

# Environnement et équipements de la lithographie optique:

26 mai 2008

## I) Environnement:

- a) Rappel principe photolithographie.
- b) Contaminations et contraintes technologiques.

## II) Aligneurs de masque:

- a) Principe.
- b) Sources UV.
- c) Différents types équipements.
- d) Fonctionnement d'un alignement.

## III) Autres équipements:

- a) Préparation/nettoyage substrat.
- b) Dépôt et développement de résine.
- c) Cuisson.

## IV) Zone photolithographie du LAAS.

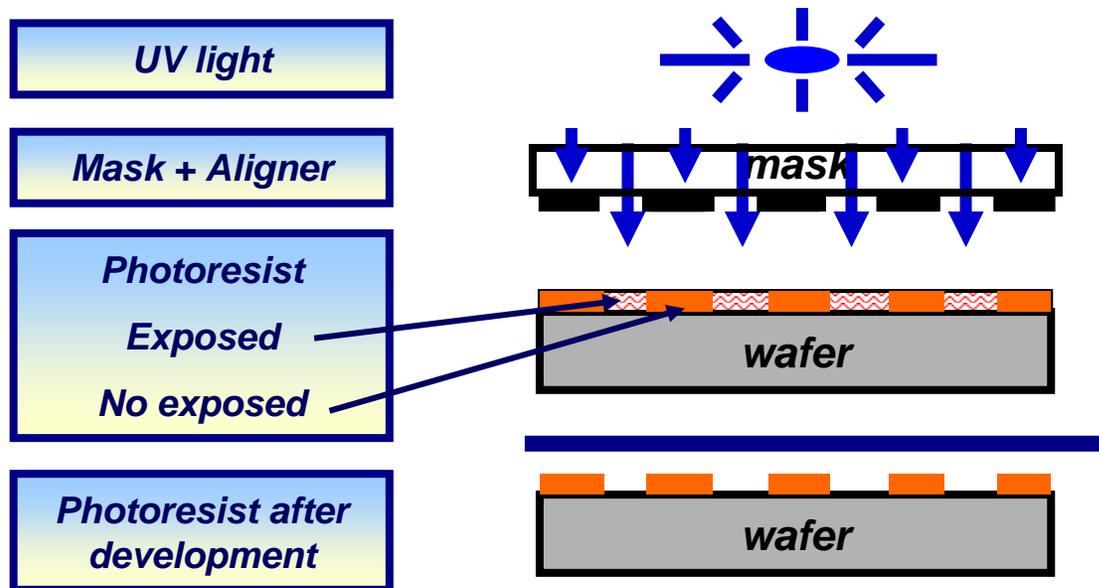


# I) Environnement:

26 mai 2008

## a) Rappel principe photolithographie:

- Transférer l'image d'un masque sur le matériau.
  - Déposer une résine photosensible sur un substrat.
  - Irradiation de la résine par UV.
  - Dissolution de la résine dans développeur.

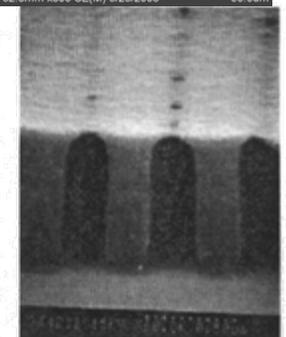
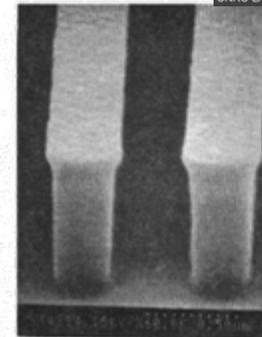
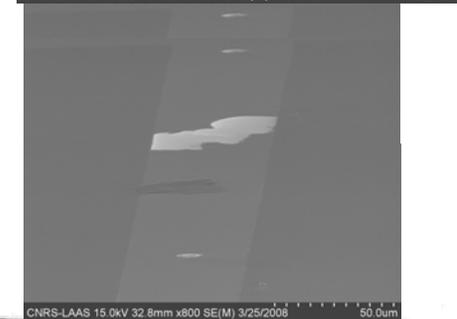
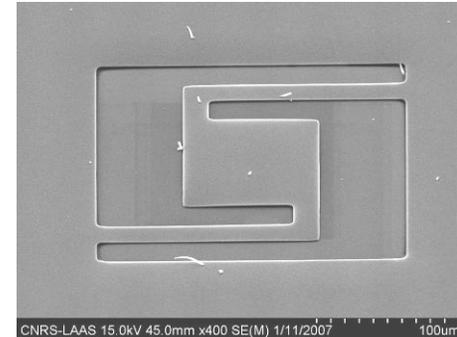


# I) Environnement:

26 mai 2008

## b) Contaminations et contraintes technologiques:

- Contaminations:
  - Poussières.
  - Moléculaires: hydrocarbures, graisses, eau, amines.
  - Ioniques: métaux.
- Causes:
  - Opérateur!!! (combinaison, cheveux,...).
  - Qualité salle blanche (régulation T / %H<sub>2</sub>O, classe 100 iso 5 norme NF EN ISO 14644-1).
  - Équipements, procédés: température, chimie, graisses.
- Conséquences:
  - Mauvaise adhérence (popping).
  - Micro masquages.
  - Mauvaise définition et non respect des côtes.



poisoned by ambient amines. The example on the left is the example on the right is the result of longer exposure to

amines.

# I) Environnement:

26 mai 2008

## b) Contaminations et contraintes technologiques:

### ➤ Classe de la zone photolithographie:

- contraintes de travail en iso 5:

- Équipements et procédés sous flux laminaires.

- Opérateur:

- » manipulations conformes et règles et à la sécurité en salle blanche.

- » combinaison intégrale, gants, lunettes de sécurité.

- » nombre limité de personnes.

- » pas de stockage intempestif sous le flux laminaire.

- » ne pas boucher les grilles d'extraction des hottes.



***Travailler proprement.***

***Température: 19.5 °C ± 0.5 °C***

***Hygrométrie: 47.5% ± 2.5%***

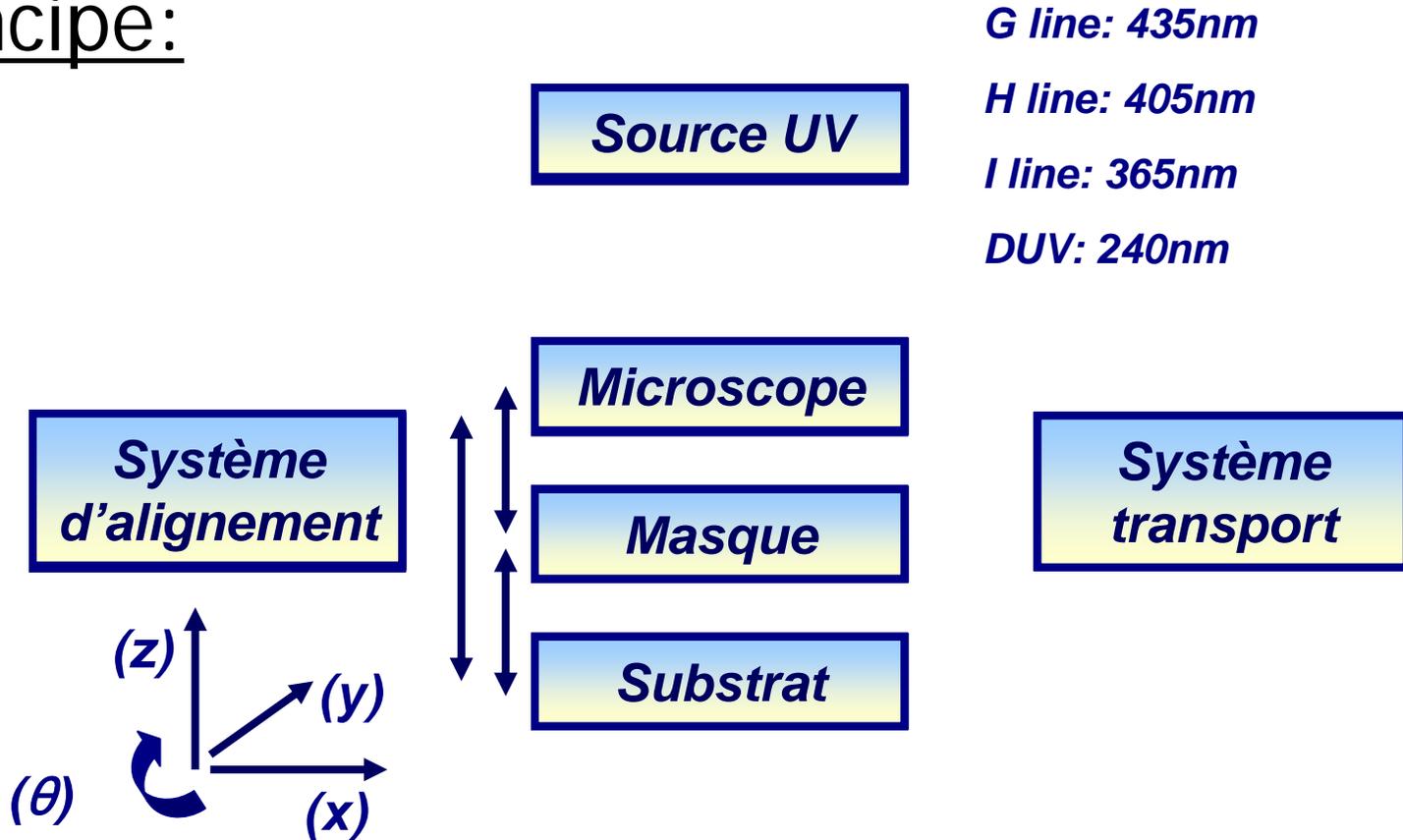
*formation procédés micro nanotechnologies 2008*

*Laurent MAZENQ*

# II) Aligneurs de masque:

26 mai 2008

## a) Principe:



**G line: 435nm**

**H line: 405nm**

**I line: 365nm**

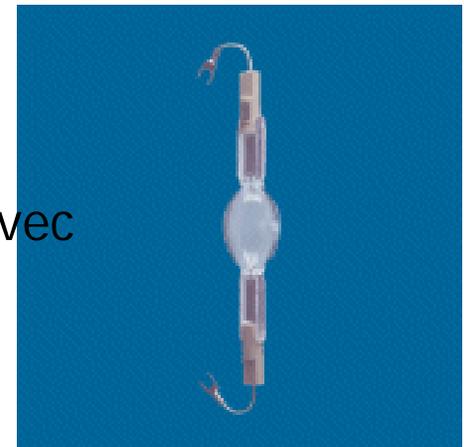
**DUV: 240nm**

## II) Aigneurs de masque:

26 mai 2008

### b) Sources UV:

- Lampe UV: lampe à vapeur de mercure:
  - Consigne de sécurité en cas d'explosion:
    - diffusion de Hg très toxique voire mortel!!!
    - Ne pas inhaler les vapeurs.
    - Sortir de la salle.
    - Prévenir un membre du service technique.
    - Décontamination du matériel et des locaux avec Mercurisord.



