



CAO et fabrication des masques

Pierre-François Calmon



CAO et fabrication des masques



- 1 - Les définitions
- 2 - Les logiciels et les règles de dessin
- 3 - Les plaques
- 4 - Les techniques d'insolation
- 5 - Les traitements post-insolation
- 6 - Le bilan et les coûts
- 7 - Les perspectives



CAO et fabrication des masques



Formes géométriques de 1 à 300 000 μm (30 cm ou 12’’)

1 - Définitions: masque chrome

plaque de verre ou quartz métallisée au chrome

Produit fini pour la photolithographie



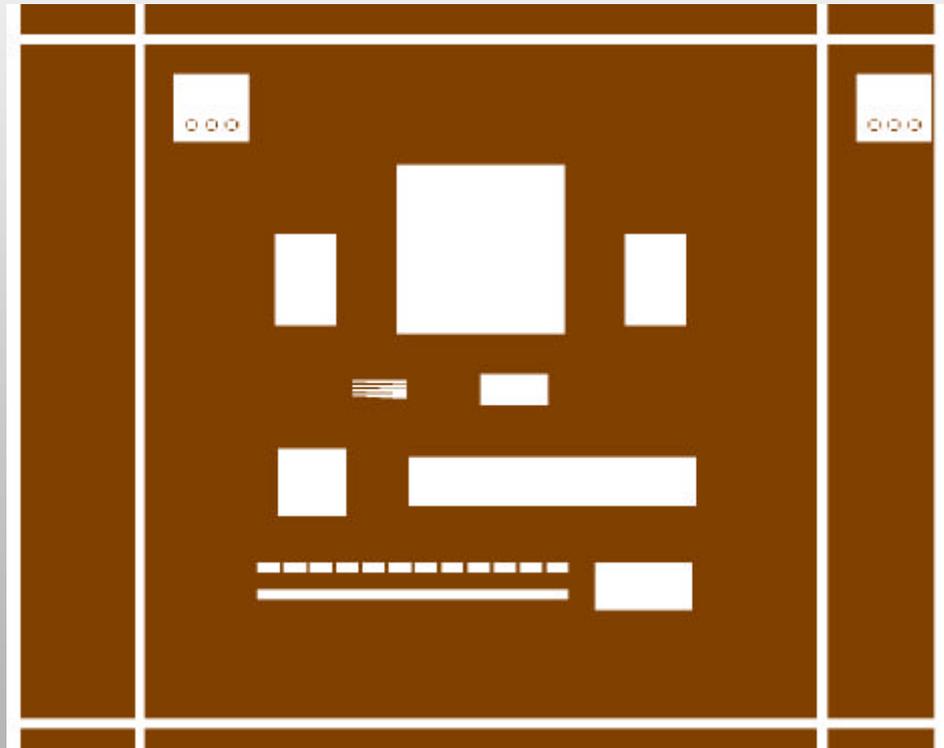
formes géométriques en chrome définissent les dimensions des dispositifs à réaliser

1 - Définitions: jeu de masques

Ensemble des masques utilisés lors d'un processus de fabrication de composants micro-électronique ou micro-système.

Niveau 1

type
ouverture

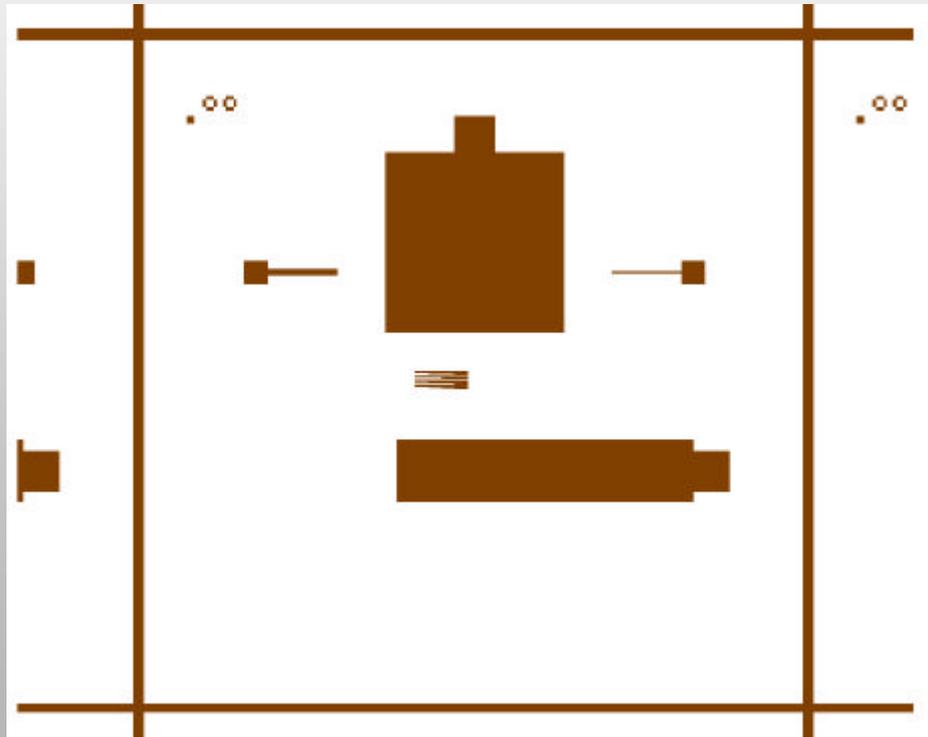


1 - Définitions: jeu de masques

Ensemble des masques utilisés lors d'un processus de fabrication de composants micro-électronique ou micro-système.

Niveau 2

type
métal

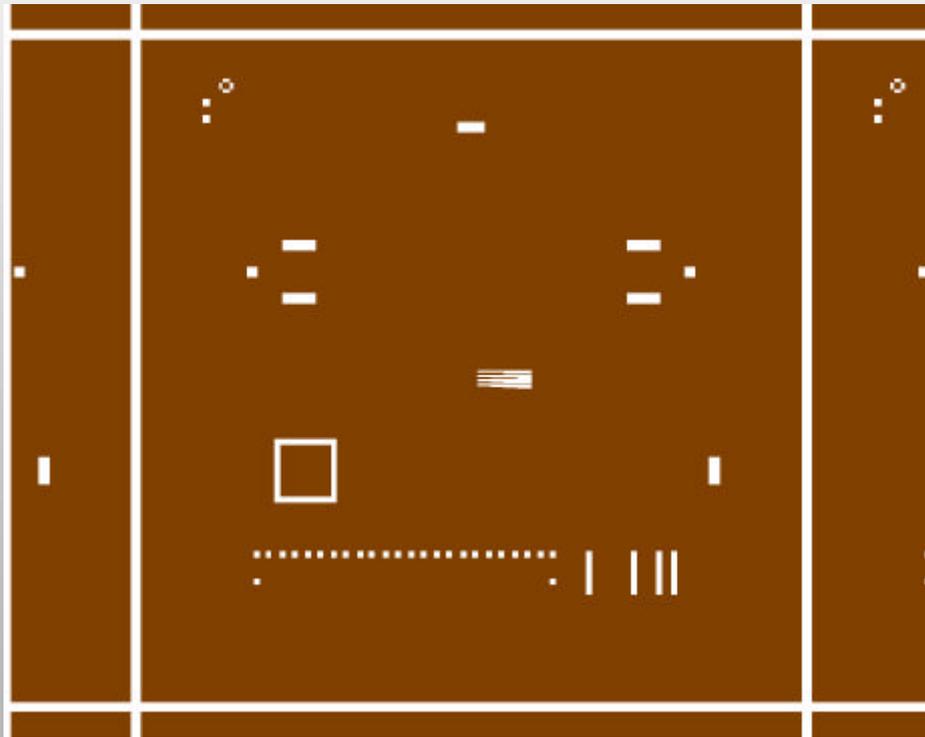


1 - Définitions: jeu de masques

Ensemble des masques utilisés lors d'un processus de fabrication de composants micro-électronique ou micro-système.

Niveau 3

type
ouverture

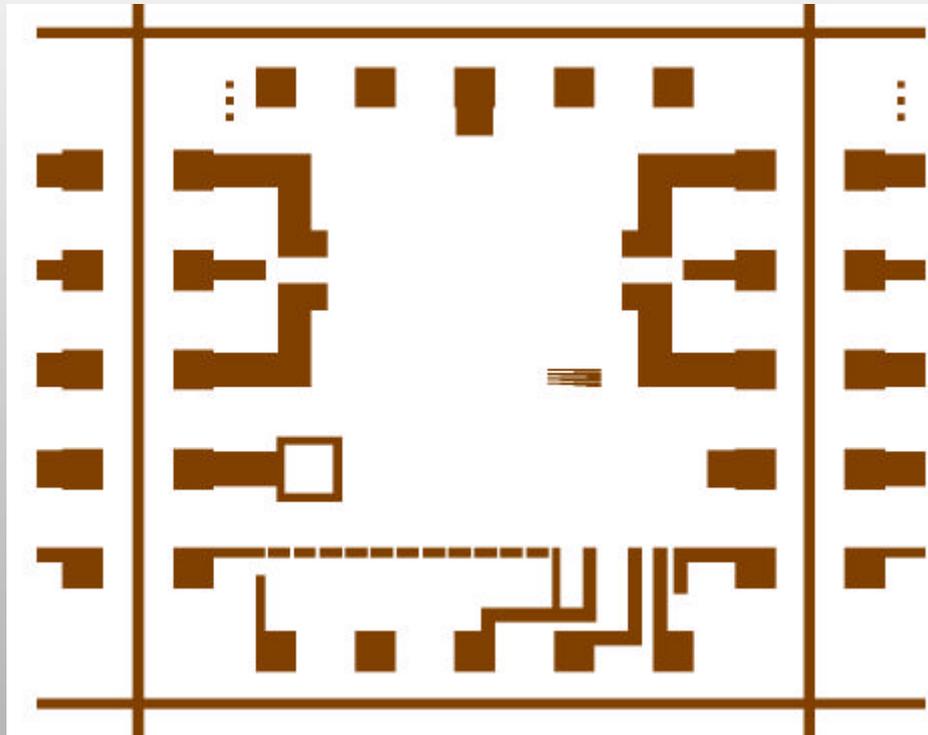


1 - Définitions: jeu de masques

Ensemble des masques utilisés lors d'un processus de fabrication de composants micro-électronique ou micro-système.

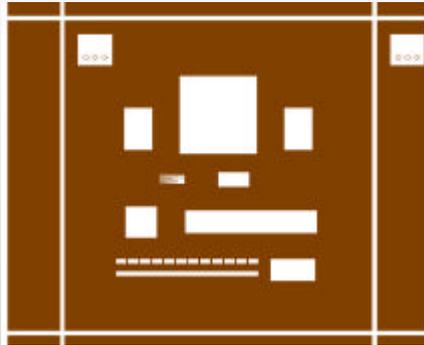
Niveau 4

type
métal



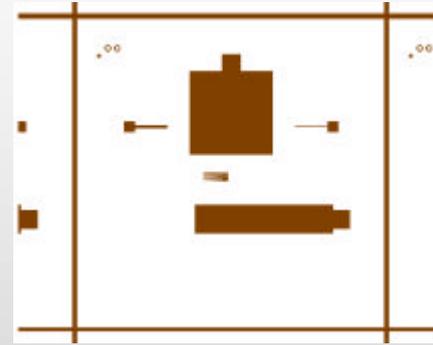
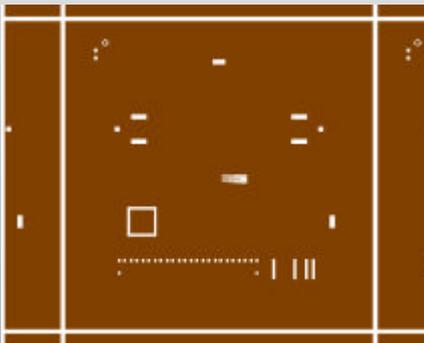
1 - Définitions: jeu de masques

