

PAUL SCHERRER INSTITUT



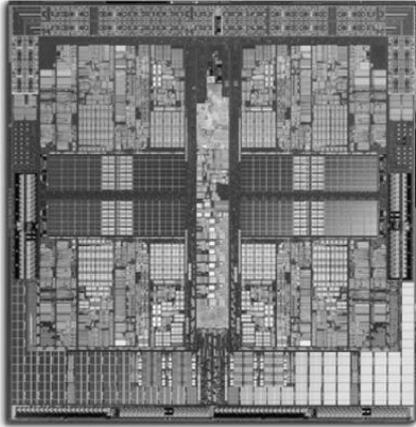
Dimitrios Kazazis :: Paul Scherrer Institut

Lithographie haute résolution par interférence d'extrême UV

Trends in Micro Nano, Neuchâtel, 12 Décembre 2018

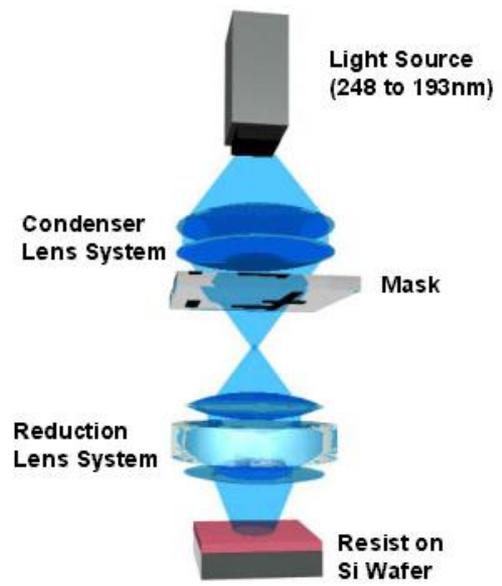
- Photolithographie
- Lithographie Extrême UV par interférence (EUV-IL)
 - Description de la technique
 - EUV-IL au PSI: Ligne de lumière XIL-II
- Exemples de structures
- Applications
- Conclusions

La photolithographie

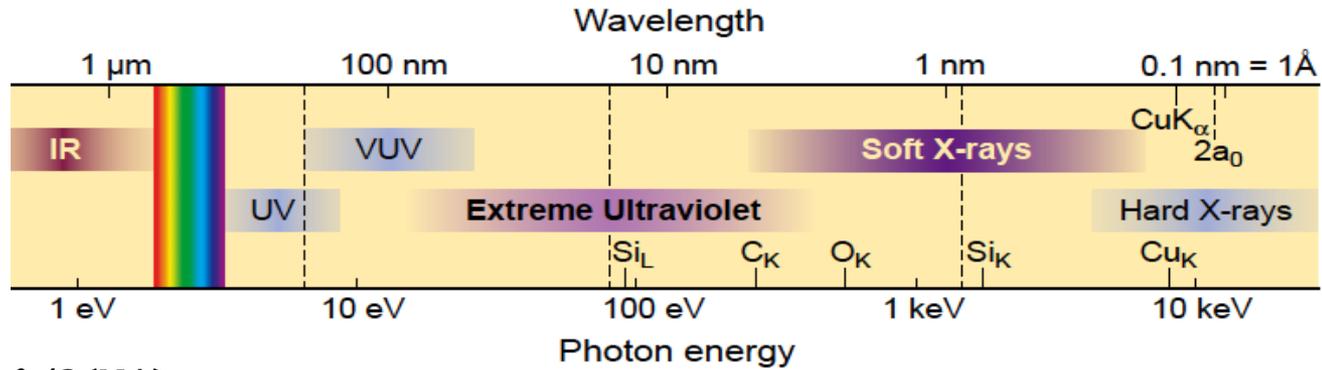


Resolution
Taille caractéristique
Superposition/Alignement
Complexité

Débit
Peu de défauts
Rendement
Vitesse
Extensibilité
Coût



Choix de longueur d'onde



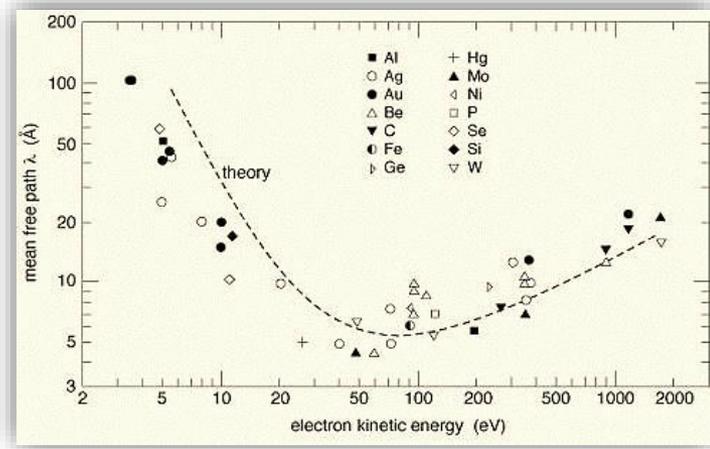
Resolution : $\lambda/2(NA)$ →

Diffusion : $1/\lambda^4$ ←

Optiques : Optiques de transmission Optiques réfléchissantes Aucune optique efficace

Résines : Forte absorption

Effets de proximité :



Disponibilité de source, shot-noise, masque, etc.

