



# **ENVIRONNEMENT ET EQUIPEMENTS EN PHOTOLITHOGRAPHIE**

V.Conédéra



# PLAN

## I - ENVIRONNEMENT ET CONTAMINATIONS

- Sources et nature
- Environnement
  - Particules
  - Liquides
  - Humidité et température
  - gaz
- Règles (environnement de travail)

## II - LES ALIGNEURS DE MASQUES

- Principe
- Sources UV
- Lithographie par contact (MJB3)
- Lithographie par contact/vidé/proximité (MA150, MA6, EVG 620)
- Lithographie par projection

## III – DEPOTS ET DEVELOPPEMENT DE RESINE

- Tournette manuelle
- Pistes AIO
- Pistes EVG
- Plaque chauffante (SU8)
- Etuve HMDS

# I - Les contaminations

**sources**

l'environnement (salle blanche, machines et personnel)

fluides utilisés (eau désionisée, produits chimiques et résines)

**nature des contaminants**

poussières, gels solides contenus dans les résines...

moléculaires (hydrocarbures, eau...)

ioniques (métaux..)

**Les contaminations ont une influence sur la lithographie en provoquant des masquages ou une mauvaise adhérence de la résine**

# Les contaminations dues à l'environnement

- **contaminations particulières** dues à la qualité de la salle blanche et de la contamination apportée par les machines et les opérateurs
- Qualité de la salle blanche → nombre et taille des particules

**Norme ISO 14644-1 → détermine la qualité d'une salle blanche**

## Mesure de la propreté par:

- le nombre de particules présentes,
- la taille des particules.

en ISO 5 (**classe 100**), il y a, par m<sup>3</sup> d'air, moins de :

- 100 000 particules de taille égale à 0,4 µm,
- 23700 particules égales ou supérieures à 0,2 µm,
- 10200 particules inférieures ou égales à 0,3 µm,
- 30520 particules inférieures ou égales à 0,5 µm,
- 832 particules inférieures ou égales à 1 µm,
- 29 particules inférieures ou égales à 5 µm.

## Les lampes à vapeur

- travaillent en régime d 'arc
- le gaz ionisé: Hg ou Hg+Xe (spectre s d 'émission différents)
- à température ambiante, la pression intérieure = pression atmosphérique
- en régime de fonctionnement,  $P = 230 \text{ atm}$  et  $T = 930^\circ\text{C}$
- puissance de 200W à 2 KW (au LAAS, 350W et 1 KW)
- durée de vie limitée accentuée par le nombre d 'amorçages
- refroidissement nécessaire car: -déplacement des raies du spectre  
→ - variation des dimensions du masque et de l 'optique
- aux UV profonds:  $\nearrow \text{O}_3$  → ventilation extérieure
- temps d 'insolation longs: élévation de la température 20mn →  $+5^\circ\text{C}$

Matériau	Coefficient de dilatation linéaire par $^\circ\text{C}$	Variation de température $0.25\mu\text{m}$ pour 3.8 cm
Borosilicate	$7.1 \cdot 10^{-6}$	$0.95^\circ\text{C}$
Silice fondue	$0.55 \cdot 10^{-6}$	$12.1^\circ\text{C}$
Silicium	$2.33 \cdot 10^{-6}$	$2.8^\circ\text{C}$

# Les contaminations dues à l'environnement

## → Contaminations par les liquides

- Contaminants organiques
  - air ambiant
  - traitements chimiques

**Les solutions de décontamination efficaces sont des solutions de mélanges d'oxydants ( $H_2SO_4/H_2O_2$ ) ou des plasmas d'Oxygène**

- l'humidité: les résines (DQN) adhèrent très mal sur une surface saturée en eau

**On fait subir au substrat une déshydratation ( $T^{\circ}C + temps$ ) suivie d'un traitement HMDS ( hexaméthylsilazane) qui est un promoteur d'adhérence.**

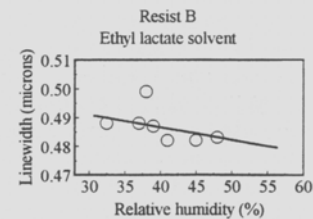
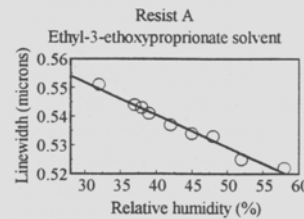
# Les contaminations dues à l'environnement

En fonction du % d 'humidité, les dimensions d 'un motif peuvent changer.

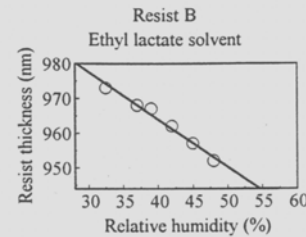
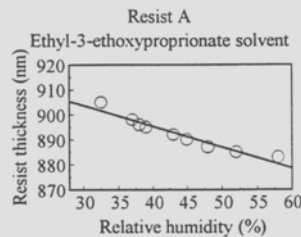
→ **%RH=45%**

- la température: influe sur la cinétique de réticulation ou de photolyse

→ **18°C < T < 20°C**



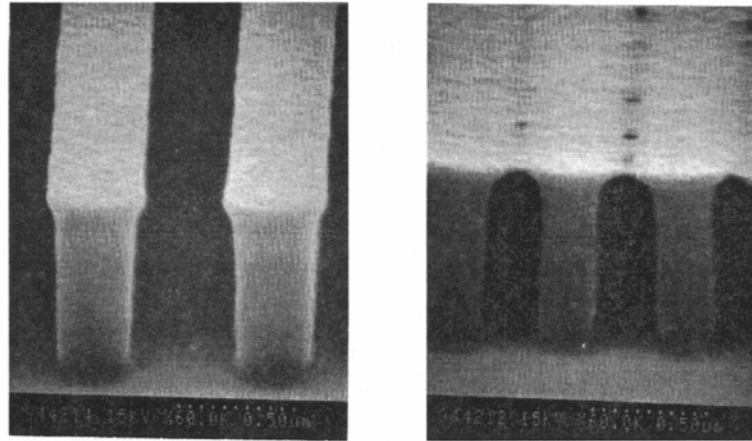
Changes in linewidth found as a function of humidity. The change in linewidth is 1.1 nm per 1% humidity for Resist A and 0.4 nm per 1% humidity for Resist B.



Resist thickness as a function of humidity. The thickness of Resist A changes by 0.8 nm per 1% of humidity, and the thickness of Resist B changes 1.1 nm for every 1% change in relative humidity.

# Les contaminations dues à l'environnement

- Contamination par des gaz (amines)



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

- Les particules solides: les liquides de chimie de traitement et les résines de mauvaise qualité peuvent contenir jusqu'à 100 000 particules/litre de solution. L'eau désionisée peut également contenir des particules inertes ou des bactéries.

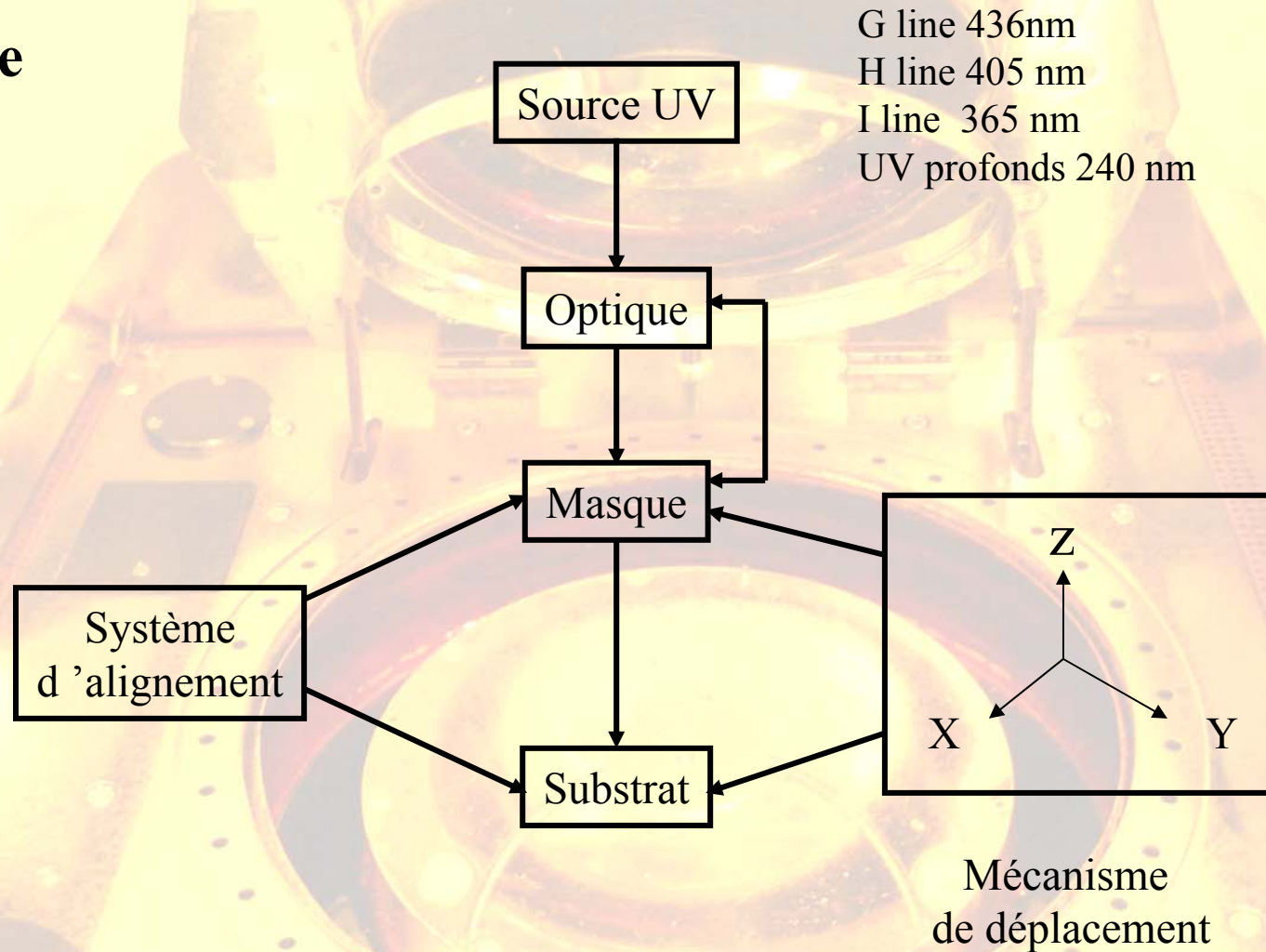


# Règles de travail

- Tous les équipements doivent être sous un environnement classe 100 minimum
- Les machines à insoler doivent être placées sous flux laminaire
- Les pistes d'enduction de résines ou les tournettes sont sous flux laminaire et sous extraction ( sécurité: les solvants évaporés sont repris par une extraction )
- Les opérateurs:
  - tenue de salle blanche et port de gants
  - manipulation conforme à la sécurité et aux règles de la salle blanche
  - nombre limité: max 5 à 6 personnes en salle de photolithographie
  - ouverture des flacons de résine sous flux laminaire et sous extraction en essuyant les goulots.
  - respect des codes de couleur de la verrerie et rangement du matériel
  - pas de stockage intempestif sous le flux laminaire
  - ne pas boucher les grilles d'extraction
  - ne pas manipuler en bordure de paillasse

## II - LES ALIGNEURS DE MASQUES

### Principe



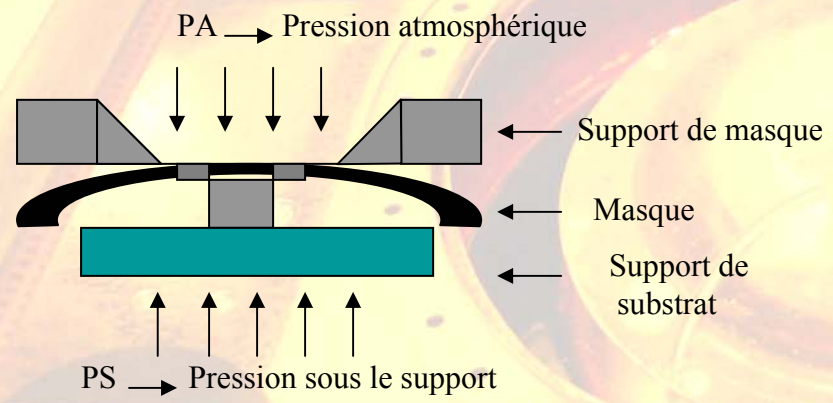
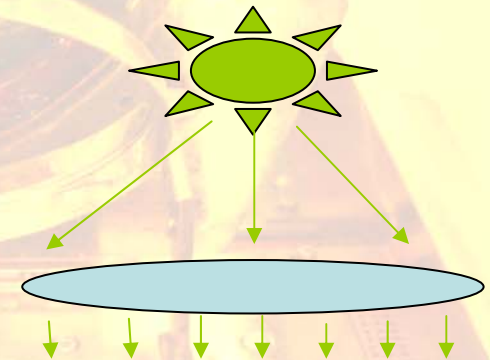
### Les lampes à vapeur de mercure

#### Précautions d'utilisation

- les amorçages accélèrent le vieillissement
- les amorçages noircissent le bulbe et la lampe perd de son éclairement: T ↗
- une lampe chaude: 900°C est à 230 atm
- en cas d'explosion: du Hg sous forme de vapeur est diffusée dans toute la pièce → très toxique voire mortel!!!!
- Si une lampe est jaunâtre ou blanchâtre: il faut la changer
- ne pas toucher les lampes avec les doigts: le Na contenu dans la sueur provoque une dévitrification du quartz et une fragilisation de l'enveloppe.
- Ne pas utiliser les lampes plus longtemps que leur durée de vie!!!  
en général, 600 heures mais chaque amorçage compte 10 heures!!!

