

# Plan

- Principe de gravure par plasma
- Définition et propriétés physiques du plasma
- Sources et équipements plasma pour la gravure

---

- **La gravure par plasma en technologie  $\mu$ -optoélectronique**
- La gravure profonde silicium en  $\mu$ ,nanotechnologies
- Détection fin d 'attaque de la gravure par plasma

# La gravure par plasma en technologie $\mu$ -optoélectronique

## 1) Matériaux à graver :

- La gravure est le résultat du transfert d'un motif  $\mu$  ou nano dans le matériau SC ou diélectrique ou organique ou autre à travers un masque approprié.

- Matériaux à graver

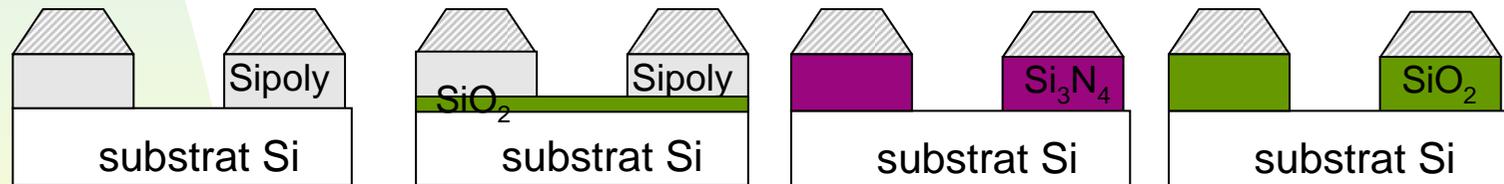
Si, Sipoly,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{SiNx}$ ,  $\text{SiO}_{2\text{th}}$ ,  $\text{SiO}_{2\text{pecvd}}$ , BCB, métaux sur wafer Si 4 "

Ga(Al)As, GaSb, diamant, verre sur échantillon

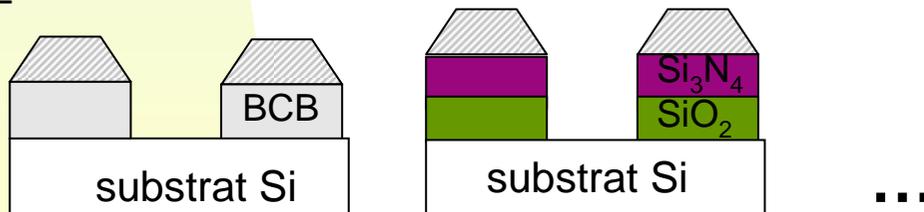
- Masque utilisé pour le transfert et à éliminer en fin de gravure

**AZ1529, AZ4562 (famille Si) - AZ1529, métal,  $\text{SiO}_2$  (famille GaAs) - PMMA (verre, Cr)**

Résine AZ1529



Résine AZ4562



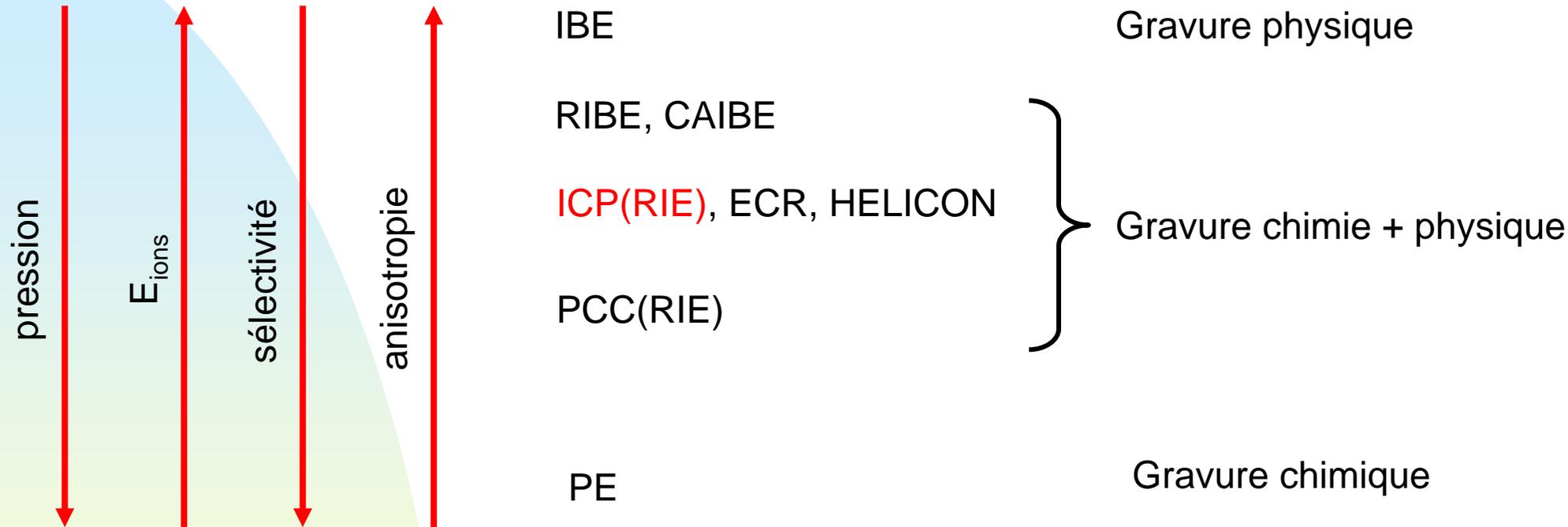
# La gravure par plasma en technologie $\mu$ -optoélectronique

## ■ 1) Critères de gravure :

- Vitesse de gravure  $V_g$  des matériaux (choix du gaz)
- Sélectivité  $S$  entre matériaux (rapport des  $V_g$  lié à la chimie)
- Anisotropie  $A$  (flancs droits liés à la physique)
- Facteur d'aspect ( $e_{\text{gravée}} = \text{prof. } h / \text{ouverture motif } w$ )  $h/w \leq 1$
- Uniformité de la gravure  $U$  ( $V_g$  centre  $<$   $V_g$  bord)
- Reproductibilité de la gravure (pour un même matériau = stabilité des paramètres)

# La gravure par plasma en technologie $\mu$ -optoélectronique

## 2) Technique de gravure utilisée :



1 technique possible : RIE (gravure physico-chimique)

sources + équipements possibles : ICP (ICP1  $\text{SiO}_2$ , ICP2 GaAs, ICP3 métaux)

# La gravure par plasma en technologie $\mu$ -optoélectronique

## ■ 3) Influence des paramètres de gravure RIE :

### Paramètres cinétiques réglables :

- gaz
- débit de gaz
- vitesse de pompage
- pression du réacteur ( $P_{\text{travail}}$ ,  $P_{\text{repos}}$ )

### Paramètres électriques réglables :

- $P_{\text{rf}}$  (i.e  $V_{\text{bias}}$ ) en PCC
- $P_{\text{rf}}$  et/ou  $V_{\text{bias}}$  en ICP
- $P_{\text{réfl.}}$

### • Quels paramètres de gravure peut-on contrôler ?

### Paramètres wafer réglables : (wafer sur électrode)

- matériau à graver (conducteur/isolant)
- motifs à graver (dimension, répartition, symétrie)
- température du wafer ( $T^\circ$   $\searrow$  ou  $\nearrow$ , **collage**)
- type de masquage (transfert, sélectivité)

### Paramètres non réglables :

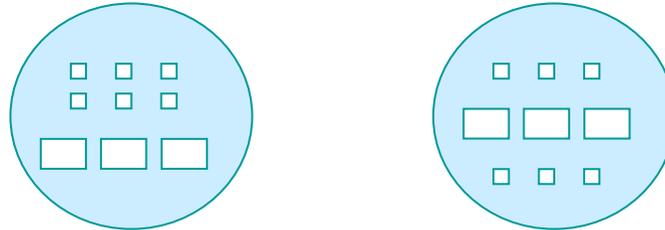
- paramètres Plasma
- flux à la surface du matériau
- interactions Plasma-surface

# La gravure par plasma en technologie $\mu$ -optoélectronique

## 3) Influence des paramètres de gravure RIE :

### La gravure se fait de la périphérie vers le centre du wafer

- composition du plasma  $\neq$  bord et centre : masque motifs « idéal » à symétrie radiale

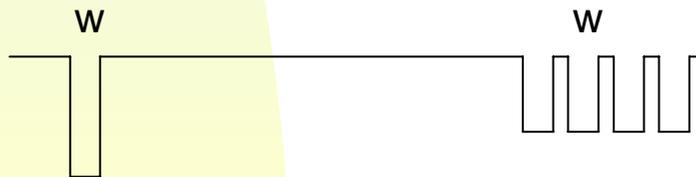


- effet de charge :  $V_g$  varie avec la surface à graver ( $\%S_{exp}$ )  
et changement de composition du plasma

- effet de charge global : (totalité des motifs, répartition, densité)

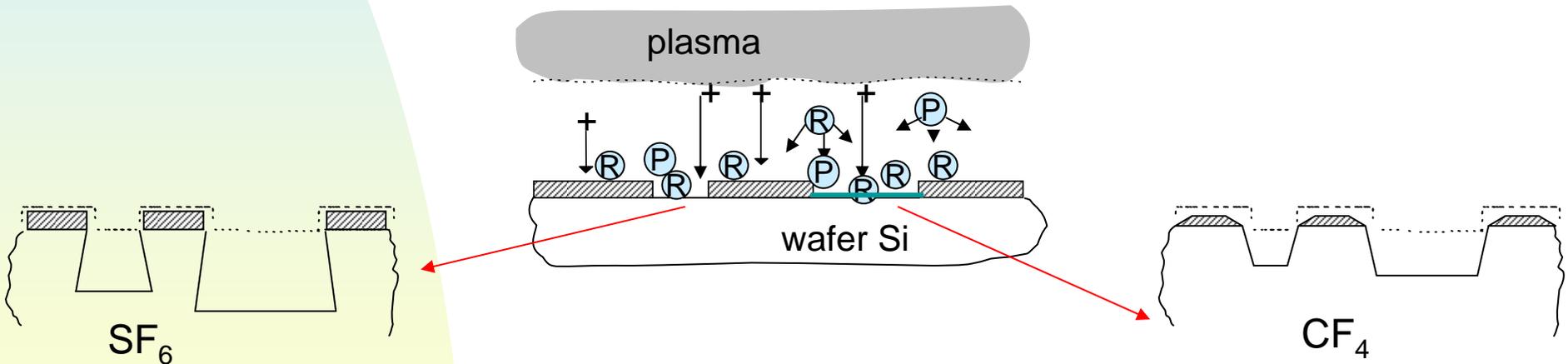
si  $\%S_{exp} \nearrow$  alors déplétion des radicaux  $F^*$  et  $V_g \searrow$

- effet de charge local : motifs identiques  $V_g \neq$  (position, densité,  $\%S_{exp\ locale}$ )



# La gravure par plasma en technologie $\mu$ -optoélectronique

- 4) Gravure RIE du Sipoly avec source ICP : plasma halogène (à base de fluor)
  - Machine ICP1, 2 « types » de gaz
  - $\text{SF}_6$  interagit **directement** (sans dépôt stable)
    - les radicaux  $\text{R}$   $\text{F}^*$  gravent spontanément  $\text{Si}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$
  - $\text{CF}_4$ ,  $\text{CHF}_3$  interagit **indirectement à travers couche de blocage** (avec dépôt stable)
    - les radicaux  $\text{CF}_x$  forment un dépôt  $\text{P}$
    - les ions énergétiques activent la réaction chimique ou pulvérisent le dépôt



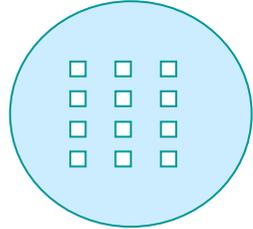
- compétition entre gravure et dépôt :  $f(E_{\text{ions}}$  ou  $-V_{\text{bias}}$ , gaz,  $T^{\circ}_{\text{réacteur}}$ ,  $T^{\circ}_{\text{wafer}}$ ,  $p$ )

# La gravure par plasma en technologie $\mu$ -optoélectronique

## 4) Gravure RIE du Sipoly avec source ICP : plasma à base de fluor

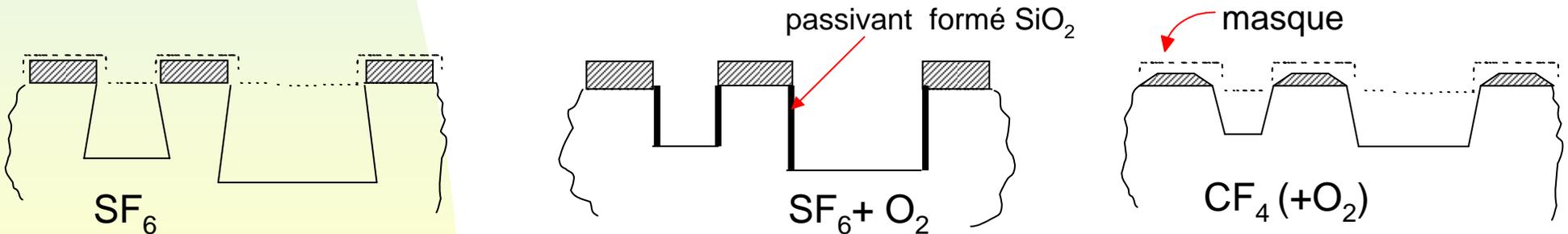
Machine ICP1

-  $\text{SF}_6$  isotrope,  $\text{CF}_4$  isotrope,  $\text{SF}_6 + \text{O}_2$  « anisotrope »,  $\text{CF}_4 + \text{O}_2$  isotrope



gaz	pression	$P_{\text{RF}}$	$V_{\text{bias}}$	$V_{\text{gmoy}}$	$S_{\text{ /SiO}_2}$	$S_{\text{ /AZ1529}}$
$\text{SF}_6$	5mTorr	60W	-220V	5000Å/min	1:1.5	1:1
$\text{CF}_4$	5mTorr	60W	-140V	1900Å/min	1:1	1:1