Niveau 1



type
ouverture

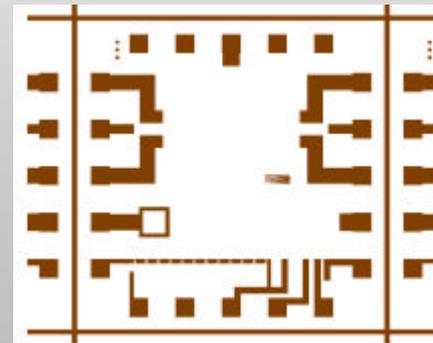
Niveau 3



Niveau 2

type métal

Niveau 4



Niveau: numéro d'ordre d'un masque dans le jeu de masques

1 - Définitions: identification

CNRS LAAS C581-04-Ti.1 WAFJPB3 TMN 04.03.2004

Numéro d'ordre: C581

Année de création du jeu: 04

Numéro du niveau: 1

Nom du jeu de masques (8 caractères max.): WAFJPB3

Groupe ou service demandeur: TMN

Date de fabrication: 04.03.2004

1 - Définitions: identification

CNRS LAAS D089 L1 CAPA M2D 14.03.2006

Numéro d'ordre: D089

Numéro du niveau: 1

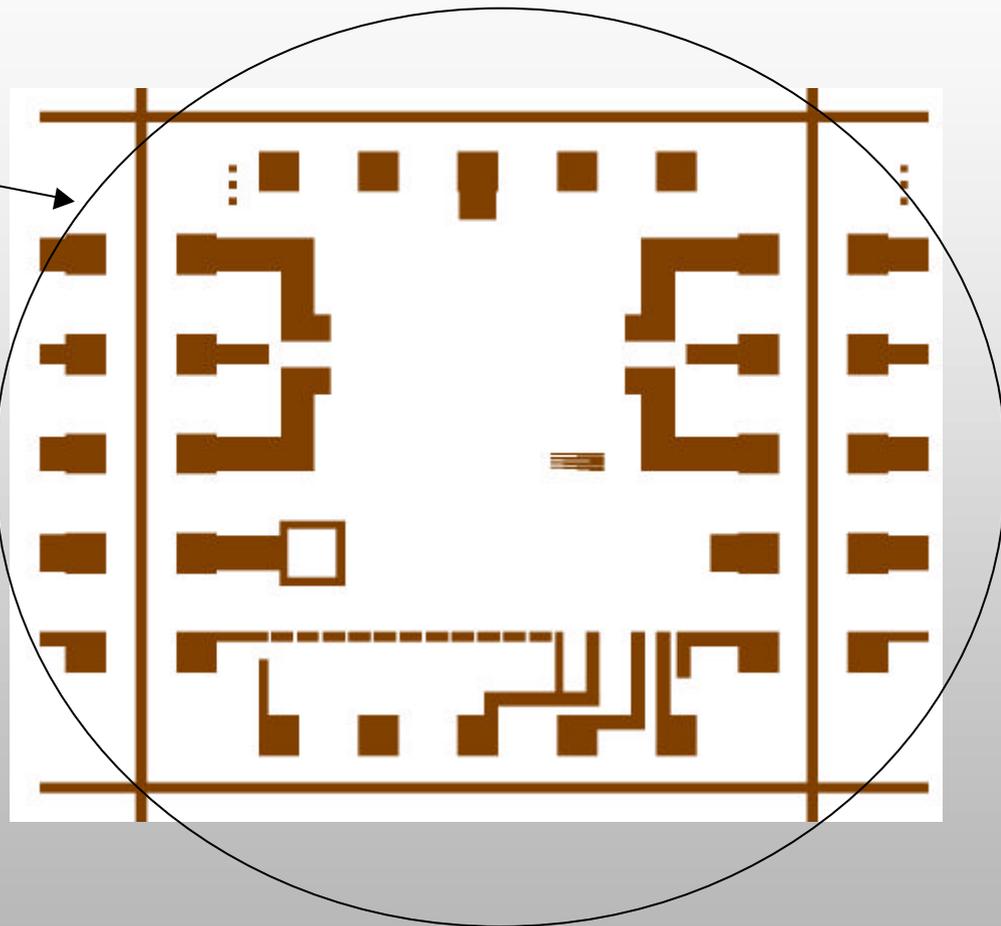
Nom du jeu de masques (8 caractères max.): CAPA

Groupe ou service demandeur: M2D

Date de fabrication: 14.03.2006

1 - Définitions: éléments du masque

Cellules

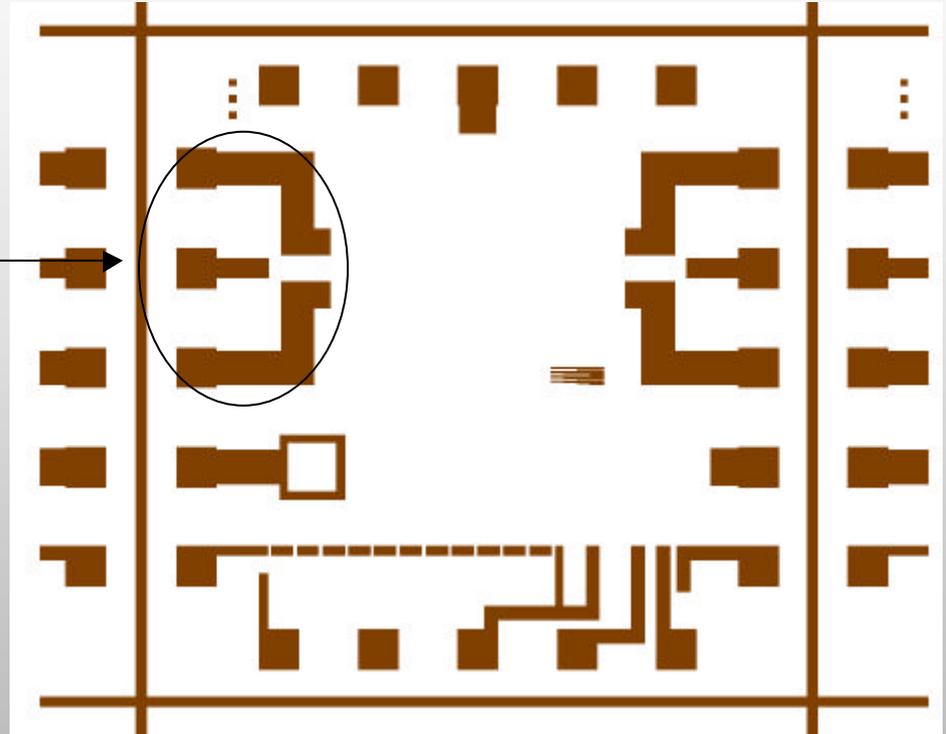


Masque complet = répétition des cellules selon cartographie

1 - Définitions: éléments du masque

Cellules

Composants ou circuits



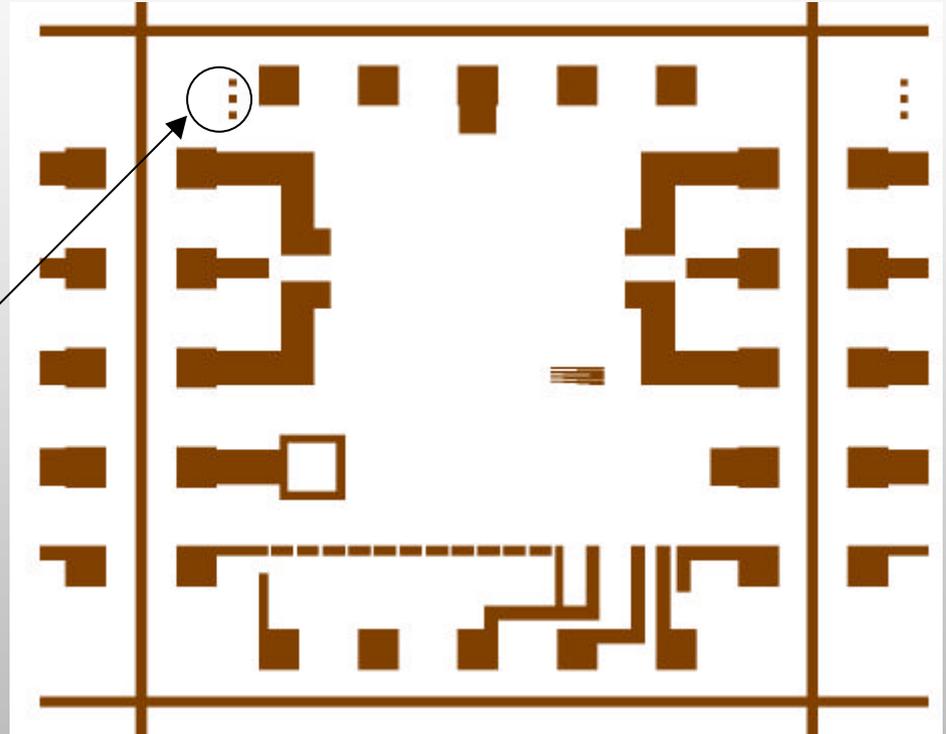
Masque complet = répétition des cellules selon cartographie