# Lithographie optique par contact

- Le masque est en contact direct avec le substrat → défauts engendrés
- source 405nm → résolutions 1 à 2  $\mu\text{m}$
- Meilleure résolution si emploi de chambre à vide



V. Conédéra PS >>> PA



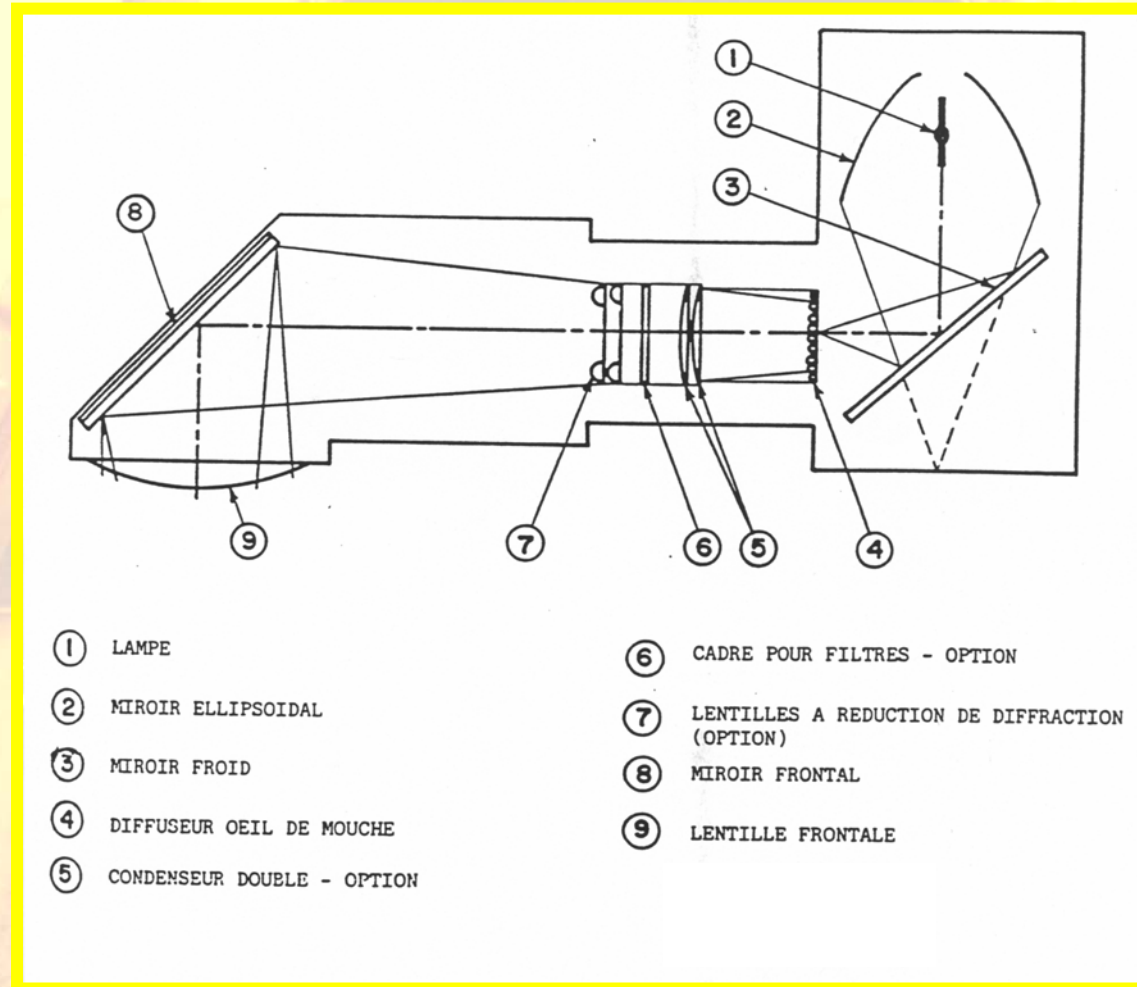
# LES ALIGNEURS DE MASQUES

## Les machines par contact

- simplicité
- faible coût comparé aux machines par projection
- résolution:  $0.2\mu\text{m}$  UV profonds et  $2\mu\text{m}$  405nm
- inconvénient: générateur de défauts:  
contact masque-substrat

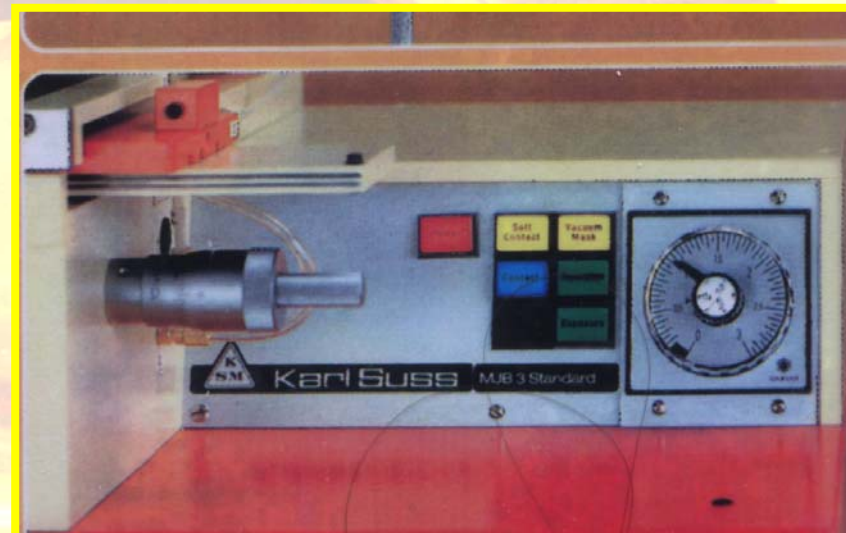
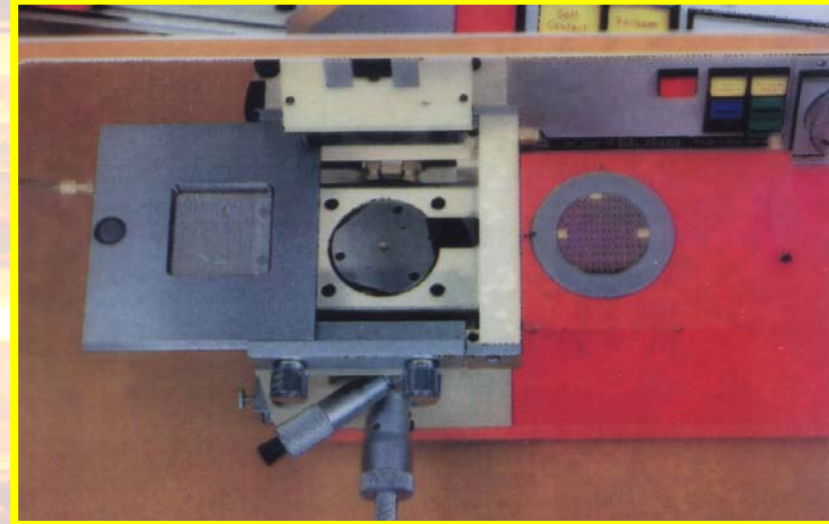
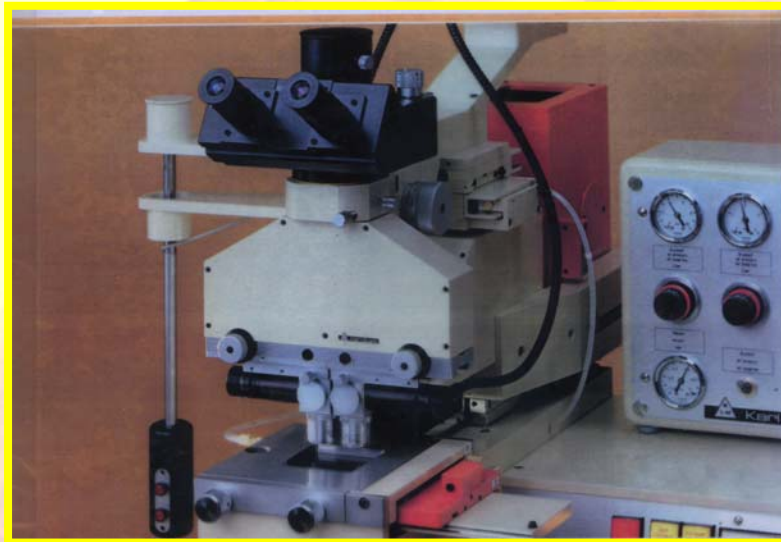


# Système optique d'insolation



# Les machines par contact: MJB3

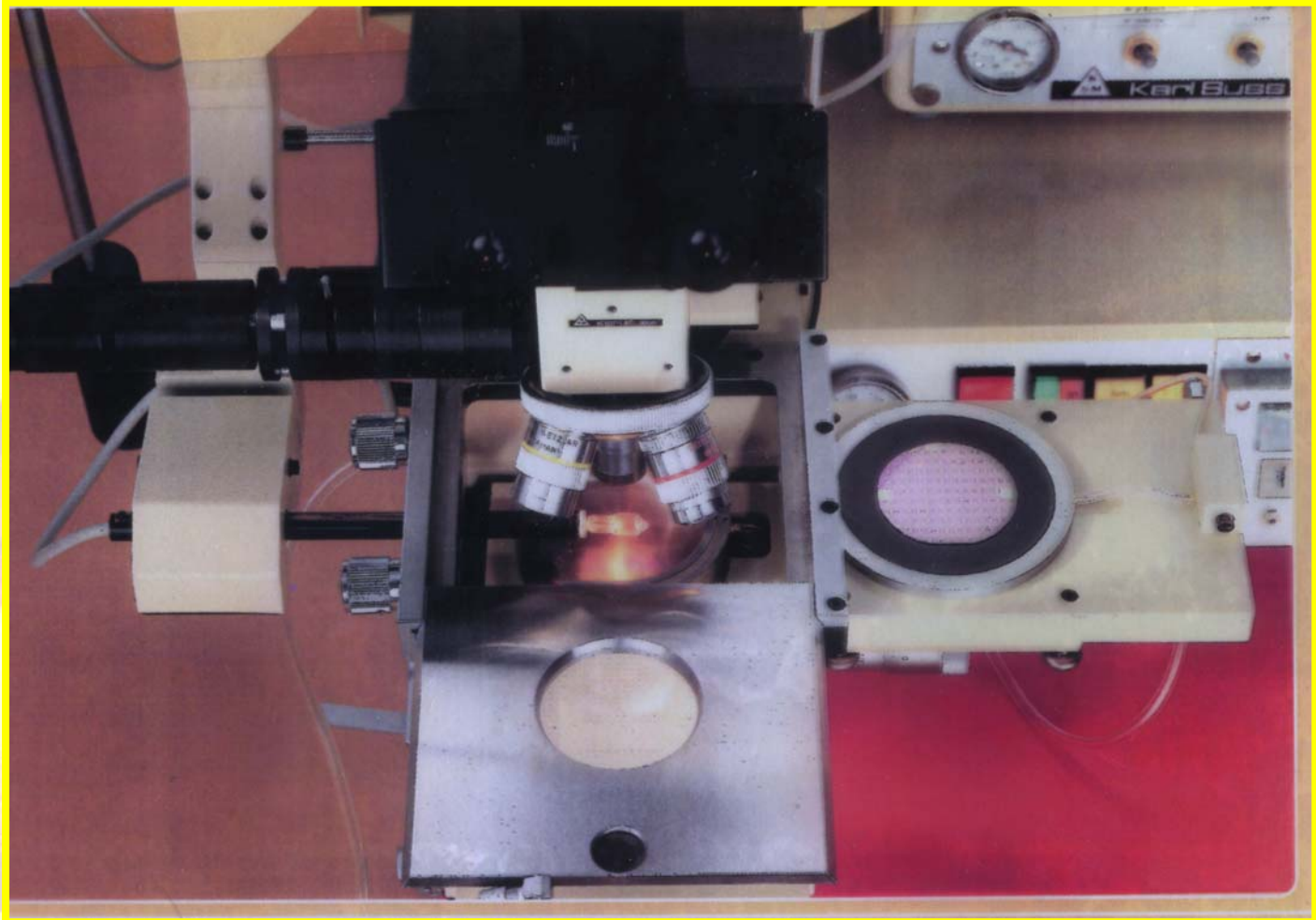
- machine manuelle
- surface d'insolation: 3 pouces
- insolation en contact ou en chambre à vide
- alignement simple face ou double face