## II) Alineurs de masque:

26 mai 2008

### b) Sources UV:

➤ Lampe UV: lampe à vapeur de mercure:

• Fonctionnement:

- Lampe électrique composée de mercure solide et Argon ou Xenon.
- Applique un potentiel entre deux électrodes, on crée un arc électrique.
- Température et pression augmentent.
- Le mercure se vaporise en générant un arc haute pression.
- Lampe chaude: 900°C, 230 atm.
- Sous azote lors du fonctionnement.
- Lampe forte puissance (1000W), création O<sup>3</sup>: extraction nécessaire.
- Amorçage entraîne vieillissement (10h/allumage).
- Calibration mensuelle manuelle ou automatique de l'intensité lumineuse.

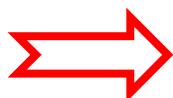
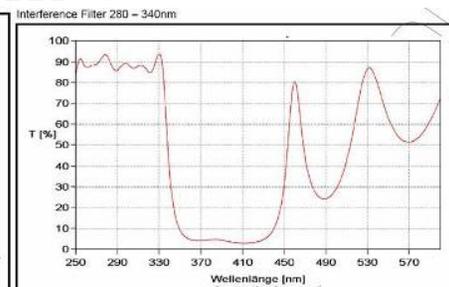
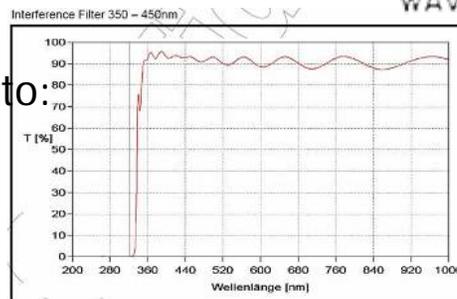
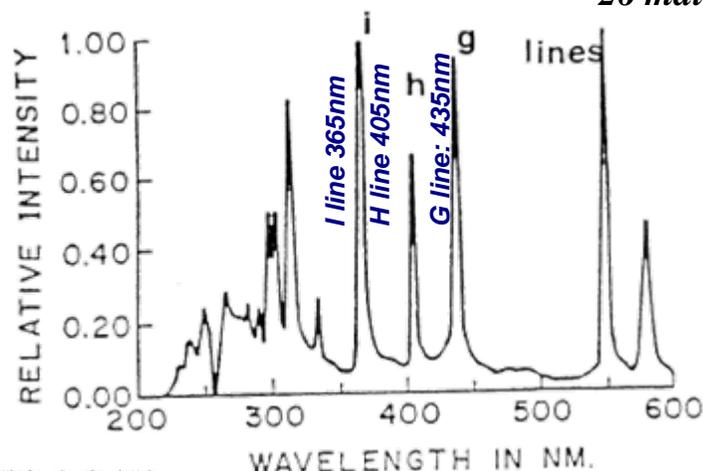


## II) Aligneurs de masque:

26 mai 2008

### b) Sources UV:

- Spectre d'une lampe Hg:
- Filtration  $\lambda$ :
  - Miroir froid filtre UV > 420nm.
  - Le borosilicate filtre UV < 350nm
  - Option: ajout filtres
    - 365nm ou 320nm sur MA6.
    - EVG 620 avec chargeur filtre auto:
      - » 350nm <  $\lambda$  < 420nm.
      - » 280nm <  $\lambda$  < 340nm.
  - Le reste du spectre passe!



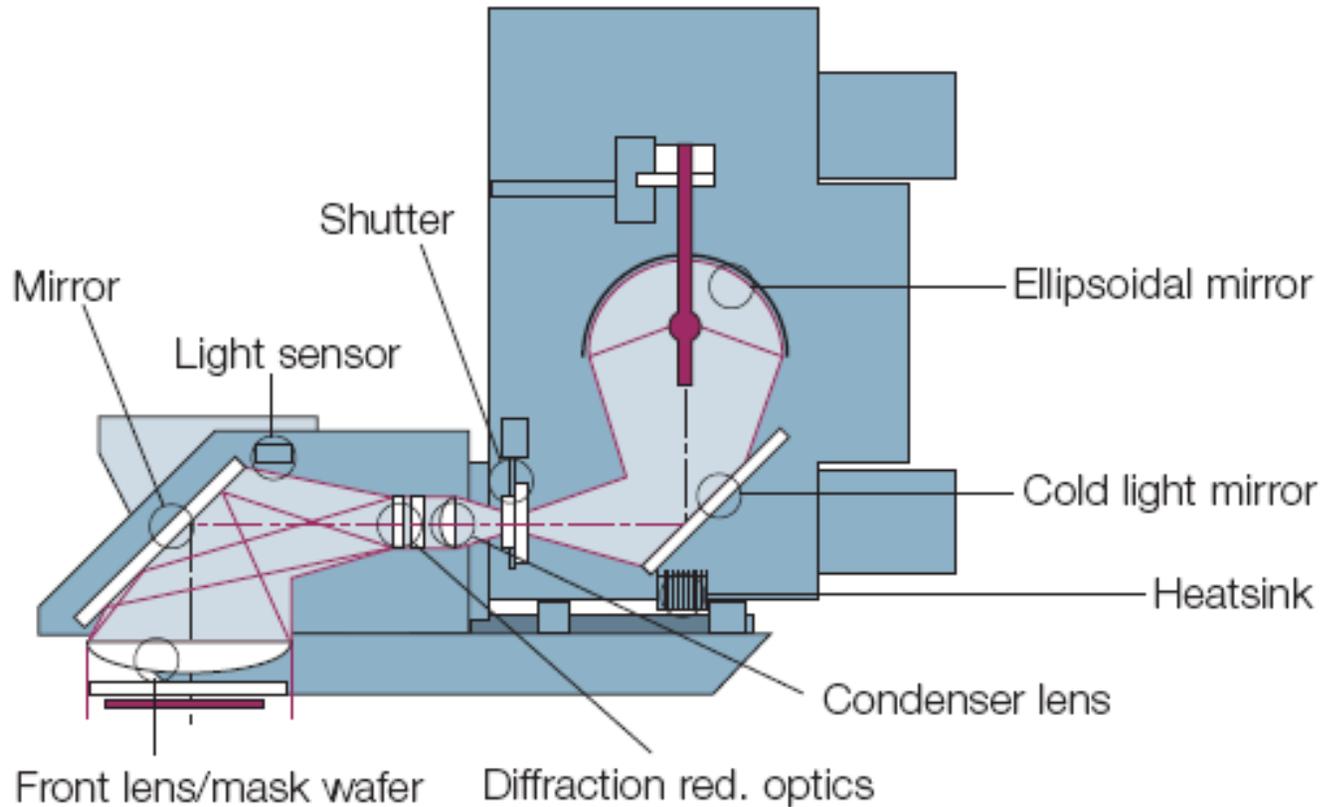
**Résines > 0 sensibles à 405nm**

**Résines < 0 sensibles à 365nm**

## II) Aligneurs de masque:

26 mai 2008

### ❖ Boîte à lumière:

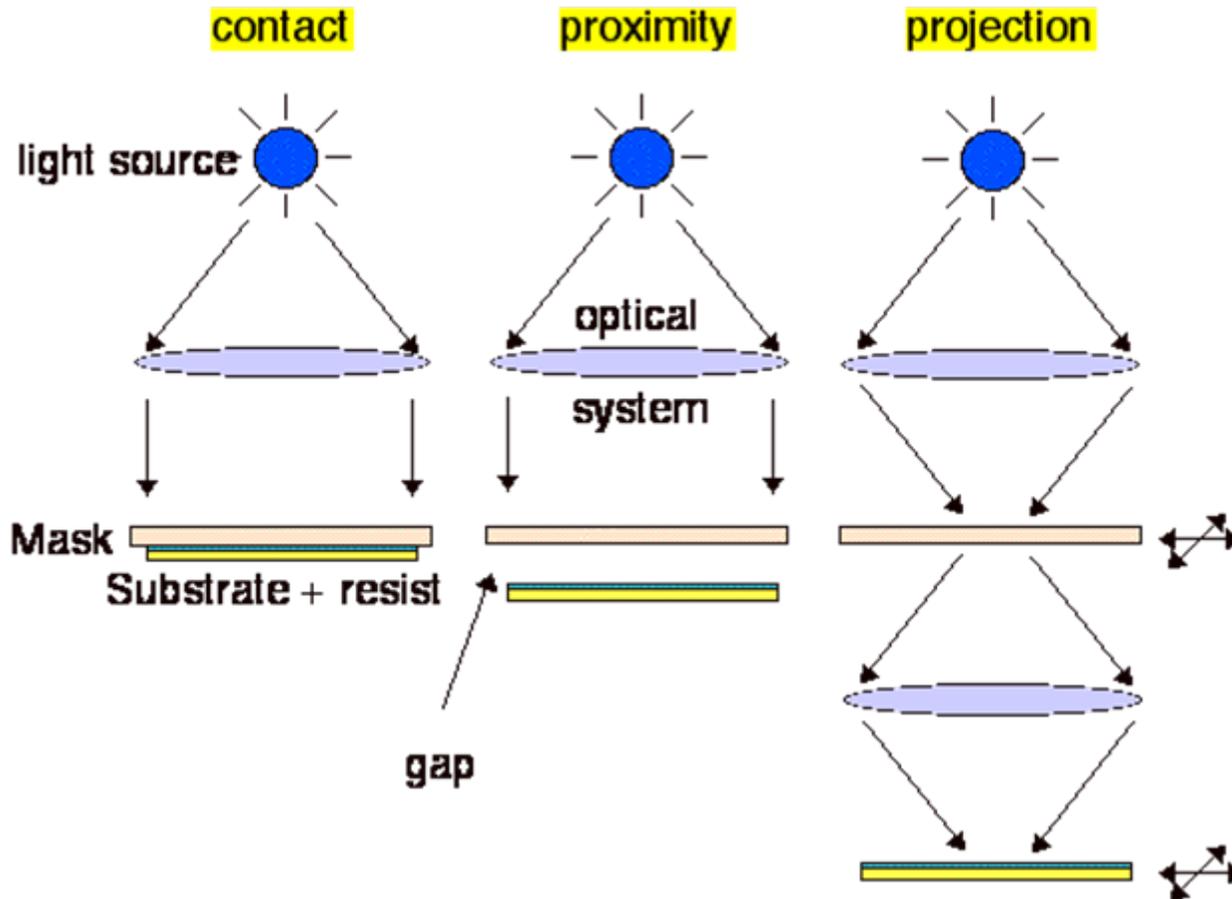


Optical system of the MA150e Mask Aligner

## II) Aligneurs de masque:

26 mai 2008

### c) Différents types équipements:



## II) Aligneurs de masque:

26 mai 2008

### c) Différents types équipements:

## Relation entre résolution\* et $\lambda$

*La résolution en photolithographie est la plus petite largeur de ligne obtenue dans un réseau périodique de lignes.*

**contact**

**proximity**

**projection**

Diffraction par les bords.....