1 - Définitions: éléments du masque

Cellules

Composants ou circuits

Motifs d'alignement



Masque complet = répétition des cellules selon cartographie

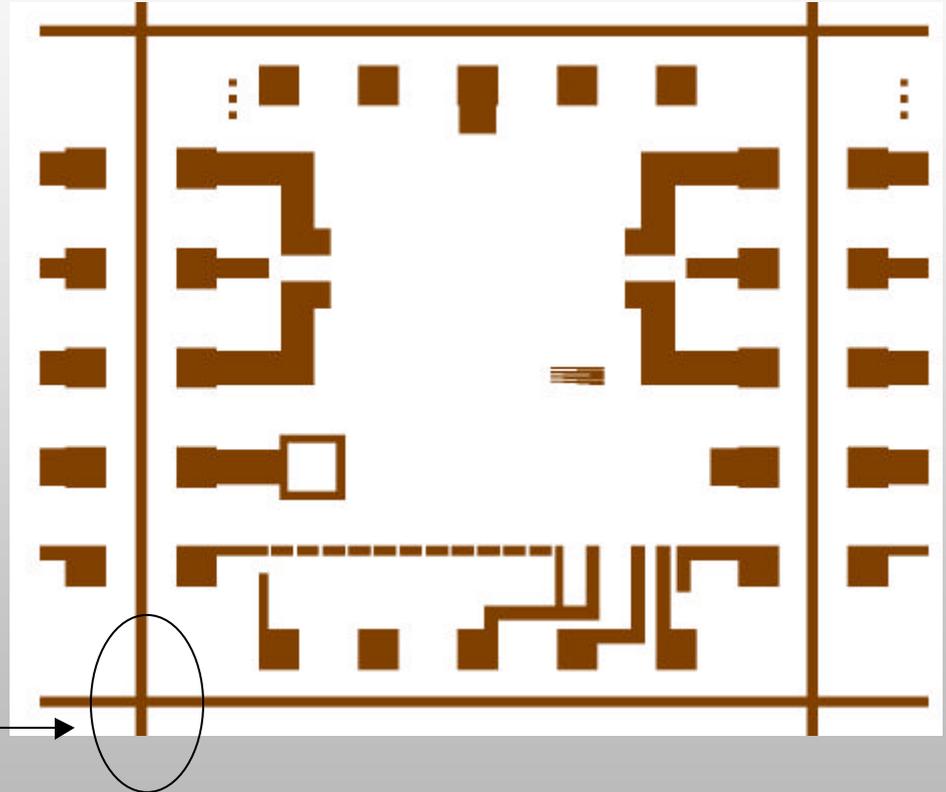
1 - Définitions: éléments du masque

Cellules

Composants ou circuits

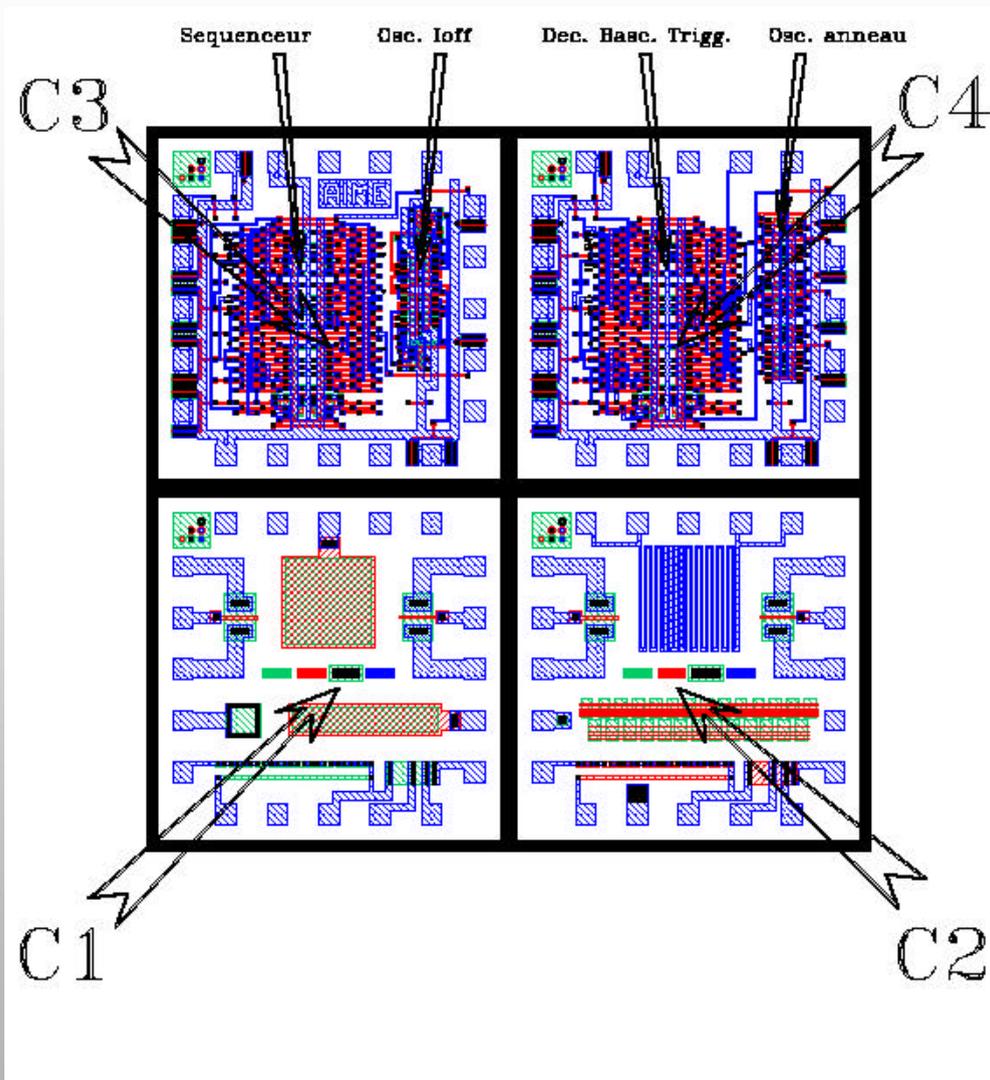
Motifs d'alignement

Chemins de découpe



Masque complet = répétition des cellules selon cartographie

1 - Définitions: structure cellulaire



Création d'une bibliothèque de cellules

Le Dessin

2 - Dessin: les logiciels

Représentation cotée des éléments constituant le jeu de masques

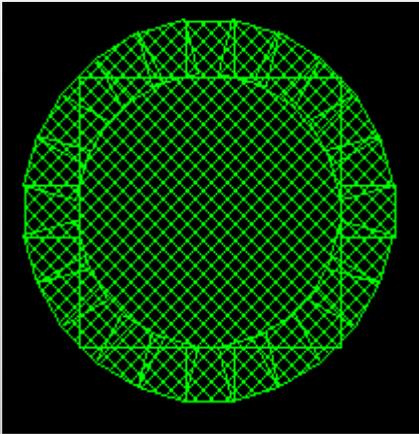
CREMASQ	Wind 98/(95,...)
CADENCE	UNIX
CLEWIN	95/98/NT/XP/MAC

Autres logiciels générant les formats: GDSII, CIF

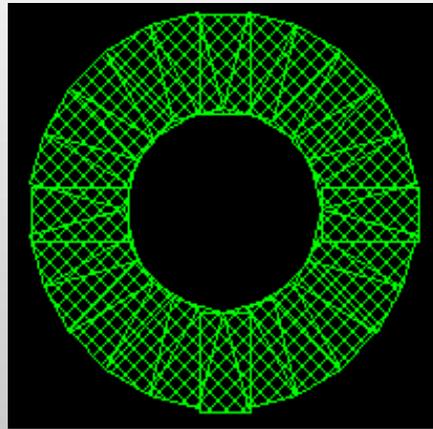
2 - Dessin: les logiciels

CREMASQ permet de dessiner: rectangles obliques et non obliques,.

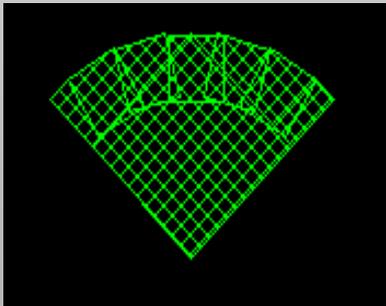
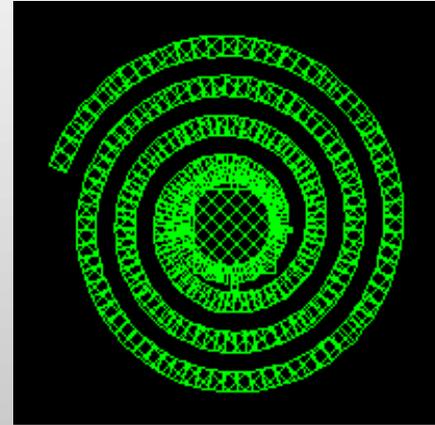
cercles



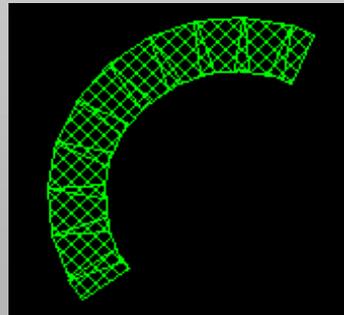
couronnes



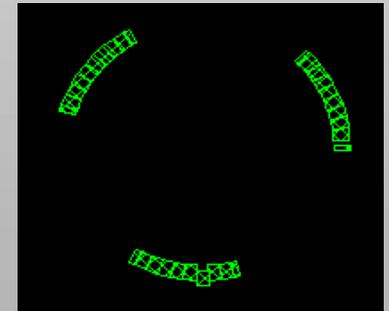
spirales



arcs de cercle



fraction de couronnes



répétitions radiales

2 - Dessin: les logiciels

DEMONSTRATION CLEWIN

2 - Dessin: les règles

La conception des masques = 20/20

Si

Les règles de dessin sont appliquées.

2 - Dessin: les règles

Les règles de dessin sont imposées par:

la fabrication des masques,

l'alignement des masques,

le type d'insolation,

le développement de la résine,

la gravure,

la découpe,...

2 - Dessin: les règles

pour la fabrication des masques (5 pouces) au LAAS:

Format	cremasq ou cif ou gds2
Unités	μm et degré
Précisions	1/10 μm et 1/10 degré
Surface maxi du dessin	100000 x 100000 μm^2
Recouvrements des figures	supérieurs ou égales à 2 μm
Présence de polygones	sans contour oblique,...

2 - Dessin: les règles

pour la fabrication des masques au LAAS:

Au choix:

	Règle PG	Règle IR	(Règle DWL)
Surface maxi des cellules	106000 x 106000 μm^2	9600 x 9600 μm^2	200000 x 200000 μm^2
Dimension mini des carrés ou rectangles	10 μm	2 μm	1 μm
Diamètre mini des cercles ou couronnes	50 μm	5 μm	1 μm
Espace mini entre 2 figures d'un même niveau	10 μm	2 μm	1 μm
Espace mini entre 2 figures de niveaux différents	5 μm	2 μm	1 μm

2 - Dessin: les règles

pour la fabrication des masques au LAAS:

Au choix:

	Règle PG	Règle IR	(Règle DWL)
Nombre maxi de cellules de natures différentes	libre	2 à 4	libre
Nombre maxi de carrés ou rectangles	≈ 30000	≈ 3000000	≈ 1000000
Nombre maxi de cercles ou couronnes	≈ 2000	≈ 200000	≈ 1000000
...			

2 - Dessin: les règles

pour la photolithographie au LAAS:

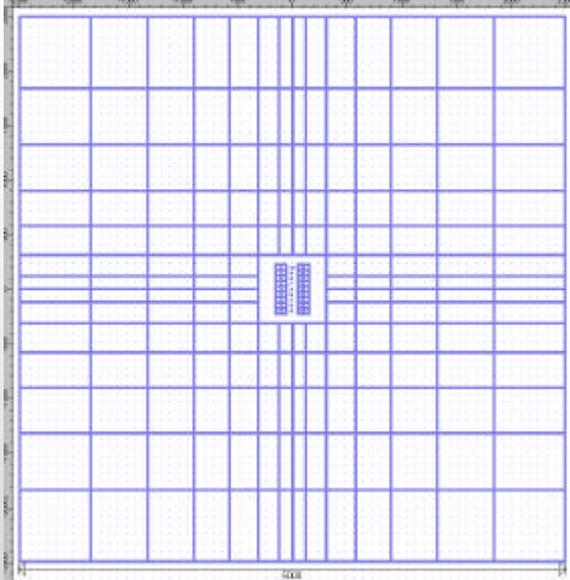
Au choix:	Contact	Proximité
Dimension mini des figures	2 μm	
Espace mini entre 2 figures	2 μm	
Précision d'alignement	1 μm	
Position mire pour alignement face arrière	2 mires distantes de 70000 μm	2 mires distantes de 70000 μm
...		

2 - Dessin: les règles

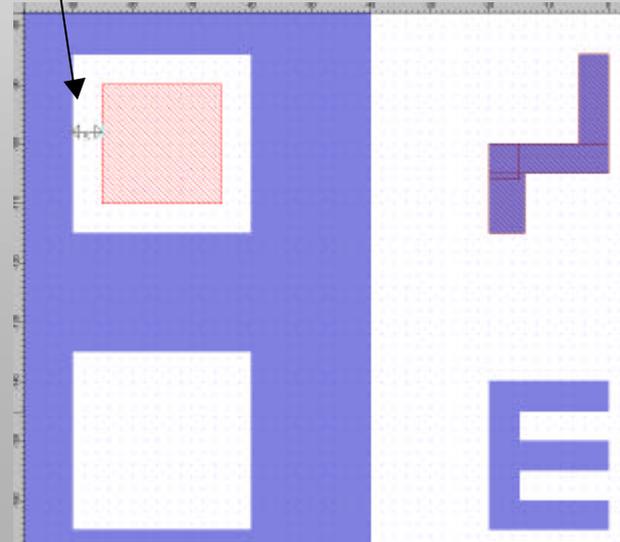
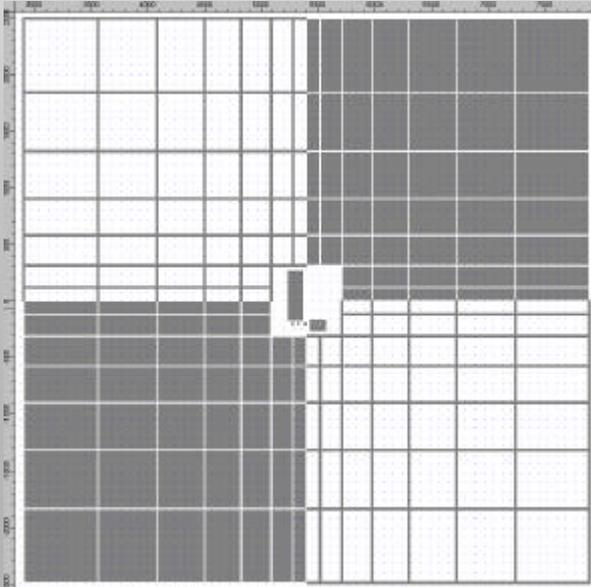
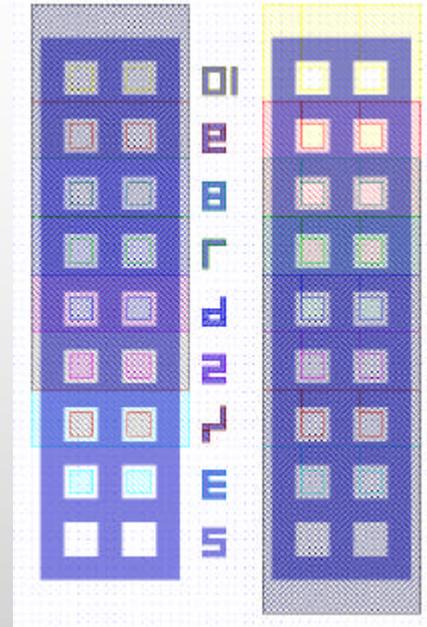
pour la gravure et la découpe au LAAS:

Fenêtre de détection gravure DRIE	Diamètre 200 μm au centre du masque
...	
Largeur des chemins de découpe en métal	50 μm
Distance mini chemin de découpe - membrane	???