V. Conédéra

# Les machines par contact: MJB3

Alignement double face par lampe infrarouge



V. Conédéra





# Les machines par contact: MJB3

## Alignement double face par lampe infrarouge

Précision d'alignement:

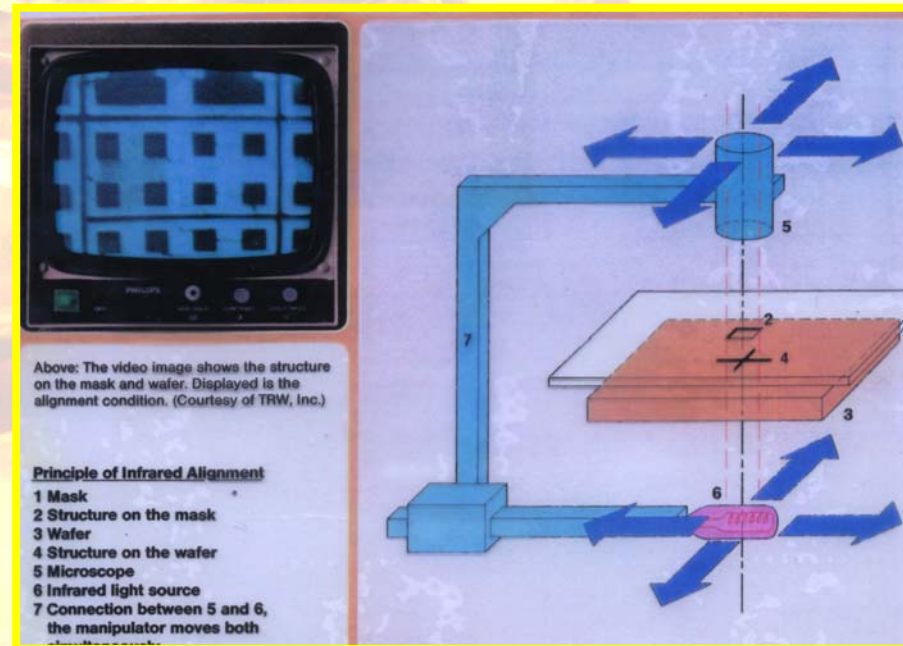
- $5\mu\text{m}$  ( courant )
- $2\mu\text{m}$  ( possible)



Dépend:

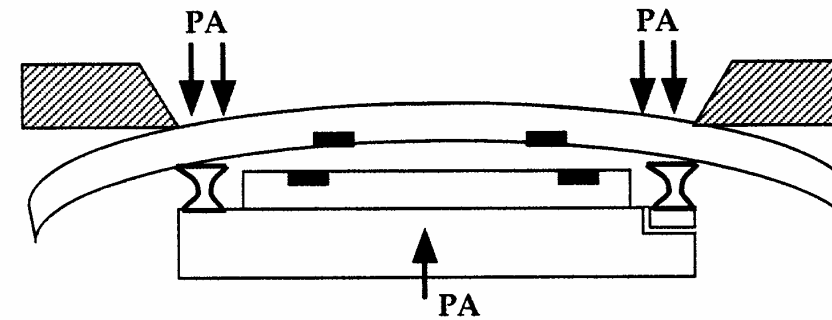
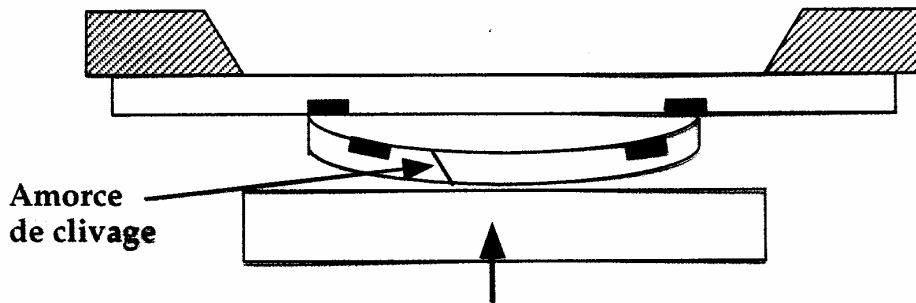
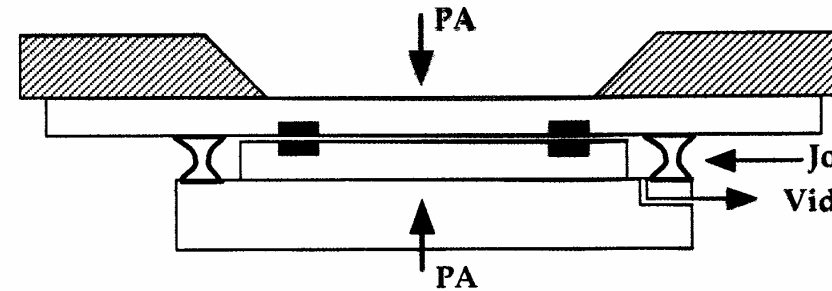
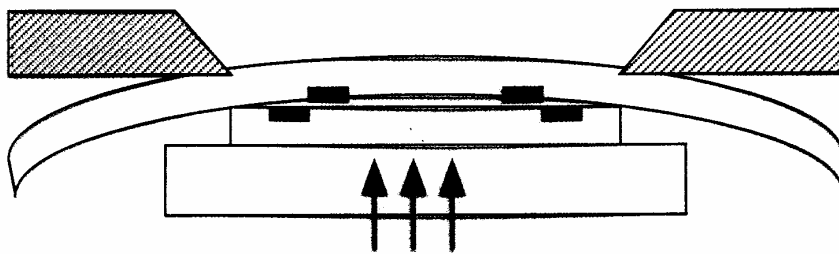
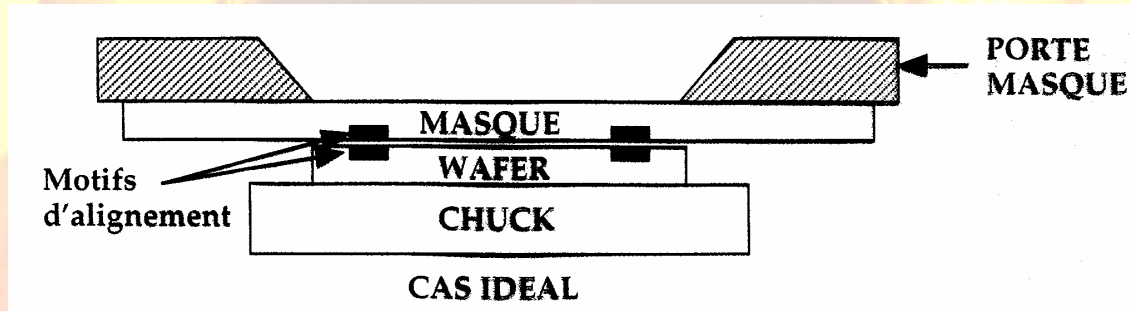
- de la transmittivité IR du substrat
- du contraste des dessins existants
- de la rugosité du substrat
- de l'épaisseur du substrat

*Principe*

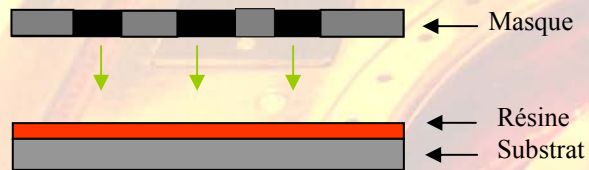
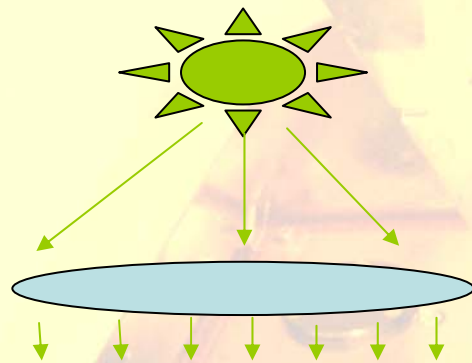