Diffraction de Fraunhofer ...

$$W_{\min} = k (0.5\lambda s)^{1/2}$$

$$W_{\min} = k [\lambda (g+0.5s)]^{1/2}$$

$$W_{\min} = k_1 \frac{\lambda}{NA}$$

$$k = 3$$

$$k = 3$$

NA

*s épaisseur de la résine*

*g gap*

**Si  $\lambda \downarrow$  alors résolution  $\uparrow$**

# II) Aligneurs de masque:

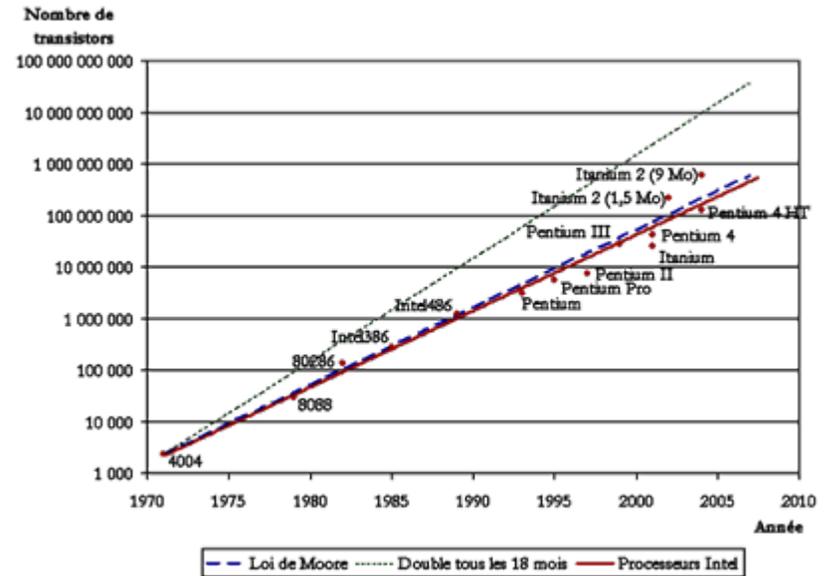
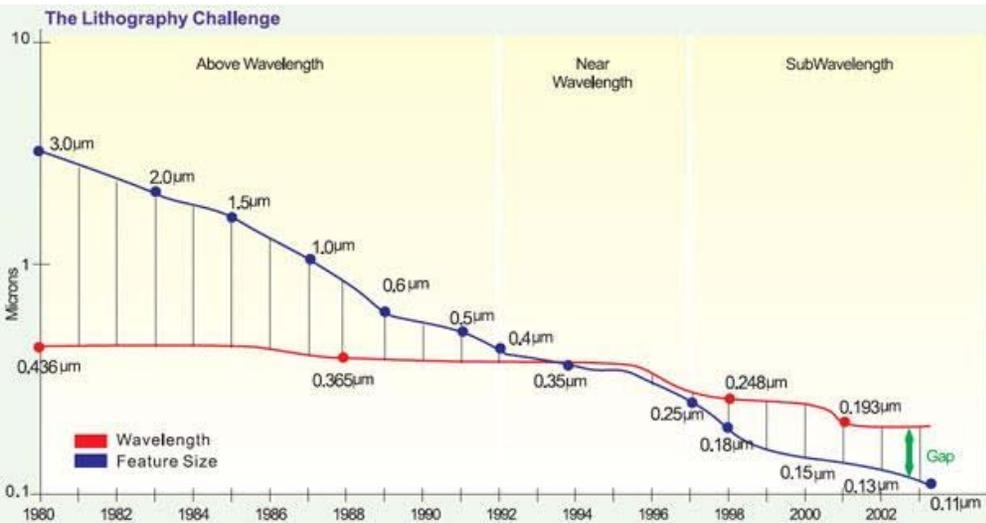
26 mai 2008

## Relation entre résolution et $\lambda$ :

➤ Diminution de  $\lambda$  dans le temps:

➤ Loi de Moore:

« densité de transistor x2 tous les 18 mois »



Si  $\lambda \searrow$  alors définition ↗

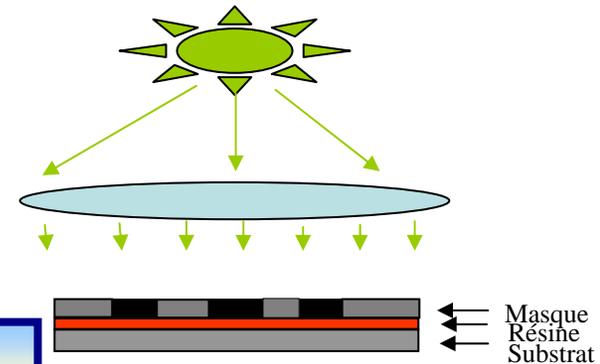
Actuellement: 45nm (lithographie par immersion NIKON)  
 Prévision 30nm (2010), 20nm (2012) 15nm (2014)

## II) Aligneurs de masque:

26 mai 2008

### ❖ Machines d'alignement par contact:

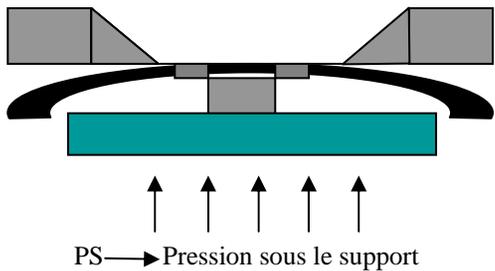
- Principe:
  - Contact direct entre le masque et la résine.
- Différents types de contact:
  - **Soft contact.**
  - Hard contact (1 à 4 Bars).
  - **Vacuum Contact (< -0.5Bar)**
- Avantages:
  - Facilité d'utilisation.
  - Système optique et mécanique simple.
  - Faible coût.
- Inconvénient:
  - Contact → défauts.
  - résolution limite 1µm.



résolution



défauts



## II) Aligneurs de masque:

26 mai 2008

### ❖ MJB3:

- Machines d'alignement par contact.
- Contact: Soft, Hard, Vacuum.
- Équipement manuel.
- Wafers  $1\text{mm}^2 \rightarrow 75\text{mm}$  (3").
- process:
  - TSA.
  - BSA IR (option)  $\pm 5\mu\text{m}$
  - Simple ou binoculaire, possibilité 4 obj.
  - Intensité lumineuse lampe 350W:
    - $17\text{mW}\cdot\text{cm}^{-2}$  à 365nm.
    - $35\text{mW}\cdot\text{cm}^{-2}$  à 405nm.
- Avantages:
  - Facilité d'utilisation.
  - Robustesse.
- Inconvénients:
  - Wafers 75mm max.
  - Manuelle.

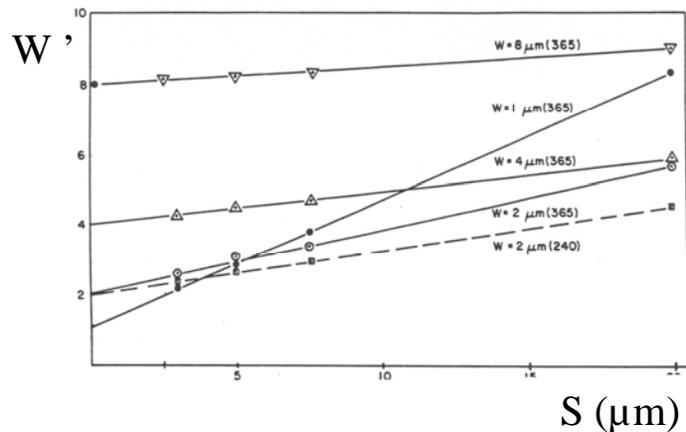
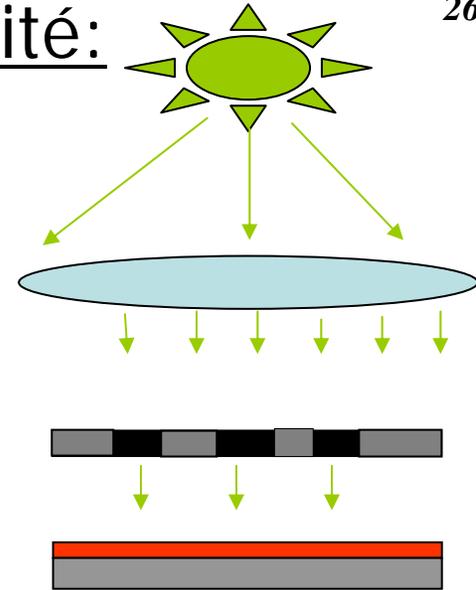


## II) Aigneurs de masque:

26 mai 2008

### ❖ Machines d'alignement par proximité:

- Principe:
  - Gap d'air entre masque et substrat.
- Avantages:
  - Pas de contact → pas de défaut.
- Inconvénient:
  - Mauvaise définition.
  - Détourage obligatoire.