Lithographie extrême UV par interférence

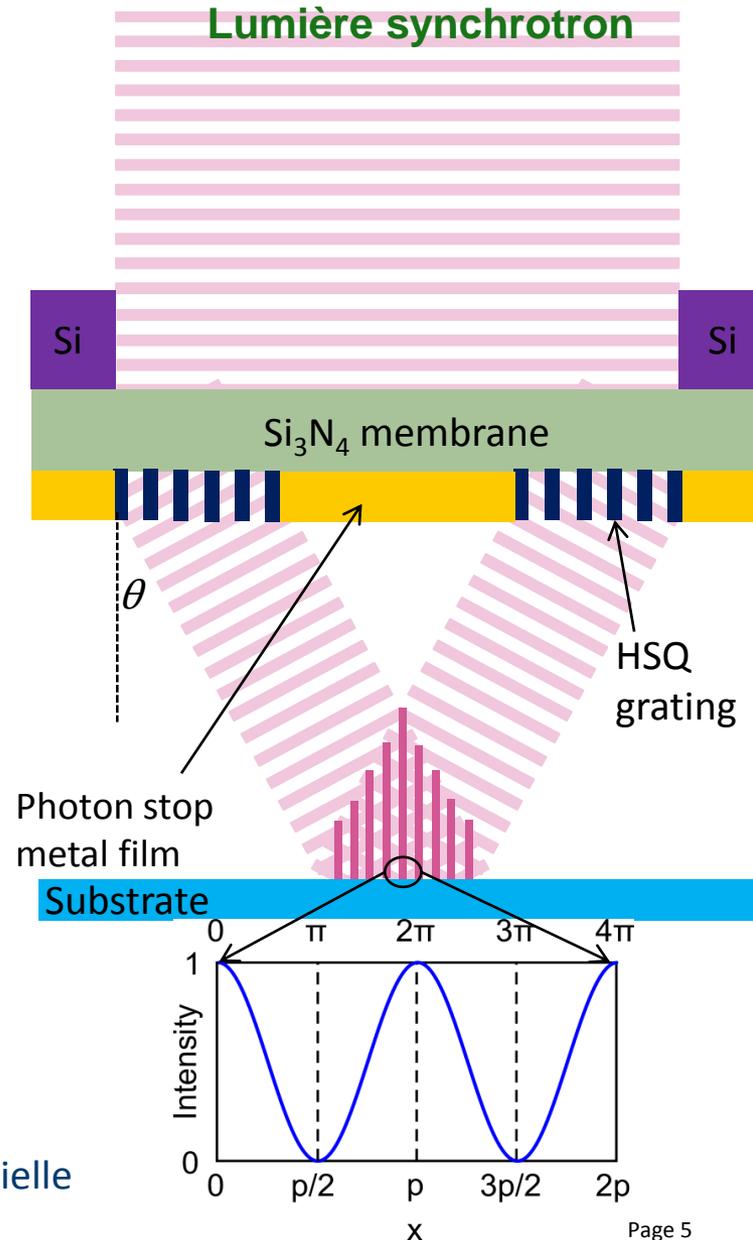
- EUV: 13.5 nm longueur d'onde
 - Cohérence spatiale
 - Cohérence temporelle: $\Delta\lambda/\lambda = 4\%$
- Réseau de diffraction en transmission :
 - Fabriqués par lithographie électronique
 - sur des membranes de Si_3N_4 (<100 nm)
- Interférence des deux faisceaux
- Motifs d'interférence se transfère sur la résine

$$p = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} = \frac{g}{2m}$$

p : périodicité sur résine
 g : période du grating
 m : ordre de diffraction

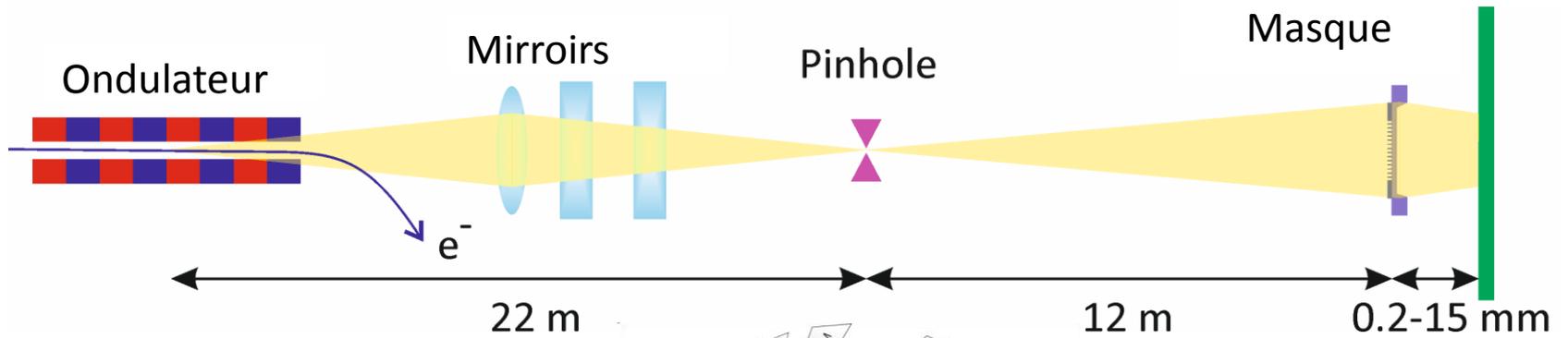
AVANTAGES:

- Pas d'effet de proximité
- Haute résolution :
 - Limite théorique : half-pitch= 3.5 nm
- Grandes surfaces :
 - Typiquement : 0.5x0.5 mm²
 - Max : 5x5 mm² sans stitching
 - Step and repeat: 80x80 mm²
- Haut débit : 10'000x lithographie électronique
- Structures polyvalentes
- Qualité, reproductibilité: favorise l'exploitation industrielle

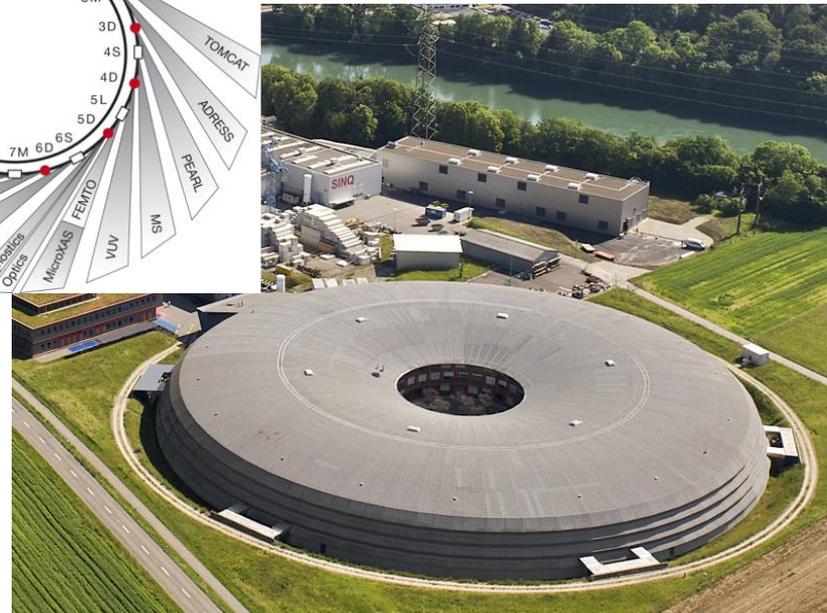
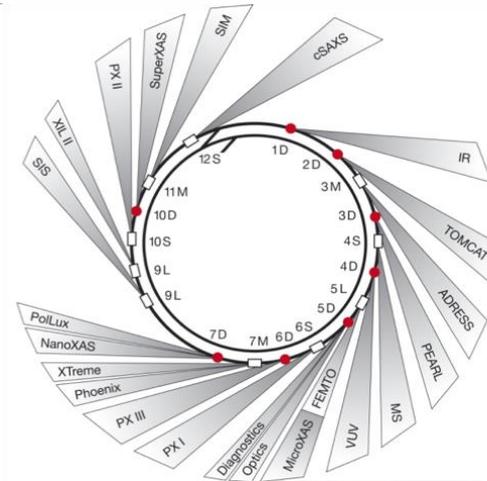