2 - Dessin: les motifs d'alignement

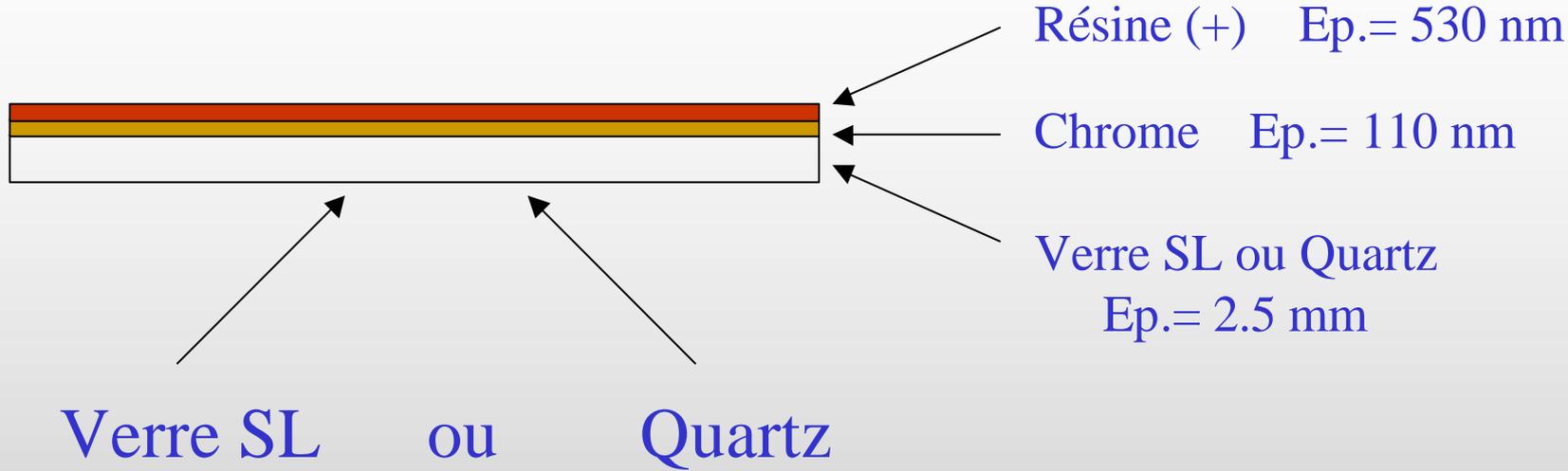


Intervalle
 $5 \mu\text{m}$



La Fabrication

3 - Les plaques vierges

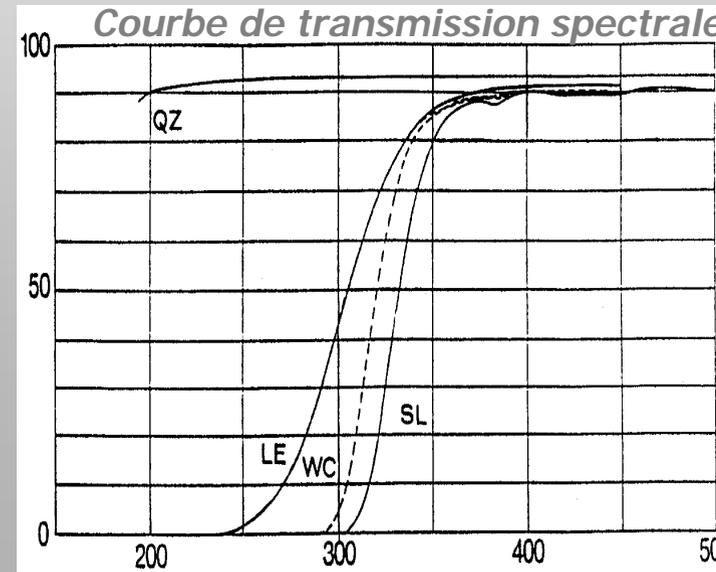


Plaques carrés: 5 pouces
ou 4 pouces

Autres dimensions, jusqu'à 12 pouces

Prix d'une plaque 5 pouces SL: 35 euros

Prix d'une plaque 5 pouces Quartz: 200 euros



4 - Insolation: 1^{er} masque au LAAS - 1976

Réalisation de la cellule à l'échelle x 200 avec le coordinatographe.

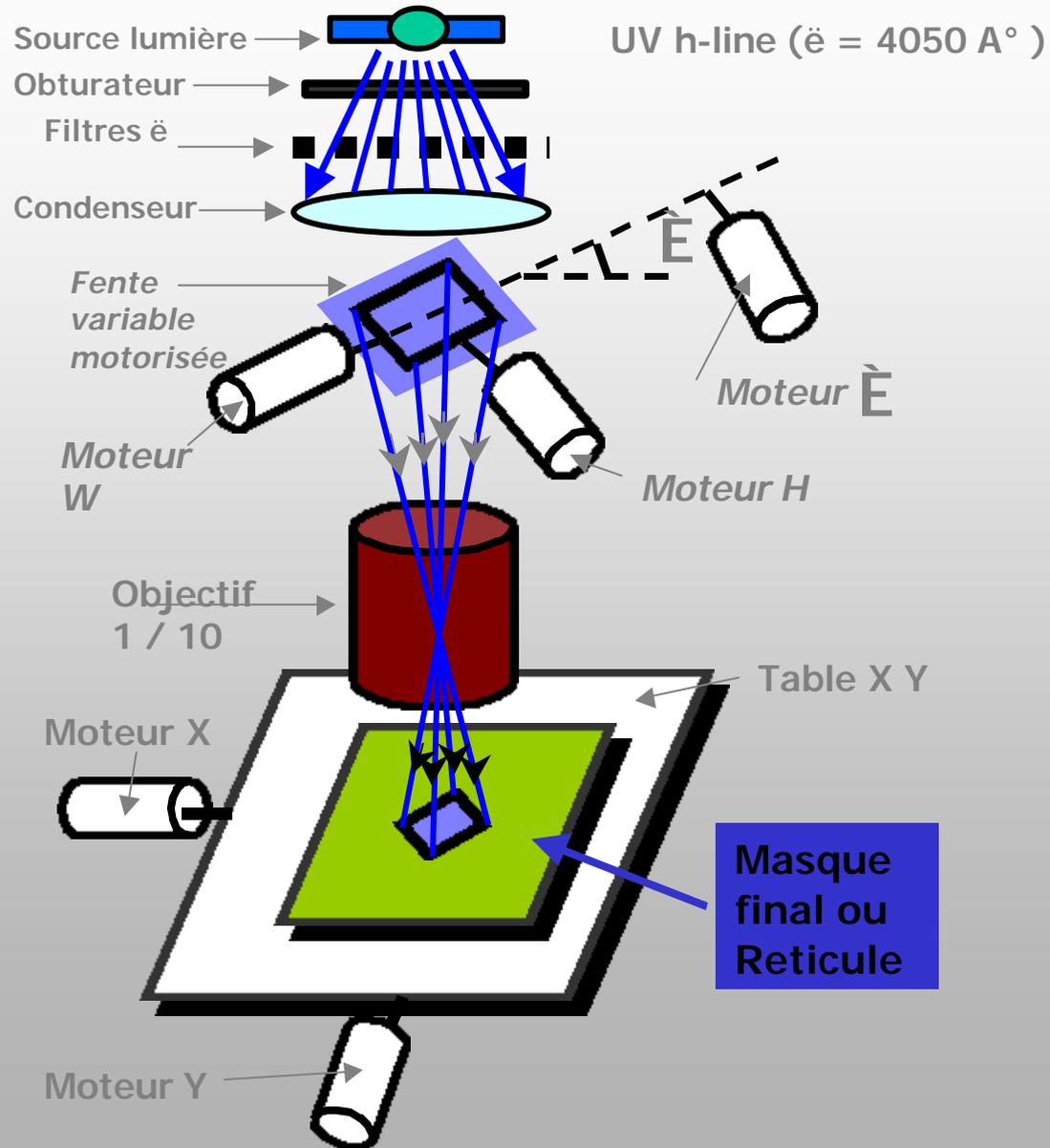
Réduction 1/20 avec un banc optique micro-contrôle.

Réduction 1/10 et photorépétition avec le photorépéteur David Mann.

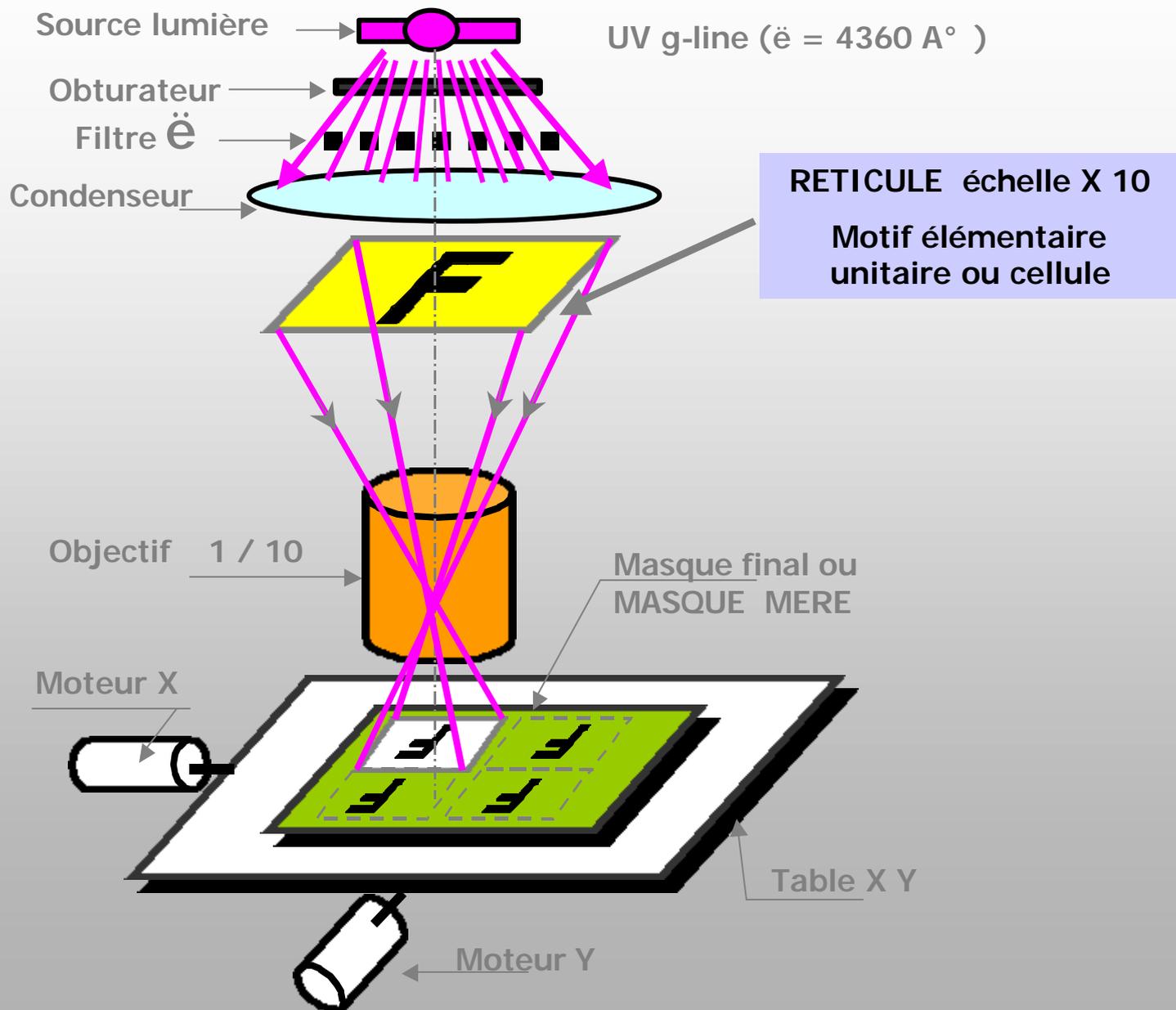
Utilisation de plaques
émulsions 2.5 pouces