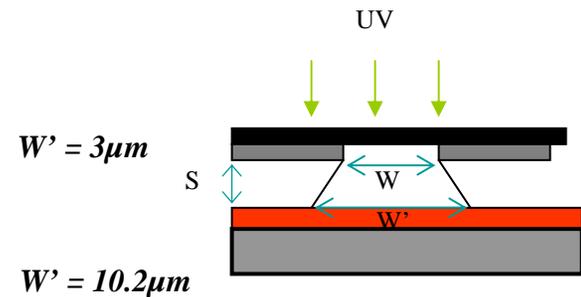


$$W' = W(1+F) / F$$

F= nombre de Fresnel  
 $F = W^2 / \lambda.S$

Ex1:  $W = 1\mu m$   
 $S = 5\mu m$   
 $\lambda = 365nm$

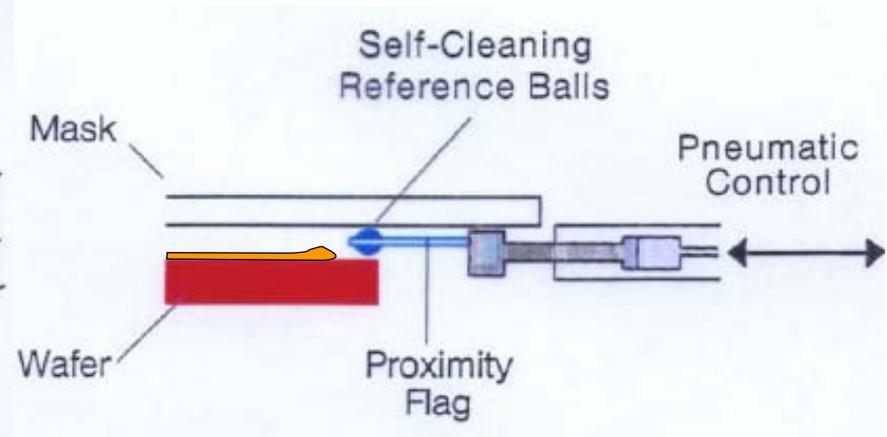
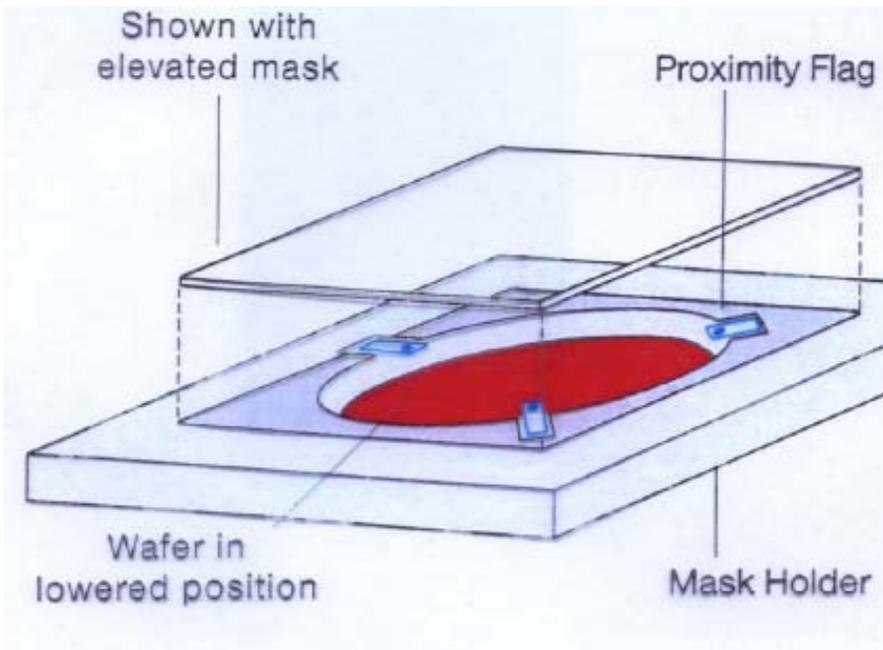
Ex2:  $W = 10\mu m$   
 $S = 5\mu m$   
 $\lambda = 365nm$



## II) Aligneurs de masque:

26 mai 2008

- ❖ Machines d'alignement par proximité:
  - Méthode d'alignement WEC:

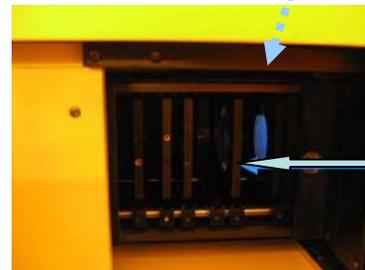
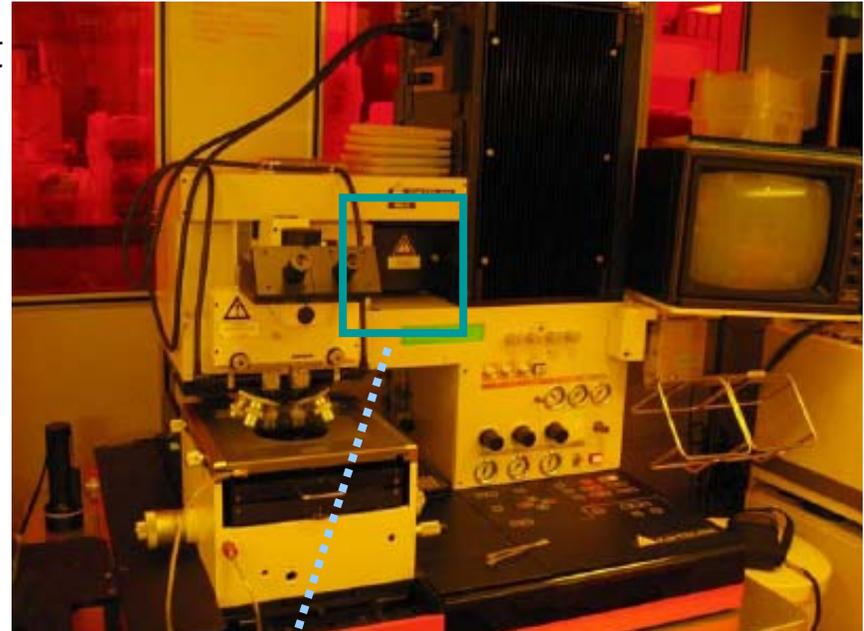


## II) Aligneurs de masque:

26 mai 2008

### ❖ Karl Suss MA6:

- Machine d'alignement par contact et proximité.
- Contact: Soft, hard, vacuum, LVC.
- Équipement manuel.
- 100mm, 4"
- Procédés:
  - TSA +/- 2 $\mu$ m.
  - BSA +/- 5 $\mu$ m.
  - Mise en place manuelle de filtres.
- Intensité lumineuse lampe 1000W:
  - 20mW.cm<sup>-2</sup> à 365nm.
  - 25mW.cm<sup>-2</sup> à 405nm.
- Avantages:
  - Simplicité d'utilisation.
- Inconvénients:
  - Manuelle.



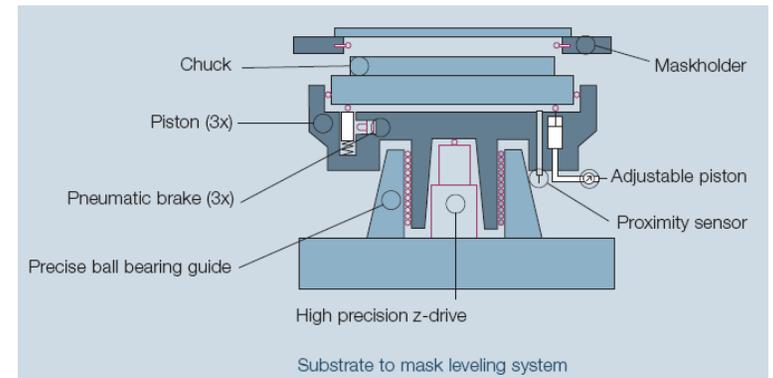
Mise en place des filtres  $\lambda$

## II) Aligneurs de masque:

26 mai 2008

### ❖ Karl Suss MA150:

- Équipement semi automatique.
- 100mm, 4".
- Procédés:
  - Pré alignement à +/- 50µm
  - TSA +/- 1µm.
  - BSA +/- 1.5µm.
- Intensité lumineuse lampe 350W:
  - 10mW.cm<sup>-2</sup> à 365nm.
  - 20mW.cm<sup>-2</sup> à 405nm.
- Avantages:
  - Rapidité d'exécution (120wph).
  - Optique.
  - Robustesse, fiabilité.
- Inconvénients:
  - Pas d'évolution machine.

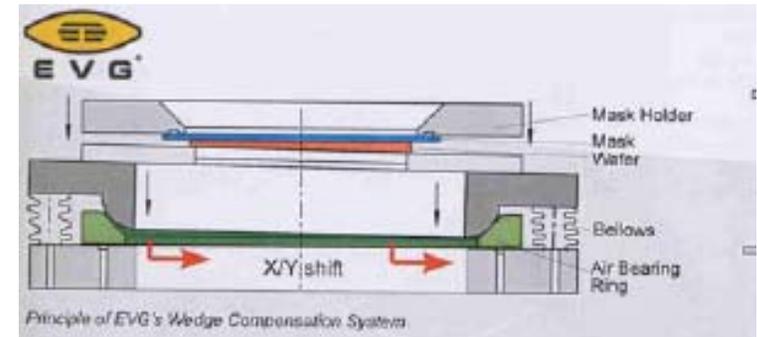
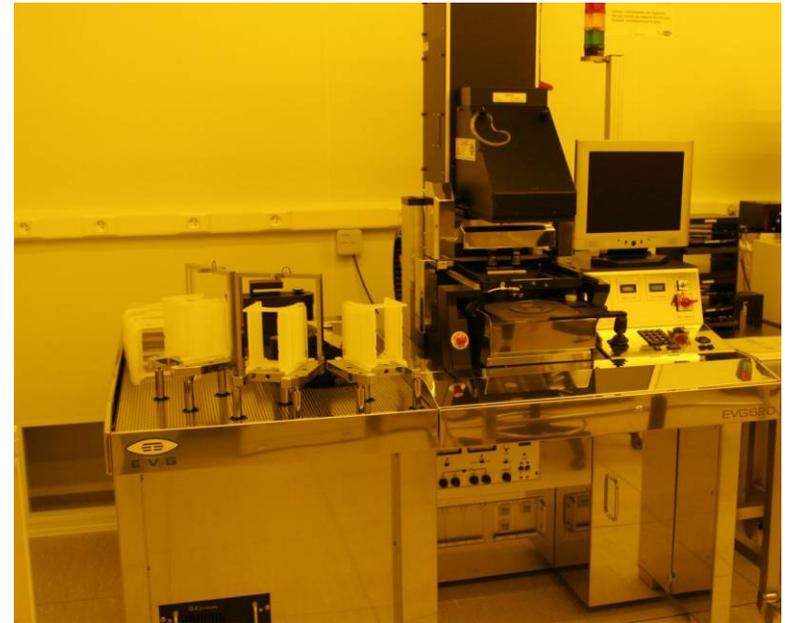


## II) Aligneurs de masque:

26 mai 2008

### ❖ EVG 620:

- Équipement automatique ou manuel.
- 1mm → 150mm (6").
- Alignement auto.
- Procédés:
  - Pré alignement +/- 50µm.
  - TSA +/- 2µm.
  - BSA +/- 5µm.
  - Sector exposure (pratique pour MAP).
  - WEC and Exposure pressure ajustables.
  - Soft lithography (MCP et NIL).
  - Alignement automatique.
- Intensité lumineuse lampe 1000W:
  - 30mW.cm<sup>-2</sup> à 365nm.
  - 65mW.cm<sup>-2</sup> à 405nm.
- Avantages:
  - Ajustement pression soft contact.
  - Chargement automatique des filtres.
  - Simplicité.
  - Souplesse.
- Inconvénients:
  - Vitesse d'alignement.