Ligne de lumière XIL-II: EUV-IL @ PSI

Substrat



- **Ondulateur + miroirs + pinhole**
 - Haute luminosité
 - Haute cohérence spatiale
 - 4% bandwidth
 - Longueur d'onde réglable ($\lambda=2.5-18$ nm)
- **Salle blanche sur place**
 - Spin-coater,
 - Banc humide
 - Plaques chauffantes
 - Microscopes
 - Résines et développeurs,
 - Ellipsométrie



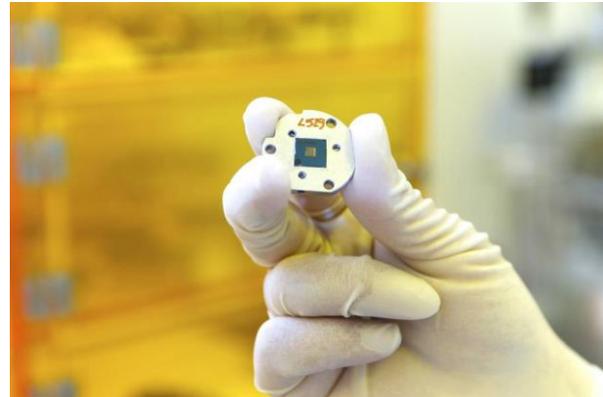
Ligne de lumière XIL-II: EUV-IL @ PSI



Control room

Process room

Exposure room



Grands instruments + nanotechnologie

Synchrotron Swiss Light Source



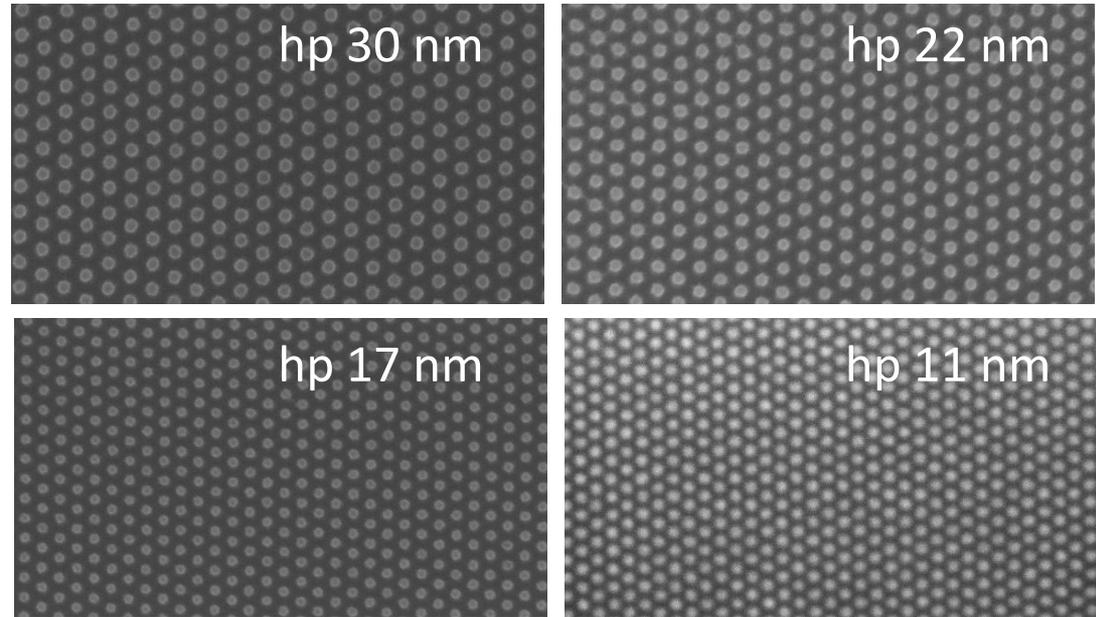
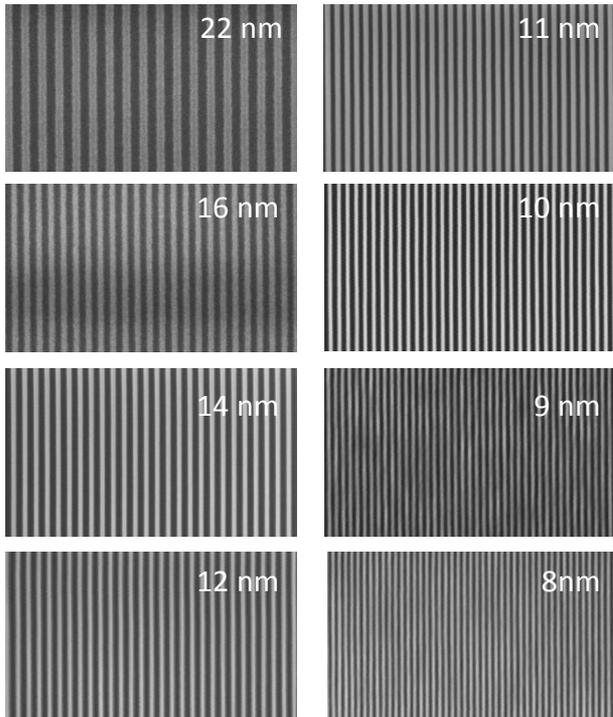
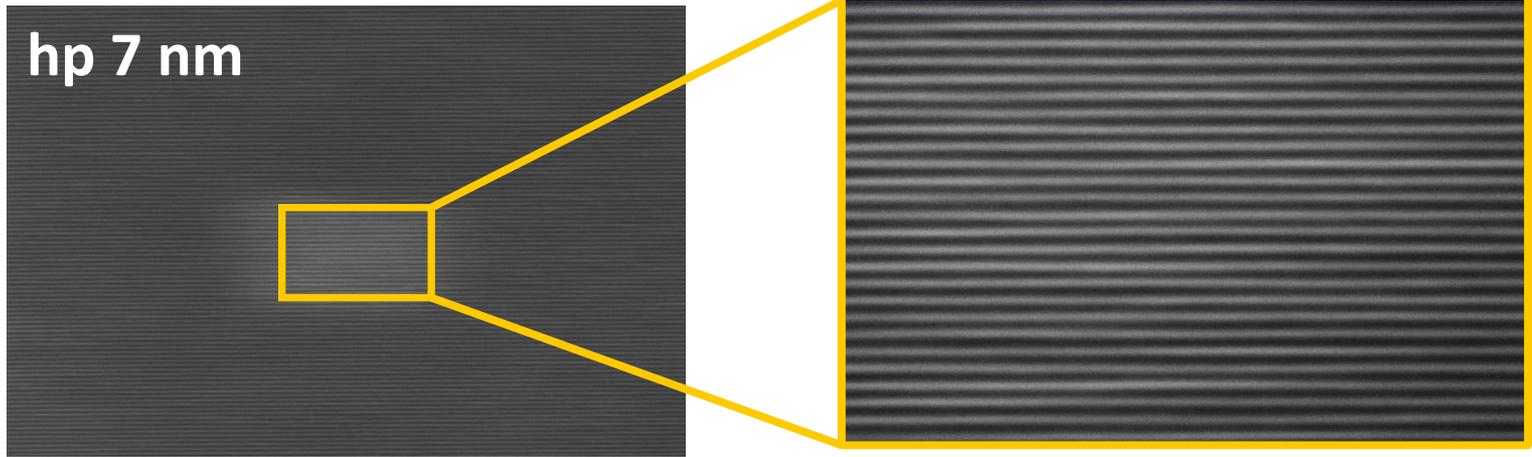
Laboratoire de Micro et Nanotechnologie (LMN)