# Intérêt de la chambre à vide

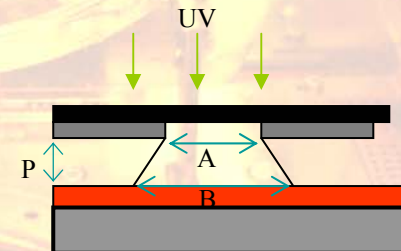
ADEQUATION: masque/substrat/chuck



# Lithographie optique par proximité



Résolution: phénomène de diffraction



$$B = A(1 + F) / F$$

$F$  = nombre de Fresnel

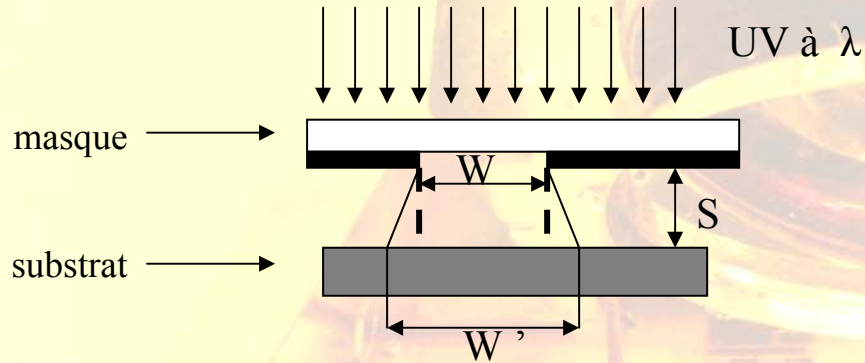
$$F = A^2 / \lambda P$$

Ex:  $A = 1 \mu\text{m}$   
 $P = 5 \mu\text{m}$   
 $\lambda = 365 \text{nm}$

$$B = 3 \mu\text{m}$$

# Les machines par proximité

## Principe



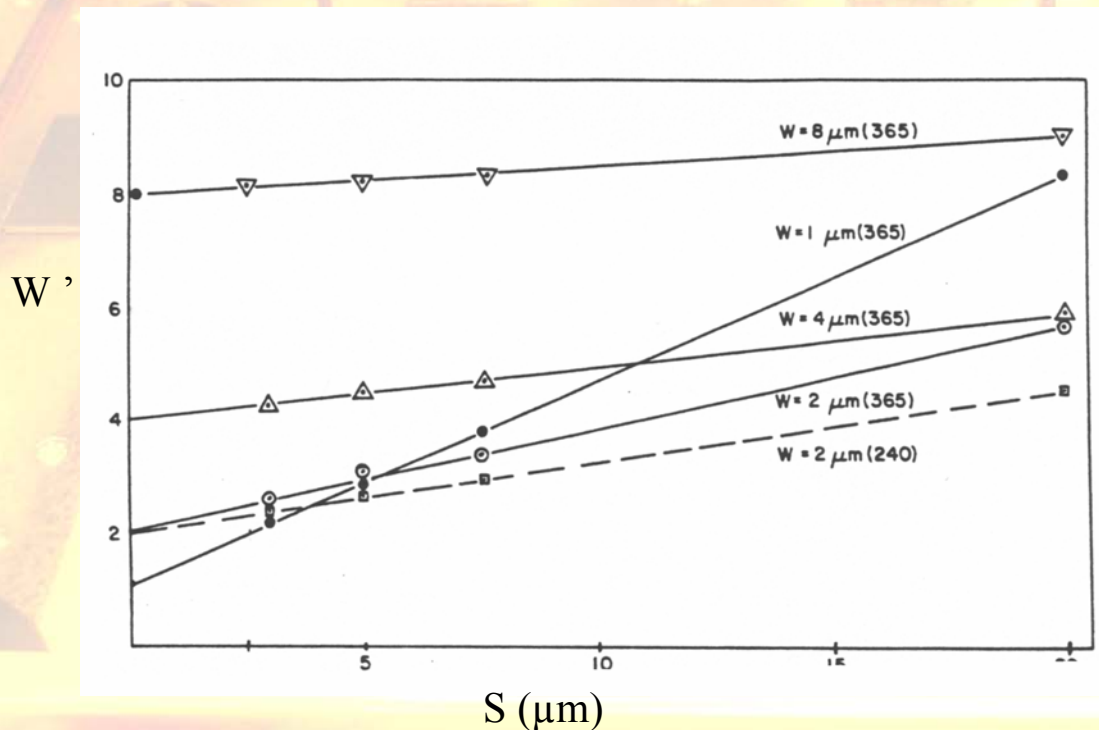
$W$ : côte sur masque

$W'$ : côte sur substrat

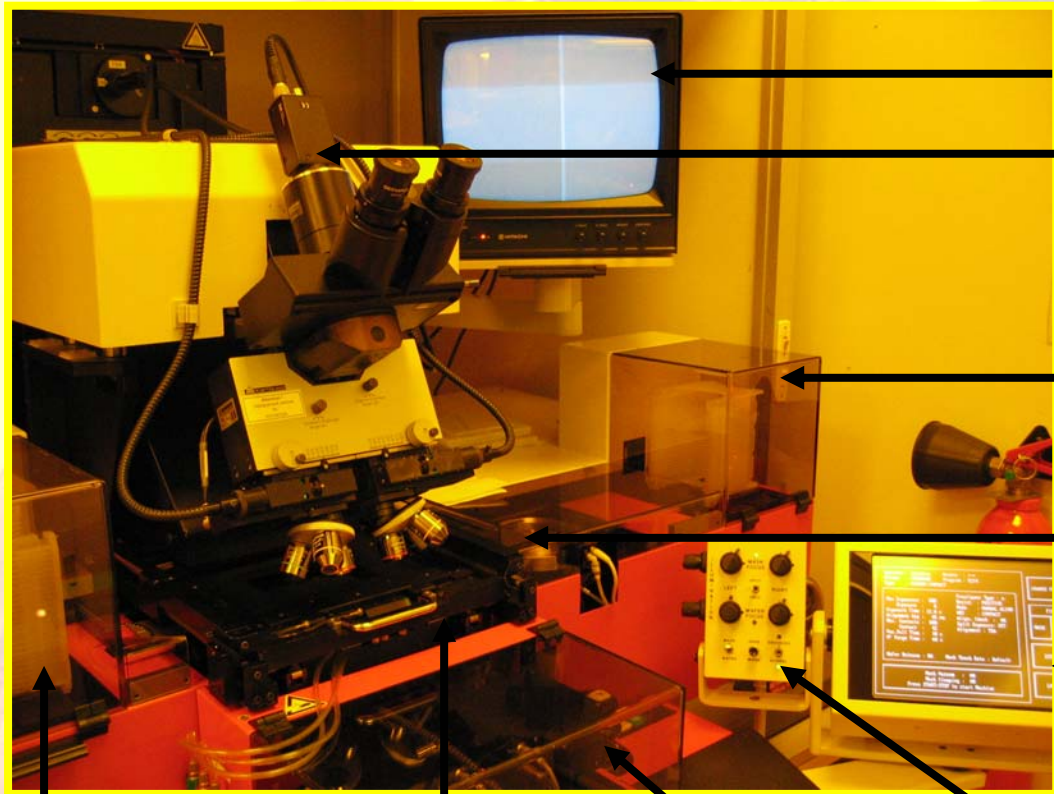
$S$ : séparation masque-substrat

La résolution du système est donnée par:

$$W' = W(1+F)/F \quad F = \text{nbre de Fresnel} = W^2/\lambda \cdot S$$



# Machine par proximité, par contact : MA 150



Écran de contrôle d'alignement

Caméra

Poste de chargement

Recherche de méplat

Écran tactile de contrôle

Boîtier de réglage électronique de focalisation; mémorisation d'image

Poste de déchargement V.Conédéra

Porte masque

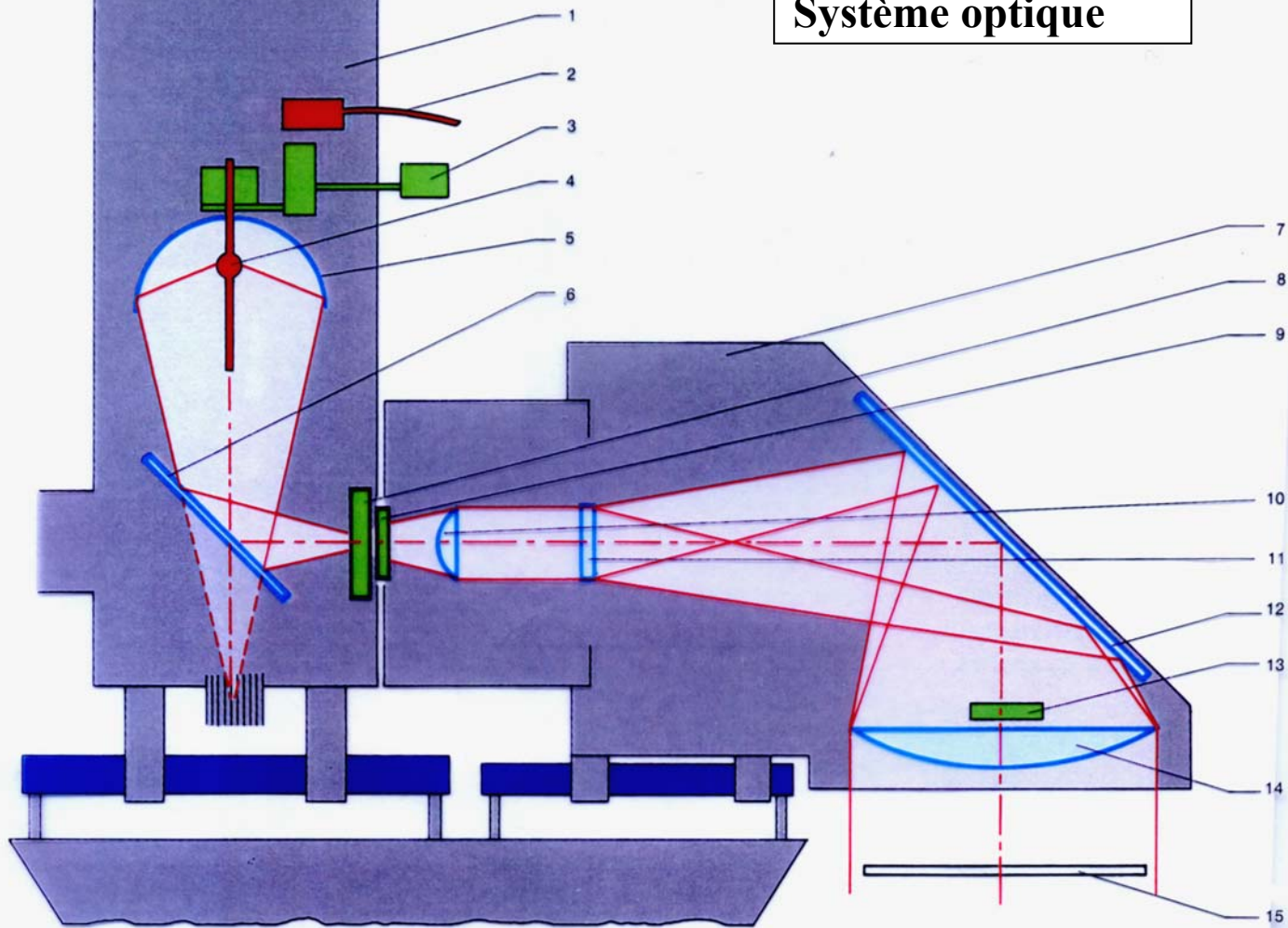
Vis micrométrique pour alignement face arrière

## Machine par proximité, par contact : MA 150



- semi automatique: alignement par le méplat du substrat à  $20\mu\text{m}$  près
- mémorisation des mire d'alignement
- exposition en chambre à vide, en contact et en proximité
- insolation alternée
- puissance de la lampe 350W
- mesure de la longueur d'onde: 365nm et 405nm
- possibilité d'alignement double face

# MA 150 Système optique



- 1 Boîte à lumière
- 2 Éclairage microscope
- 3 Ajustement X,Y,Z de lampe
- 4 Lampe à vapeur de mercure
- 5 Miroir ellipsoïdal

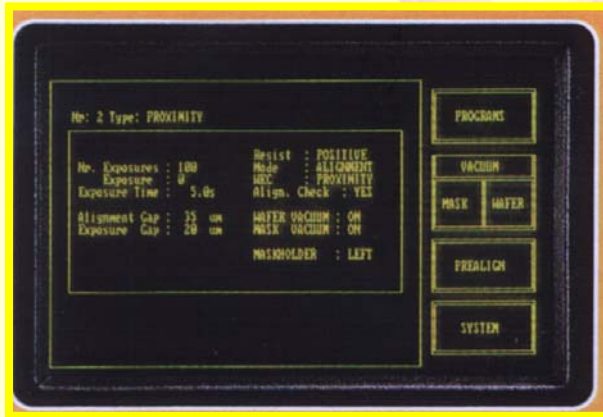
- 6 Miroir froid
- 7 Boîte à miroir
- 8 Cache(obturateur)
- 9 Lentille « œil de mouche »
- 10 Condenseur

- 11 Lentille plate
- 12 Miroir 45° (miroir frontal)
- 13 sonde de mesure de flux lumineux
- 14 Lentille frontale
- 15 Masque

# Machine par proximité, par contact :MA 150

## Écran tactile de commande

Quelques paramètres

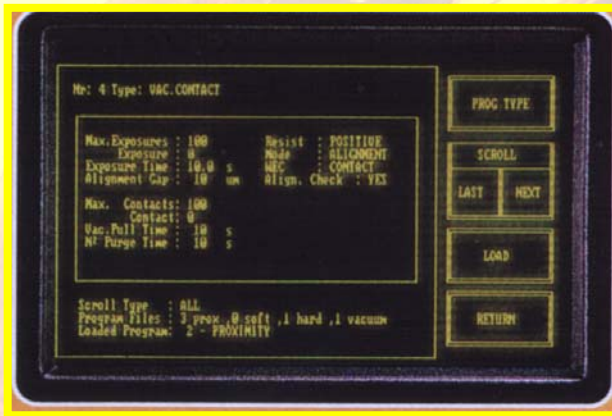


Exposition en  
proximité

Mode d'exposition:  
contact(doux ou dur)  
proximité(gap à préciser)  
vide(temps) et N2 (temps)

Temps d'exposition

Gap masque/substrat pour l'alignement

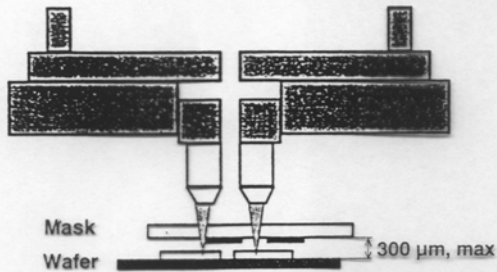


Exposition en  
chambre à vide

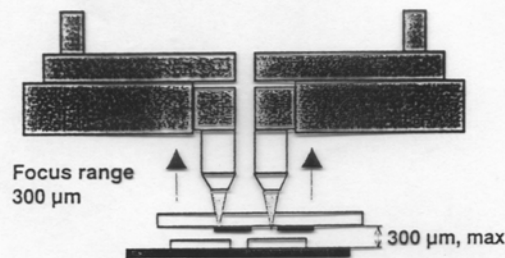


# Machine par proximité, par contact : MA 150

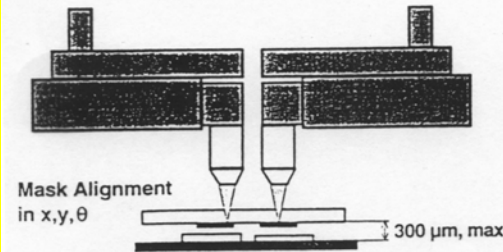
## Méthode d'alignement ( Top side TSA) avec mémorisation d'image



1. Alignment of objectives to wafer patterns and storage of the image.



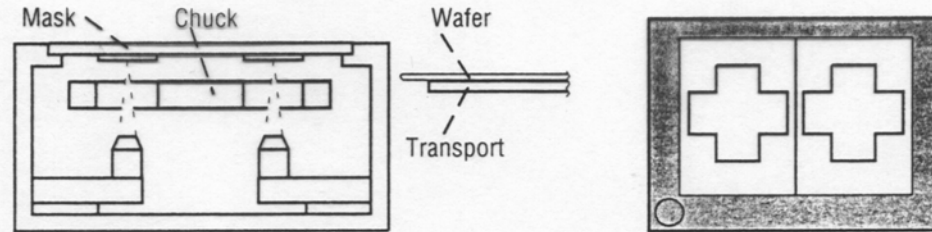
2. Focussing on the mask alignment marks.  
Both stored wafer marks and real time mask marks can be observed on the monitor.