Conditions expérimentales : 80% de surface à graver, motif carré  $200\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$



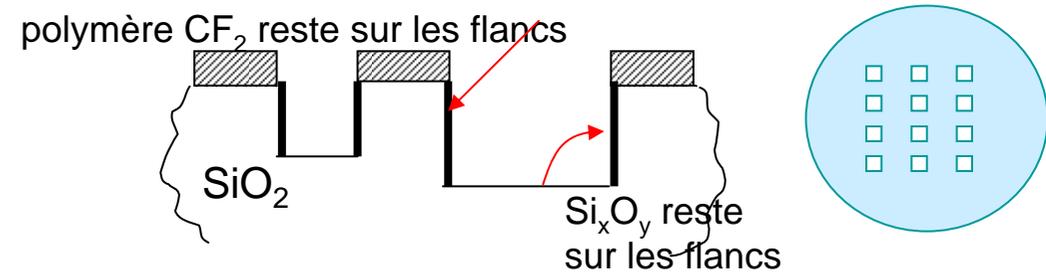
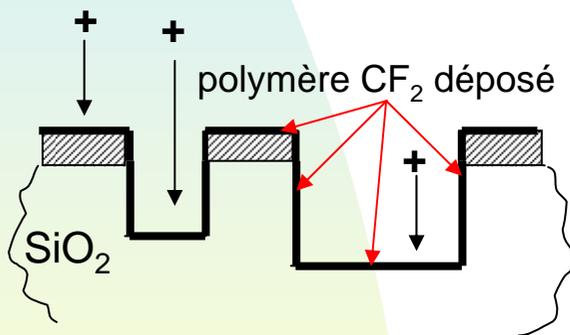
# La gravure par plasma en technologie $\mu$ -optoélectronique

## 5) Gravure RIE du $\text{SiO}_2$ th et pecvd : plasma « carbo-fluoré » :

Machine ICP1

◆ Réaction peu  $\chi$  avec beaucoup de  $V_{\text{bias}}$

- gaz utilisés  $\text{CF}_4$  quasi anisotrope,  $\text{CHF}_3$  anisotrope (bcp dépôt),  $\text{SF}_6$  (isotrope)
- polymère  $\text{CF}_2$  issu du plasma : inhibiteur de gravure et passive les flancs (anisotropie)
- redépôt sur les flancs de  $\text{Si}_x\text{O}_y$  directement issu de la gravure
- les ions bombardent les surfaces horizontales, éliminent  $\text{CF}_x$  et activent la gravure



gaz	pression	$P_{\text{RF}}$	$V_{\text{bias}}$	$V_g^{\text{SiO}_2\text{th}}$	$V_g^{\text{SiO}_2\text{pecvd}}$	$S_{\text{Si}}$	$S_{\text{AZ1529}}$
$\text{CF}_4$	5mTorr	60W	-190V	2000Å/min	2500Å/min	1:1	1:1.5
$\text{CHF}_3$	5mTorr	10W	-80V	1200Å/min	1200Å/min	1:10	1:3

# La gravure par plasma en technologie $\mu$ -optoélectronique

## ■ 5) Gravure RIE du $\text{SiO}_2$ : contamination du bâti

Re-dépôt des polymères  $\text{CF}_x$  sur électrode et parois du réacteur par :

- produits non volatils issus de la gravure du masque de résine
- condensation de molécules issues de la dissociation dans le plasma
- re-dépôt direct de produits de gravure non volatils

Cette pollution influence la reproductibilité du procédé de gravure :

- modification du plasma ( $P_{\text{travail}}$ )
- modification conditions de gravure

Comment réduire la contamination :

- bon choix du gaz carbo-fluoré
- chauffer les parois du réacteur
- ajouter de l'oxygène dans le procédé de gravure du  $\text{SiO}_2$
- nettoyage du bâti par un plasma  $\text{O}_2$  avant et après la gravure du  $\text{SiO}_2$

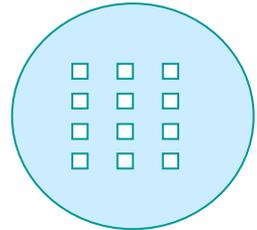
☞ Dans le temps, il peut exister une dérive des procédés due à l'usure en surface, ou l'implantation de particules inertes au plasma  $\text{O}_2$ , des parois

# La gravure par plasma en technologie $\mu$ -optoélectronique

6) Gravure RIE du  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{SiN}_x$  : plasma « carbo-fluoré »

Machine ICP1

◆ réaction plus  $\chi$  avec faible  $V_{\text{bias}}$



- idem que pour  $\text{SiO}_2$  :  $\text{SF}_6$  isotrope,  $\text{CF}_4$ ,  $\text{CF}_4 + \text{O}_2$  « anisotrope »

gaz	pression	$P_{\text{RF}}$	$V_{\text{bias}}$	$V_g^{\text{Si}_3\text{N}_4\text{th}}$	$V_g^{\text{SiN}_x\text{th}}$	$S_{\text{Si}}$	$S_{\text{AZ1529}}$ $S_{\text{AZ4562}}$
$\text{CF}_4$	5mTorr	60W	-100V	1600Å/min	2000Å/min	1:1	1:1 et 1:1

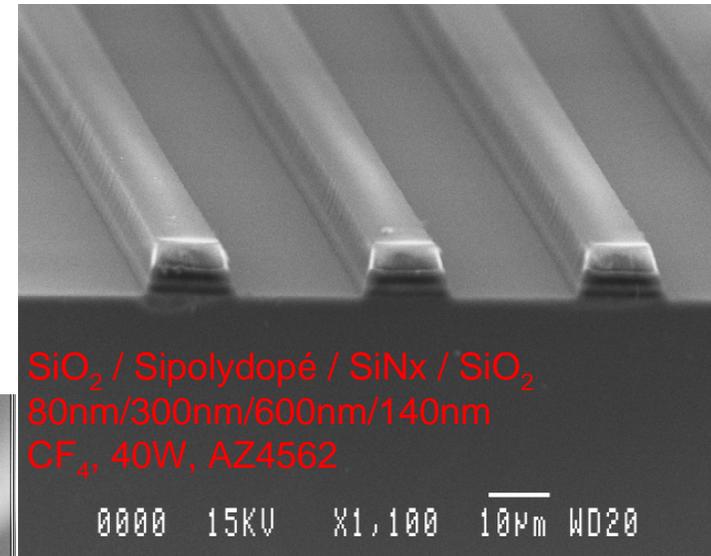
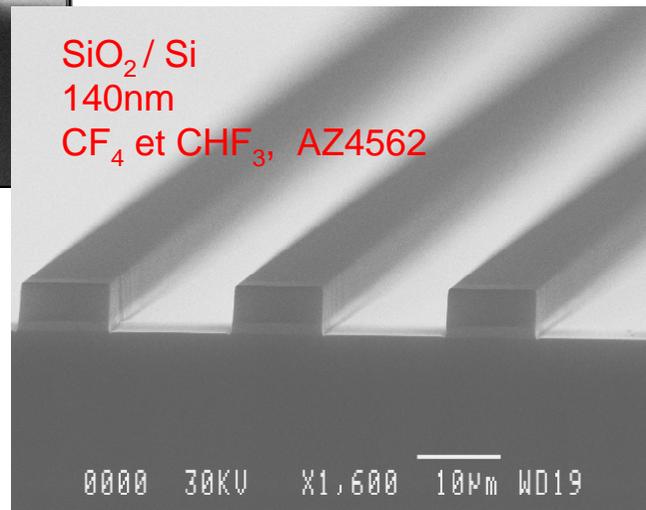
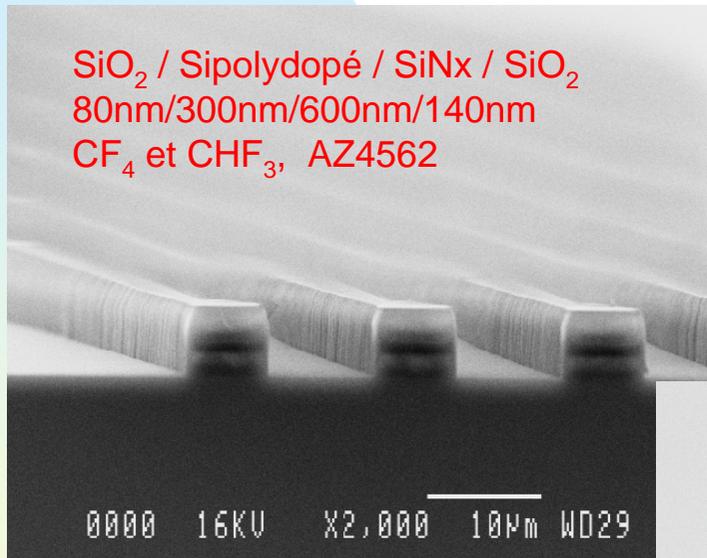
**ATTENTION** : gravure Sipoly,  $\text{SiN}$ ,  $\text{SiO}_2$  ( $\text{RF1} = 60\text{W}$ ) avec  $\text{CF}_4$ ,  $\text{SF}_6$

- durée maximale AZ1529 ( $2,7\mu\text{m}$ ) 10min
- durée maximale AZ4562 ( $5\mu\text{m}$ ) 15min
- durée maximale AZ4562 ( $10\mu\text{m}$ ) 30min

# La gravure par plasma en technologie $\mu$ -optoélectronique

- 6) Gravure RIE ICP: plasma « carbo-fluoré »

Machine ICP1 ( $\text{CF}_4$ ,  $\text{CHF}_3$ ,  $\text{SF}_6$ ,  $\text{O}_2$ , Ar)



# La gravure par plasma en technologie $\mu$ -optoélectronique

## 8) Gravure RIE du BCB : plasma « carbo-fluoré »

Machine ICP3

BCB contient du Si :  $SF_6$ ,  $SF_6 + O_2$ ,  $CF_4$ ,  $CF_4 + O_2$  gravure isotrope

$CHF_3$ ,  $CHF_3 + O_2$  gravure anisotrope

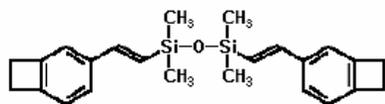
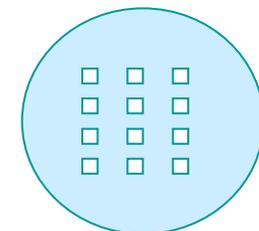
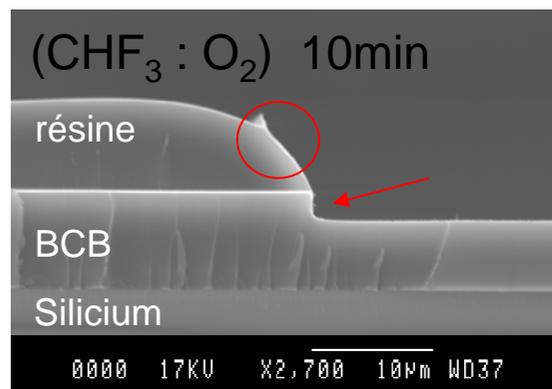


Figure 1: Structure chimique du BCB

gaz	pression	$P_{RF}$	$V_{bias}$	$V_g$	$S_{/Si}$	$S_{/AZ4562}$
$CHF_3$ (%O <sub>2</sub> )	5mTorr	60W	-350V	1500Å/min	1:10	1:3
$CF_4$ (%O <sub>2</sub> )	5mTorr	60W	-250V	2900Å/min	1:1	1:2



# La gravure par plasma en technologie $\mu$ -optoélectronique

## 9) Gravure des résines et polymères organiques : plasma $O_2$

### TEPLA

- résine de masquage  $C_xH_y$  (insolée, implantée, RIE,...), BCB
  - ☞ délaquage ou stripping qq's  $\mu m$  (isotrope)
  - ☞ descuming qq's  $100\text{\AA}$  (+ cage faraday) (isotrope)
- traitement de surface hydrophobe ou hydrophile (goutte d'eau)

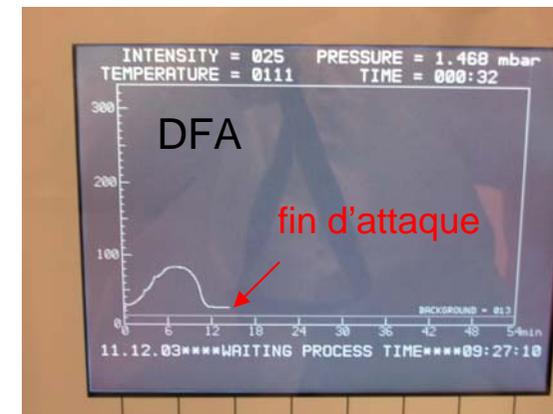
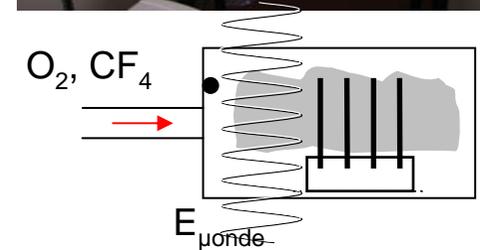
réaction plasma  $O_2$  :  $C_xH_yO_z + O^* \rightarrow CO_2 + H_2O(g)$