4 - Insolation: générateur de dessin - PG



4 - Insolation : répéteur d'image - IR



4 - Insolation : masqueur optique combo EMK

Générateur
d'images

=> PG

Photorépéteur

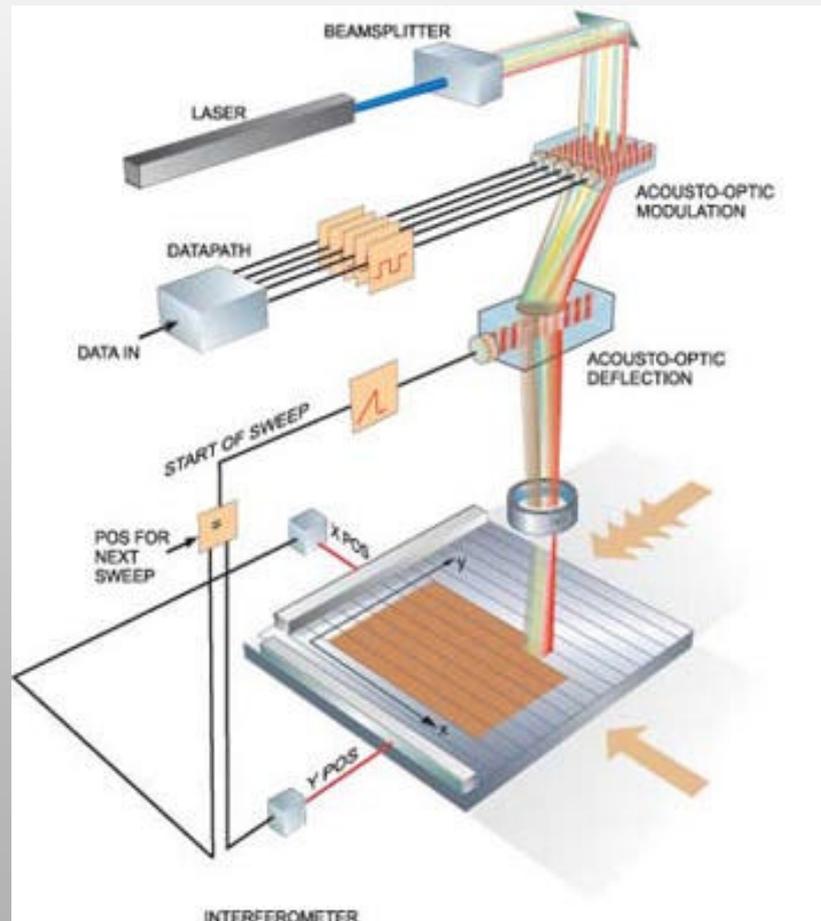
=> IR

Environnement Classe 100



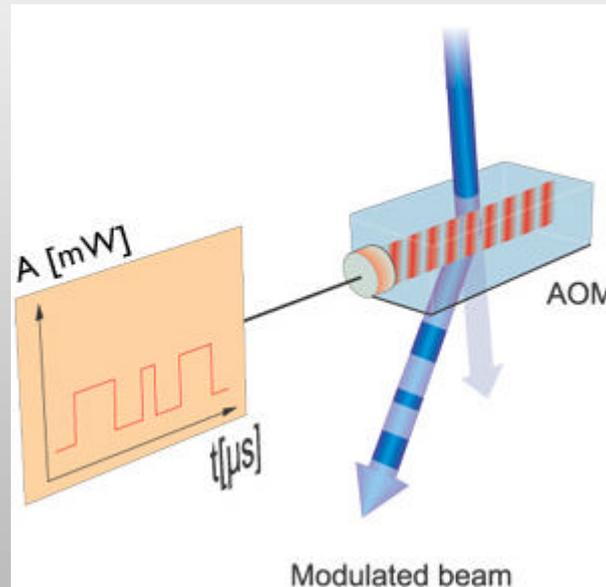
4 - Insolation : écriture laser directe - DWL

La modulation et le balayage de multiples faisceaux lumineux permet l'écriture directe des dessins sur la résine photosensible.



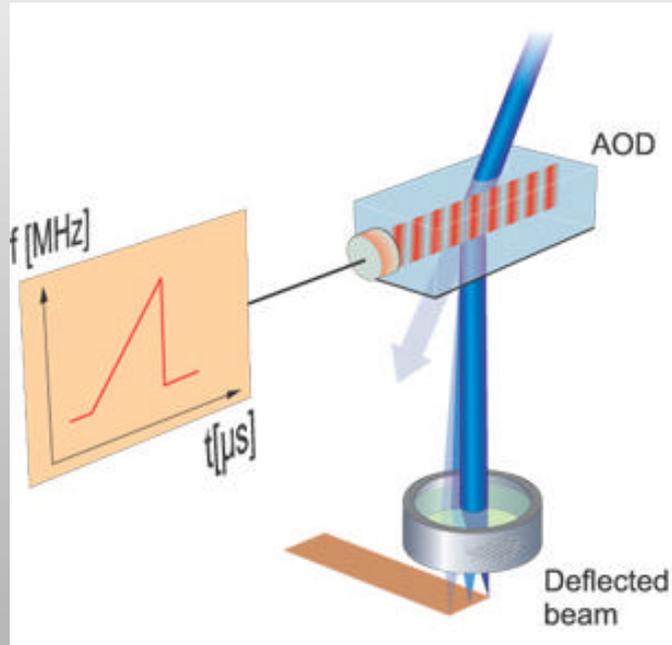
4 - Insolation : écriture laser directe - DWL

Les modulateurs opto-acoustique dosent les quantités de lumière à propager.

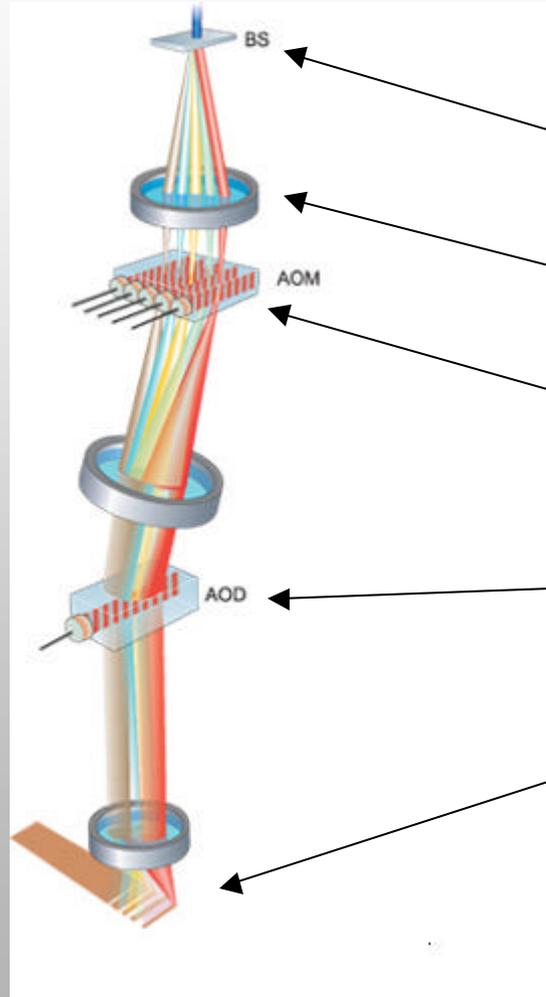


4 - Insolation : écriture laser directe - DWL

Le défecteur opto acoustique dévie les faisceaux pour répartir les quantités de lumière dans le champ de l'objectif.