3. Alignment of the mask to the wafer.

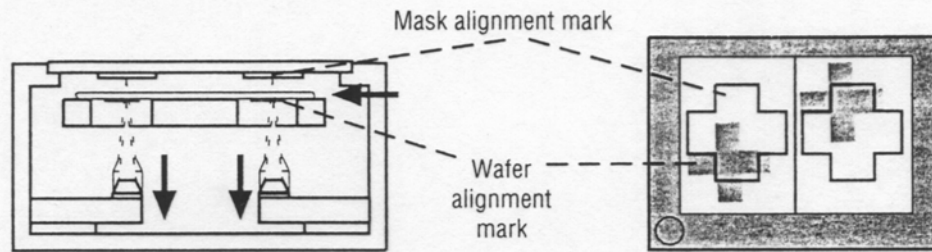
# Machine par proximité, par contact : MA 150

## Méthode d'alignement face arrière (Bottom side BSA) avec mémorisation d'image

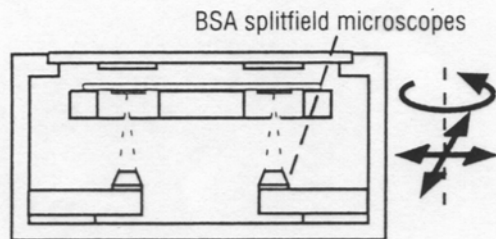


Focusing and storage of mask alignment marks

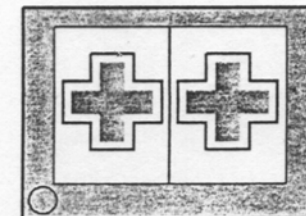
Monitor image



Focusing of substrate alignment marks



Alignment

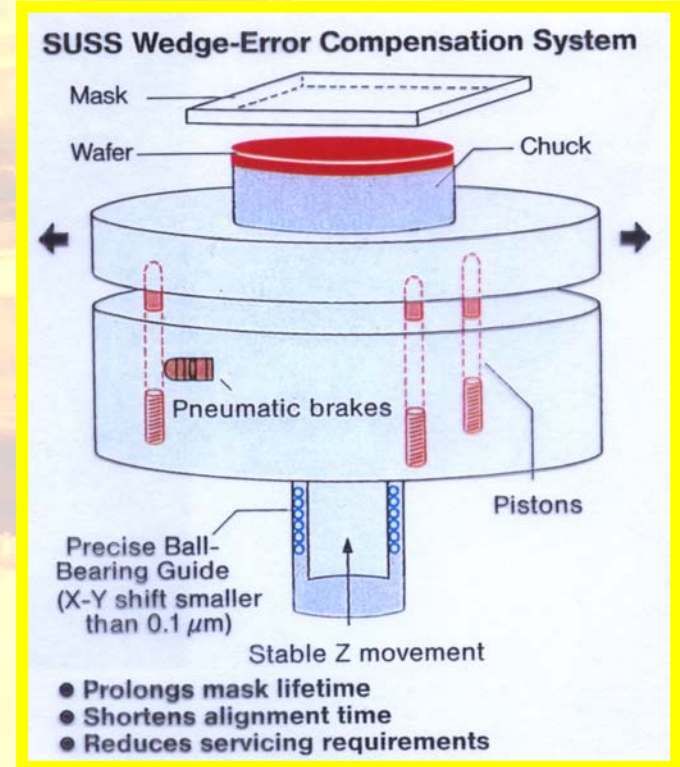
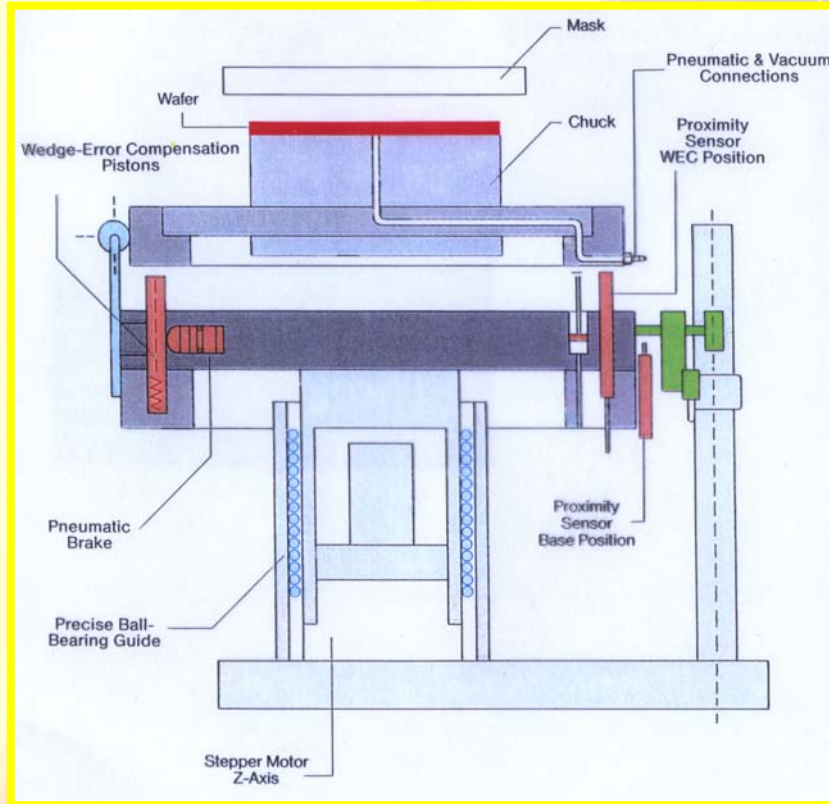


Alignment to stored mask image

BSA alignment procedure. The alignment movement is performed with the mask stage, to which the BSA microscopes are fixed

# Machine par proximité, par contact: MA 150

## Système de compensation

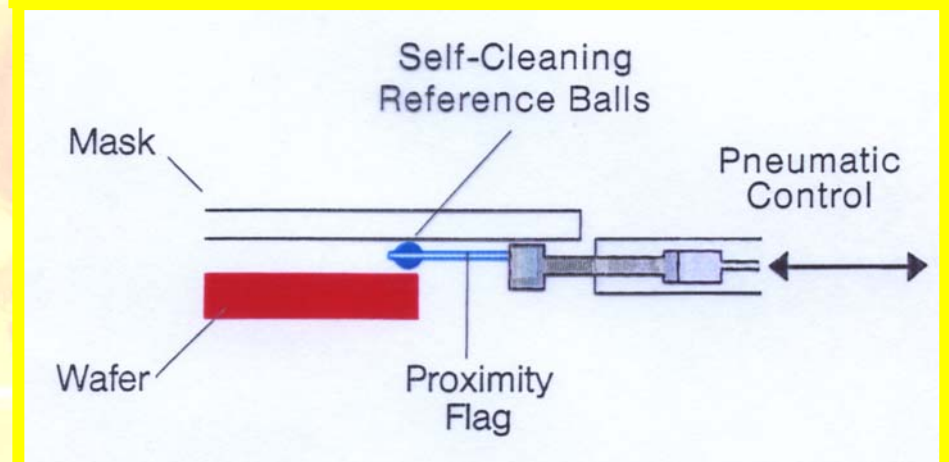
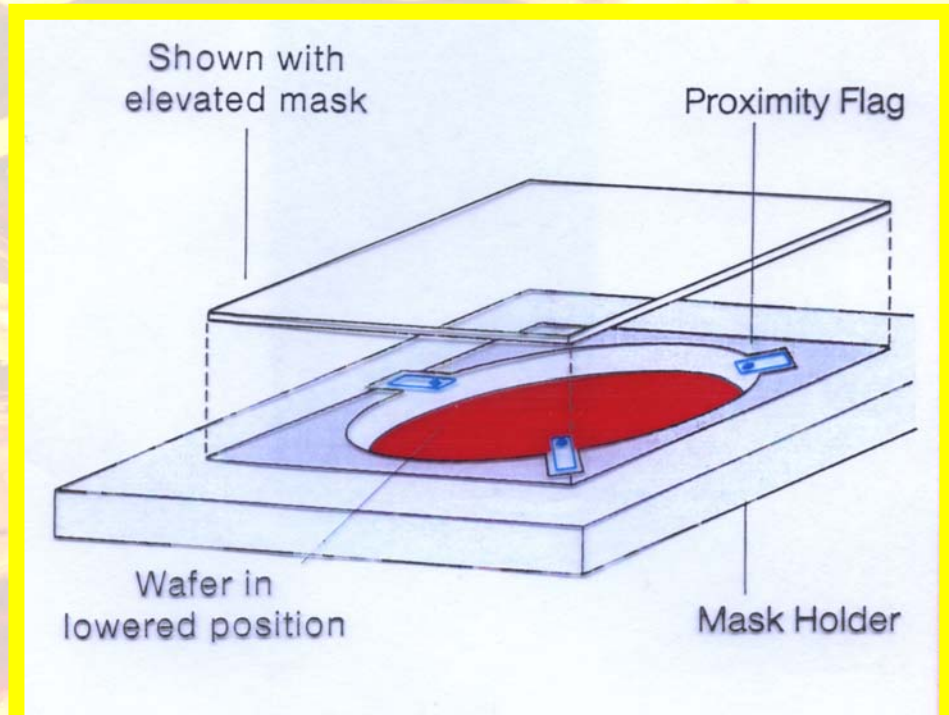


# Machine par proximité, par contact: MA 150

## Méthode d'alignement par proximité

### Avantages

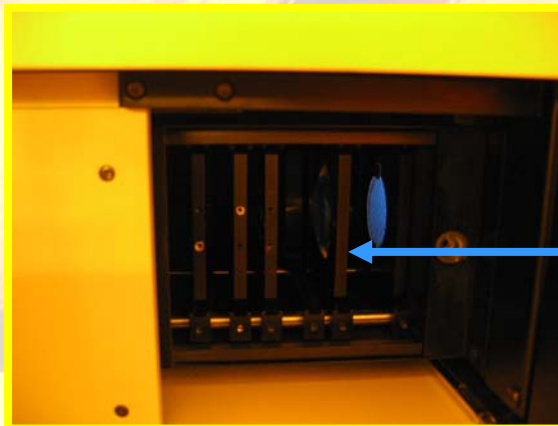
- surfaces en contact minimales
- pression de contact minimale
- contamination minimale
- utilisé pour le sol gel



# Machine par contact: MA 6



- alignement manuel
- exposition en chambre à vide, en contact
- puissance de la lampe 1000W
- sélection de la longueur d'onde:
  - 365nm pour les résines négatives
  - 405nm pour les résines positives
  - 320nm pour le foturan
- insolation par rapport à un alignement face arrière