## II) Aligneurs de masque:

26 mai 2008

### ❖ Machines d'alignement par projection:

#### ➤ Principe:

Gap d'air entre masque et substrat de plusieurs centimètres.

Le flux lumineux passe au travers d'une lentille de projection.

#### ➤ Avantages:

- Pas de contact
  - pas de défaut sur la résine.
  - Pas de défaut sur le masque.
- Résolutions  $< 1\mu\text{m}$ .

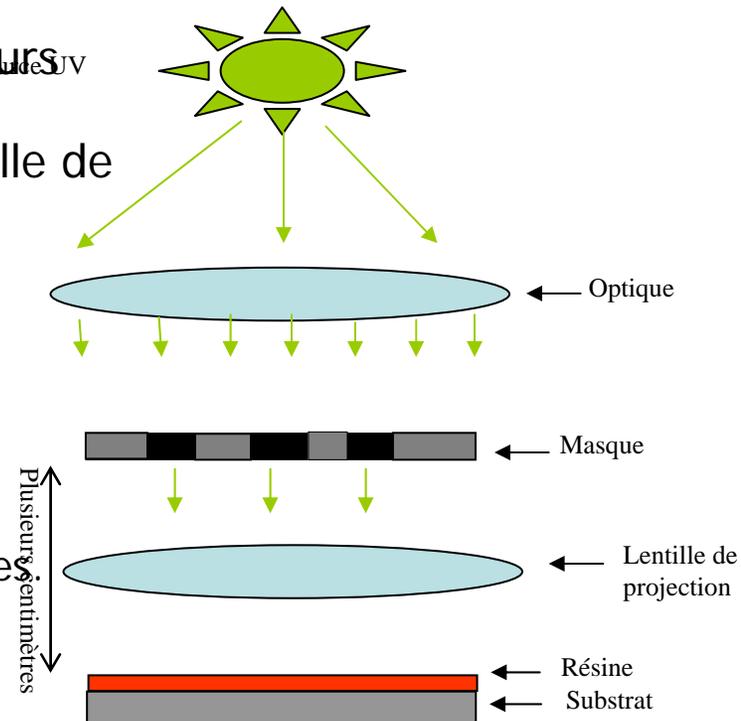
#### ➤ Inconvénients:

- Systèmes mécaniques et optiques très complexes.
- Prix:
  - Équipement 1M€ minimum.
  - Prix du masque.

#### ➤ Plusieurs technologies:

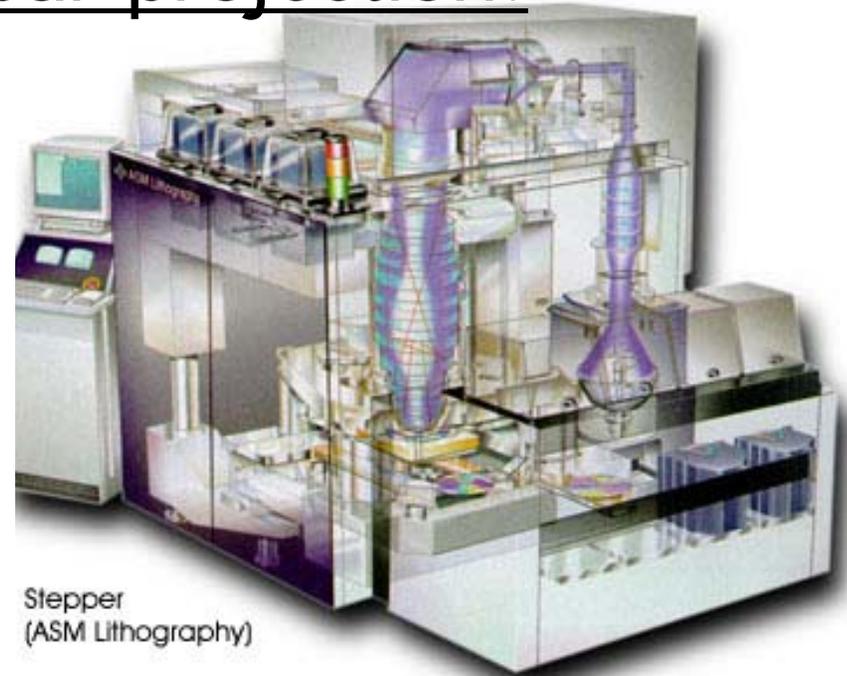
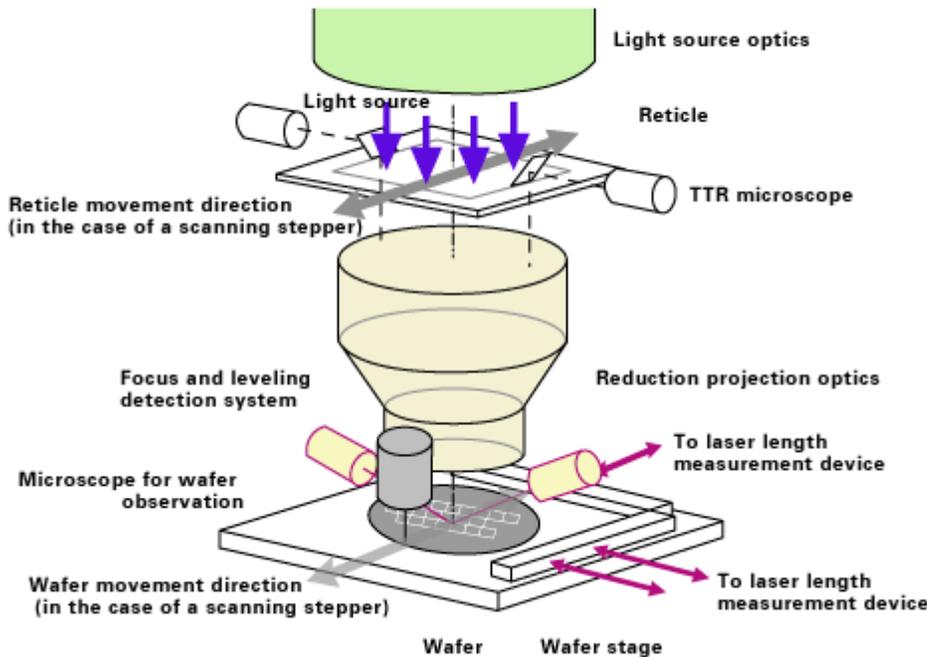
- Scanning projection photolithographie.
- Stepper projection photolithographie:
  - Sans réduction.
  - Avec réduction.

Une partie seulement du substrat est exposée; technique de balayage ou par répétition.



## II) Aligneurs de masque:

### ❖ Machines d'alignement par projection:



## II) Aligneurs de masque:

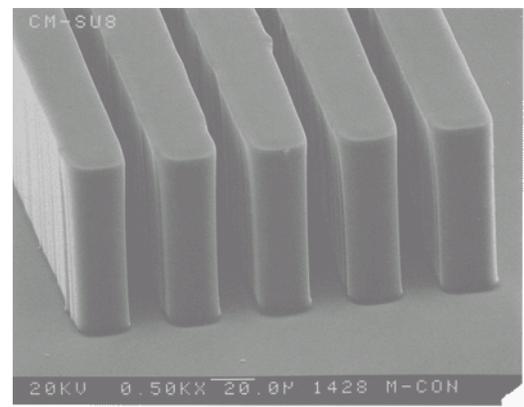
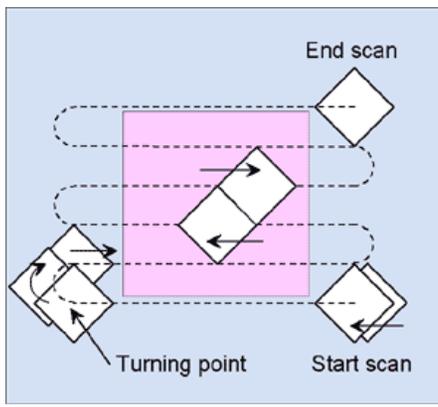
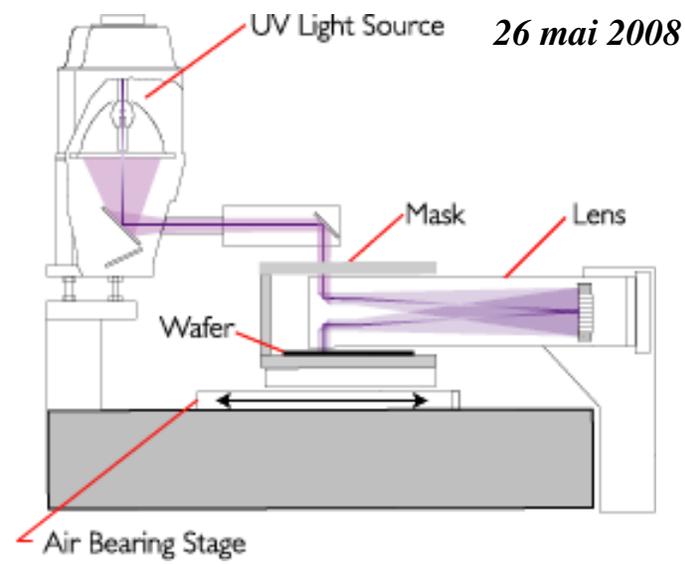


### ❖ Scanning projection lithography:

- Résolution > 1µm.
- Pas de réduction.