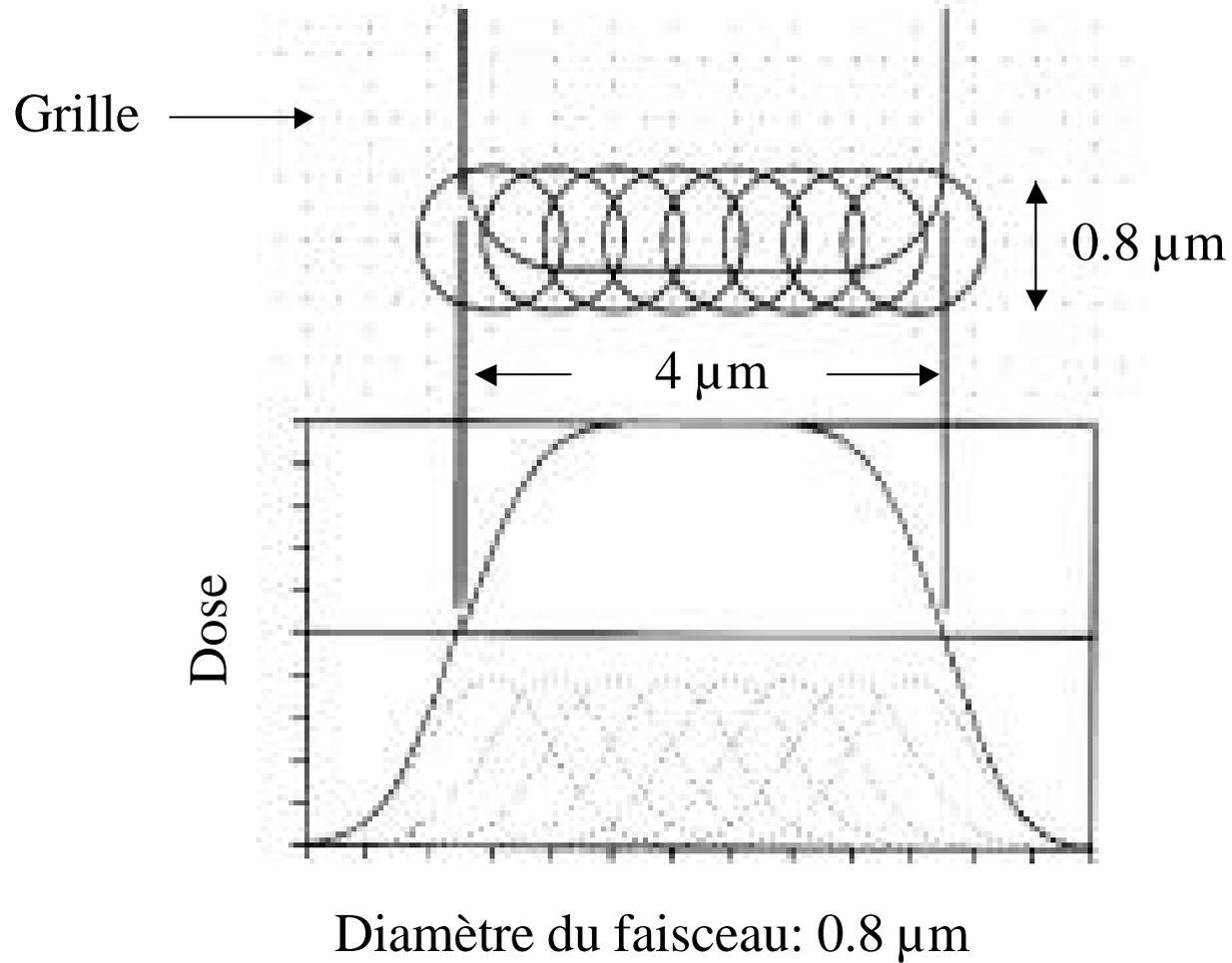


4 - Insolation : écriture laser directe - DWL

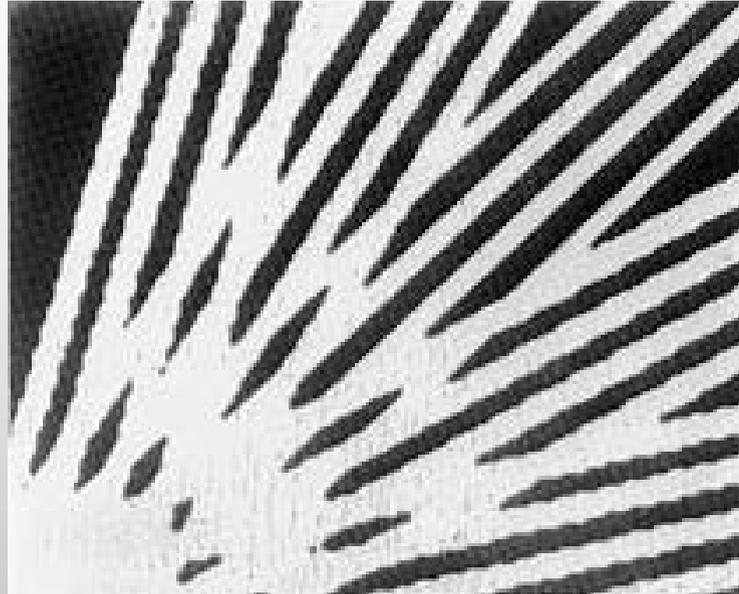


- division
- convergence
- modulations
- déflection
- écriture

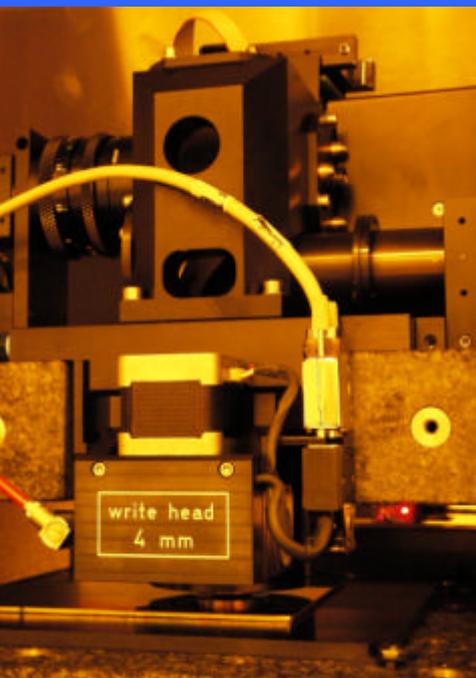
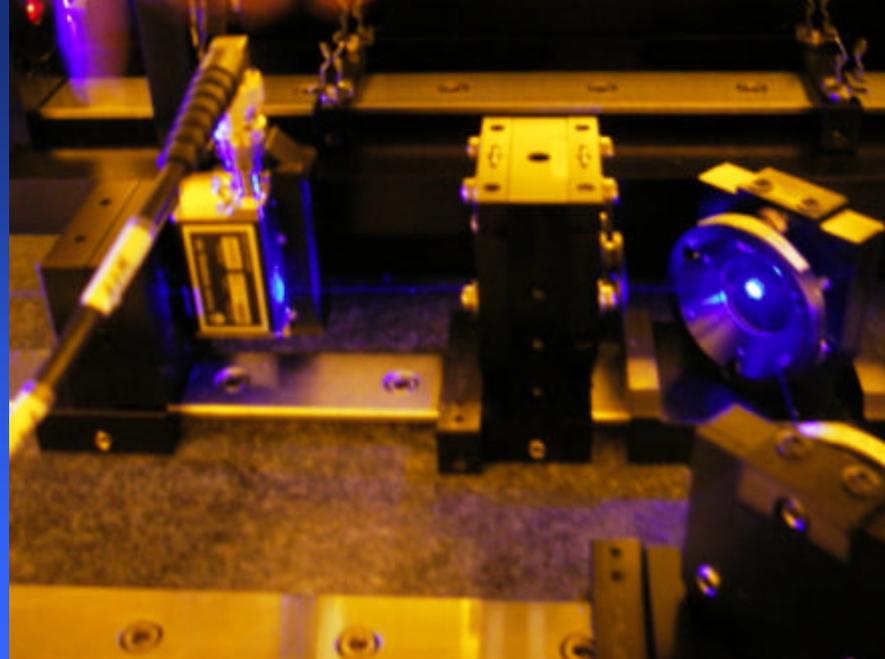
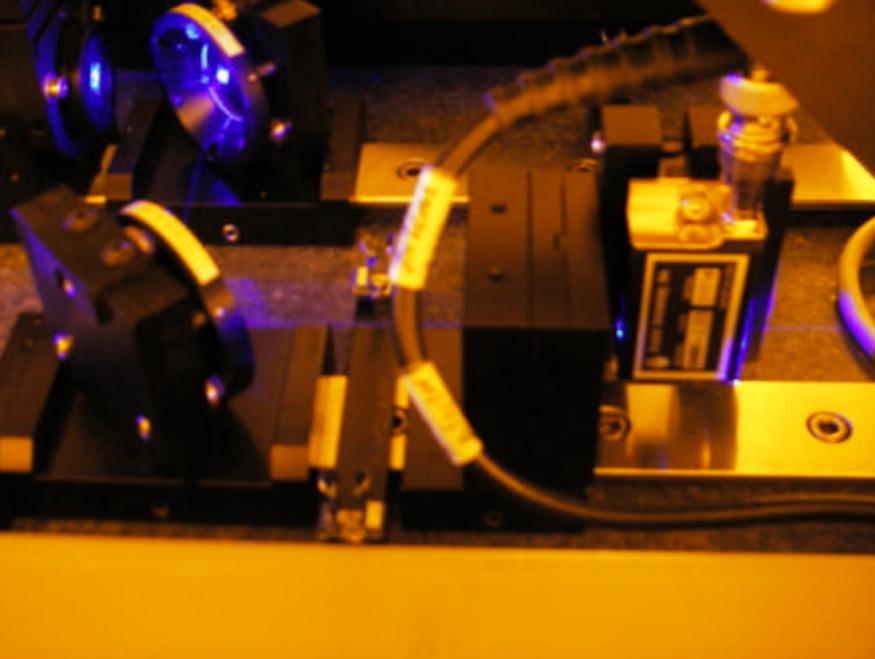
4 - Insolation : écriture laser directe - DWL



4 - Insolation : écriture laser directe - DWL

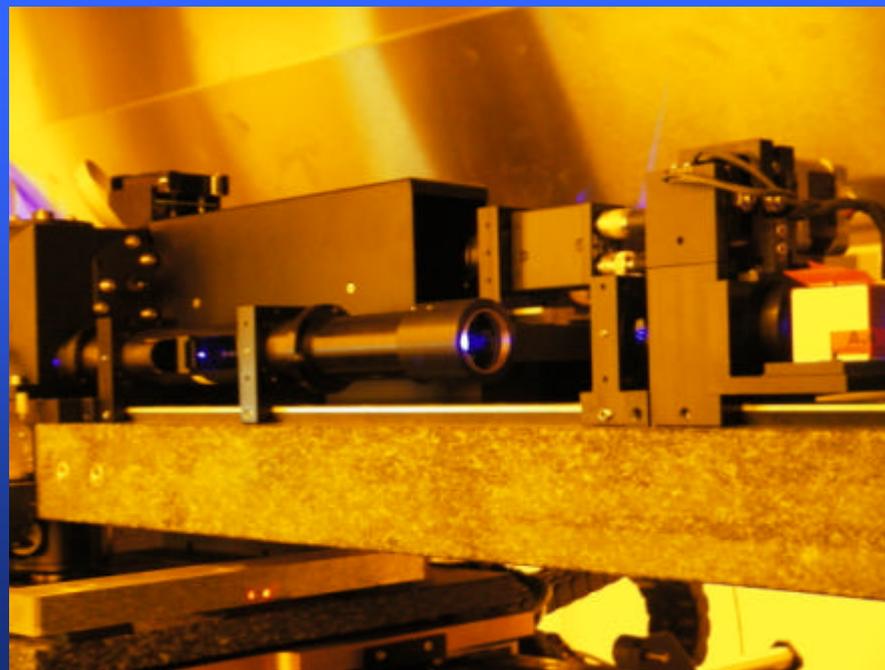


- Réseaux: $2 \mu\text{m}$
- Angles: 15° , 30° , 45° , 60° , 75°
- Grille: $0.5 \mu\text{m}$

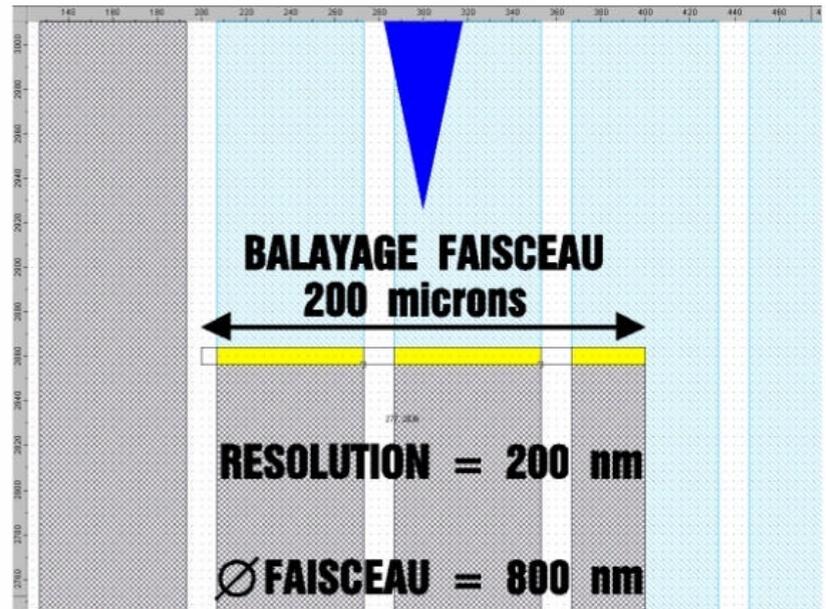
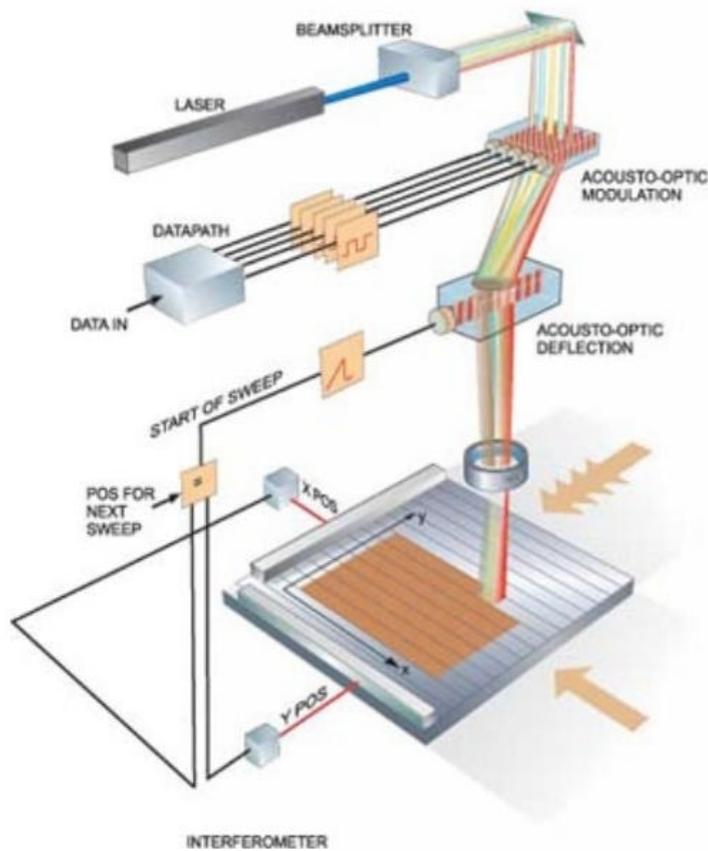


DWL
200

Classe
10



ECRITURE LASER



Largeur mini d'un trait: 700 nm
Taille des masques: 2 à 8 pouces



4 - Insolation : écriture laser directe – DWL

Écriture laser direct sur masque ou substrats Si

Heidelberg Instruments: DWL 200

Laser He-Cad – 125 mW – 442 nm

Performances d'insolation:

Dimension mini: $0.7 \mu\text{m}$

Dimension maxi: 200 mm



4 - Insolation : écriture laser directe – DWL

Écriture laser direct sur masque ou substrats Si

Heidelberg Instruments: DWL 200

Laser He-Cad – 125 mW – 442 nm

Performances d'alignement:

Mode: automatique

Précision: 100 à 200 nm



4 - Insolation : écriture laser directe – DWL

Écriture laser direct sur masque ou substrats Si

Heidelberg Instruments: DWL 200

Laser He-Cad – 125 mW – 442 nm

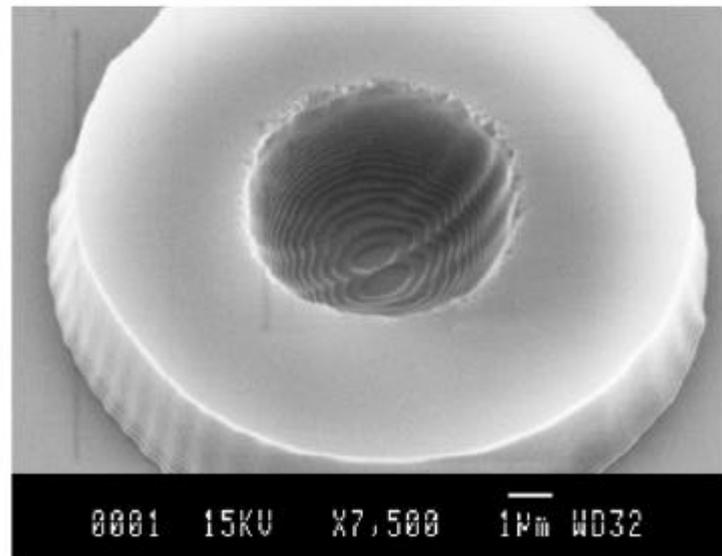
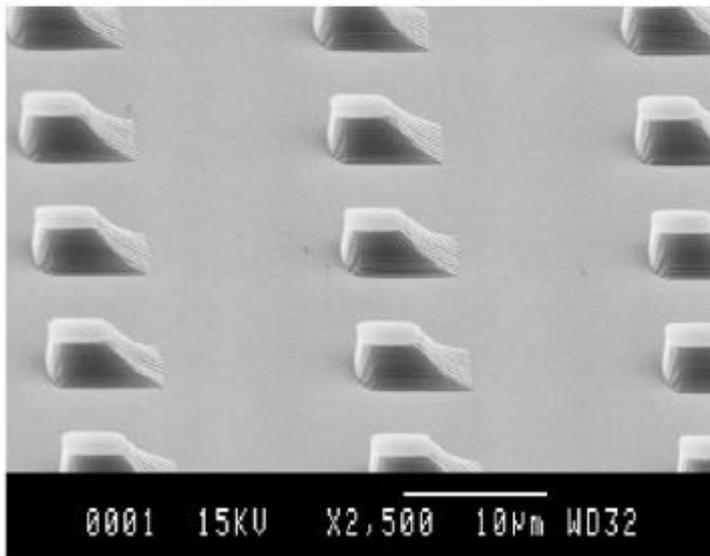
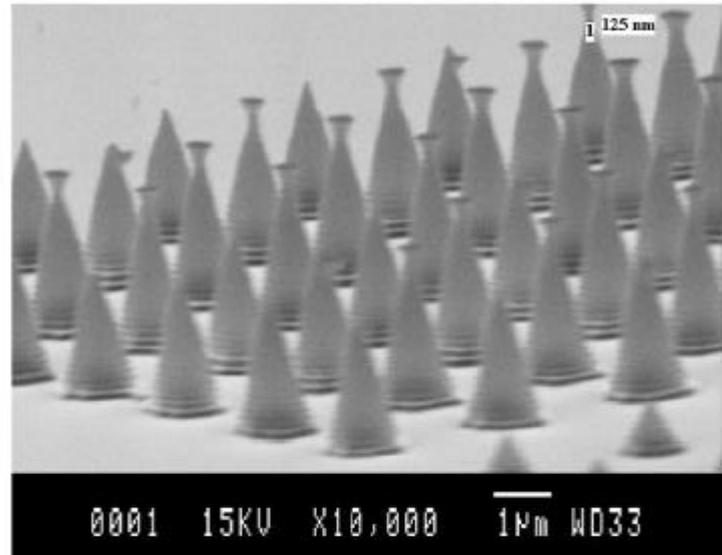
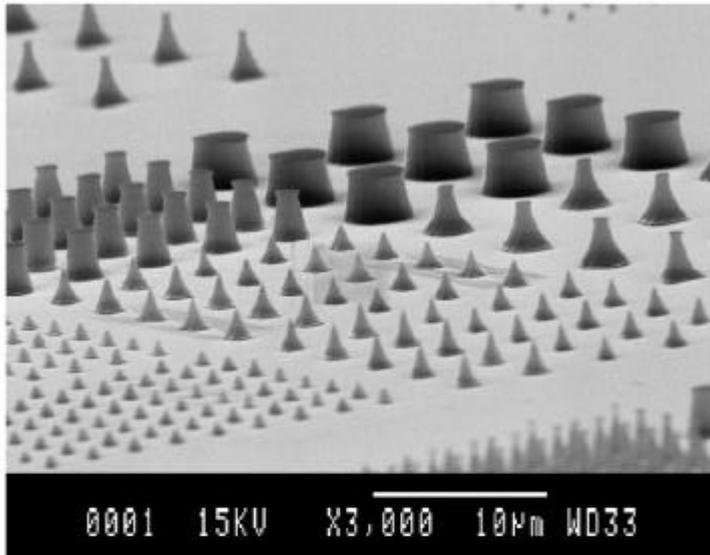
Performances d'écriture:

Résolution X: 127 000 dpi

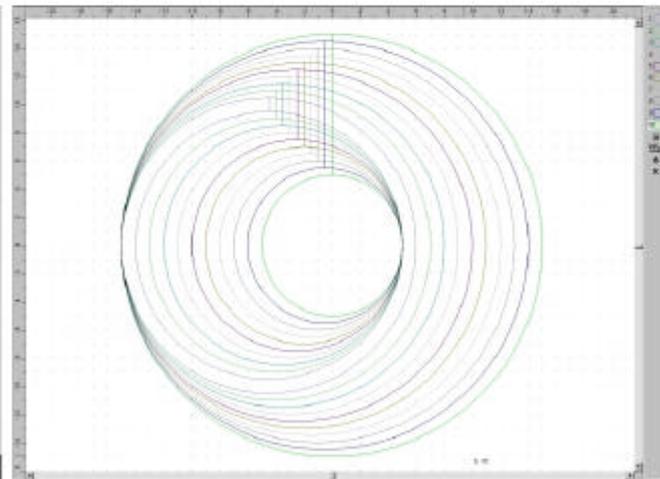
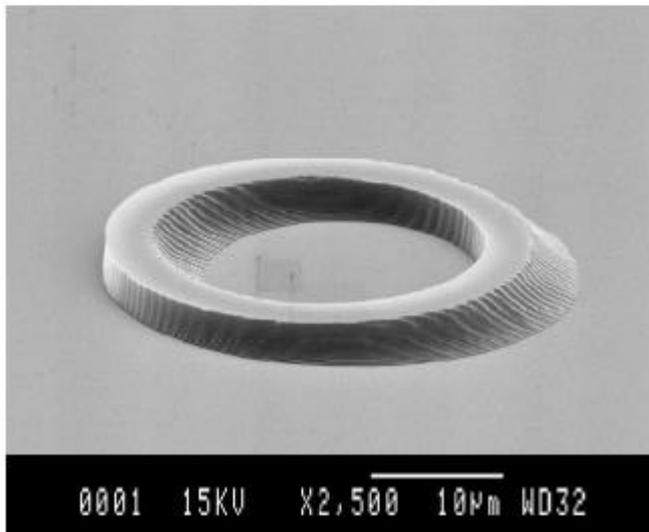
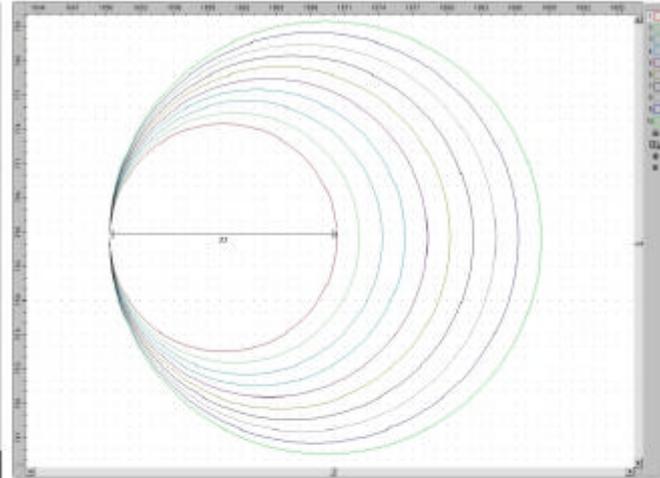
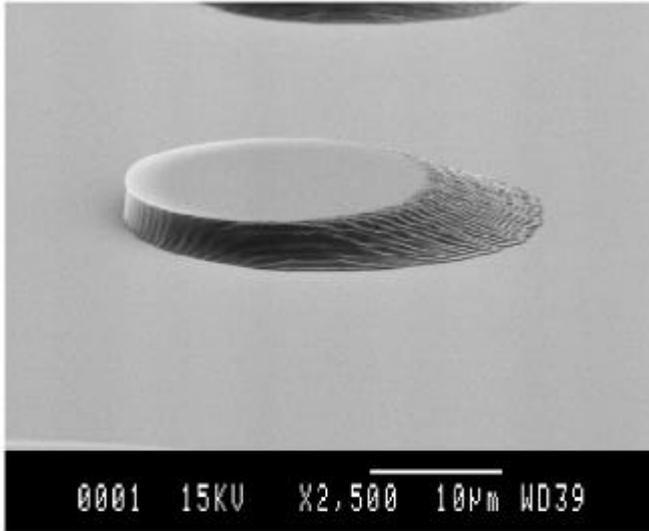
Résolution Y: 63 500 dpi



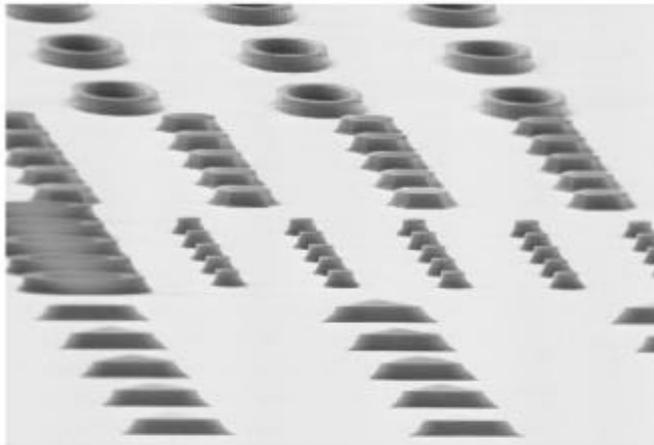
4 - Insolation : écriture laser directe – DWL



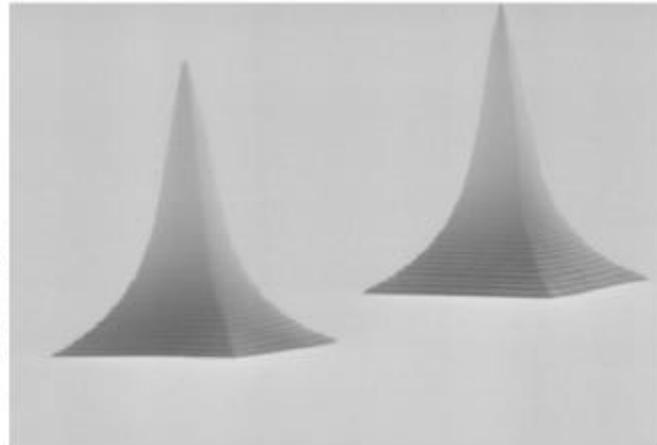
4 - Insolation : écriture laser directe – DWL