Possibilité de filtrer les longueurs d'onde

# Machine par proximité, par contact :EVG620

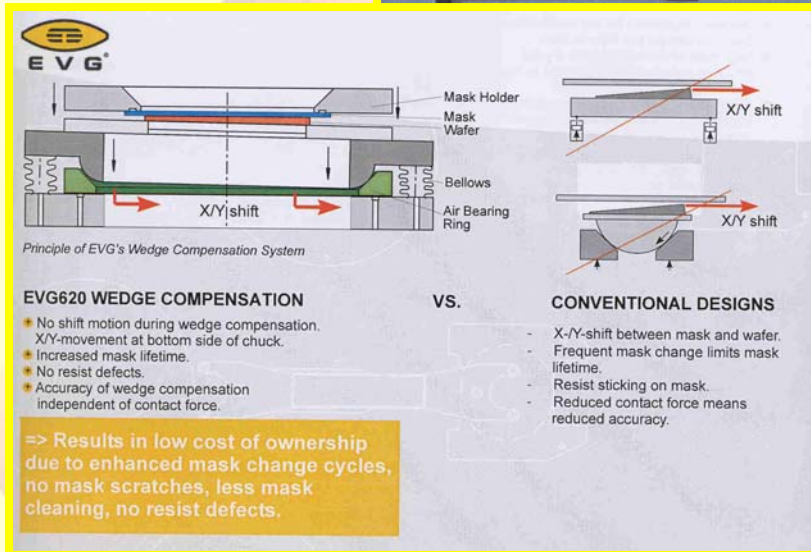
Poste de chargement  
3'' à 6'' avec robot



- contrôle de la force de pression sous le chu
- homogénéisation automatique du flux après un changement de lampe
- chargement automatique de filtre de  $\lambda$

## options

- wafer bonding
- $\mu$ contact printing
- alignement automatique



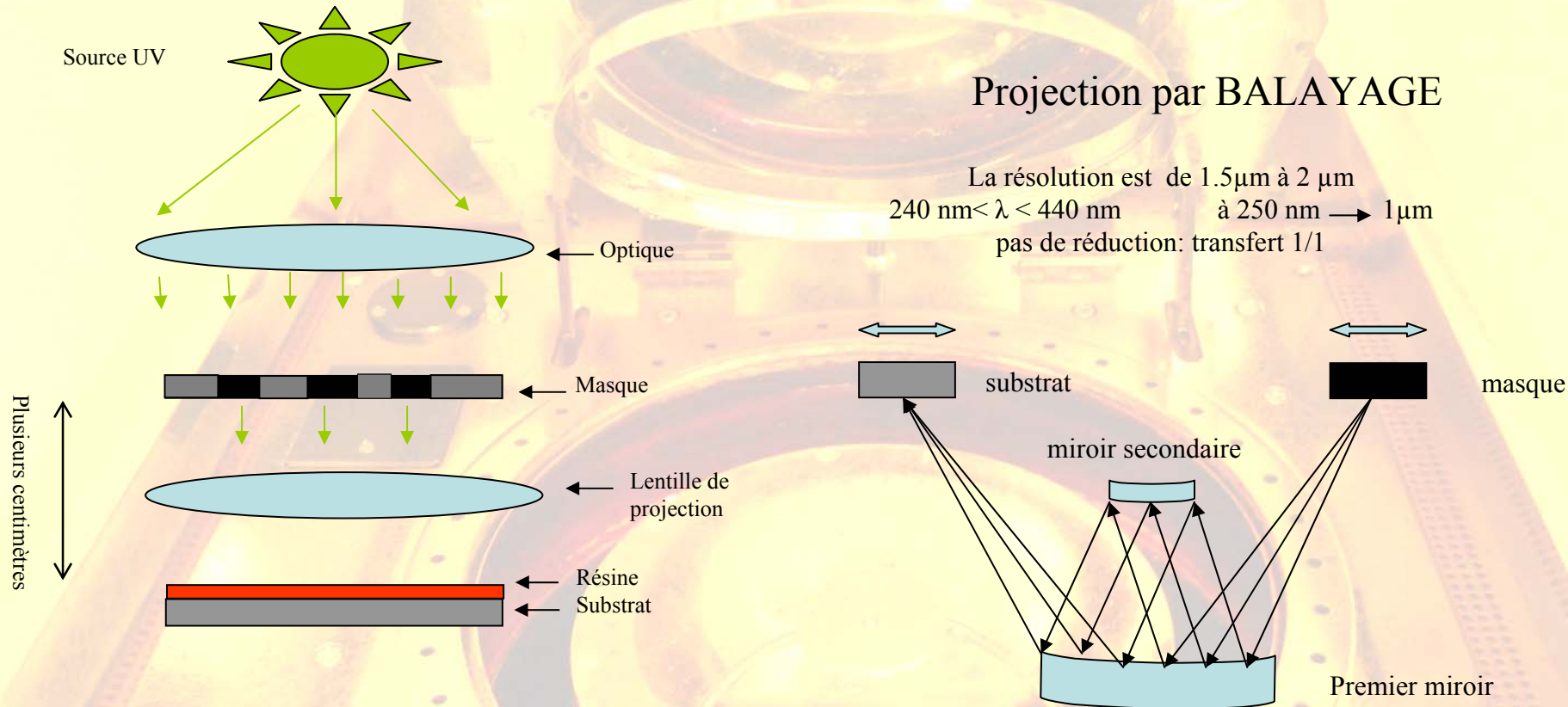
## WEDGE COMPENSATION

- Unique patented wedge compensation system for shift-free contact between mask and substrate.
- Adjustable contact force for ultra-soft wedge compensation (0.5-40N).
- Optimum results with sticky resists and sensitive materials such as GaAs, InP, etc.
- High precision wedge compensation through air bearing system.
- Optional proximity spacers provide contact less wedge compensation.

V.Conédéra



# Lithographie optique par projection

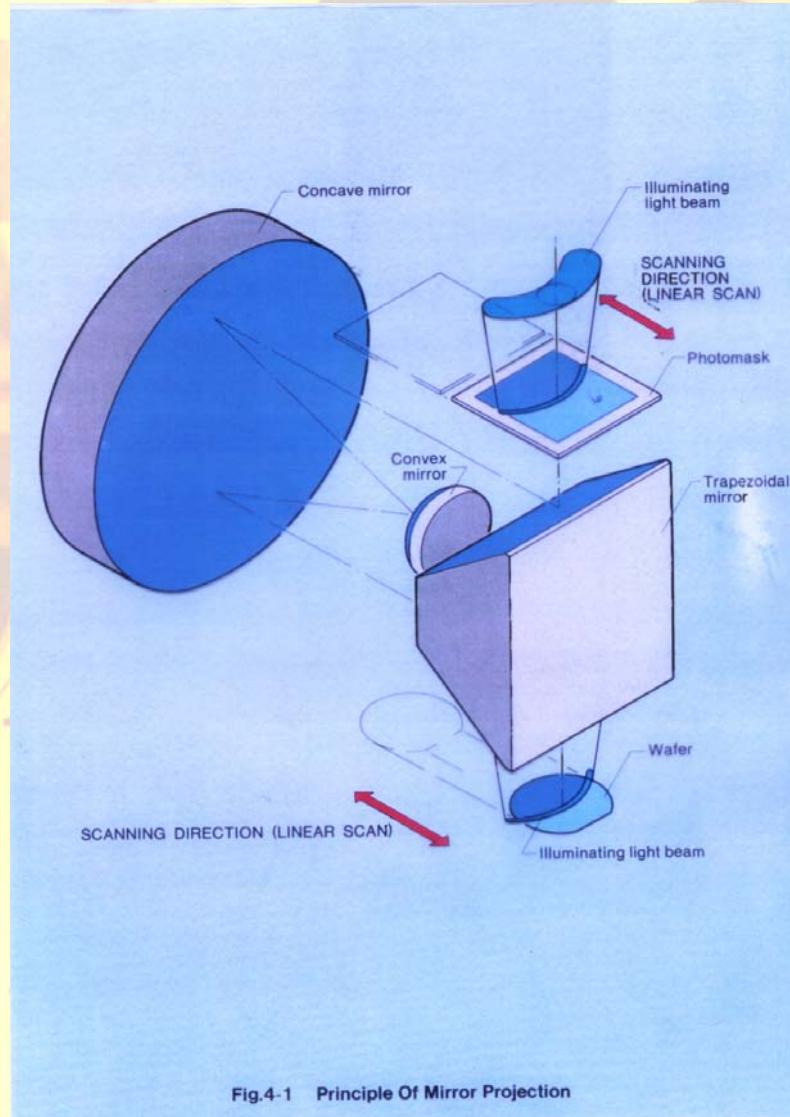


## Projection par BALAYAGE

La résolution est de  $1.5\mu\text{m}$  à  $2\mu\text{m}$   
 $240\text{ nm} < \lambda < 440\text{ nm}$  à  $250\text{ nm} \rightarrow 1\mu\text{m}$   
pas de réduction: transfert 1/1

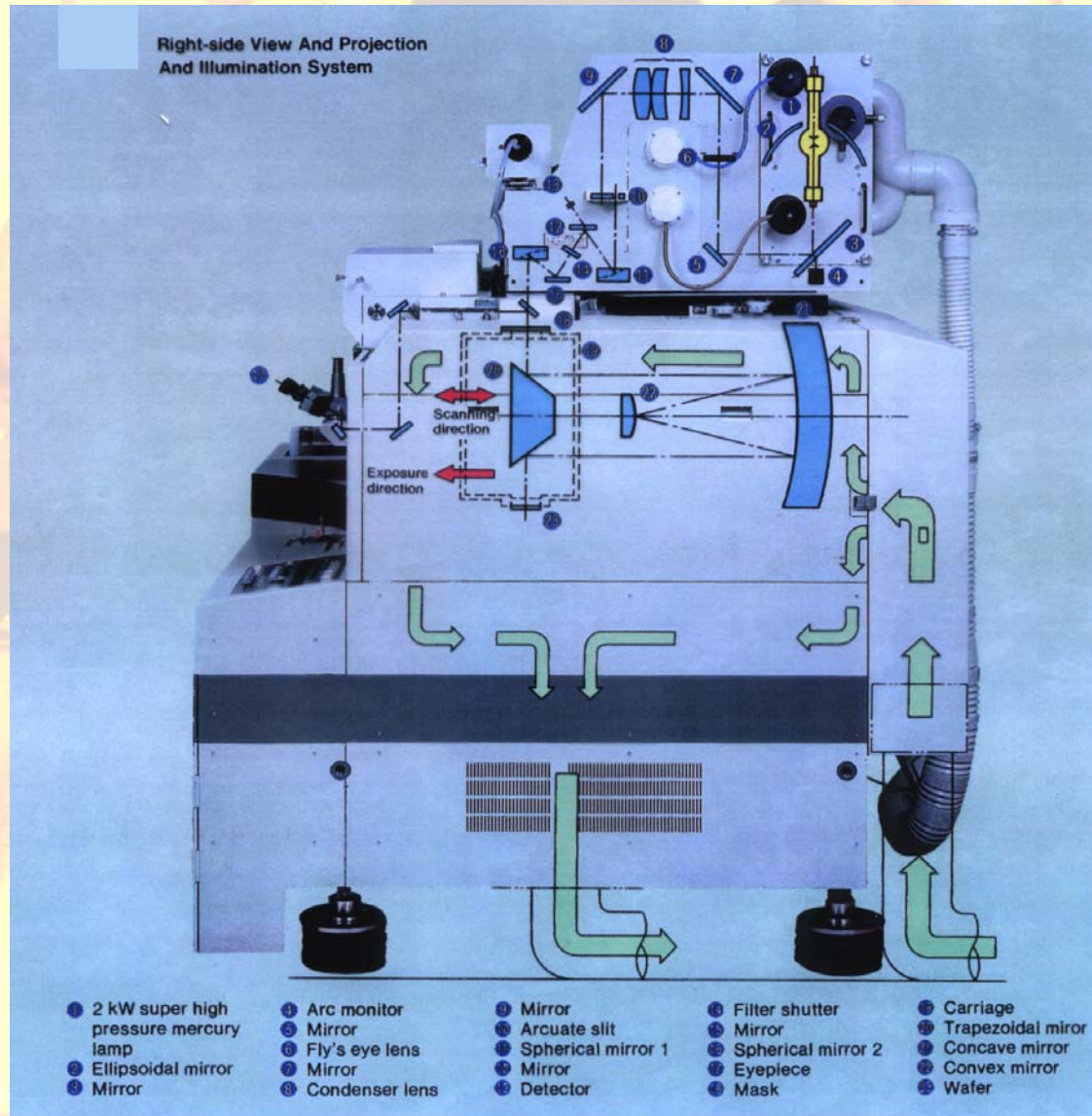
Une partie seulement du substrat est exposée; technique de balayage ou par répétition.