XIL-II: EUV-IL@SLS

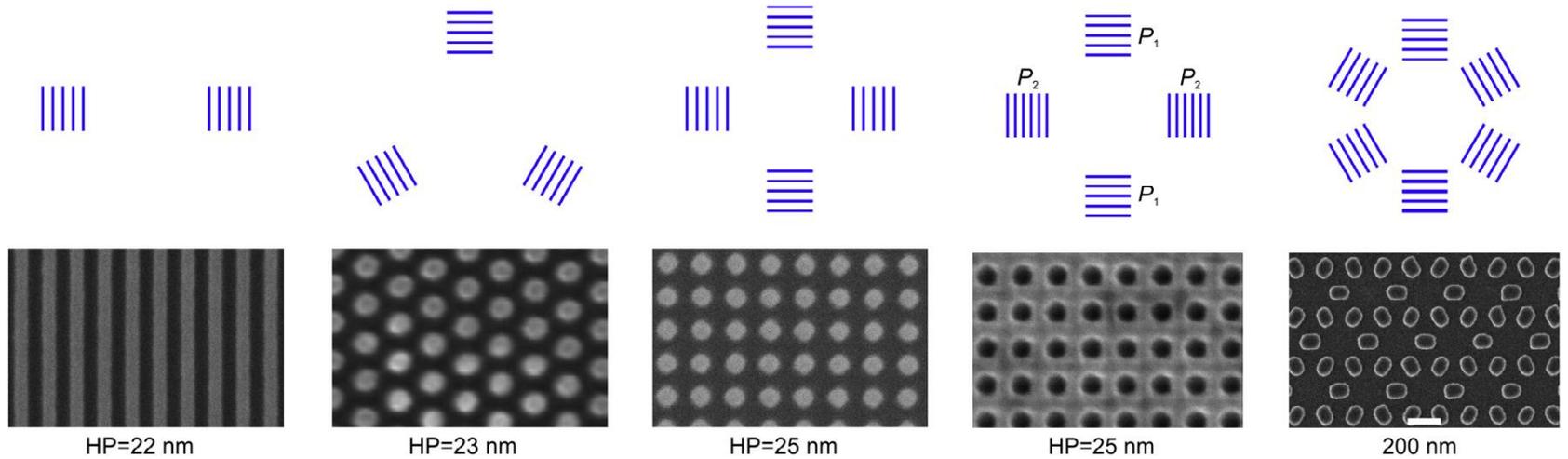


Record de résolution de photolithographie

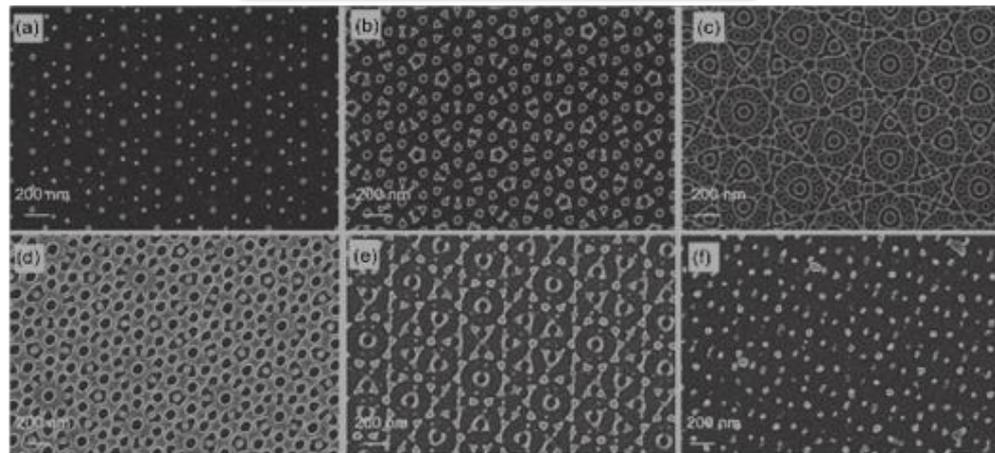


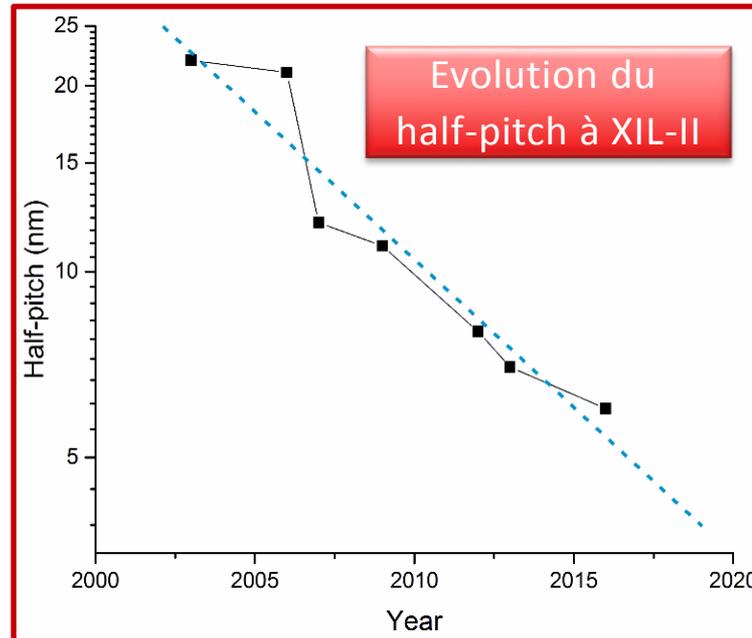
Exemples de structures périodiques

Structures simples en 1D et 2D



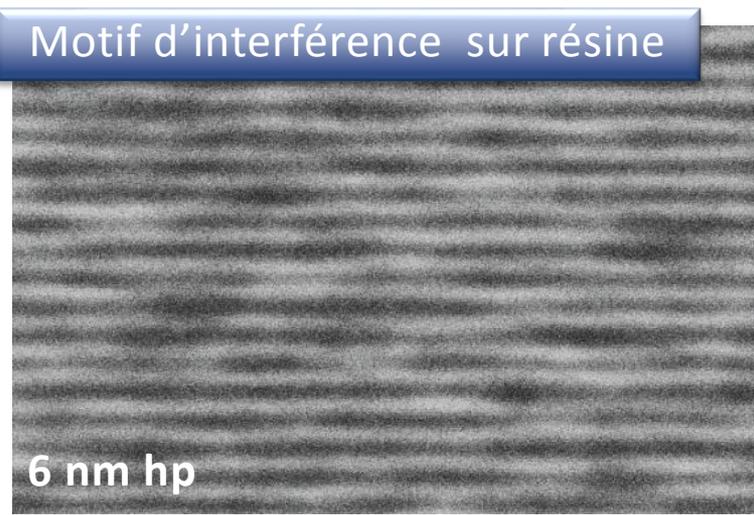
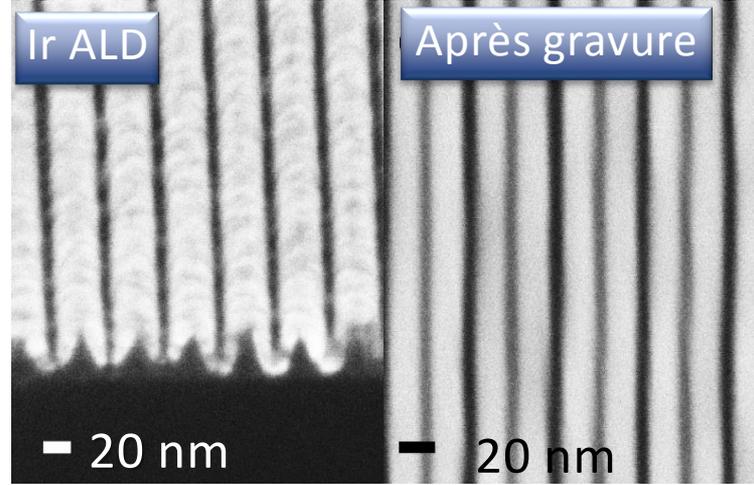