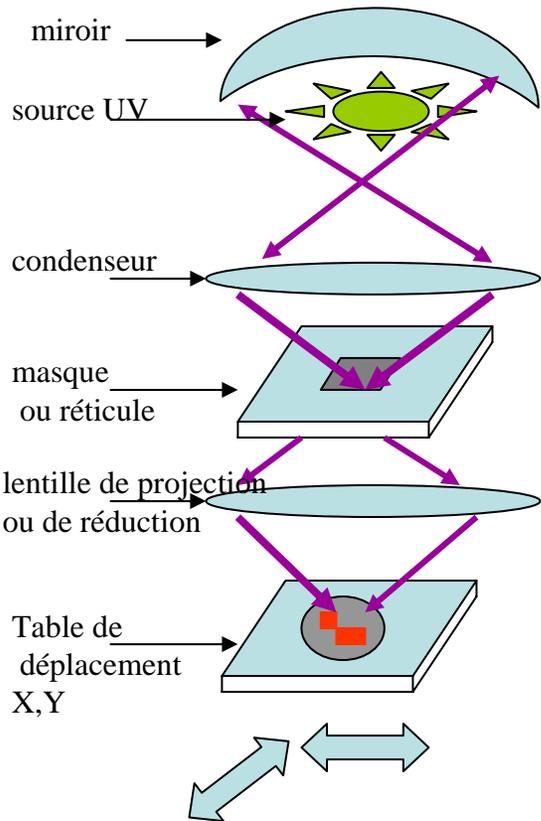
### ❖ Exemple fabricants:

- Tamsci (tamarack 350).
- Résolution 4µm



## II) Aligneurs de masque:

### ❖ Stepper Projection Lithography:



$$W_{\min} = k_1 \frac{\lambda}{NA}$$

$$NA = \sin Aob,$$

$$R = K_1 \gamma / NA$$

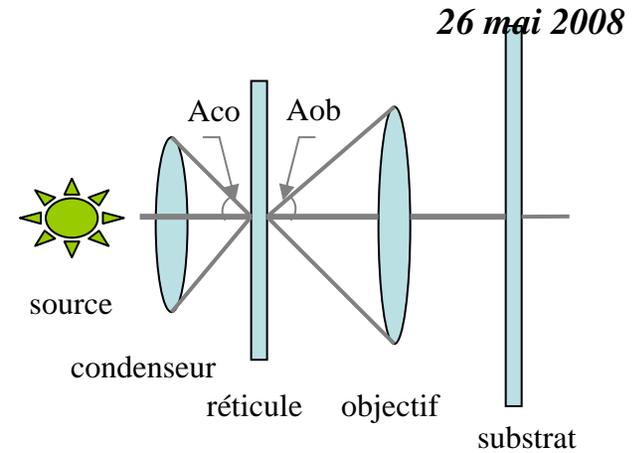
$$PC = \gamma / (NA)^2$$

R: critère de Raleigh  
(capacité de séparation de la lentille)

PC: dépend de ON

$K_1$ : change avec les résines ( $0.5 < < 0.8$ )

NA variable dans les nouvelles machines  
ajustement cohérence et PC



Ex: source laser ArF (193nm)  
ON = 0.6 PC = 0.54μm  $K_1=0.5$   
**W = 0.17μm**

Source Hg  $\lambda=436\mu\text{m}$   
ON=0.8 PC=3μm  $K_1=0.8$   
**W=0.97μm**

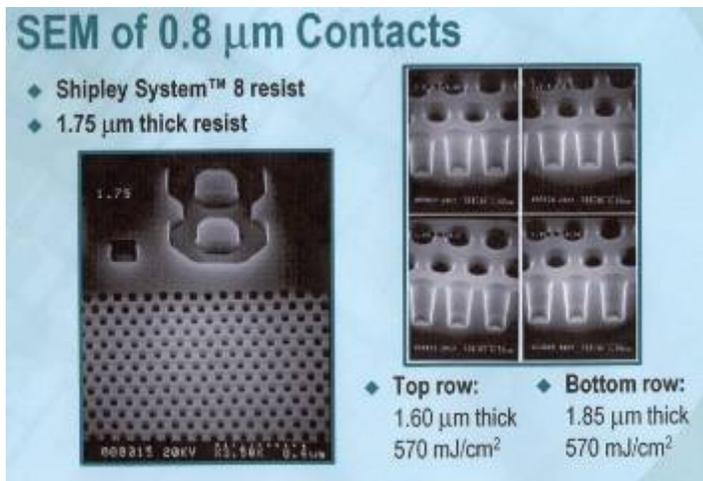
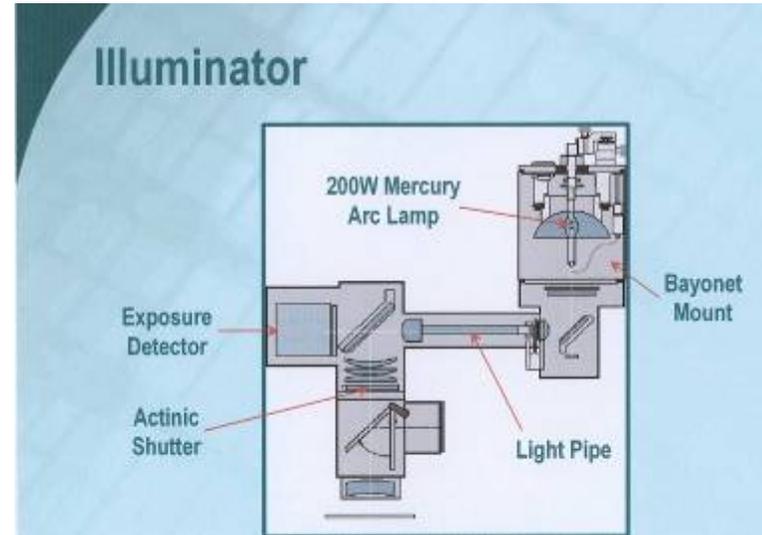
## II) Aligneurs de masque:

### ❖ Stepper sans réduction:

- Transfert Masque wafer 1:1.
- Résolution environ  $0.8\mu\text{m}$ .

### ❖ Exemple fabricants:

- Ultratech star 100
- Résolution  $0.8\mu\text{m}$



## II) Aligneurs de masque:

### ❖ Stepper avec réduction:

- Transfert Masque / wafer 5:1.
- Résolution environ 500nm.

### ❖ Exemple fabricants:

- Nikon NSR 120 i11

### Description:

22 mars 2008

5:1 reduction stepper  
15 X 15 mm exposure field

G-line (360 nm)

alignment accuracy = 0.18-0.25 $\mu$ m

5" masks

**0.5 $\mu$ m resolution**



## II) Aligneurs de masque:

22 mars 2008

- ❖ Stepper avec réduction:
  - Transfert Masque / wafer 5:1 ou 10/1
  - Résolution environ 350nm.
- ❖ Exemple fabricants:
  - Canon FPA 3000i5



### Semiconductor Specifications

Model type:	i-Line (365nm) Stepper
Wafer size:	200mm; 150mm
Resolution:	≤0.35μm
Numerical Aperture (NA):	0.45 ~ 0.63
Reticle size:	6in. (0.25in. thick); optional 5in.
Reduction ratio:	5:1
Field size:	22mm × 22mm
Overlay accuracy:	≤ 40nm (M+3σ)
Throughput:	≥100wph (200mm); ≥120wph (150mm)

## II) Aligneurs de masque:

22 mars 2008

- ❖ Stepper avec réduction:
  - Transfert Masque / wafer 4:1 ou 5:1.
  - Résolution environ 220nm.
- ❖ Exemple fabricants:
  - ASML PAS 5500-500

System specification	
Parameter	PAS 5500/500
NA	0.40 - 0.63
Partial Coherence:	
Conventional	0.35-0.8
Annular	$0.5 < \sigma_{out} < 0.85$ $0.2 < \sigma_{in} < 0.55$
Resolution	0.22 $\mu$ m
CD Uniformity:	@0.22 $\mu$ m
Dense Best Focus	25 nm
Isolated Best Focus	25 nm
Single Machine Overlay	45 nm
Matched Overlay	65 nm
Intensity:	
Conventional (mW/cm <sup>2</sup> )	600
Annular (mW/cm <sup>2</sup> )	600
Throughput (200mm wph)	>96 (@30m)/cm <sup>2</sup>



## II) Aligneurs de masque:

### ❖ Comparaison des réductions:

26 mai 2008

- 10X
  - masques plus facile à réaliser (moins de défauts)
  - profondeur de champ plus faible ( $0.5 < NA < 0.7$ )
  - dimension de l'image plus faible (10mmx10mm)
  
- X5
  - grande résolution
  - dimension d'image (20mmx20mm)
  - profondeur de champ plus élevée
  
- Coûts
  - très élevé
  
- Environnement
  - très strict: T° 1/10 degré + hygrométrie
  - classe 100 ou 10
  - pas de vibration

*formation procédés micro nanotechnologies - Mai 2008 - Laurent MAZENQ*

## II) Machines d'alignement:

26 mai 2008

### d) Fonctionnement d'un alignement:

- 1) Chargement du wafer.
- 2) Pré alignement:
  - Reconnaissance méplat.
- 3) Transport sur Chuck.
- 4) Wedge Error Compensation:
  - Élévation du chuck (Z).
  - Contact masque-wafer pour planéité.
  - Descente du wafer distance séparation pour alignement.
- 5) Alignement du masque.
- 6) Alignement du wafer / masque.
- 7) Vérification par contact (monté du chuck).
- 8) Insolation.
- 9) purge (facultatif).
- 10) transport vers cassette déchargement.