### ATTENTION :

- résine implantée sur Si : plasma  $O_2 + \%CF_4$
- résine implantée sur  $SiO_2$  : plasma  $O_2$  uniquement!!
- respecter effet de charge global (10 wafers)
- température de traitement peut atteindre  $150^\circ C$



plasma  $O_2$

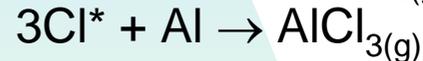
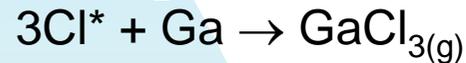


# La gravure par plasma en technologie optoélectronique

## ■ 10) Gravure RIE du GaAs/AlAs, GaSb :

Machine ICP2

- plasma chloré  $\text{Cl}_2$ . Le  $\text{Cl}^*$  grave GaAs et AlAs



- masque AZ4562, métal,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{SrF}_2$

- gravure « anisotrope »

- sélectivité  $\text{GaAs/résine} = 3:1$

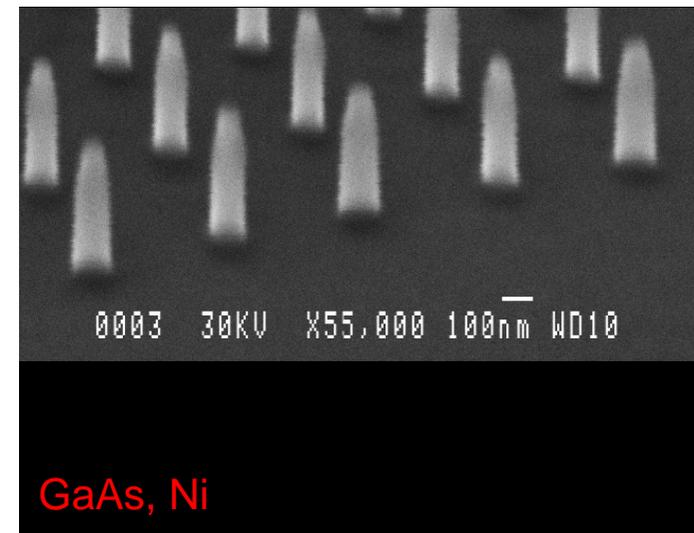
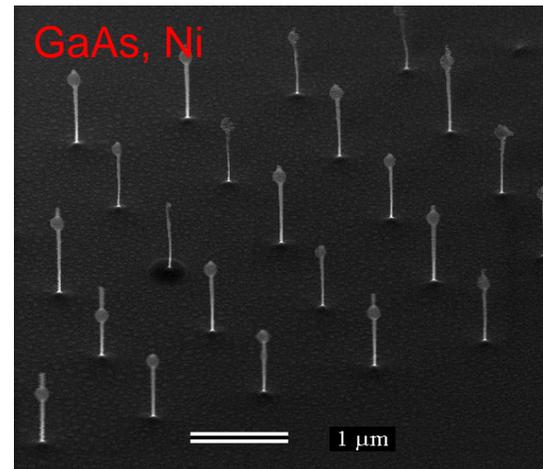
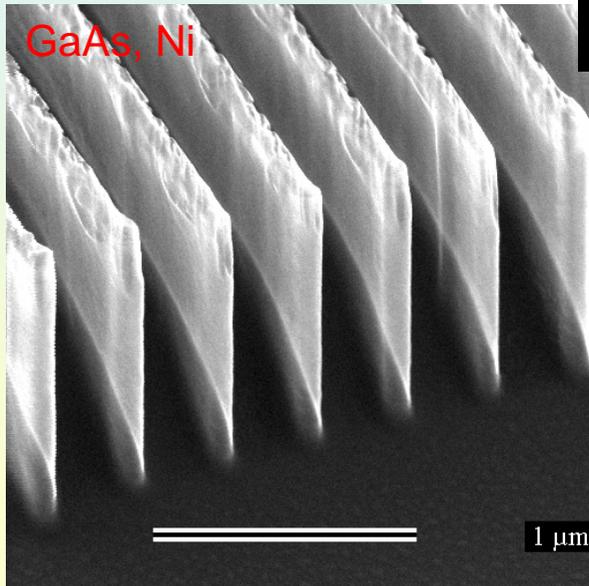
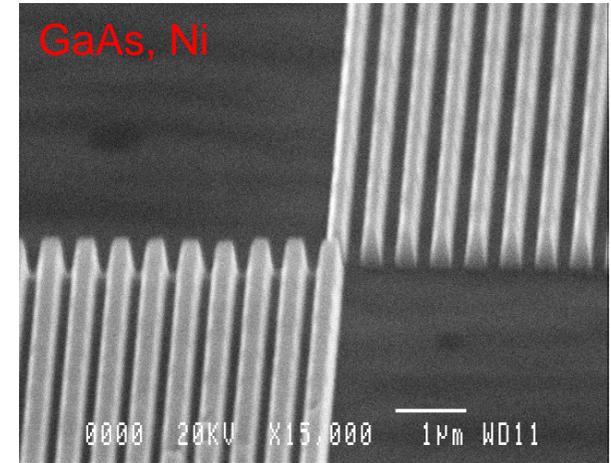
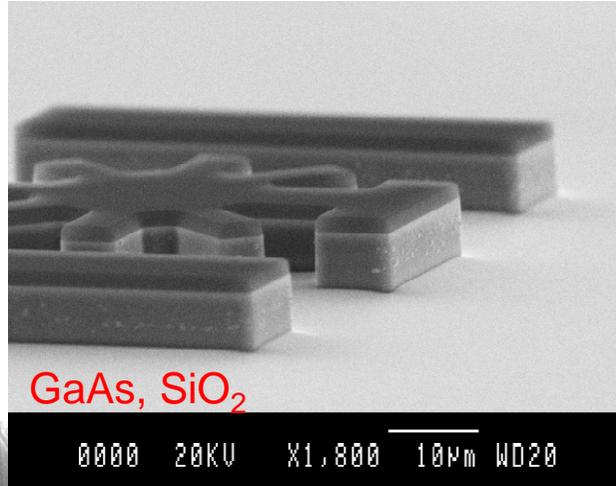
- addition  $\text{N}_2$  chimiquement inerte ion  $\text{N}^+$  améliore l'anisotropie

- addition Ar : chimiquement inerte, ion  $\text{Ar}^+$  améliore anisotropie

-  $T^\circ_{\text{gravure}} > 30^\circ\text{C}$  alors  $P_v(\text{AlCl}_3) \nearrow$ ,  $T^\circ = 30^\circ\text{C}$  pour le GaSb

# La gravure par plasma en technologie optoélectronique

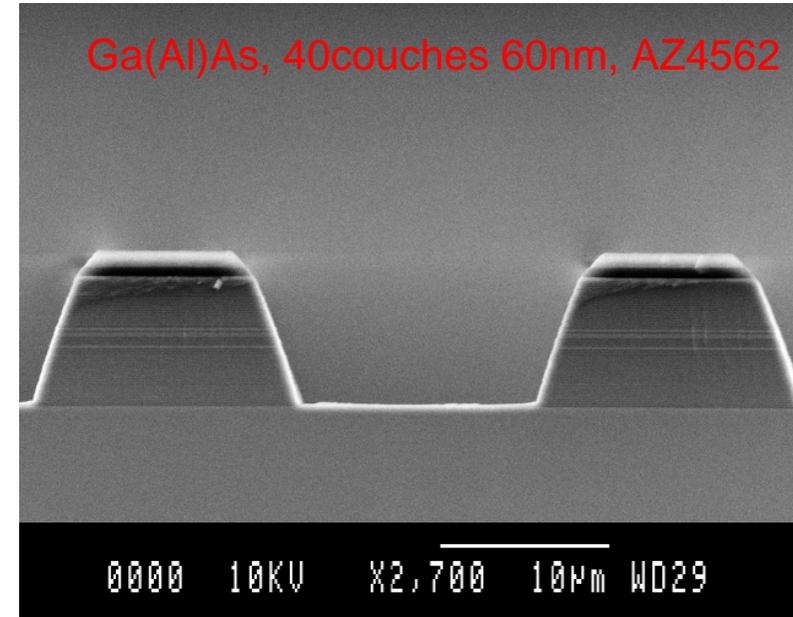
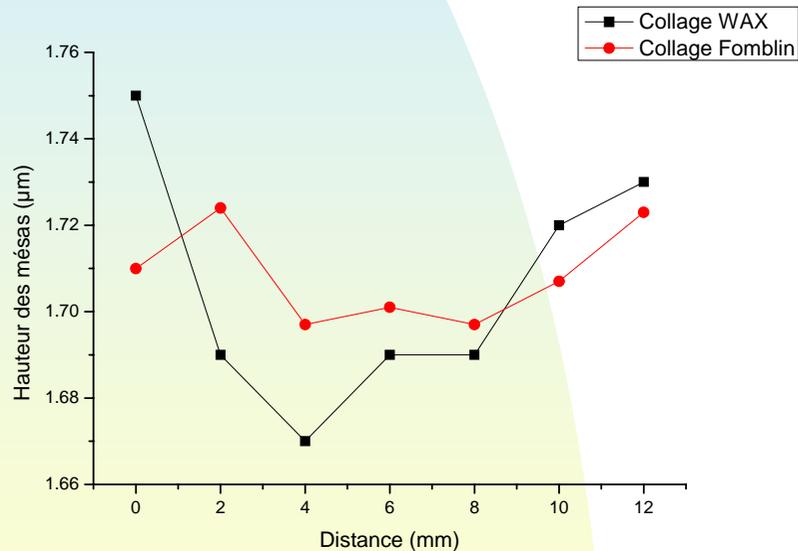
## ■ 10) Gravure RIE du GaAs :



# La gravure par plasma en technologie optoélectronique

## 10) Gravure RIE du Ga(Al)As :

- gravure VCSEL multicouches périodiques
- profil « positif » pour la métallisation



- échantillon <math><2\text{cm}^2</math> à coller sur wafer 6 pouces
- type de collage influence la gravure, l'uniformité

# Plan

- Principe de gravure par plasma
- Définition et propriétés physiques du plasma
- Sources et équipements plasma pour la gravure

---

- La gravure par plasma en technologie  $\mu$ électronique
- **La gravure profonde silicium pour  $\mu$ ,nanotechnologies**
- Détection fin d 'attaque de la gravure par plasma

# La gravure profonde du silicium pour **micro/nanotechnologies**

## ■ **La gravure profonde par plasma pour MEMS et micro/nanotechnologies**

- Quelles sont les demandes ?
- Quelles sont les possibilités (équipement et procédés de gravure) ?
- Le procédé de gravure profonde du silicium par DRIE
- L'influence des nombreux paramètres
- La gravure des tranchées Si, SOI
- Exemples de réalisations par DRIE

# La gravure profonde du silicium pour **micro/nanotechnologies**

## Quelles sont les demandes ?

- La gravure doit être adaptée aux  $\mu$  et nano-usinages en surface et en volume :
  - **rapport d'aspect  $h/w > 1$ , anisotrope, sélective, masque adapté**

- Types de structures à graver :

toute ouverture ( $w > 1\mu\text{m}$  au cm) peu profonde avec couche d'arrêt

petite ouverture ( $w < 1\mu\text{m}$ ) et faible profondeur ( $h < 1\mu\text{m}$ )

toute ouverture ( $1\mu\text{m} < w < 8\mu\text{m}$ ) et profondeur ( $20\mu\text{m} < h < 200\mu\text{m}$ )

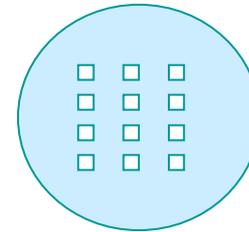
toute ouverture ( $w > 1\mu\text{m}$  au cm) et profonde ( $h > 20\mu\text{m}$  et  $h < 525\mu\text{m}$ ) avec/sans couche d'arrêt

# La gravure profonde du silicium pour **micro/nanotechnologies**

Quelles sont les possibilités (équipement et procédés de gravure) ?