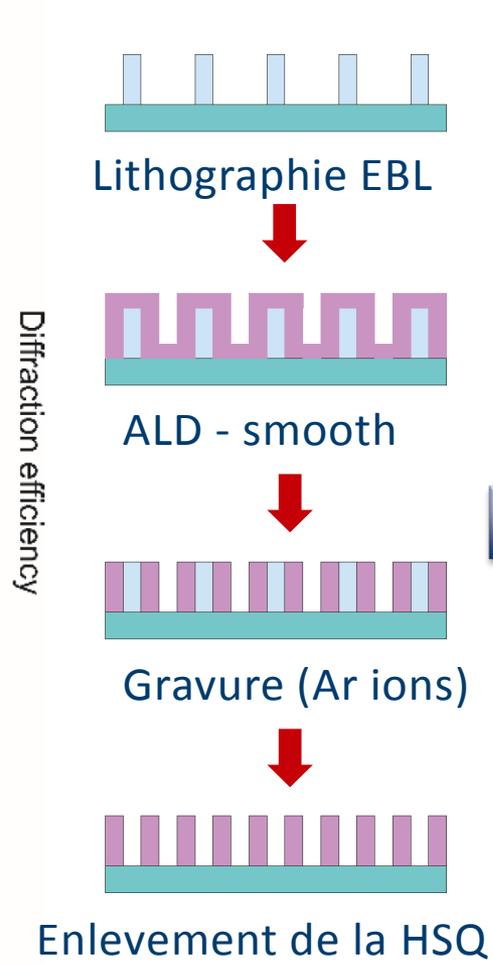
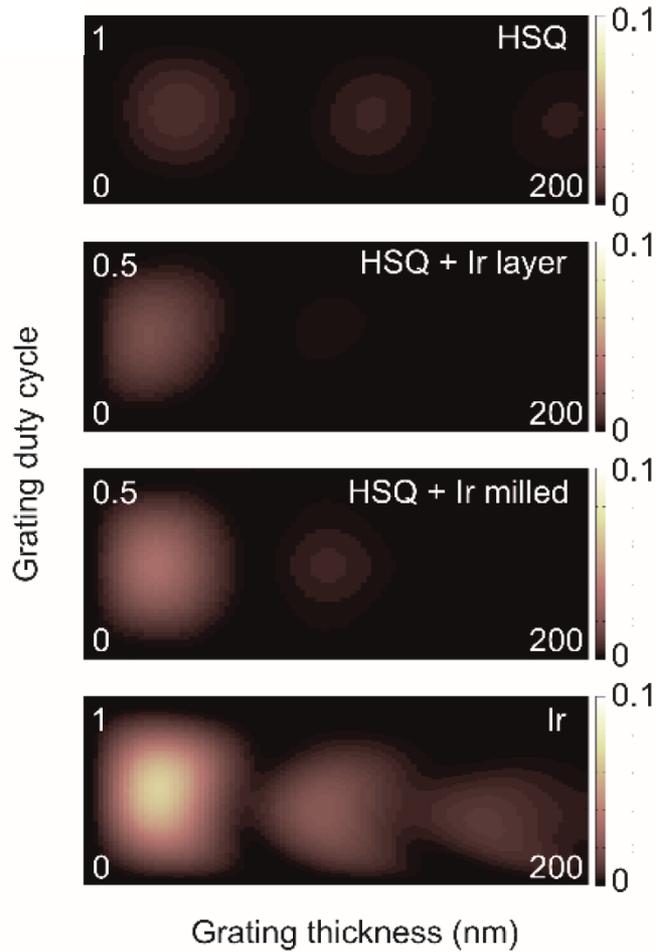
Structures plus complexes





- Limite théorique à 13.5 nm de longueur d'onde: 3.5 nm half-pitch
- Facteurs limitants:
 - Lithographie électronique (fabrication de masques)
 - Transfert des motifs
 - Résolution des résines