# Machine par projection à miroir

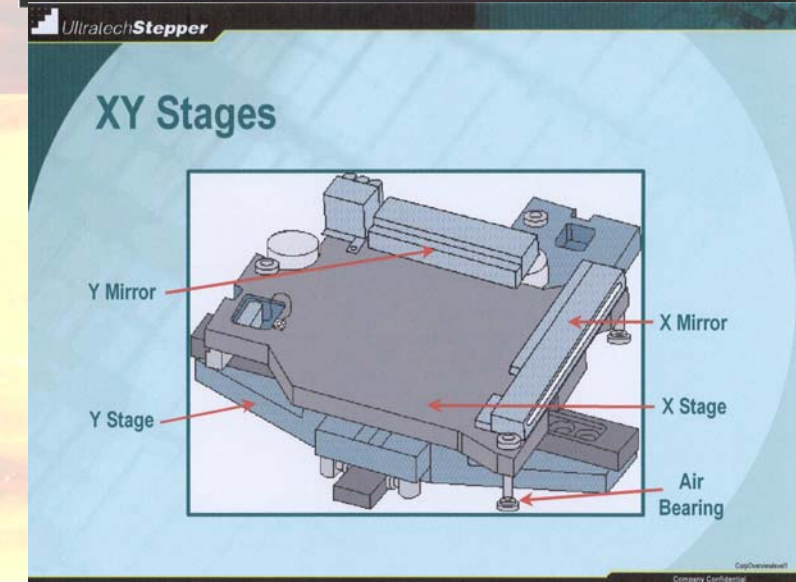
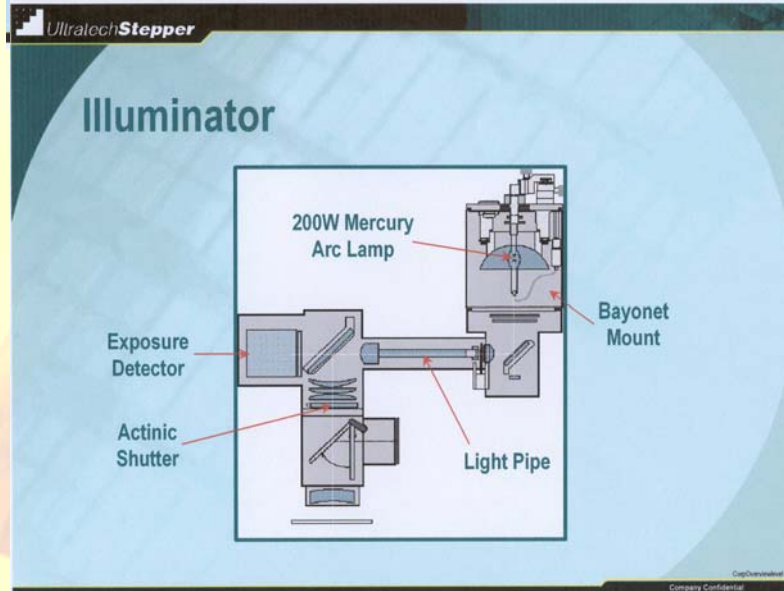
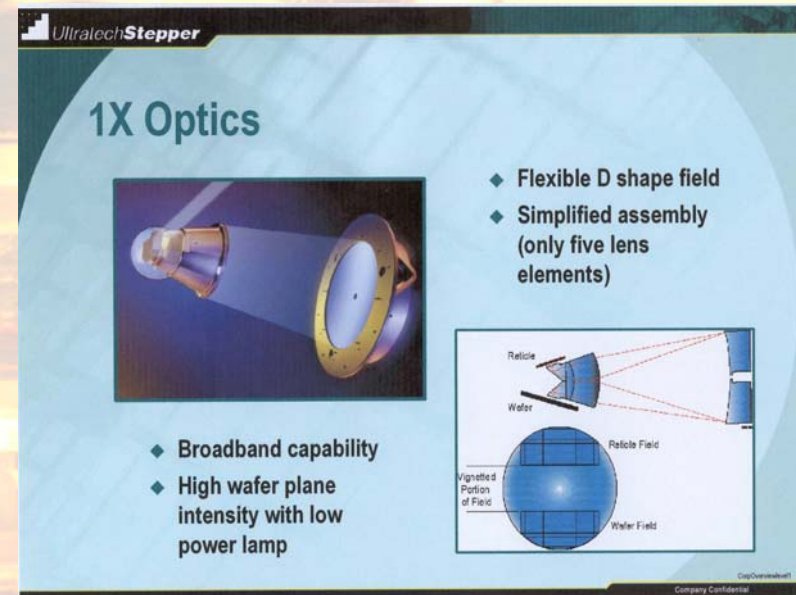
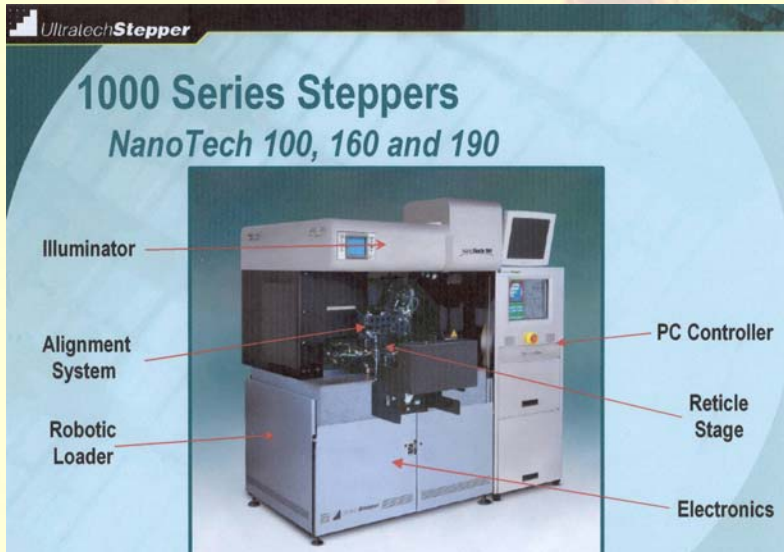




# Machine par projection à miroir

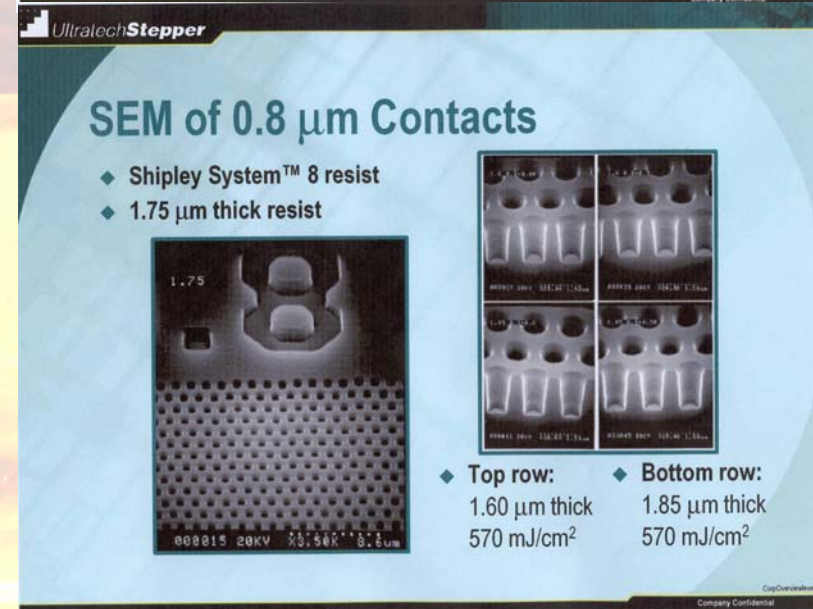
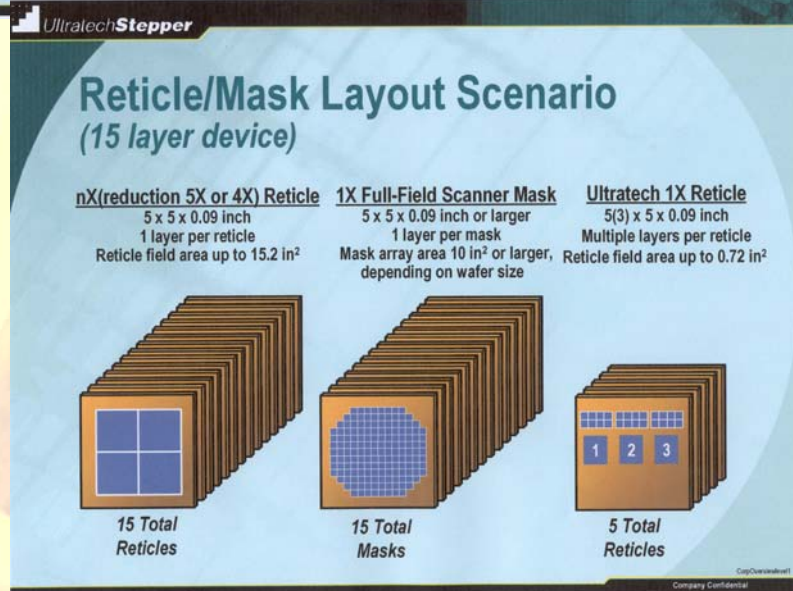
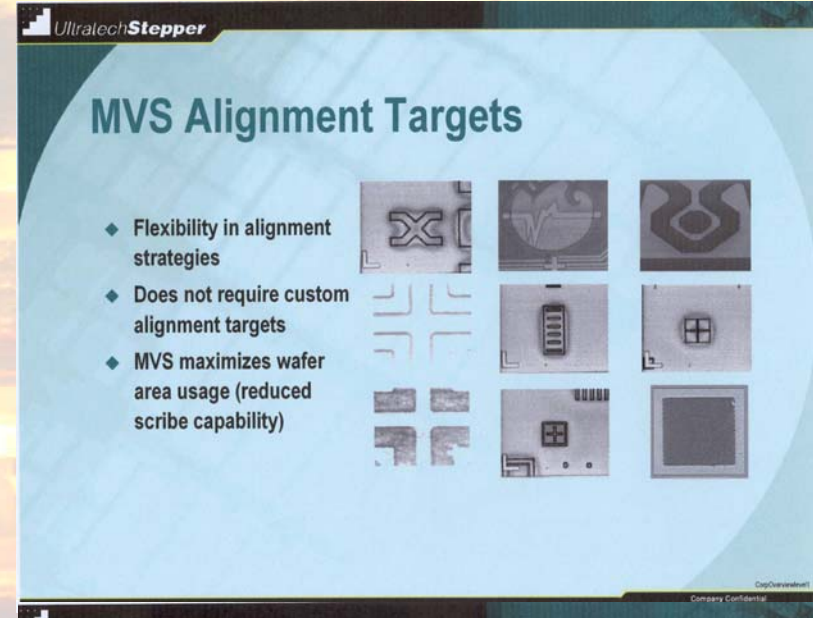
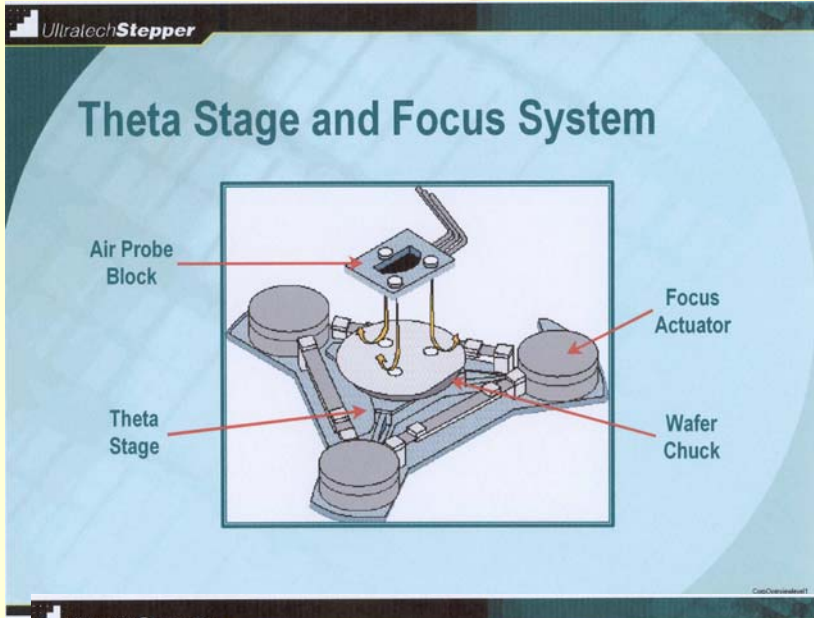