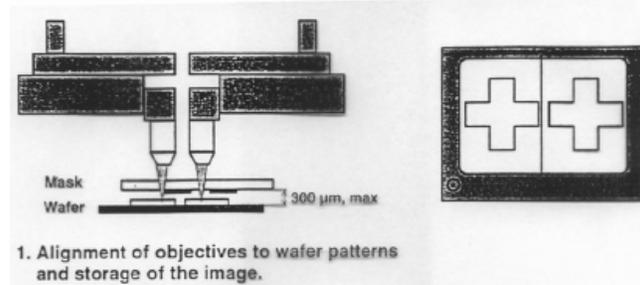
## II) Machines d'alignement:

26 mai 2008

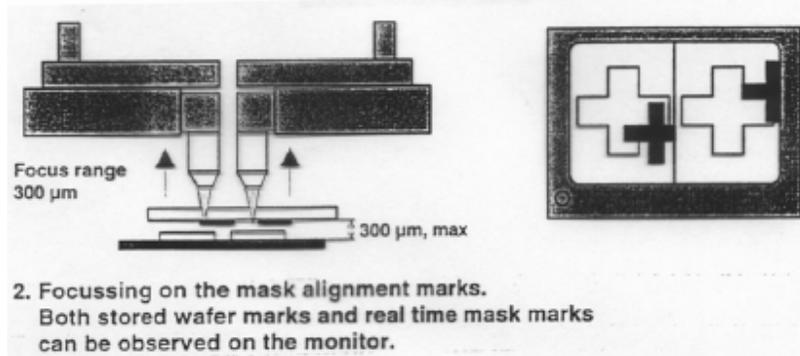
### d) Fonctionnement d'un alignement:

#### ➤ Top Side Alignment (T.S.A.):

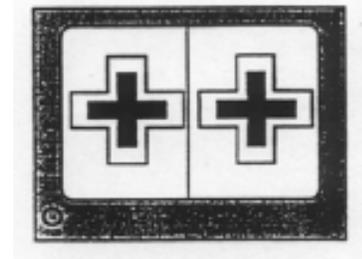
- Positionnement des mires du masque:



- Alignement des mires du wafer / mires du masque:



➔  
Après alignement



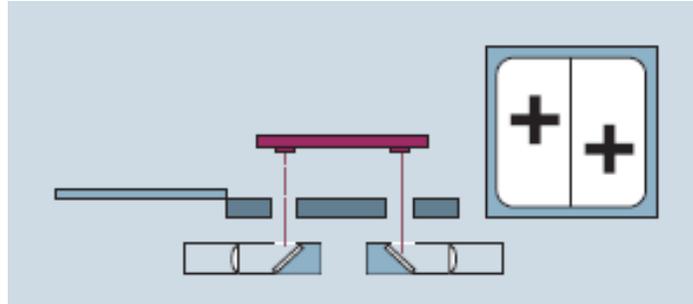
## II) Machines d'alignement:

26 mai 2008

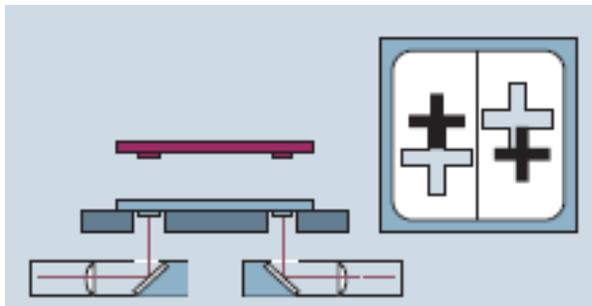
### d) Fonctionnement d'un alignement:

➤ Back Side Alignment (B.S.A.):

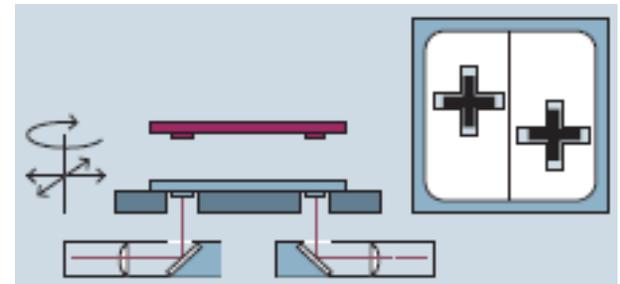
- Positionnement des mires du masque:



- Alignement des mires du wafer / mires du masque:



Après alignement



## II) Machines d'alignement:

26 mai 2008

### d) Fonctionnement d'un alignement:

➤ Mires d'alignement stepper:

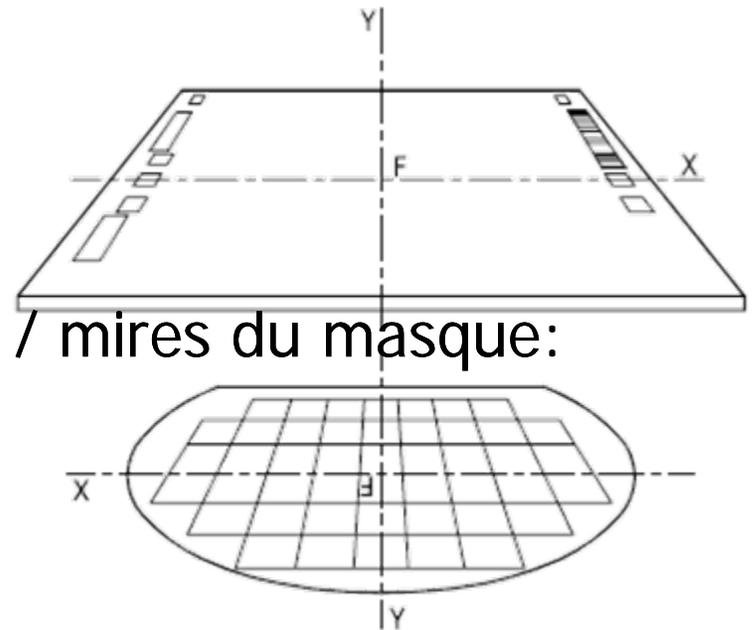
Réticule 11cm → motif 2.2cm

• Alignement du réticule:

- autofocus.
- Pré alignement.
- Auto alignement.

• Alignement des mires du wafer / mires du masque:

- Autofocus.
- Auto alignement.



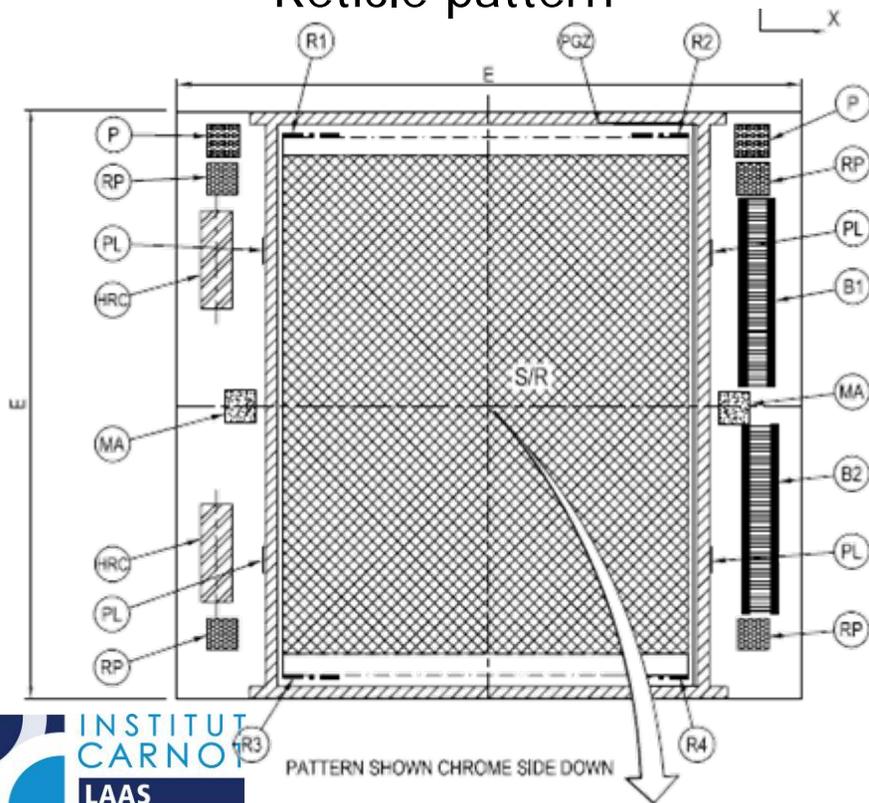
# II) Machines d'alignement:

## d) Fonctionnement d'un alignement:

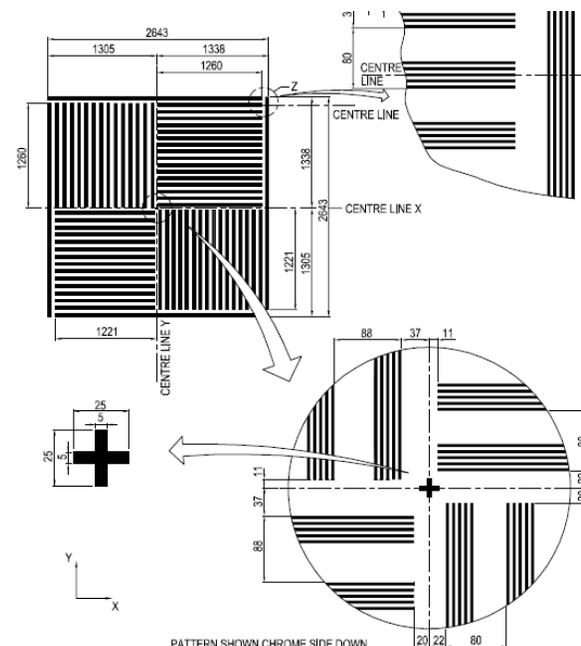
➤ Mires d'alignement stepper:

- B1: BARCODE AREA
- B2: BARCODE AREA 24 CHARACTER BARCODE (OPTIONAL)
- E: EDGE LENGTH = 152,4mm (6")
- HRC: HUMAN READABLE CODE
- I: IMAGE FIELD
- MA: RETICLE ALIGNMENT MARK ( 5500 MODELS ONLY )
- P: RETICLE PRE-ALIGNMENT MARK
- PL: PELLICLE POSITION LINE
- R: CENTRE OF RETICLE LAY-OUT
- RP: RELEASE PIN AREA
- S: CENTRE OF SUBSTRATE
- PGZ: PELLICLE GLUE ZONE
- T: TIS MARKER (VARIABLE IN Y)
- R1: TIS MARKER
- R2: TIS MARKER
- R3: TIS MARKER
- R4: TIS MARKER

Reticle pattern



Wafer alignment Marks



### III) Autres équipements:

26 mai 2008

#### ❖ a) Préparation et nettoyage substrats:

Les wafers doivent être propres et déshydratés.