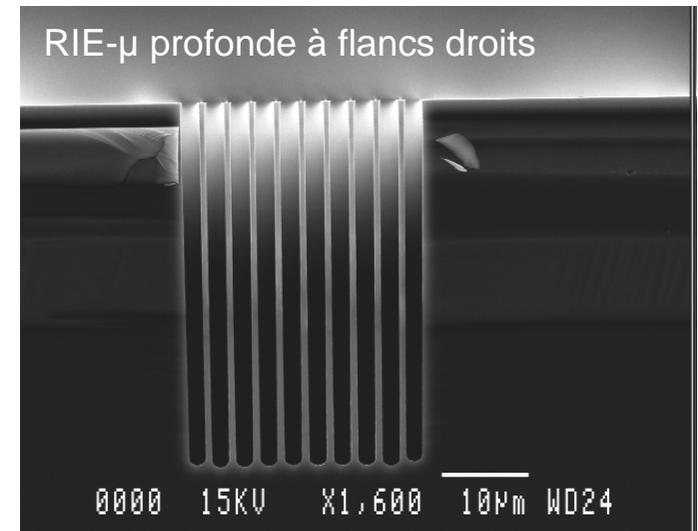
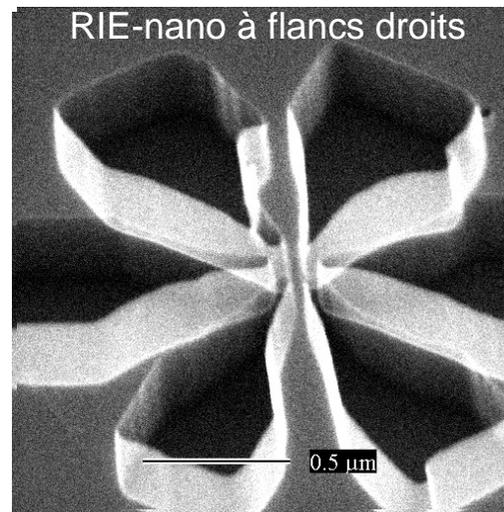
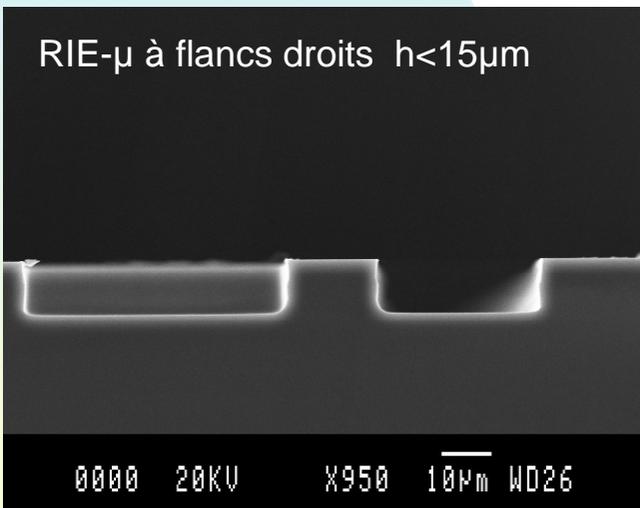
## ■ La gravure profonde par ICP du silicium : DRIE - caractéristiques STS

- facteur aspect  $1 < (h/a) \leq 45$
- vitesse de gravure  $\leq 4\mu\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$
- faible bombardement ionique  $\leq -100\text{V}$
- uniformité "5%" ????
- sélectivité élevée par rapport au masque
  - résine positive AZ1529 (20:1) AZ4562 (40:1)
  - SiO<sub>2th</sub> 80:1      SiO<sub>2pecvd</sub> 50:1
  - solgel >100:1
- source ICP
- contrôle  $T^{\circ}_{\text{wafer}}$  par refroidissements eau + He en face arrière du wafer
- gravure RIE « standard » et gravure profonde DRIE à  $T^{\circ}_{\text{ambiante}}$  avec collage sur silicium



# La gravure profonde du silicium pour **micro/nanotechnologies**

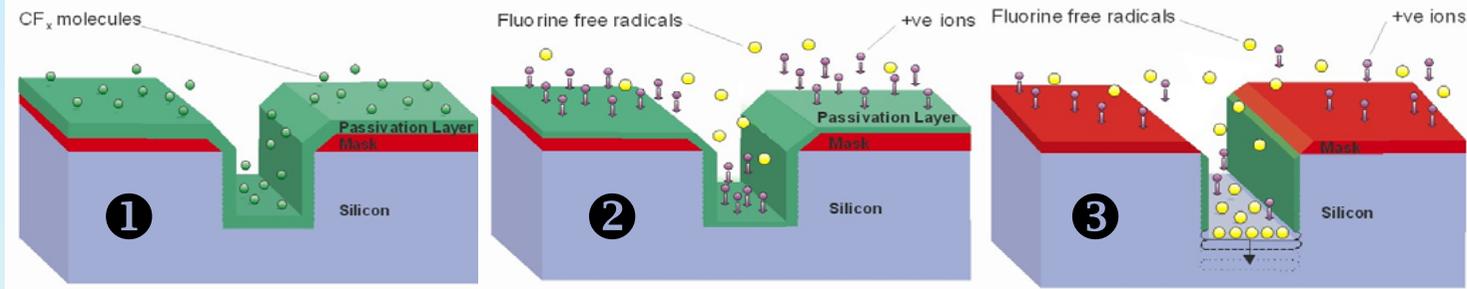
Quelles sont les possibilités (équipement et procédés de gravure) ?



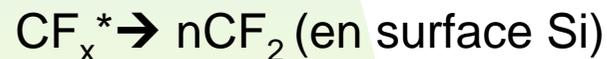
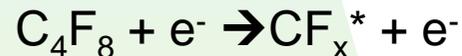
# La gravure profonde du silicium pour micro/nanotechnologies

## Le procédé de gravure profonde du silicium par DRIE

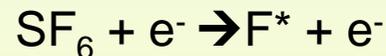
### Machine STS - Procédé Bosch (1994)



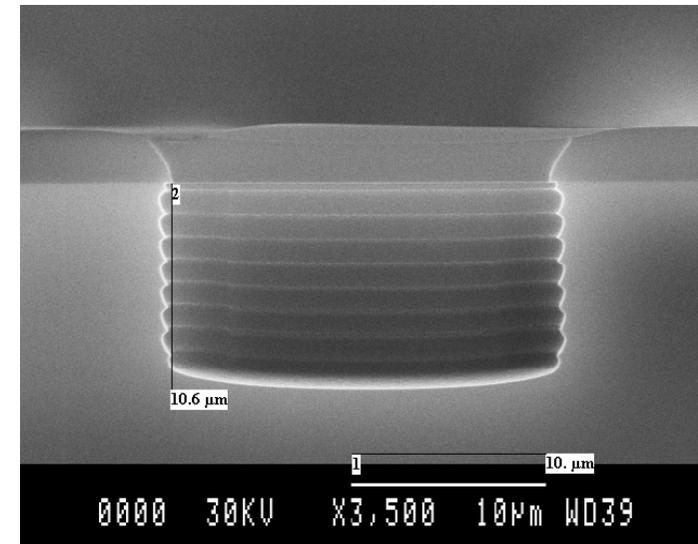
- gravure séquentielle (2 plasmas = 2 cycles = gravure du Si)
- 1<sup>er</sup> Plasma : Passivation des surfaces ❶



- 2<sup>ème</sup> plasma : Gravure des surfaces horizontales ❷ ❸



- Scalloping sur les flancs (<300nm)



# La gravure profonde du silicium pour **micro/nanotechnologies**

## Influence des paramètres

### ■ Influence des paramètres de gravure

- débit  $SF_6$ ,  $O_2$ ,  $C_4F_8$  : [XX]
- cycles gravure et passivation:  $t_g$ ,  $t_p$
- pression de travail : p
- puissance rf plasmas :  $RF_2$
- puissance rf wafer ( $V_{bias}$ ) :  $RF_1$
- pression He
- température réacteur :  $T_r$
- température wafer, chuck :  $T_w$
- collage du wafer

Exemple : vitesse de gravure  $V_g$  ( $\mu m/min$ ) :

$V_g \nearrow$  si  $[SF_6] \nearrow$  mais uniformité  $\searrow$

$V_g \nearrow$  si  $t_g \nearrow$  et  $t_{pass} \searrow$

$V_g \nearrow$  si p  $\nearrow$  mais  $\epsilon_{ions} \searrow$  alors  $V_g \searrow$

$V_g \nearrow$  si  $RF_2 \nearrow$

$V_g \nearrow$  si  $P_{\text{électrode}} \nearrow$  ( $V_{bias} \nearrow$ )

$V_g$  bord wafer  $>$   $V_g$  centre wafer

$V_g \nearrow$  sans refroidissement

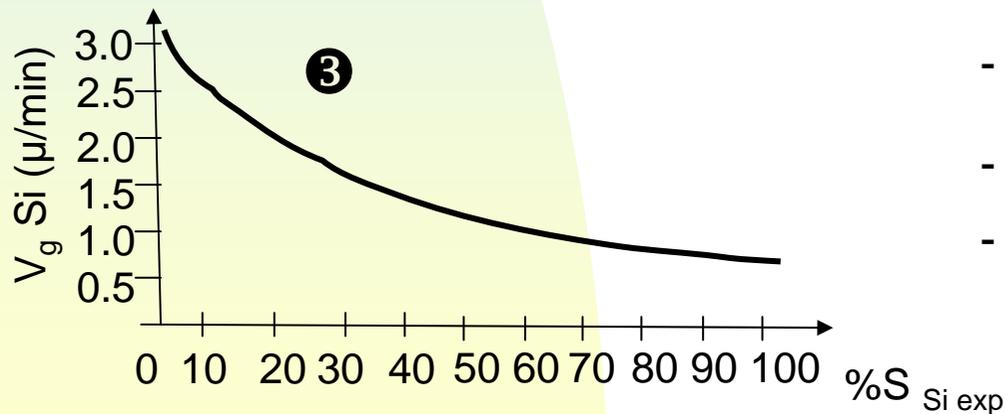
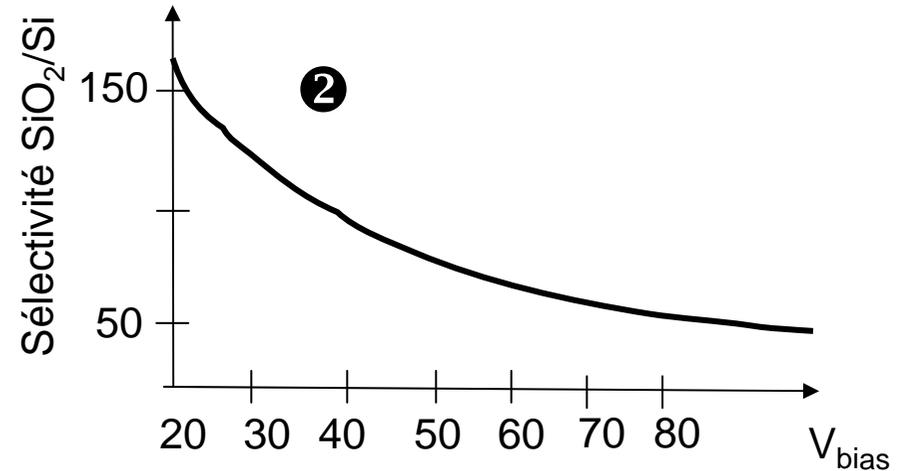
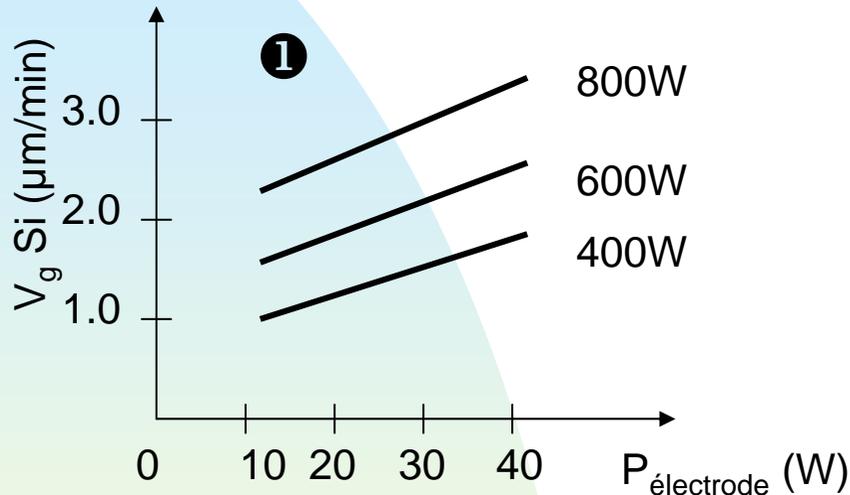
**ATTENTION** : toute gravure  $h > 200\mu m$  ou pour libérer des membranes  $SiO_2$ ,  $SiO_2/SiN_x$  nécessite un collage sur wafer Si 4 ”

Procédure : • PLP100 déposée sur face arrière du wafer hôte + presse sous vide ?  
• Huile fomblin pleine plaque  
• Etude en cours sur des adhésifs + techniques collage et décollage

# La gravure profonde du silicium pour **micro/nanotechnologies**

## Influence des paramètres

■  $P_{RF}$  (W),  $V_{bias}$ , %S<sub>Si exp.</sub>



- ①  $P_{élect}$  (W) ↗ ( $V_{bias}$  ↗) alors  $V_g$  Si ↗
- ② sélectivité SiO<sub>2</sub>/Si ↘ si  $V_{bias}$  ↗ alors  $V_g$  SiO<sub>2</sub> ↗
- ③  $V_g$  Si ↘ quand la surface à graver ↗

# La gravure profonde du silicium pour micro/nanotechnologies

## Influence des paramètres

### ■ Le paramètre T°

- La température du process est à  $T_{\text{ambiante}}$ , mais paroi à 45°C (réduire dépôt)
- La température de la surface du matériau à graver dépend :
  - . T° du chuck
  - .  $E_{\text{ions}}$ , photons (hv), uniformité plasma
  - . réaction exothermique pendant la gravure
  - . hélium face arrière wafer
  - . Type de collage sur contre plaque
- La T° de la surface du matériau influence :
  - . réaction entre radicaux et matériau
  - . pression de vapeur des produits de réaction
  - . re-déposition de produits non volatils
  - . la sélectivité de gravure (résine, sous couche)
  - . le profil de gravure