Fabrication de masques avancées



Lithographie à effet Talbot achromatique

- Bandwidth $\Delta\lambda$
- Self-images sont étalés
- Self-images se fusionnent
- Résultat : image stationnaire

$$z_{n(max)} = \frac{2p^2 n}{\left(\lambda - \frac{\Delta\lambda}{2}\right)}$$

$$z_{n+1(min)} = \frac{2p^2 (n + 1)}{\left(\lambda + \frac{\Delta\lambda}{2}\right)}$$

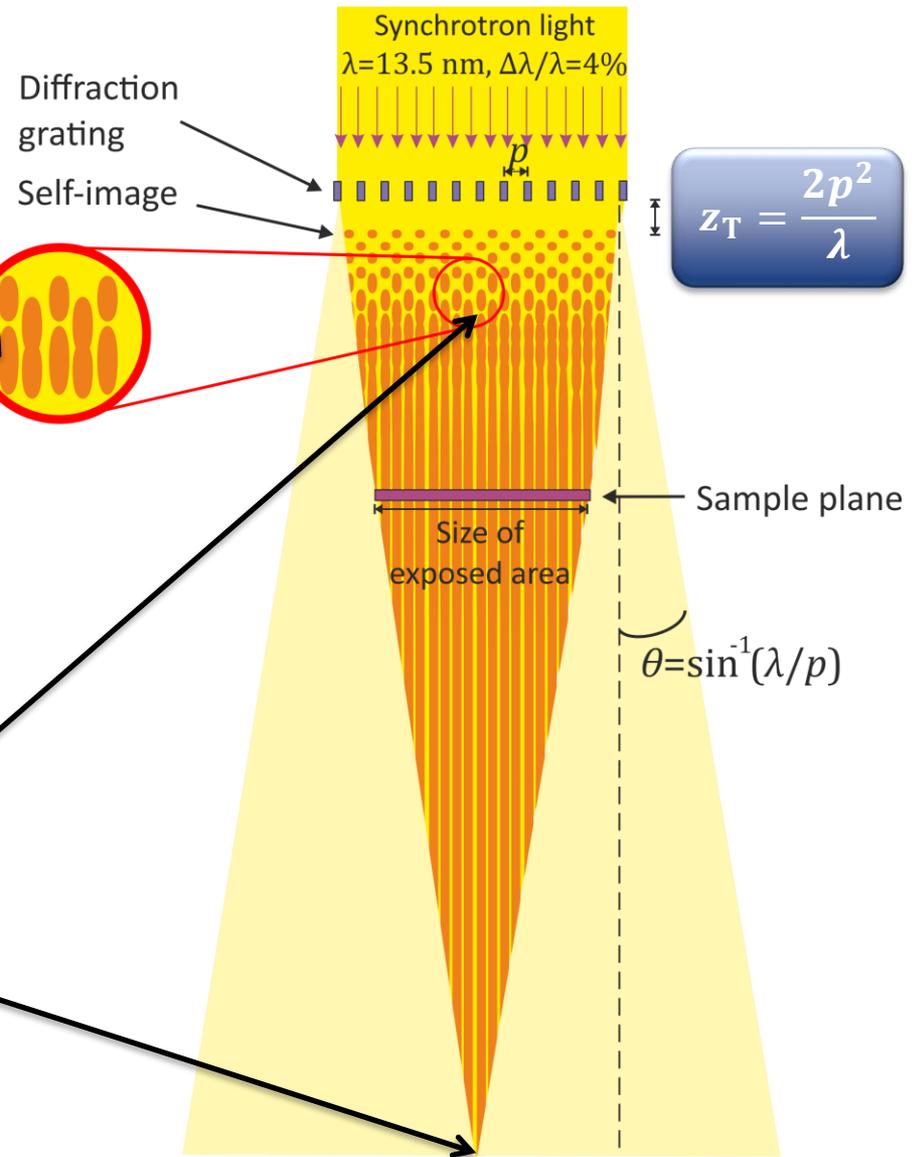
Stationary image starts

$$z_{n(max)} = z_{n+1(min)} = z_A = \frac{2p^2}{\Delta\lambda}$$

Areal image vanishes (geometric effect)

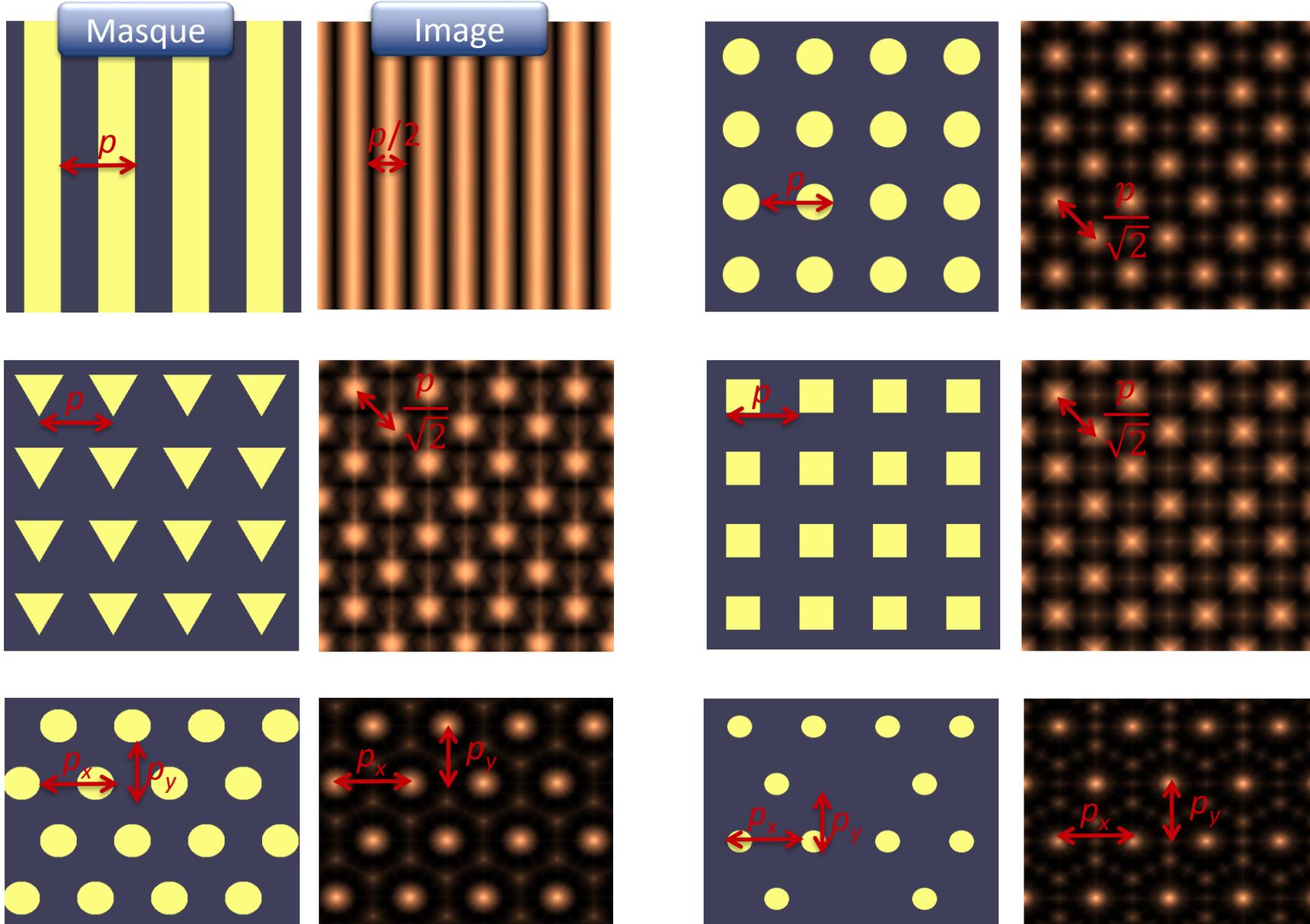
$$z_{max} = G \frac{p}{2\lambda} \quad G: \text{grating size}$$