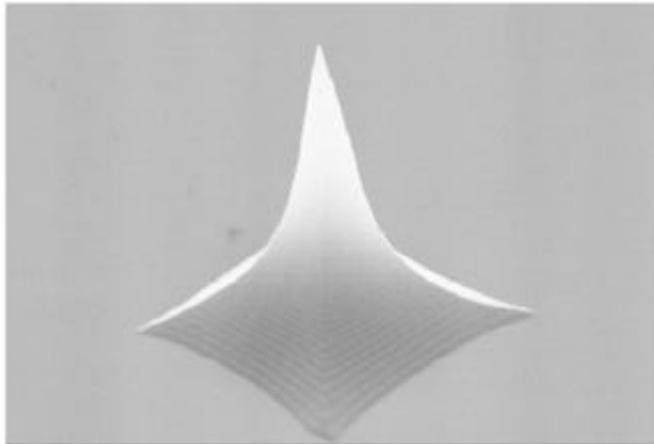
4 - Insolation : écriture laser directe – DWL



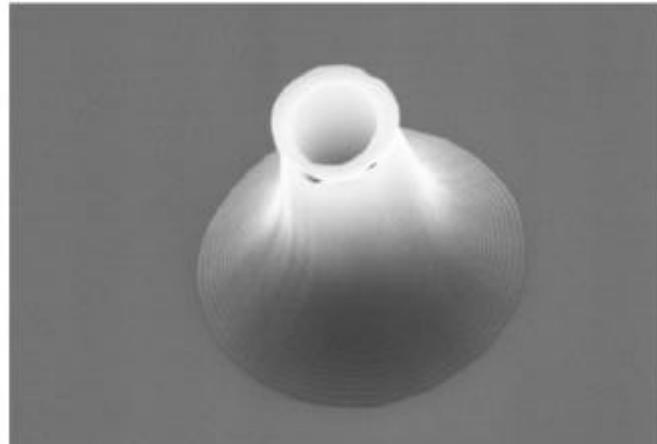
0001 15KV X1,000 10µm WD30



0001 15KV X7,500 1µm WD28

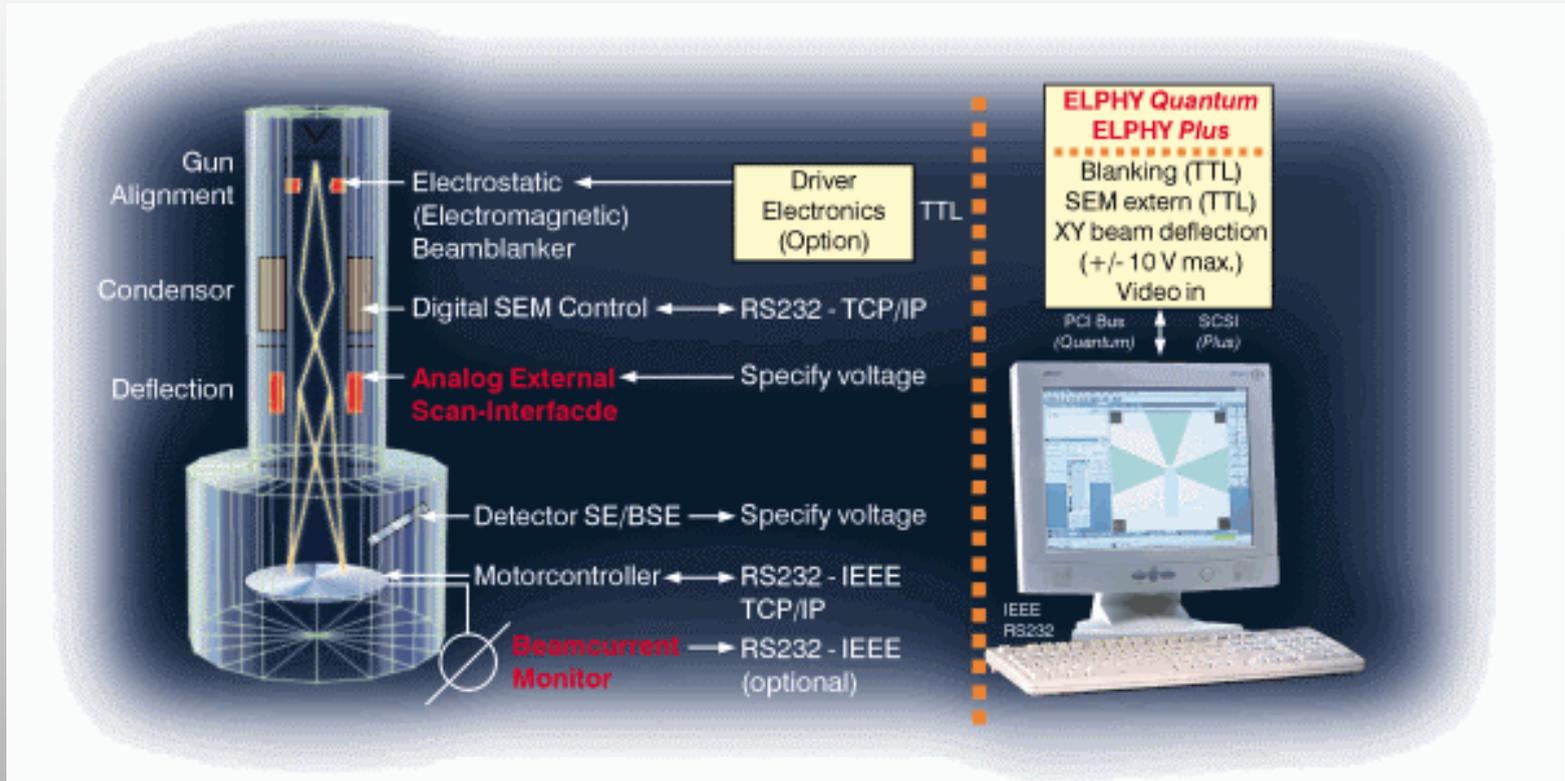


0001 15KV X7,500 1µm WD27



0001 15KV X5,000 1µm WD28

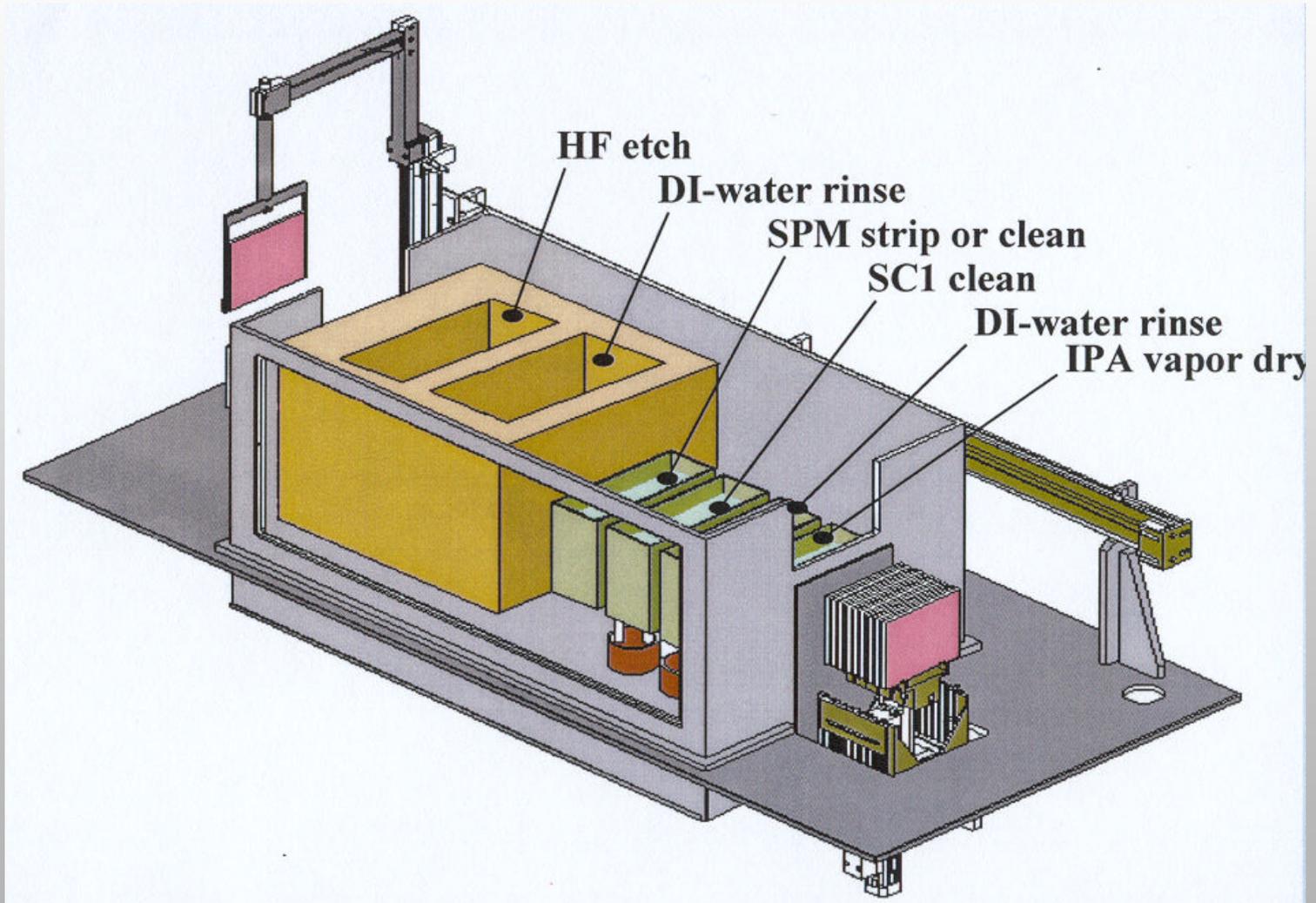
4 - Insolation : masqueur électronique - E beam



4 - Insolation : comparatif technique

	PG	IR	DWL	E-BEAM
Dimensions mini	10 μm	1 μm	0.5 μm	0.005 μm
Dimensions maxi	400 mm	10 mm	400 mm	150 mm
Vitesse de production	1 plaq./h		1 plaq./h	0.1 plaq./h

5 - Traitements post-insolation



5 - Traitements post-insolation



TETRA™ PHOTOMASK ETCH SYSTEM FOR FABRICATING PHOTOMASKS

5 - Traitements post-insolation

Au LAAS, résine 1518:

- Développement (AZ developer),
- Rinçage (eau DI),
- Attaque chrome (Chromium etching),
- Rinçage (eau DI),
- Séchage.



5 - Traitements post-insolation

Au LAAS:

Elimination de la résine et nettoyage:

- Acétone,
- Rinçage,
- Séchage,
- RT2,
- Rinçage,
- Séchage,
- Etuvage.

- AZ 100 remover,
- Rinçage,
- Séchage,
- Etuvage.

5 - Traitements post-insolation

Inspection automatique des masques:

Contrôle des géométries:
Analyse en transmission

Contrôle des surfaces:
Analyse par réflexion

Sensibilité: $0.1 \mu\text{m}$



6 - Bilan et coûts

1139 jeux de masques depuis 1976,

374 masques en 2006,

15 000 euros de plaques vierges en 2006,

220 euros : prix moyen d'un masque.

Mask Type	Writing tool	MFS (μm)	CD tol ($\pm\mu\text{m}$)	CD unif (μm)	Defects (μm)	Price (€)
5 '' Sodalime STD	C2000	$\geq 2\mu\text{m}$	$0.25\mu\text{m}$	$0.25\mu\text{m}$	$0.3 \text{ def/cm}^2 > 2\mu\text{m}$	580

7 - Prospectives

VertiClean® Advanced Photomask Processor

**Modular Single Mask Tank System
for multiple etching and cleaning processes:**

- **Quartz etching (phase shift masks), HF/BOE tank with recycling system and automatic media concentration control**
- **Glue removal (pelliclelization), process tank with media recycling system,**
- **SPM stripping and cleaning with in-situ mixing of chemicals,**
- **SC1 cleaning with in-situ mixing of chemicals,**
- **Ozonized water cleaning**
- **Megasonic cleaning**
- **IPA vapor supported drying**
- **Temperature control of process media up to 80°C**