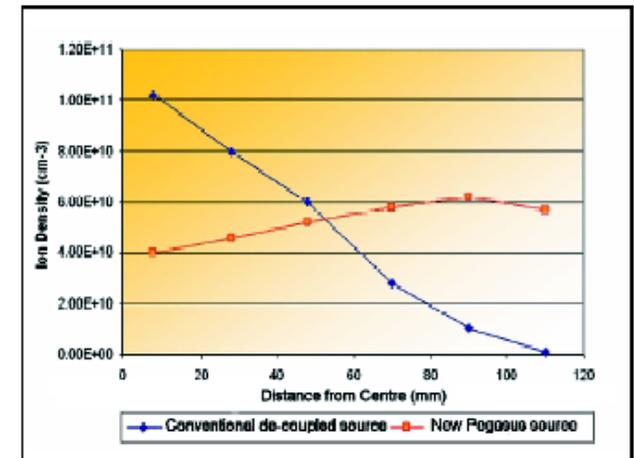
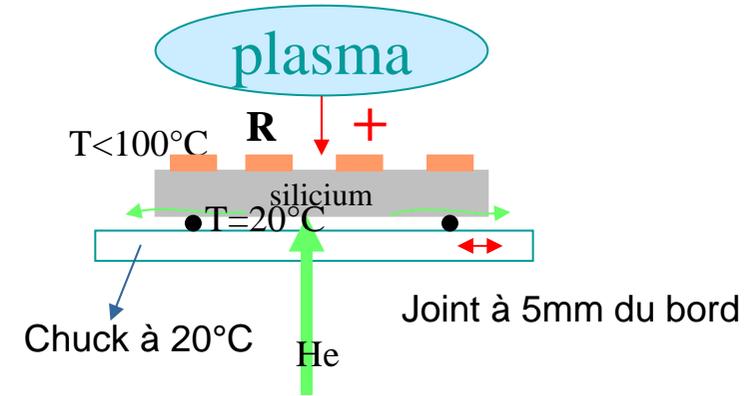


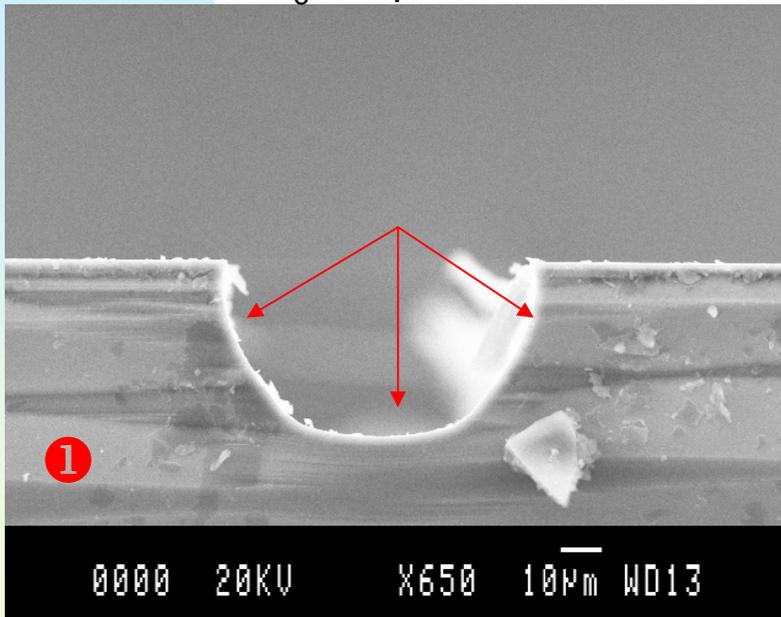
Figure 3. Ion density across a wafer for a conventional de-coupled plasma source and STS' latest DRIE source.

# La gravure profonde du silicium pour **micro/nanotechnologies**

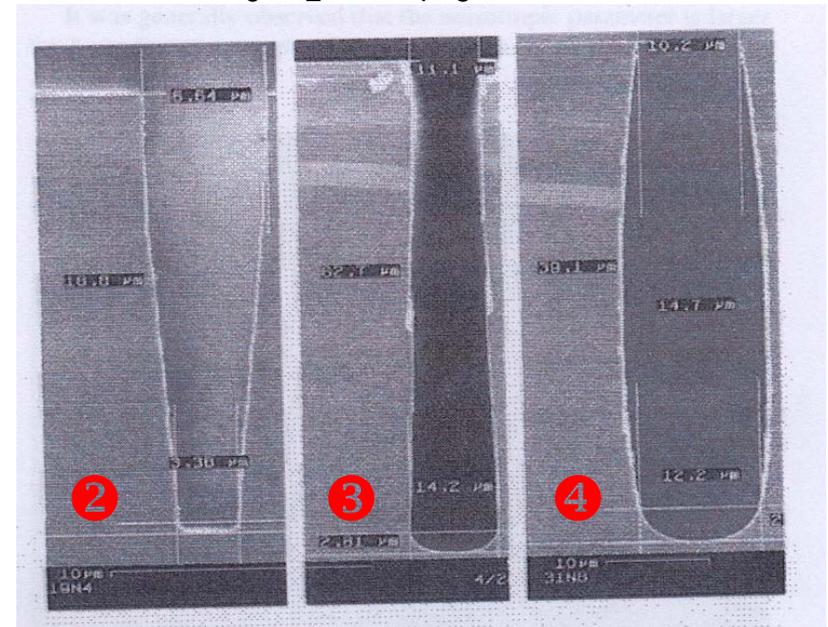
## Influence des paramètres

### ■ Le rôle du passivant $C_4F_8$

$SF_6$  uniquement



$SF_6/O_2$  et  $C_4F_8$

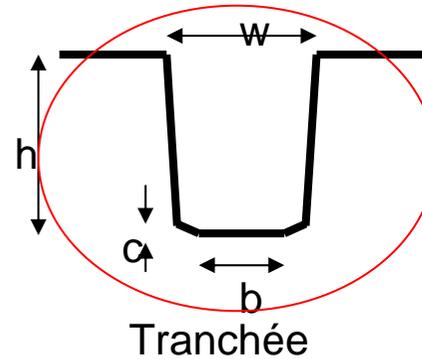
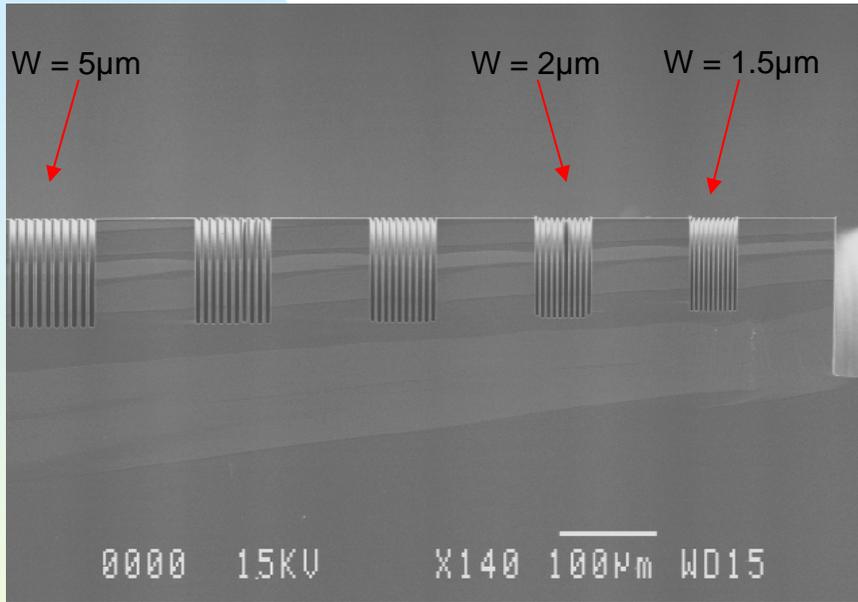


- sans ou très peu de passivation ❶ et ❹ : gravure isotrope
- avec excès de passivation ❷ : gravure anisotrope
- avec peu de passivation ❸ : gravure anisotrope

# La gravure profonde du silicium pour **micro/nanotechnologies**

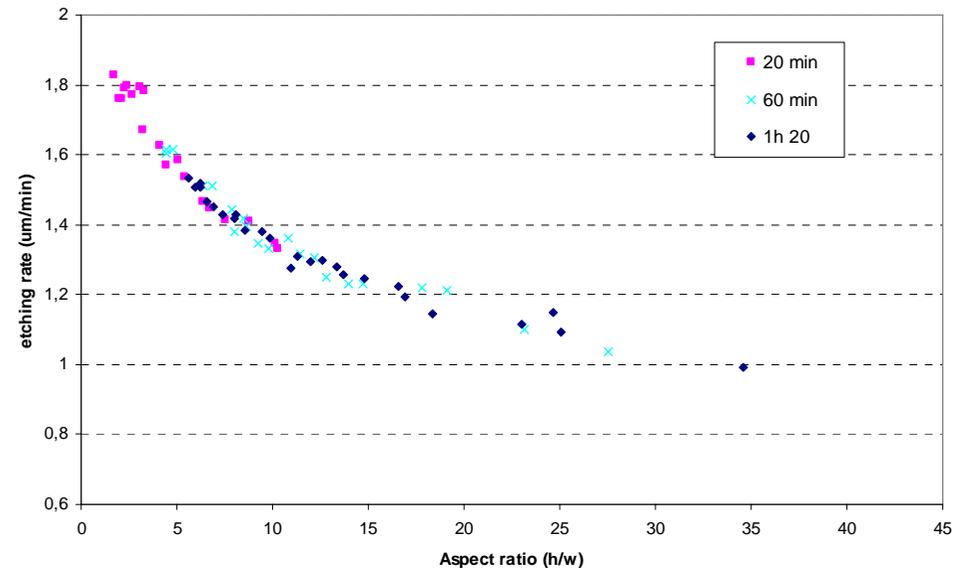
## La gravure des tranchées dans le Si ou SOI

### ■ Tranchée et rapport d'aspect h/w



- anisotropie =  $(h-c)/|w-b|$
- $V_{g\text{ Si}}$  ↗ quand  $w$  ↗
- $V_{g\text{ Si}}$  ↘ quand  $h/w$  ↗

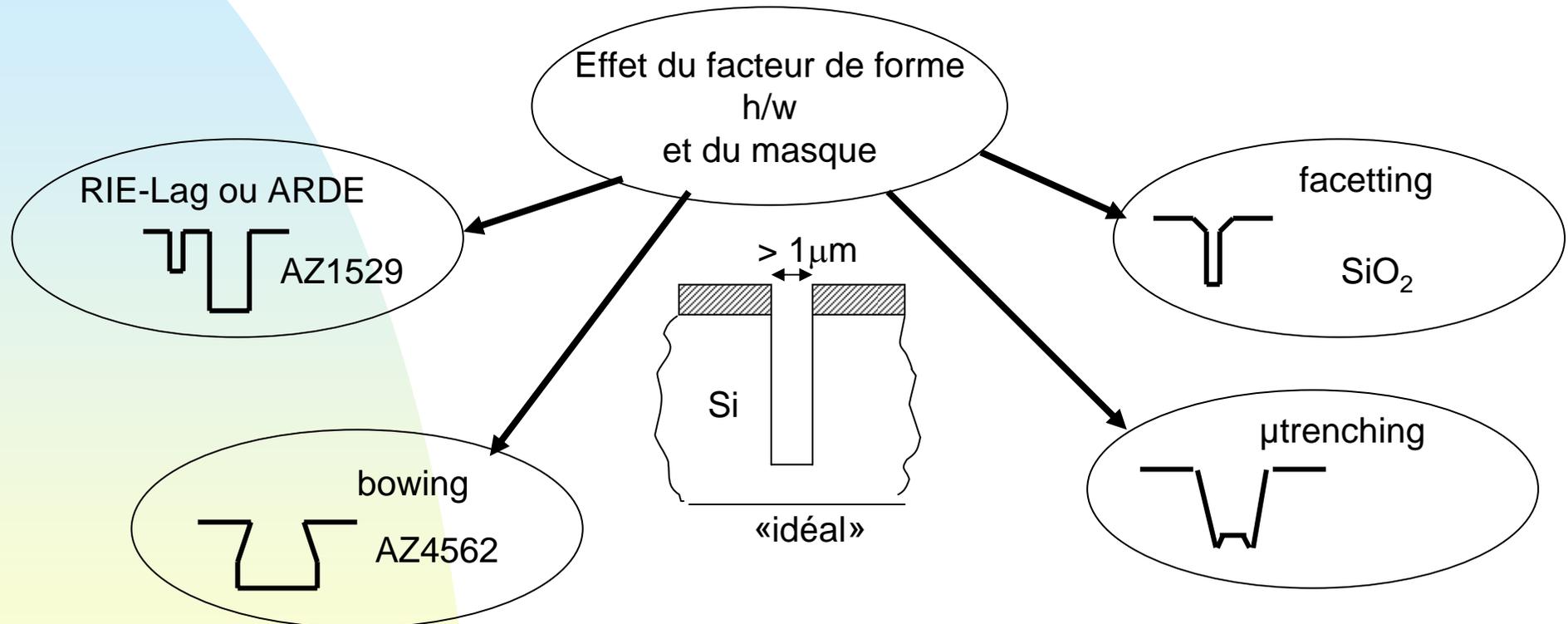
Masque Quarès - Résine AZ1529



# La gravure profonde du silicium pour **micro/nanotechnologies**

## La gravure des tranchées dans le Si ou SOI

### ■ Le profil de la tranchée



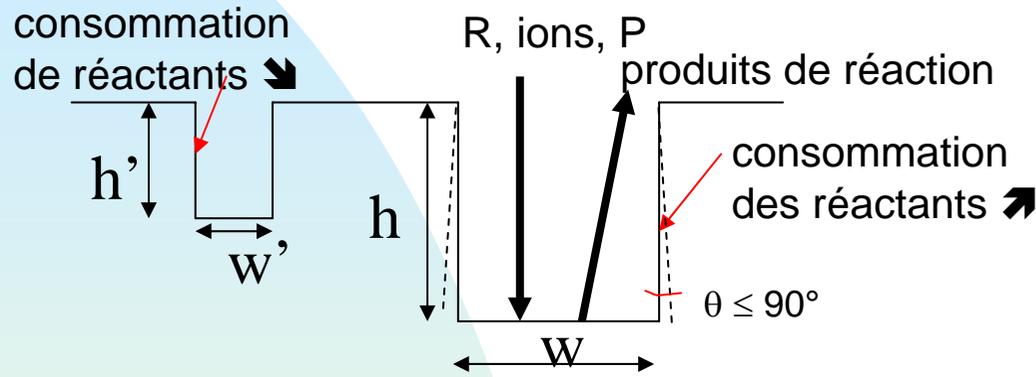
-  $h < 110\mu\text{m}$  (masque AZ1529, AZ4562 2hmax) avec  $v_g = 2.3\mu\text{m}/\text{min}$