- Voie humide (chimique):
  - Acétone (Trichloréthylène Acétone Eau).
  - AZ100 Remover.
  - RT2.
  - Piranha ( $H_2O_2$ - $H_2SO_4$ )
- Puis Déshydratation:
  - 20min en étuve à 200°C

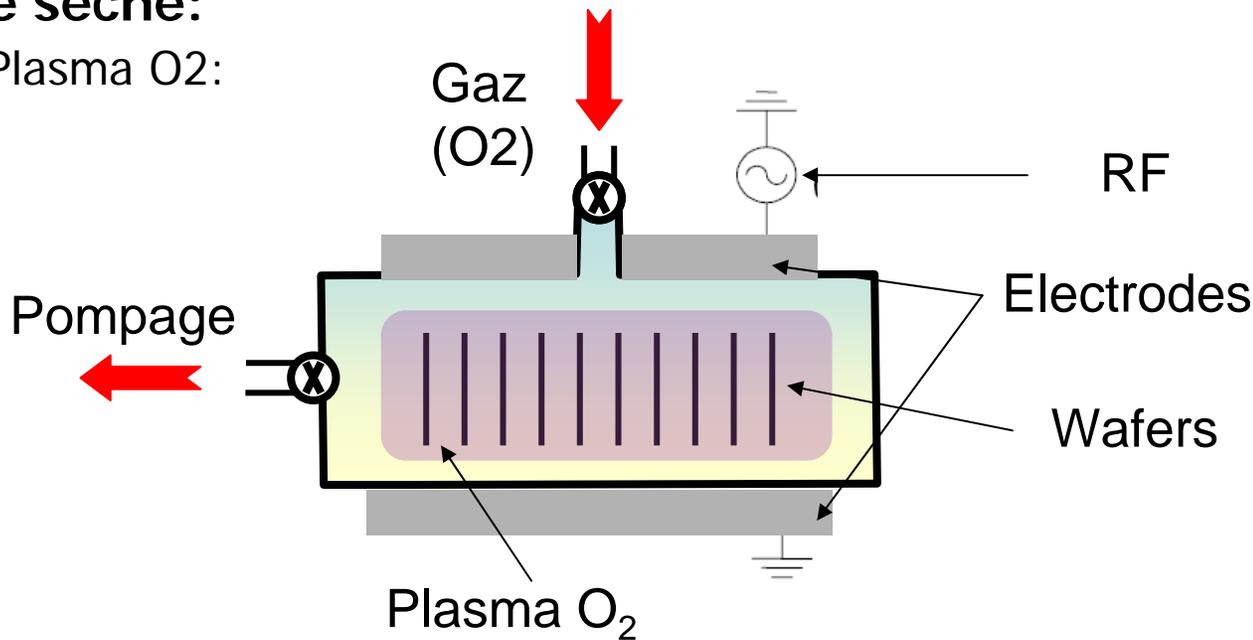
# III) Autres équipements:

26 mai 2008

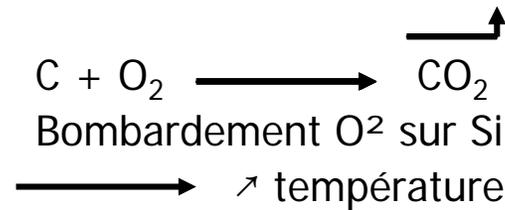
## ❖ a) Préparation et nettoyage substrats:

### ➤ Voie sèche:

- Plasma O<sub>2</sub>:



- Phénomène chimique:
- Phénomène physique:



### III) Autres équipements:

26 mai 2008

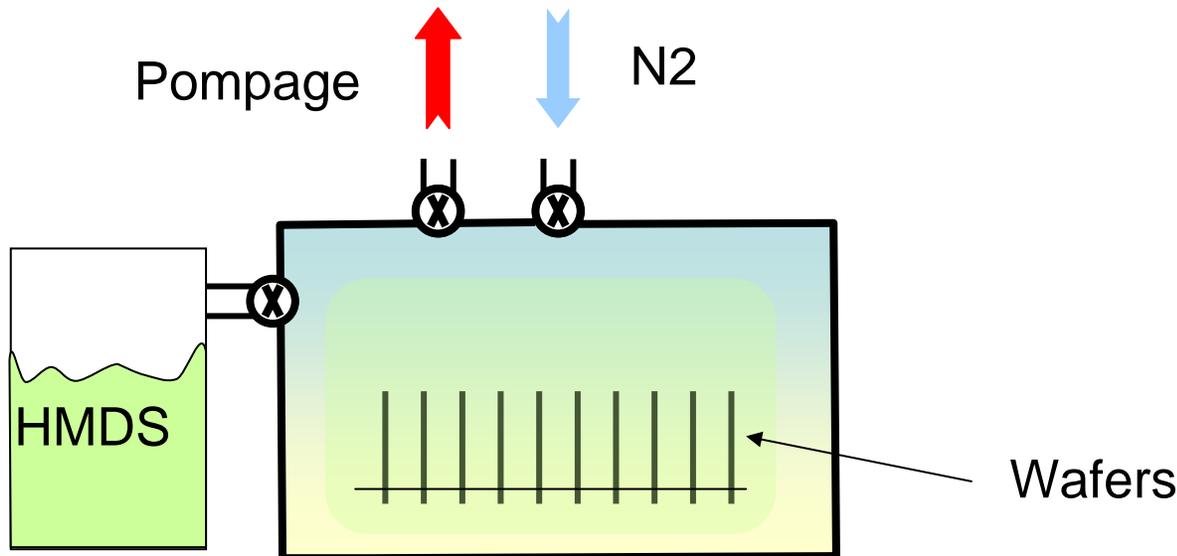
#### ❖ a) Préparation et nettoyage substrats:

##### ➤ **Promoteur d'adhésion: étuve HMDS:**

- HexaMéthylDiSilazane (voir cours procédés):

- Peut se déposer par spin coating.
- En étuve par Vapor Prime Deposition:

(↗ sécurité opérateur + traitement en collectif: ↗ temps)

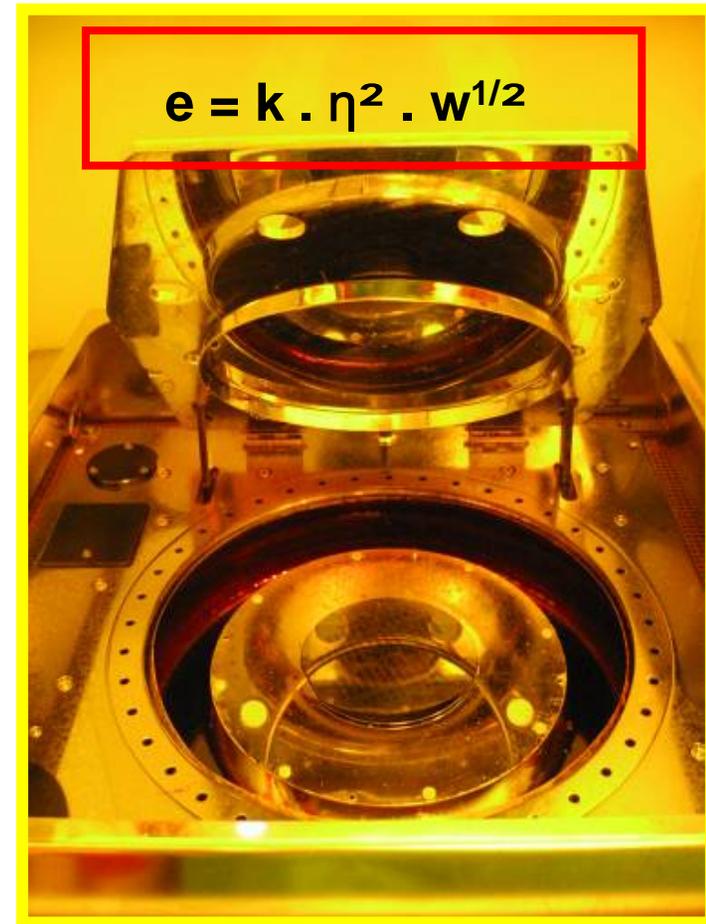


### III) Autres équipements:

26 mai 2008

#### ❖ b) Dépôt de résine:

- Par spin coating (tournette):
  - capot fermé pour:
    - solgel
    - résines épaisses
    - BCB
  - capot ouvert pour tout type de résine.
- Par dip coating (trempage).
- Par spray (en test au LAAS).



# III) Autres équipements:

## Pistes automatiques EVG 120:

### Caractéristiques

- wafers 3' à 6'.
- Plusieurs process en parallèle.
- Dépôts AZ 1529, et SU8 3050.
- Dépôts autres résines > 5pl (syst. seringues)
- Recuit tout types de résines.
- Possibilité recuits avec rampes en températures  $\pm 2^\circ\text{C}$  (SU8).
- Développement toutes résines.



module de développement



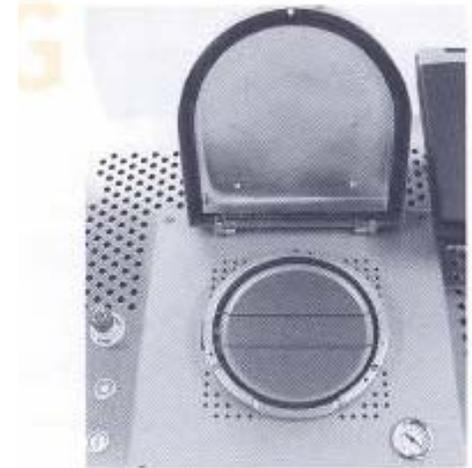
module de plaques chauffantes

### III) Autres équipements:

19 mai 2008

#### ❖ b) Cuisson:

- Sur plaques chauffantes classiques.
- Sur plaques chauffantes Suss Delta 6:
  - Réservées process SU8
  - Programmables, rampes en température.
  - Proximité programmable.
- En étuve:
  - ↗ temps de recuit.
  - Mauvaise homogénéité.
  - Phénomène de peau.



THE DELTA 150 X BM HOT- / COOLPLATE MODULE

- Wafers up to 6"
- Substrates up to 4"x4"
- Bench mounted module
- Lifting pins
- Programmable proximity
- Temperature ramps programmable
- Programmable process parameters
- Advanced uniformity
- Temperature from ambient up to 200°C
- CDA-cooled
- For controlled softbake and hardbake



## IV) Zone photolithographie du LAAS:

26 mai 2008

### ❖ Fonctionnement zone photolithographie au LAAS:

#### ➤ Présentation de la zone:

- 3 personnes: V. CONEDERA (Resp. zone),  
F. MESNILGRETE et L. MAZENQ.
- Surface: 115m<sup>2</sup> dont 90m<sup>2</sup> classe 100, iso 5.
- Salle avec température, humidité, empoussièrement et lumière contrôlés indépendamment.
- 2 parties, 32 équipements.
- Zone en libre service (formation nécessaire sur machines d'alignement et pistes EVG 120).
- Chaque opérateur doit signer la charte.

## IV) Zone photolithographie du LAAS:

26 mai 2008

### ❖ Fonctionnement zone photolithographie au LAAS:

#### ➤ Consignes générales:

- **INTERDICTION DE TRAVAILLER SEUL EN SALLE BLANCHE.**
- **HORAIRES DE FONCTIONNEMENT : 8H30 – 16H45**
- L'ouverture et arrêt zone fait par TEAM.
- Inscription sur les plannings.
- Port de lunettes obligatoire dans la partie manuelle.
- **Lire les notices d'utilisation des appareils**, ne pas modifier les procédés.
- Avertir un membre de la zone en cas de mauvais fonctionnement d'un procédé ou d'un équipement.
- **Inscription obligatoire de toute photolithographie effectuée sur la fiche de procédé.**