# Machine par projection sans réduction



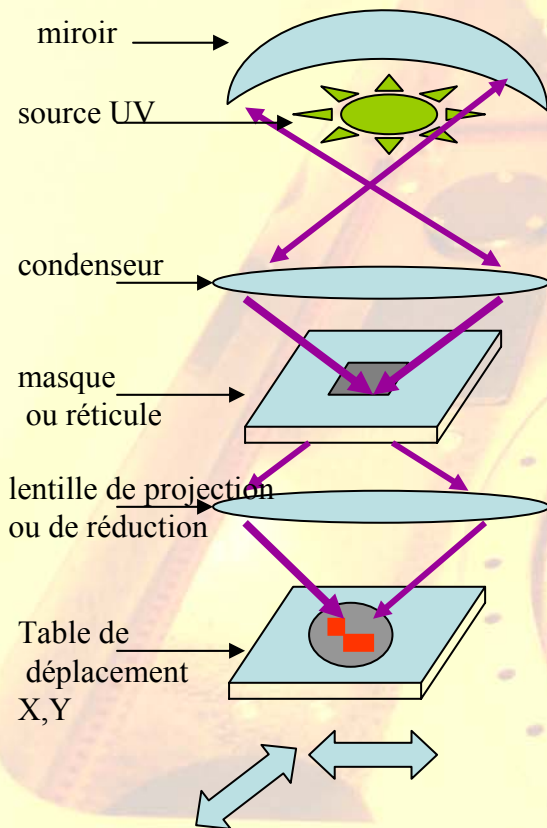
V. Conédéra

# Machine par projection sans réduction



# Lithographie optique par projection

## Projection par REPETITION



V. Conédéra



La résolution optique s'appuie sur une fonction appelée: fonction de transfert et de modulation. Elle dépend de  $\lambda$ , de la cohérence spatiale de la source, de l'ouverture numérique de la lentille ON;  $ON = \sin A_{ob}$ , des dimensions des motifs du masque, du contraste de la résine  $\gamma$ , de la profondeur de champ du système de projection PC et du critère de Rayleigh,

$$R = K_1 \gamma / ON \text{ et}$$

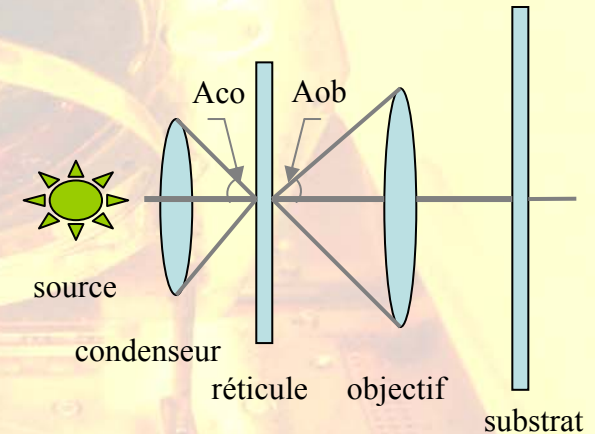
$$PC = \gamma / (ON)^2$$

R: capacité de séparation de la lentille

PC: dépend de ON

$K_1$ : change avec les résines

$0.5 < K_1 < 0.8$  0.61



Résolution  $\nearrow$   $\rightarrow R \searrow, \lambda \searrow$  ou  $ON \nearrow$

Ex: source laser ArF (193nm)  
 $ON = 0.6$   $r = 0.17 \mu m$   $PC = 0.54 \mu m$   
 $K_1 = 0.5$

Source Hg  $\lambda = 436 \mu m$   $ON = 0.8$   $r = 0.97 \mu m$   
 $PC = 3 \mu m$   $K_1 = 0.8$

ON variable dans les nouvelles machines  
ajustement cohérence et PC

# Machine par projection avec réduction

- Caractéristiques
  - 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
- Résolution: très élevée
- Coûts
  - très élevé
- Environnement
  - très strict: T° 1/10 degré + hygrométrie
  - classe 100 ou 10
  - pas de vibration

# Machine par projection avec réduction

## Photo répéteurs (Steppers)

*Nikon 5:1 Stepper: nikon*

### Description:

5:1 reduction stepper  
15 X 15 mm exposure field

G-line (436 nm)

alignment accuracy = 0.18-0.25 $\mu$ m

5" masks

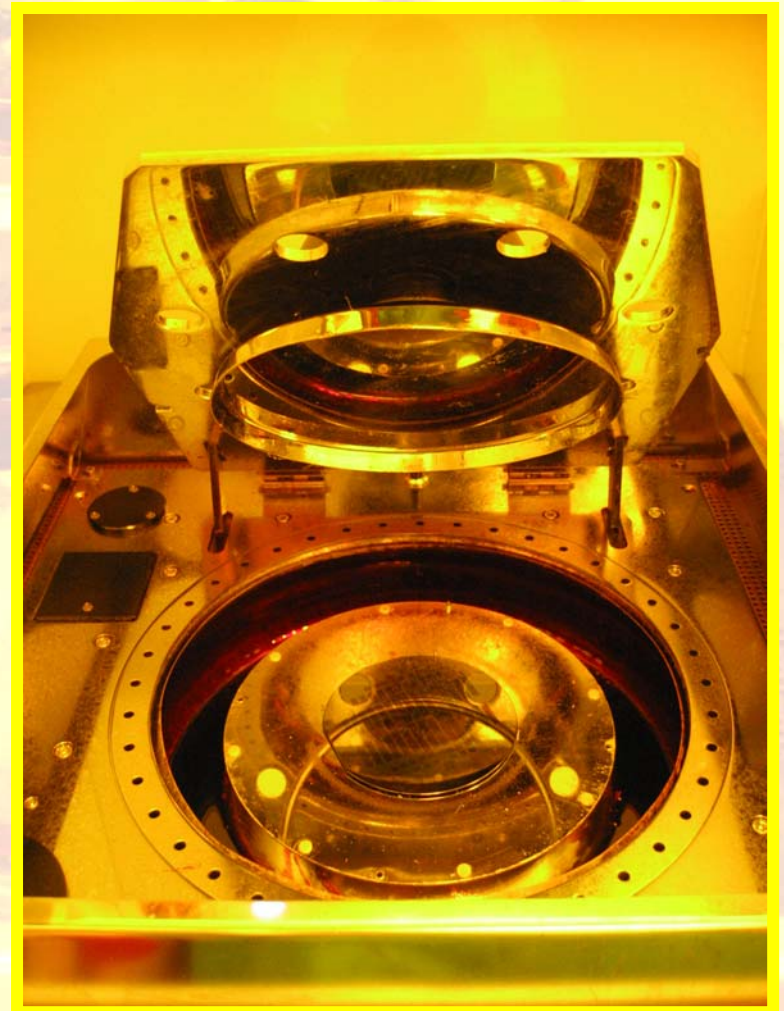
**0.6 $\mu$ m resolution**



# III - Dépôt de résine

## Tournette pour enduction manuelle

- utilisation en capot fermé pour:
  - solgel
  - résines épaisses
  - BCB
- utilisation en capot ouvert pour tout type de résine



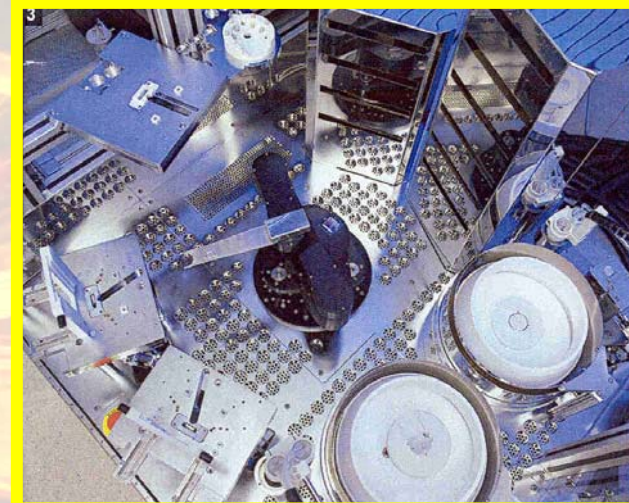
# Machine d'enduction et de développement de résine

## Equipement EVG pour 3 à 6"

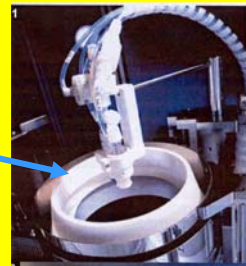


### Caractéristiques

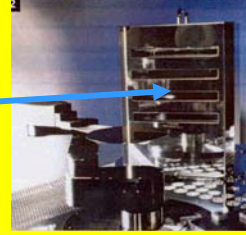
- 7 plaques chauffantes
- nettoyage automatique des buses
- enlèvement automatique du bourrelet de résine
- nettoyage face arrière
- possibilité de distribuer différentes résines grâce à une seringue automatique
- développement, alcalin et organique



module de développement



module de plaques chauffantes



### DISPENSE MODES

EVG150 coating systems accommodate three different dispense modes to guarantee optimum results for all different kinds of resist materials.



Figure A

#### Center Dispense for Thin Resist Layers

Static or Dynamic Center Dispense mode for typical thin resist layers (up to several  $\mu\text{m}$ ) with standard (low) viscosity



Figure B

#### Area Dispense for Thick Resist Layers

Area Dispense mode for thick resist layers (up to several 100  $\mu\text{m}$ , high viscosity resists like BCB (Cyclothen<sup>®</sup> of Dow Chem, Pyraline<sup>™</sup> of DuPont, SU-8<sup>™</sup> of MCC) to minimize resist consumption by enabling extrem uniform layers



Figure C

#### Edge Dispense for Etch Protection

Edge dispense mode is a typical application for etch protection purpose for long term etch processes (like KOH). The edge coating is dynamically dispensed for good networking at wafer edge. Along with full backside coating, the edge dispense mode is an ideal low cost solution. Uniform edge coverage is possible even parallel to wafer flat on request.

V. Conédéra





# Plaque chauffante spécifique

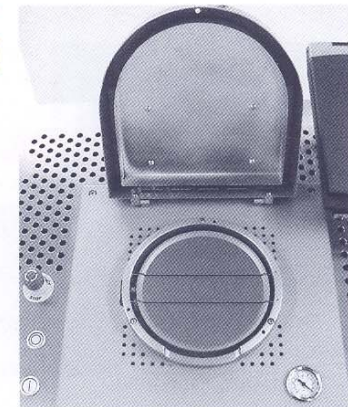
## Caractéristiques:

- spécialement utilisée pour les recuits de la SU8
- programmable avec rampes en température en montée et en descente
- gap plaque/substrat programmable

### 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

COOLING



# Etuve HMDS

- Etuve sous vide primaire
- Durée du cycle total 30 mn avec 5 mn sous HMDS et différents cycles de pompage et de purge d'azote.
- avantage: sécurité et traitement collectif de substrat



Model 58 SM for Vapor Prime/Image Reversal/Silylation

**The advantages of the YES Batch Vacuum Bake/Vapor Prime Process are as follows:**

#### **Quality of Prime**

No other process can provide a prime layer of equal uniformity or stability. C.D. variations caused by etchant undercutting at the interface between the HMDS layer and non-dehydrated wafer surfaces are a thing of the past.

A typical YES primed wafer will remain fully primed weeks after deposition.

#### **Operating Expense and Environmental Considerations**

The YES Batch Process uses one-two hundredth of the HMDS that a spray prime system uses. (Current users report that they have paid for

their systems in as low as 45-days by savings in chemicals alone).

#### **Safety**

HMDS is flammable in an oxygen environment.

If we say there is "X" amount of oxygen in the oven chamber at the onset of the process, then this oxygen is progressively diluted during each vacuum cycle as follows:

End of Vacuum Cycle 1  $X/76$   
End of Vacuum Cycle 2  $X/76 \times 76$   
End of Vacuum Cycle 3  $X/76 \times 76 \times 76$   
End of Vacuum Cycle 4  $X/76 \times 76 \times 76 \times 760$

It is at the end of this fourth cycle that HMDS is admitted into the oven chamber.

There has never been an HMDS "incident" with YES ovens in ten years of business and over a thousand installations worldwide.