-  $h > 110\mu\text{m}$  (masque AZ4562 10 $\mu\text{m}$  3hmax, AZ456 20 $\mu\text{m}$  SPR220 18 $\mu\text{m}$  solgel)

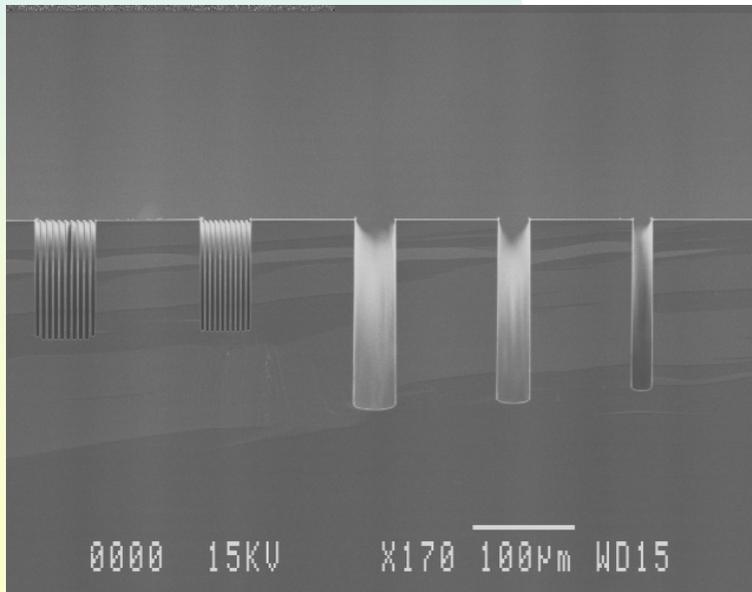
# La gravure profonde du silicium pour **micro/nanotechnologies**

## La gravure des tranchées dans le Si ou SOI

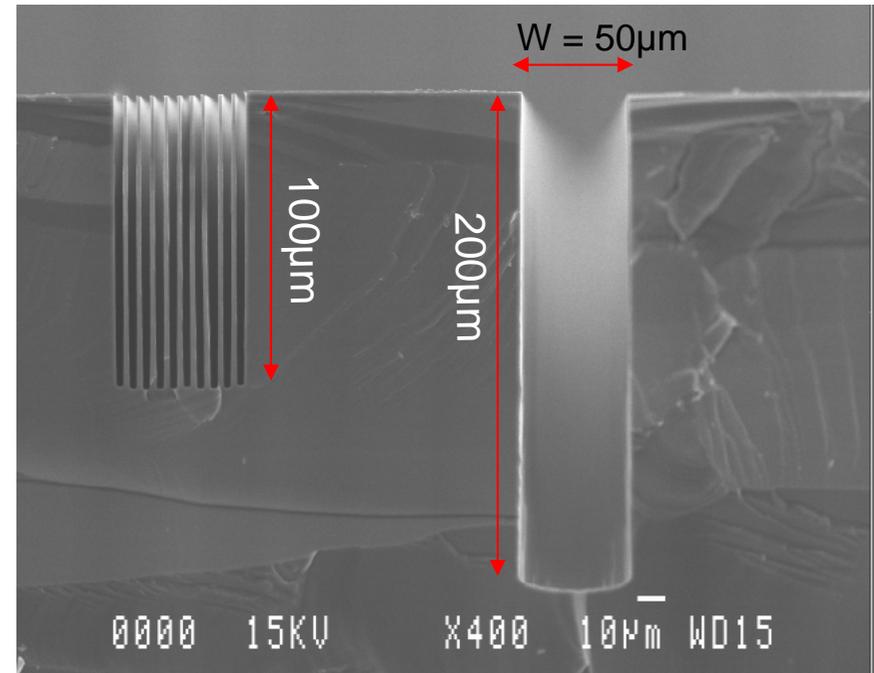
### ■ Effet ARDE $h > 50\mu\text{m} \forall w$



- $h/w \nearrow$  alors profil  $88^\circ$
- se « dégrade » si  $w > 500\mu\text{m}$
- phénomène ARDE



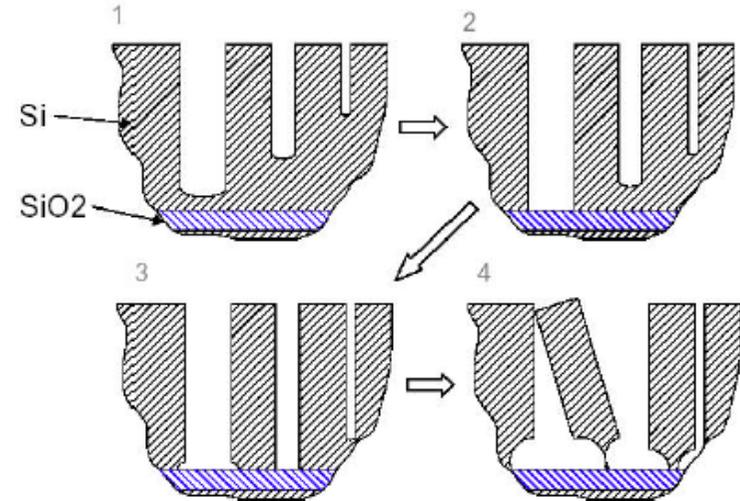
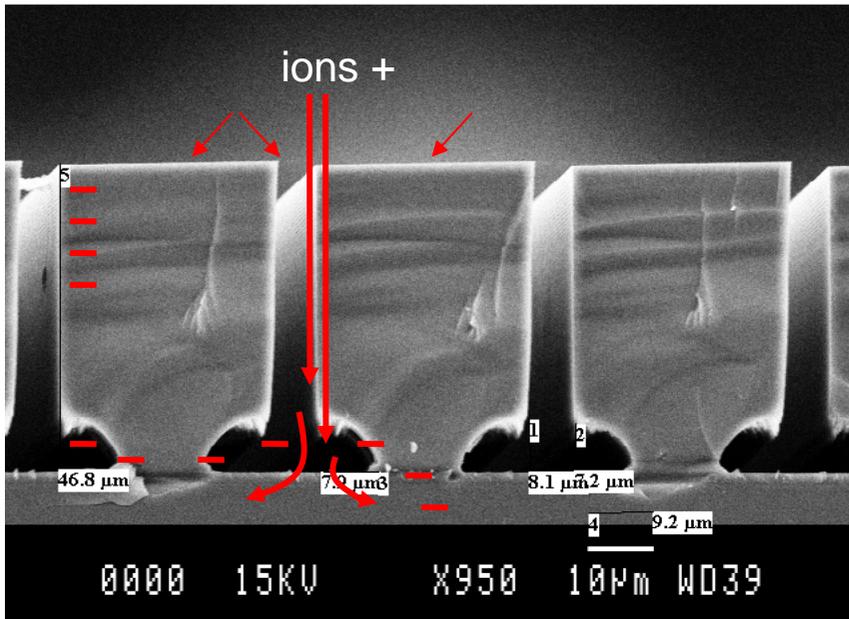
La gravure sèche par plasma



# La gravure profonde du silicium pour **micro/nanotechnologies**

## La gravure des tranchées dans le Si/SiO<sub>2</sub> ou SOI

### ■ Profil de tranchée silicium arrêt sur membrane SiO<sub>2</sub>



- traversée de Si et arrivée sur membrane SiO<sub>2</sub> ❶ et ❷
- sur-gravure alors phénomène de notching ❸
  - accumulation des électrons au pied de la tranchée
  - déviation des ions +
- sous gravure latérale importante du Si ❹

### Kit anti notching :

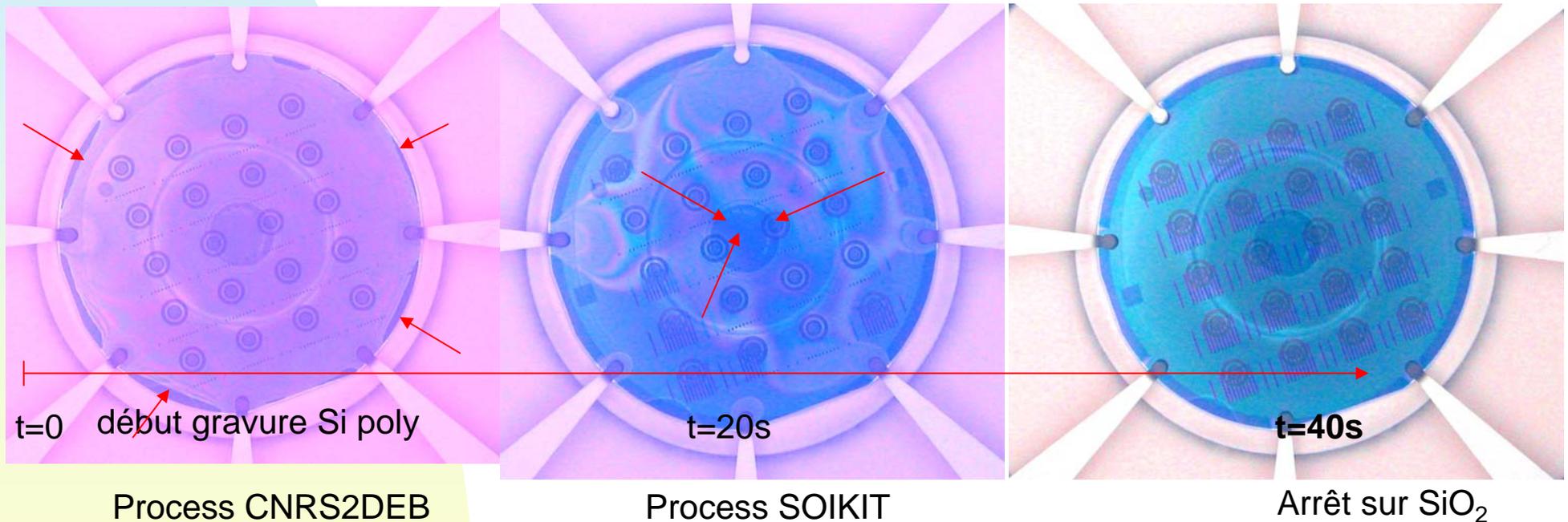
- S<sub>SiO<sub>2</sub>/Si</sub> amélioré
- moins de gravure latérale

# La gravure par plasma en technologie $\mu$ électronique

## La gravure du Polysilicium sur $\text{SiO}_2$

- **2 process CNRS2DEB + SOIKIT**

Ex : gravure du Si poly ( $1\mu\text{m}$ ) sur couche d'arrêt  $\text{SiO}_2$  ( $0.2\mu\text{m}$ ) – plasma  $\text{SF}_6/\text{C}_4\text{F}_8$