G: grating size



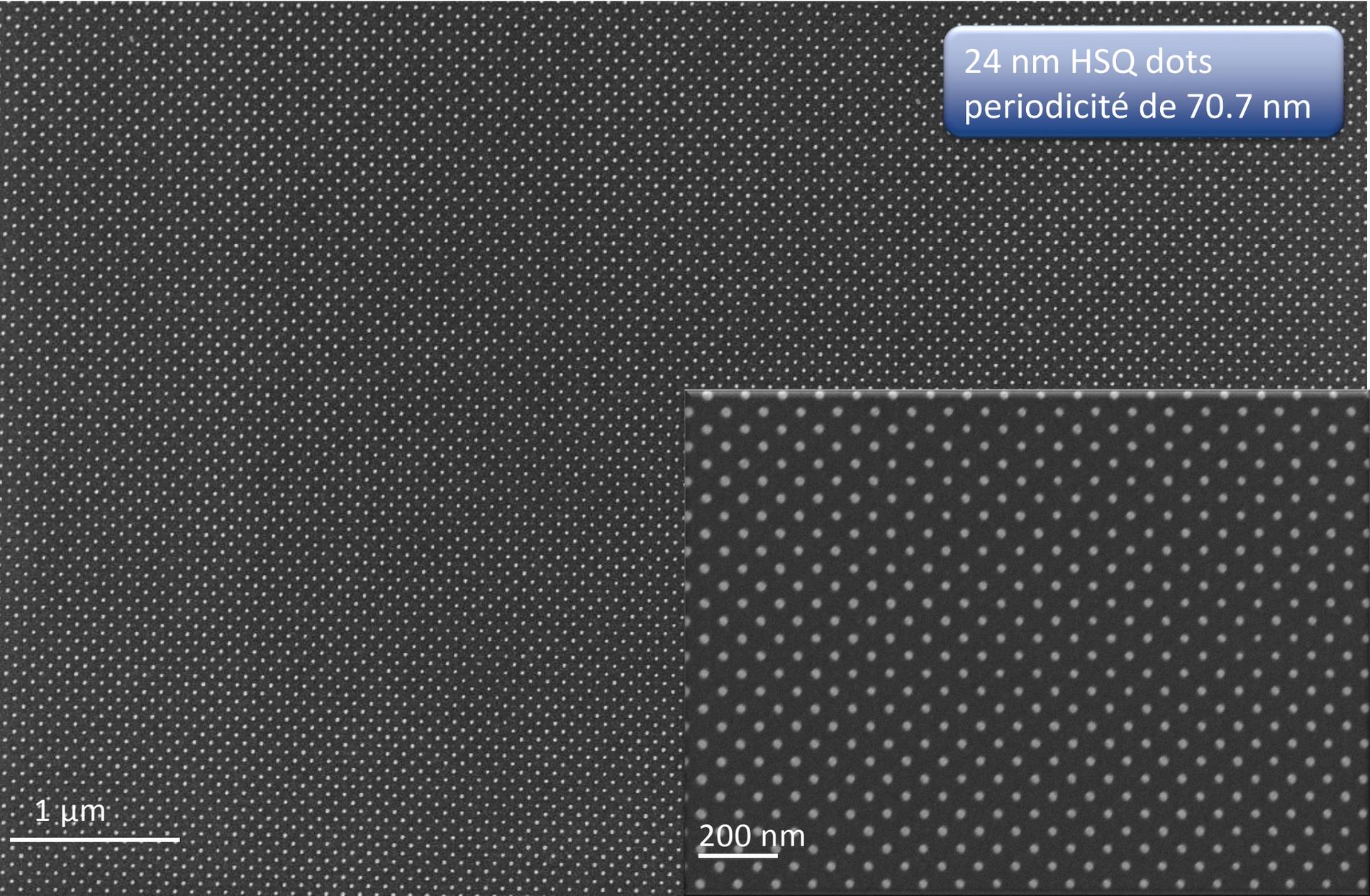
- **Multiplication de fréquence**
- **Grande profondeur de foyer**
 - Motifs sur des grandes surfaces
 - Motifs sur des surface 3D (relief)
- **Toutes les ordres de diffraction transmises interfèrent**
 - Toute la lumière transmise contribue à l'image
 - Expositions très efficaces
- **Structuration sur des grandes surfaces par step-and-repeat**
- **Propriété d'auto-réparation:** insensibilité aux défauts locaux
- **Capabilité de régler le duty cycle:** structures plus petites

