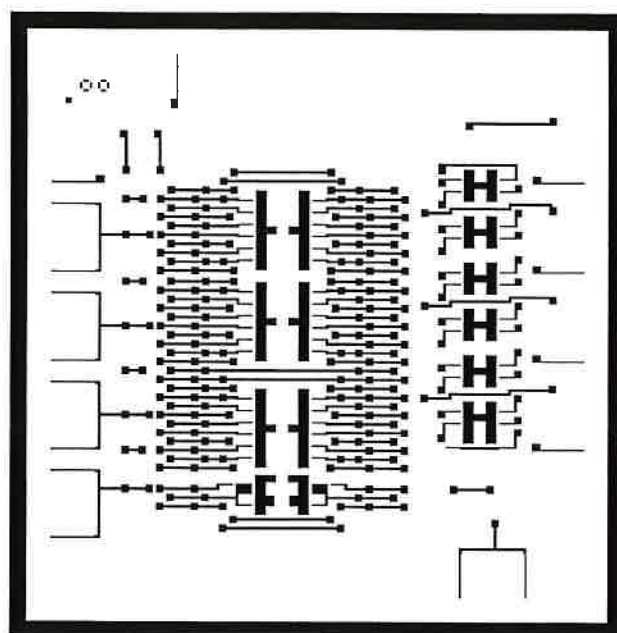


NIV. 4 : Alu

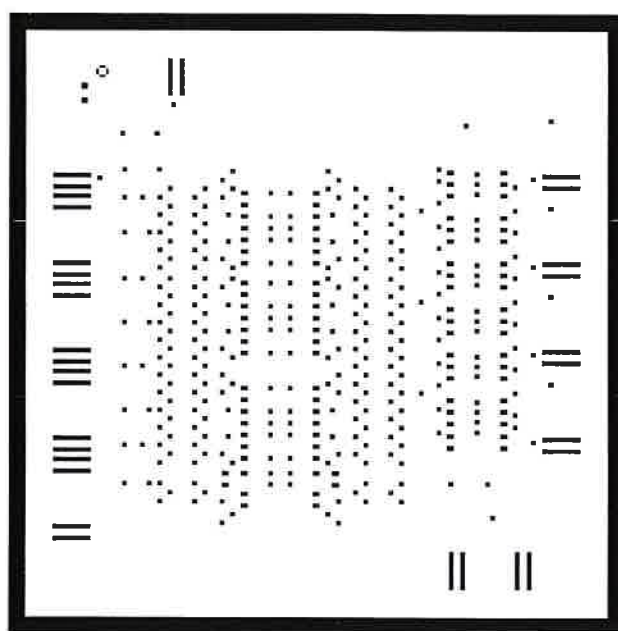
DTC4R : Puce C1



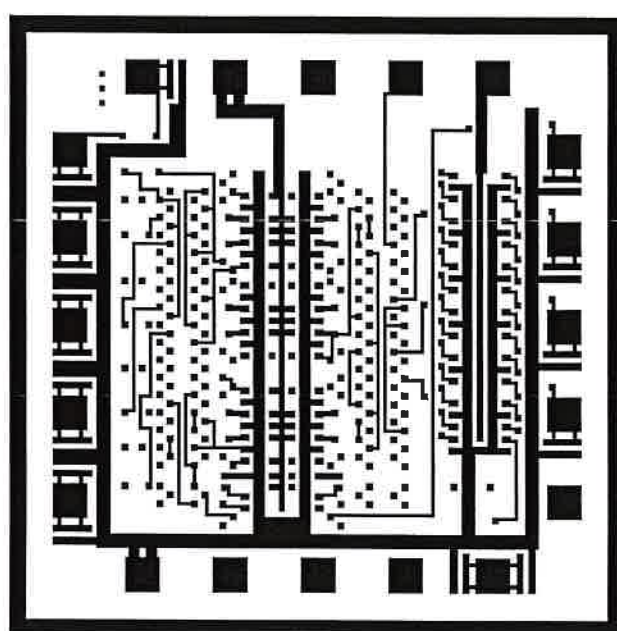
NIV. 1 : Zone Active



NIV. 2 : Polysilicium



NIV. 3 : Contact



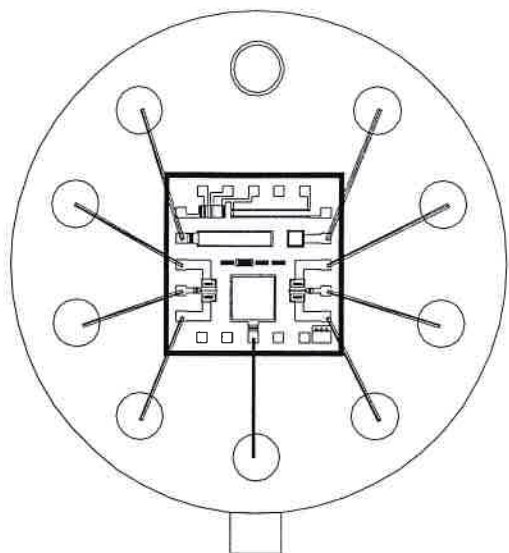
NIV. 4 : Alu

## DTC4R : Puce C4

## 9. Annexe C : Bondings

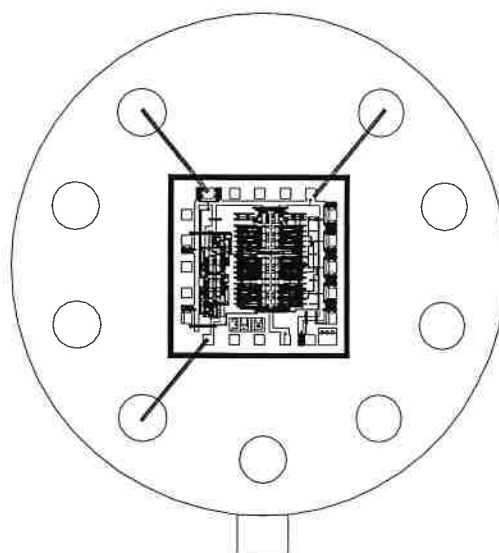
Microsoudures

C1

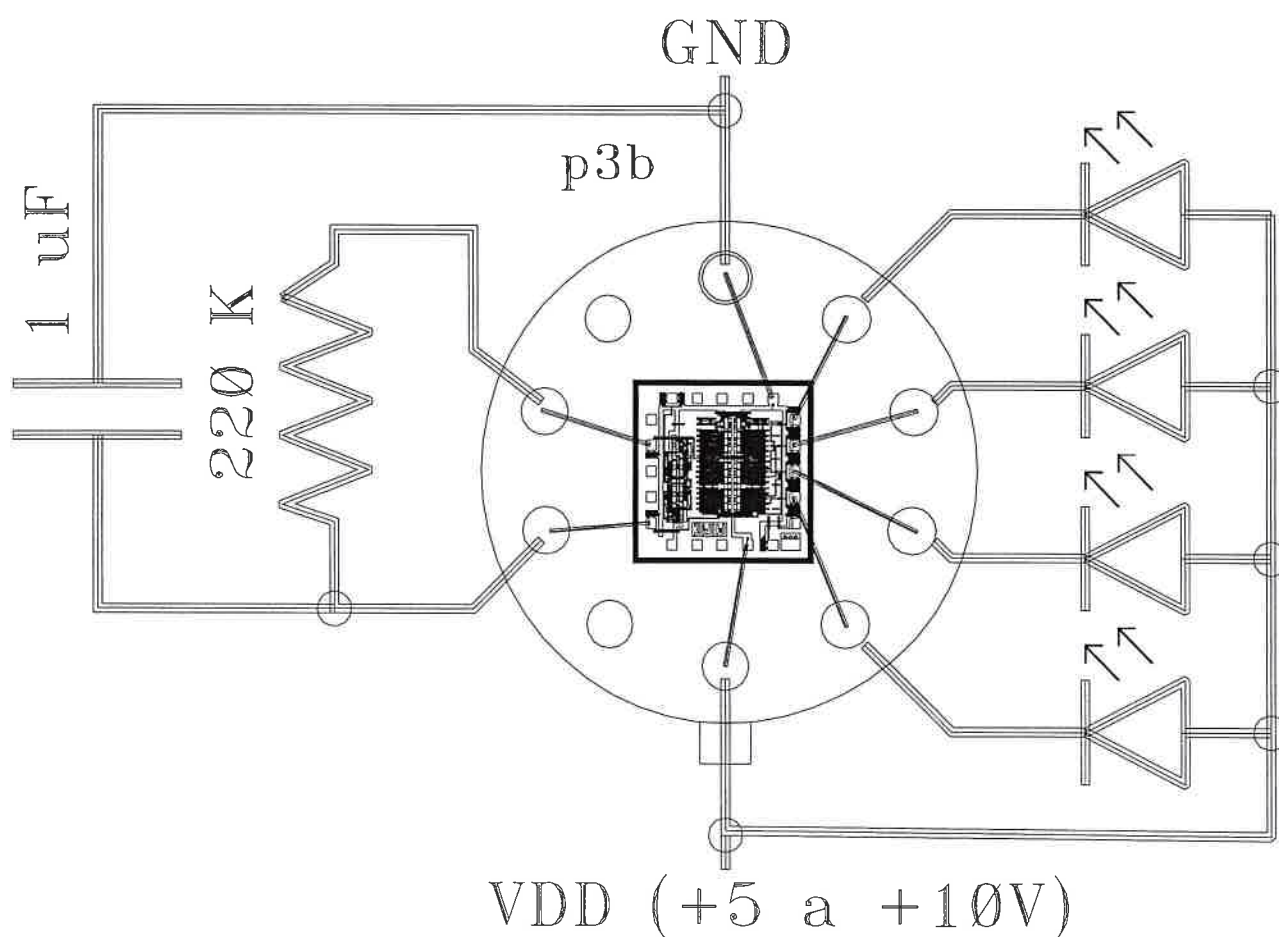


Microsoudures

C3 ou C4 (oscillateur)



C3 (sequenceur)



# 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  $S_i$  respectivement.
- $\phi_{ms} = \frac{W_G - W_{Si}}{q}$  équivalent tension de la différence de travaux de sortie
- $\phi_{dep}$  : tension supportée par la zone dépeuplée d'épaisseur  $W_{dep\ max}$
- $\Delta V_{OX}$  : 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/cm<sup>2</sup>
- $e_{OX}$  = 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

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

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

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

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