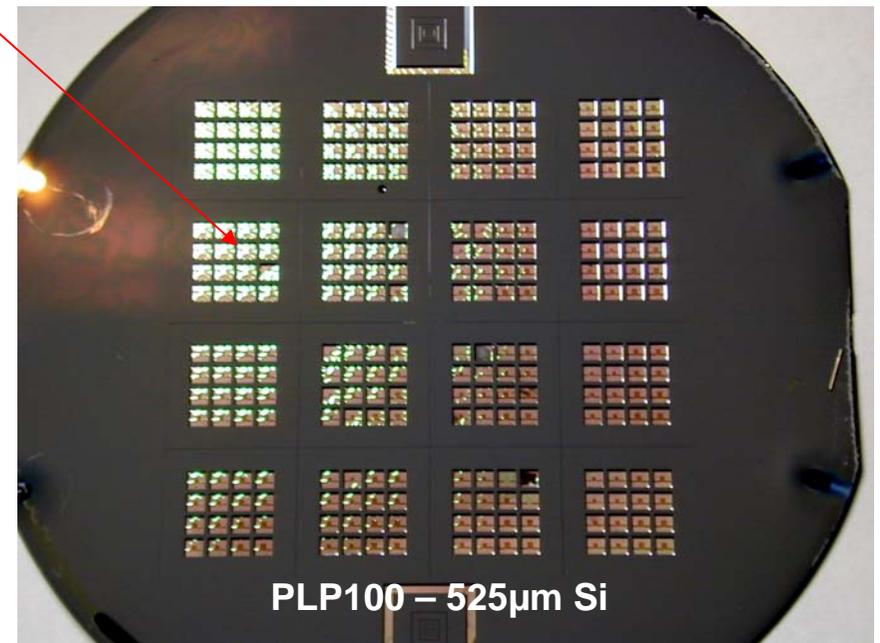
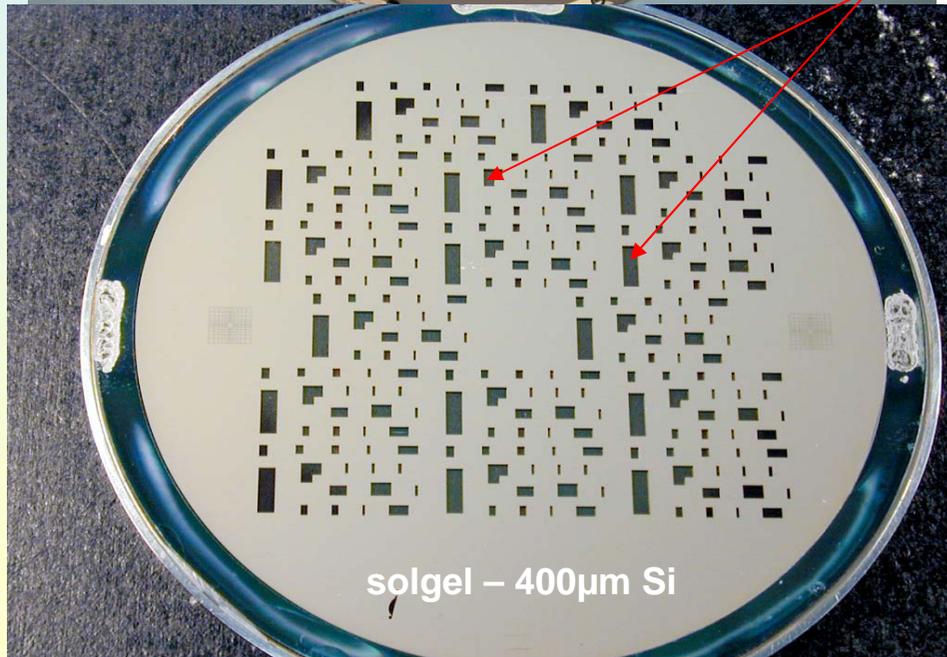
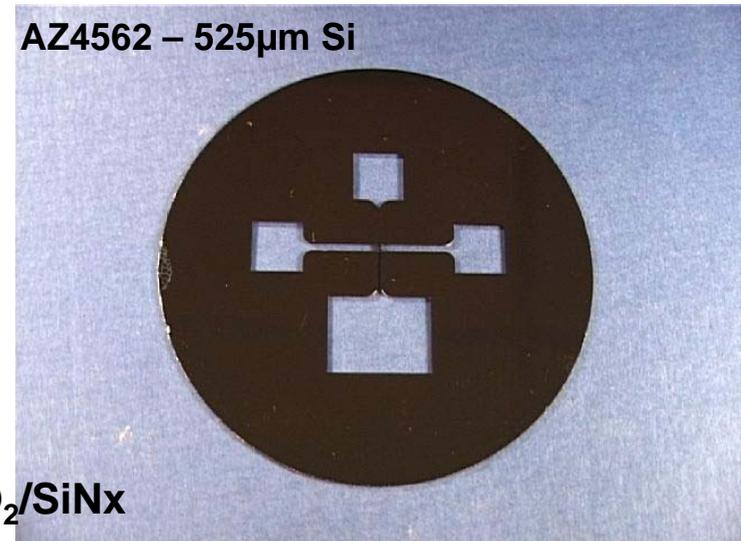
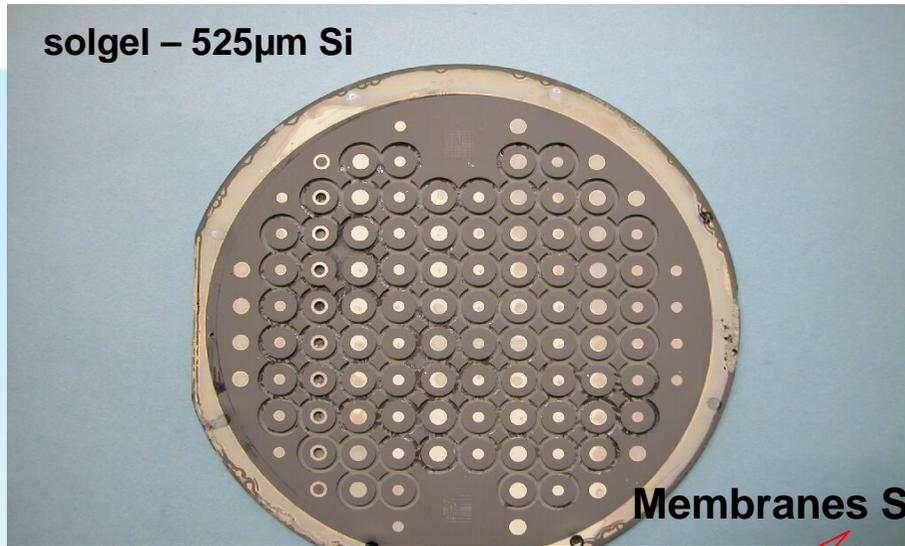
Toute gravure se fait de la périphérie vers le centre du wafer

# La gravure profonde du silicium pour **micro/nanotechnologies**

## Exemples de réalisation par DRIE

- **La gravure profonde DRIE du silicium au LAAS**
  - structure à fort rapport d'aspect (MEMS, nano, via)
  - usinage en volume (face arrière + membrane = couche d'arrêt)
  - usinage en surface (face avant + membrane = couche d'arrêt)
  - tranchées d'isolation électrique
  - tranchées  $\mu$ fluidique
  - nano-usinage

# La gravure profonde du silicium pour **micro/nanotechnologies**



La gravure sèche par plasma

# Plan

- Principe de gravure par plasma
- Définition et propriétés physiques du plasma
- Sources et équipements plasma pour la gravure

---

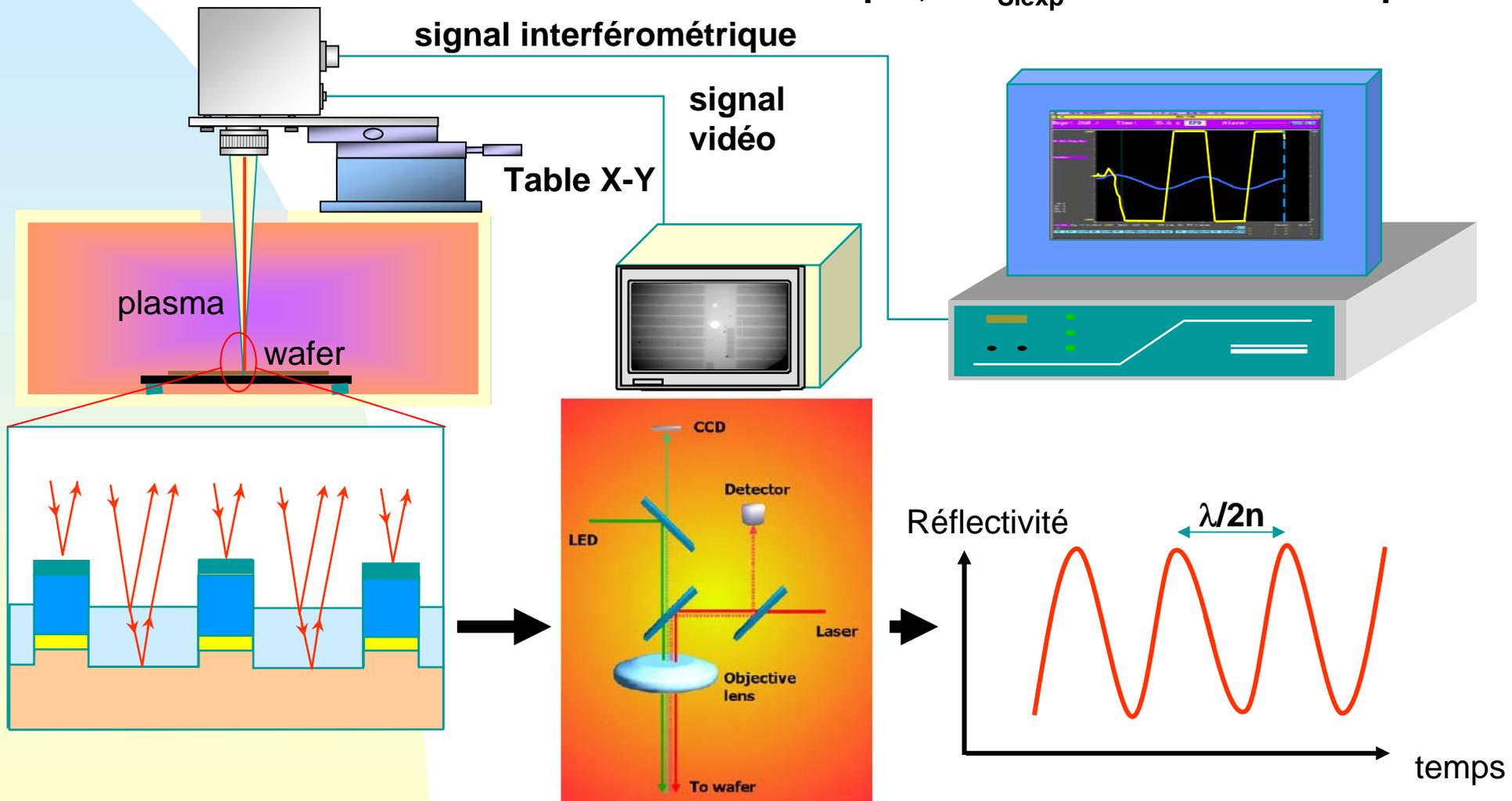
- La gravure par plasma en technologie  $\mu$ électronique
- La gravure profonde par plasma en technologie MEMS
- **Détection fin d 'attaque de la gravure par plasma**

# Détection fin d'attaque de la gravure par plasma

- Interférométrie optique par laser :

laser + caméra

ok si  $h < 200\mu\text{m}$ ,  $\%S_{\text{Siexp}} > 20\%$  et cible  $200\mu\text{m}$



La gravure sèche par plasma

# Détection fin d'attaque de la gravure par plasma

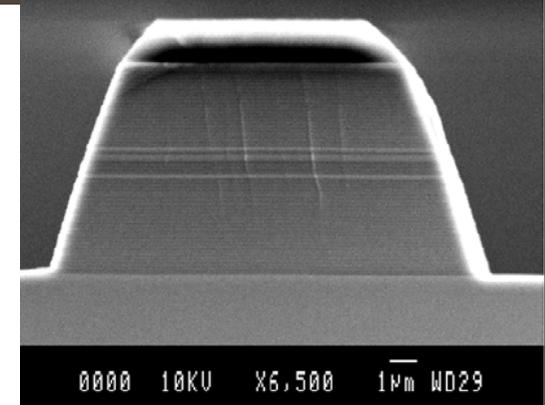
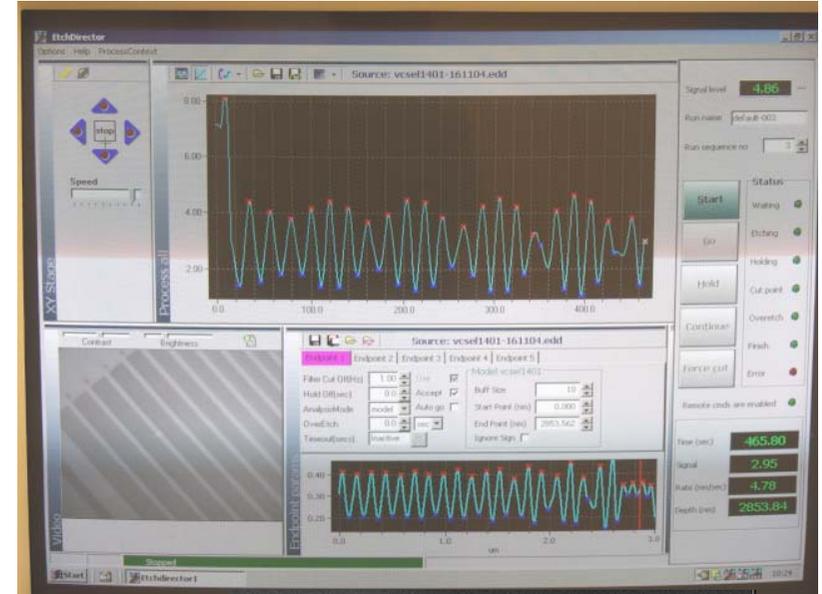
- Interférométrie optique par laser :