Exemples de motifs



Expositions EUV XIL-II: 100 nm pitch mask

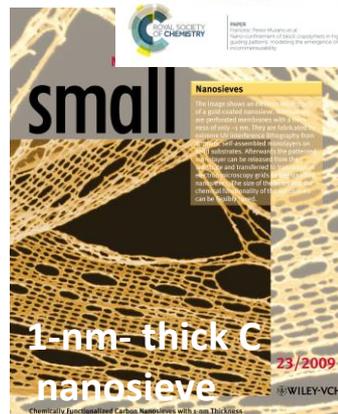
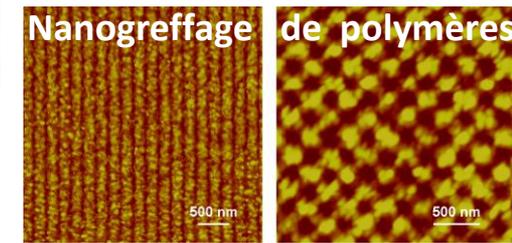
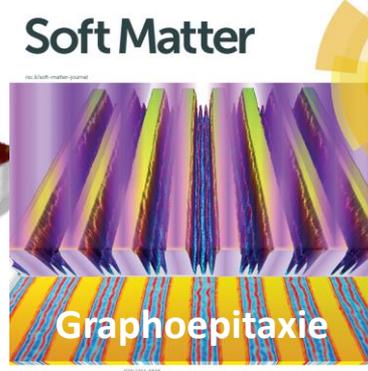
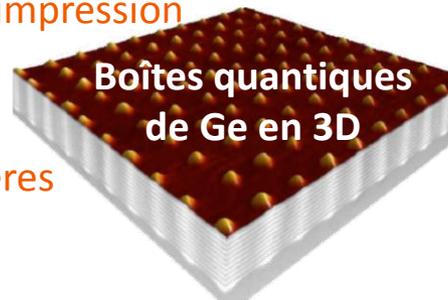
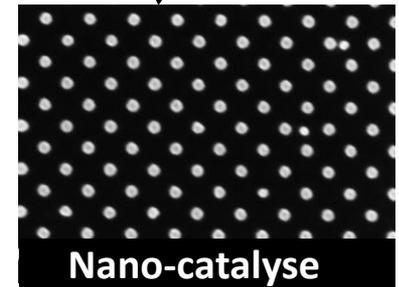
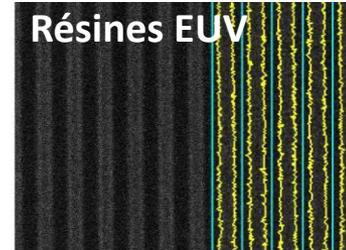
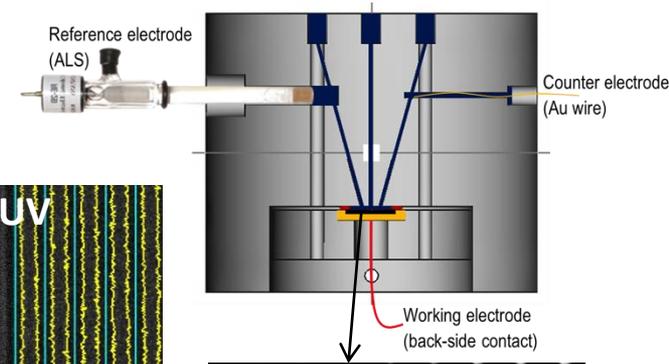
24 nm HSQ dots
periodicité de 70.7 nm



1 μm

200 nm

- Technique low-cost
- Permet la recherche avant que les outils industriels soient disponibles (e. g. systèmes de EUVL)
- Haute résolution, image bien définie
- Reproductibilité, stabilité
- Idéale pour évaluer des résines EUV
 - Résolution, sensibilité, rugosité
- Science avec EUV-IL:
 - Moules pour nano-impression
 - Nano-fluidique
 - Plasmonique
 - Greffage de polymères
 - Biomatériaux
 - Nanocatalyse
 - Auto-assemblage
 - Block copolymères,
 - Graphoépitaxie
 - Réseaux de boîtes quantiques
 - Nano-magnétisme
 - Nano-fils de Si

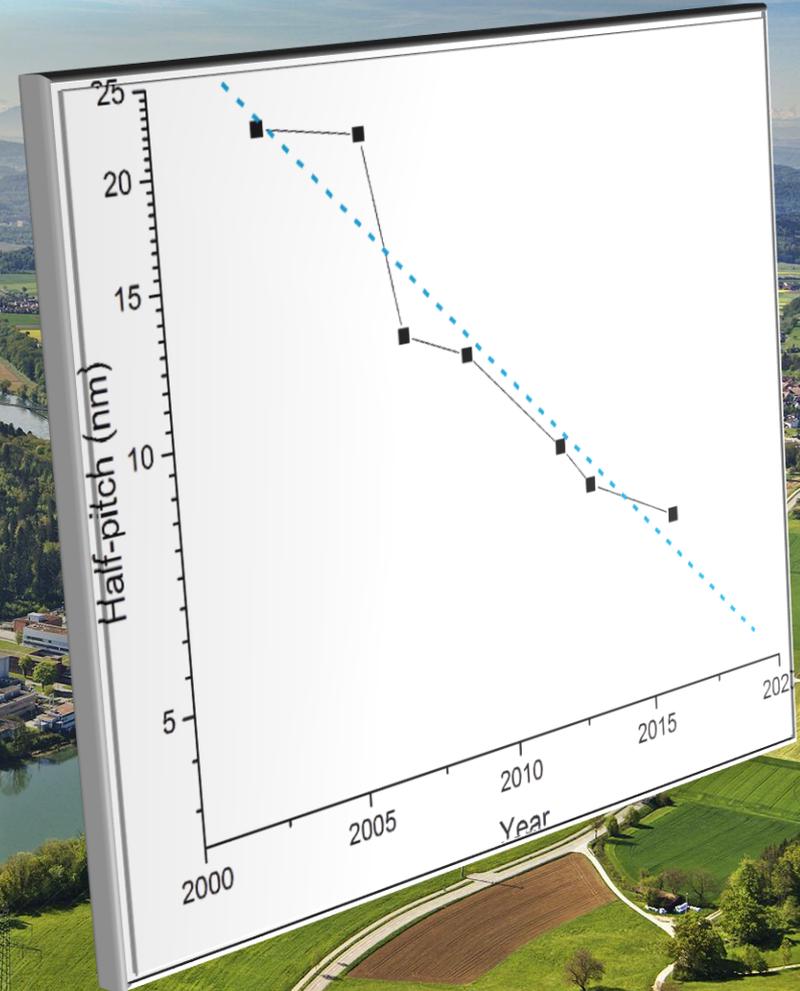


La lithographie EUV-IL est :

- un outil puissant
- idéale pour la recherche académique et la recherche industrielle
- une plateforme low-cost

La lithographie EUV-IL offre :

- haute résolution
- structures polyvalentes
- haut débit
- structuration de grandes surfaces par step-and-repeat



Remerciements à :

- l'équipe de la lithographie et métrologie avancée (ALM)
- le laboratoire de micro et nanotechnologie (LMN)
- vous tous pour votre attention