Digilem Jobin Yvon  $\lambda = 632.8\text{nm}$  pour Si



La gravure sèche par plasma

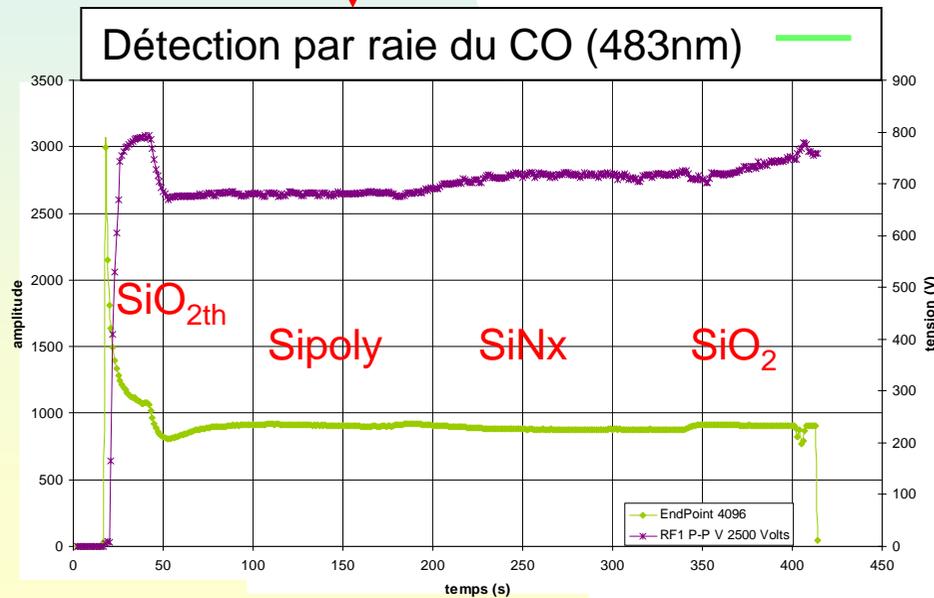
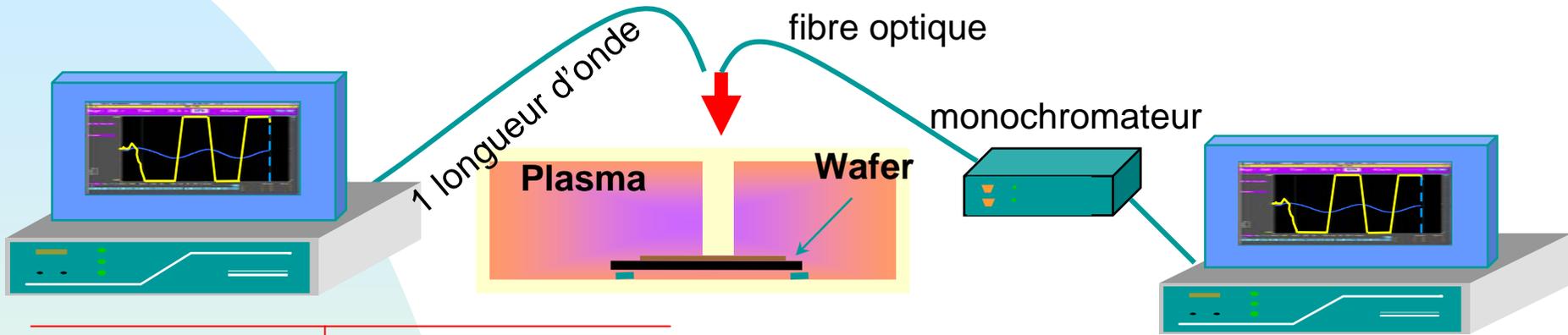
LEP 300 Intellectrics  $\lambda = 670\text{nm}$  pour III-V



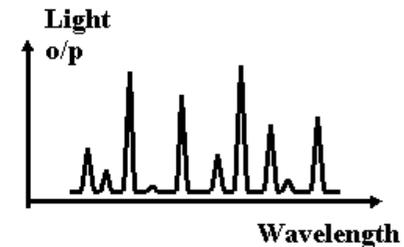
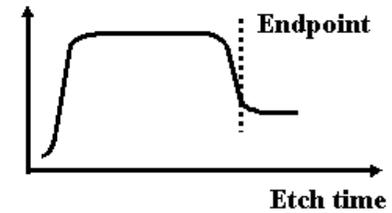
Pascal DUBREUIL 37

# Détection fin d'attaque de la gravure par plasma

- Spectroscopie à émission optique : ok  $\forall$  h, w  $> 10\mu\text{m}$  et  $\%S_{\text{Siexp}} > 10\%$



La gravure sèche par plasma

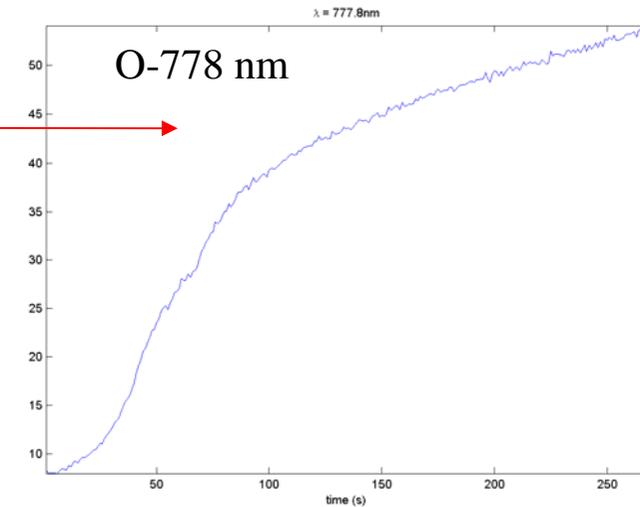
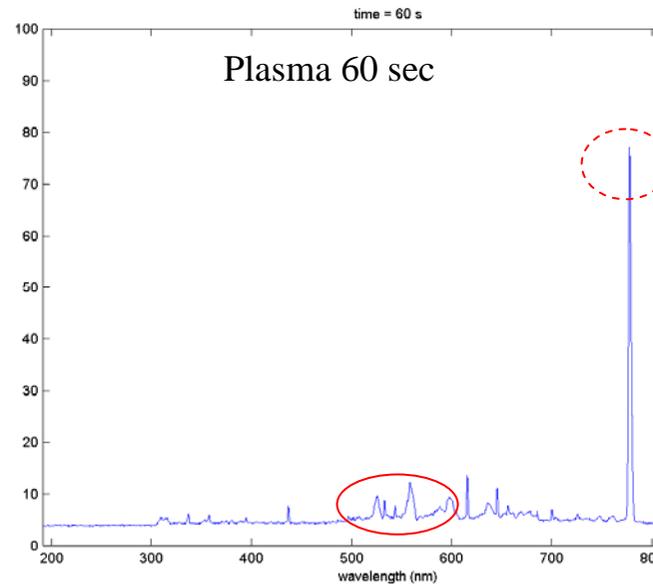
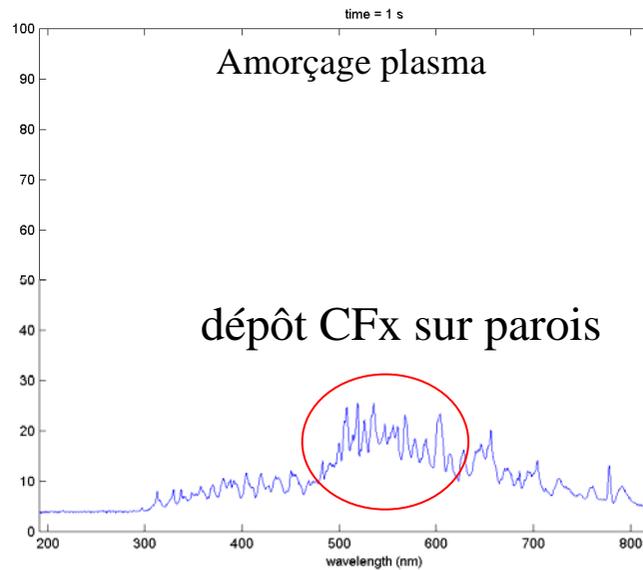


# Détection fin d 'attaque de la gravure par plasma

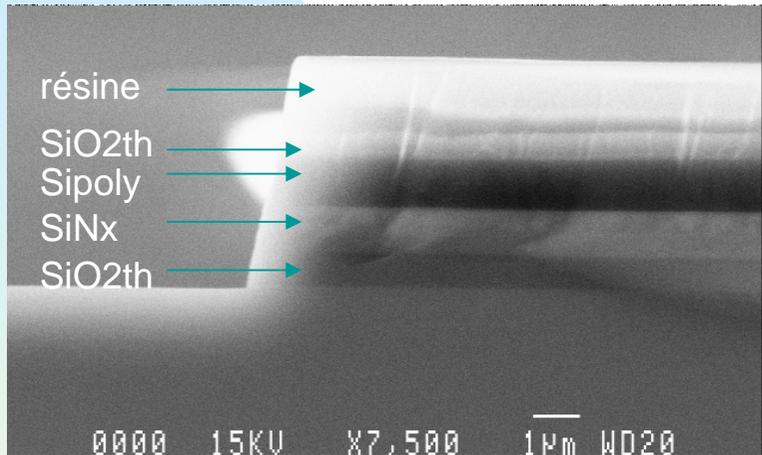
Matériau gravé	gaz	espèces excitées	longueur d 'onde (nm)
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	CF <sub>4</sub> -O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> F CN	337-381-385-674 704 386
Sipoly	SF <sub>6</sub> , CF <sub>4</sub> -O <sub>2</sub>	F SiF	704 777
	Cl <sub>2</sub> , CCl <sub>4</sub>	SiCl SiCl <sub>2</sub>	288 405
SiO <sub>2</sub>	CHF <sub>3</sub> CF <sub>4</sub>	CO F O	483-451 704 616
Al	Cl <sub>2</sub> , BCl <sub>3</sub>	Al AlCl	396-394-391-310 261-308-309
W	SF <sub>6</sub>	F SiF	704 440-777
Ti	Cl <sub>2</sub>	TiCl Ti	703 261
résine	O <sub>2</sub>	CO H O	283-298-483-520 656 616

# Détection fin d'attaque de la gravure par plasma

- Exemple de nettoyage de la chambre :
- avant toute gravure
  - après une gravure

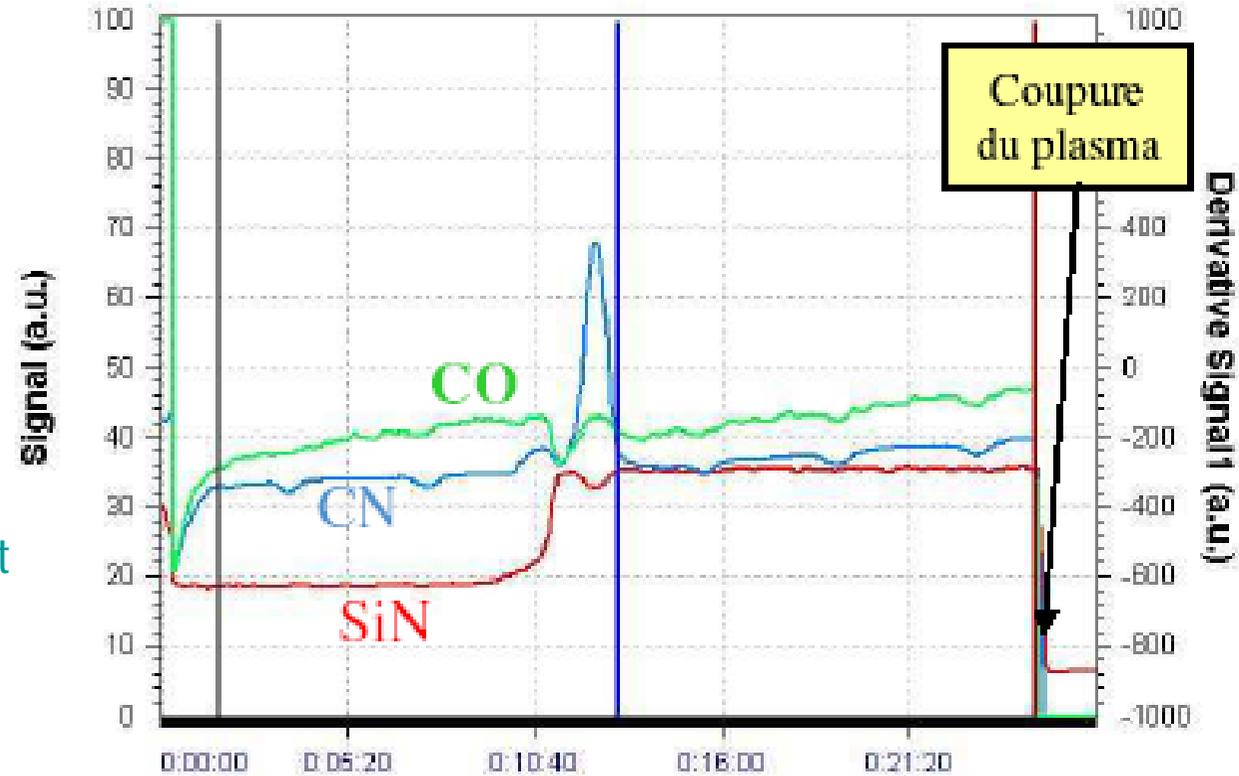


# Détection fin d'attaque de la gravure par plasma



(SiO<sub>2</sub>) / Si-poly / SiN<sub>x</sub> / (SiO<sub>2</sub>) / substrat

Sipoly (120nm) / SiNx (600nm) arrêt sur Si



- Détection du Sipoly par la raie du CN ou CO
- Détection du SiNx par la raie SiN
- Arrêt sur le substrat Si à la chute de la raie SiN



# FIN