





# EUVIL : DEVELOPPEMENT D'UN INTERFEROMETRE EUV AUTONOME A SOURCE INTEGREE

L'objet de ce projet est de rassembler l'ensemble des partenaires dont la complémentarité des compétences, des moyens et des intérêts permettra le développement du premier équipement de lithographie par interférométrie EUV ( $\lambda = 13.5 \text{ nm}$ ) "autonome" n'utilisant pas de rayonnement synchrotron. Cet équipement permettra la mesure des résolutions ultimes des résines sous flux EUV. L'intérêt de l'interférométrie EUV est de pouvoir accéder à la résolution limite d'une résine en éliminant les autres sources de perturbations dégradant cette résolution (perturbations apportées par le masque, les imperfections des optiques de projection). L'arrivée sur le marché de sources EUV plus cohérentes permet maintenant d'envisager la réalisation d'un équipement à "source EUV intégrée autonome". Cette perspective servira la disponibilité et facilité d'utilisation de l'équipement sans les contraintes d'exploitation rencontrées sur un synchrotron. Egalement, le partenaire industriel fournisseur de la source pourra envisager l'industrialisation de l'équipement.

EPRA réalise depuis maintenant une dizaine d'années des travaux de recherches sur une source de rayonnement EUV dans le cadre de projets du Programme Cadre Européen : FACADIX, SOARING et MORE MOORE. Cette source utilise le principe d'une décharge capillaire à impulsion micro plasma (MPP) assistée par effet cathode creuse.

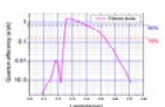
**Simulation: code de calcul Z\* 2D**

Le code de calcul Z\* développé à EPRA a permis de comprendre l'influence de certains paramètres du plasma sur l'émission des photons EUV. Grâce à cette étude théorique, nous avons déterminé les paramètres de la source à savoir: la tension de charge, la pression du mélange gazeux ainsi que sa composition permettant un meilleur rendement de la source en terme de photons émis à 13.5 nm. L'addition du xénon au mélange gazeux He/Ar a permis d'optimiser ce rendement par un facteur de 40%. Une analyse théorique détaillée en utilisant Z\*, a identifiée des limitations de radiance dans les sources à base de Sn.

**Caractéristique de la source EUV**

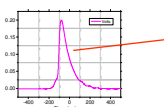
Une étude extensive a été faite pour optimiser la source en terme d'irradiance et de puissance. En effet, le faisceau émis dans la bande spectrale de 12.4 à 15.4 nm a permis de calculer une puissance de 0.5 W avec une irradiance de  $5.5 \text{ E16 ph.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$  à une distance de 44cm du capillaire à un 1kHz.

**Evolution temporelle**



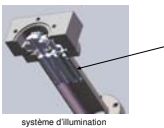

Efficacité quantique de la diode filtrée au molybdène et du silicium (SXUV-GDA-Mo-Si).

**Comportement spatial du faisceau**






Profil de photons EUV émis entre 12.4 et 15.4nm. Ce profil gaussien présente une largeur à mi-hauteur de 7.5 mm. Variation de la taille du faisceau à différentes distances de la source. L'angle de divergence est de 0.45°.

**Tests et mesures optiques de la source**

Un nouveau design du bloc ML pour la sélection de la lumière EUV autour de 13.5nm a été fabriqué et testé durant cette campagne de mesure. Ce système inclura un diaphragme pour la filtration spatial du faisceau.

Le Cyclops, nom commercial de la source de lumière EUV, est fabriqué et distribuée par nanoUV/France. [www.nanoUV.com](http://www.nanoUV.com)

**Description des travaux effectués**

**1 - Réseaux de diffraction haute efficacité (27%) :**  
=> fabrication membrane Si de 100 nm d'épaisseur et de variation de planéité < 1 nm

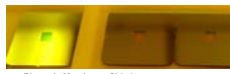
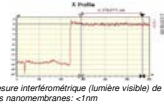





Photo de Membrane Si 3x3 mm avec cadre de support 20x20 mm

Mesure interférométrique (lumière visible) de la planéité des nanomembranes: <1nm

=> Développement motifs des réseaux. Bloqueur ordre « 0 »

Réseau 50/50nm sur membrane Si

Bloqueur ordre "0" sur réseau 50/50nm sur membrane Si

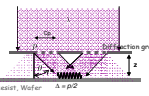

**=>RESEAUX DE DIFFRACTION HAUTE EFFICACITE disponible (27% d'efficacité)**

=> Validation par réalisation d'impression de lignes d'interférences en utilisant la lumière EUV synchrotron

- > impression dans résine PMMA des lignes d'interférences à l'ordre 1 et ordre 2
- > quantification de l'impact de la perturbation de Fresnel
- > quantification de la largeur minimale des réseaux



**2 - Validation de l'architecture de l'interféromètre :**

- => Calculs photométriques et optiques effectués
- => Choix simple étage réseaux

Ligne 25 nm / 25 nm imprimées dans résine PMMA (ordre 1)


**3 - Développement procédé et fabrication de fentes de caractérisation de la largeur de cohérence de la source**


**4 - Mise à disposition d'une enceinte pour tests d'impressions sur résines dans salle blanche Leti**  
Moyens disponibles et nécessaires:

- > Moyens de caractérisation des impressions : AFM2D, AFM3D, MEB, Expidia (observation des profils jusqu'à 20/20 nm)
- > Equipement de couchage des résines 200 nm (garanti de l'uniformité de couchage)
- > Equipement de développement résines après impression (contrôle temps et température de développement)
- > environnement salle blanche class 100

=> Attente fourniture source Eptra pour déroulement essais



**The world's first X-EUV wavefront sensor**



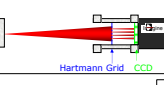
Imagine Optic's HASO X-EUV wavefront sensor, developed in partnership with LOA and the SOLEIL synchrotron, is the only device of its kind available that offers you the extreme precision and direct measurement functionality needed for today's demanding laboratory and industrial applications.

- Synchrotron and X-ray beam alignment and characterization
- Micro and nano-beam focusing, automatic beam alignment, and high Strehl ratio for adaptive optics
- Perfectly adapted for laboratory applications
- Independent phase and intensity measurement

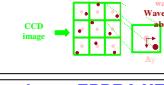
When combined with our powerful and easy-to-use software packages, you can easily conduct wavefront acquisition and reconstruction. ( extended wavefront reconstruction, PSF and MTF measurement).

**Hartmann technology**

Wavefront measurement of a source



Wavefront calculation

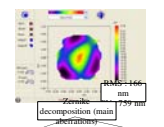


Specifications

Square Aperture 19.7mm  
Resolution 51x51  
Wavefront Accuracy  $\lambda/50$   
Compliant vacuum  $10^{-6}$  mBar

**Results on EPRA XEUV Source**

**Wavefront**

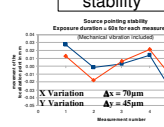


Spherical aberration  
As through a simple lens for visible optics

**Source divergence**

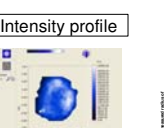
Camera image  
Diameter = 7mm  
Distance = 1m  
 $\alpha = 0.4^\circ$

**point source stability**



Stability pointing stability  
Exposure duration = 60s for each measurement  
Mechanical vibration included


**Intensity profile**



**Conclusion**

**First wavefront measurement of EPRA technology source**  
Confirmation of the source divergence – Intensity profile measured – Pointing stability measured

More information on our products? Please visit our website [www.imagine-optic.com](http://www.imagine-optic.com) or e-mail us at [contact@imagine-optic.com](mailto:contact@imagine-optic.com).



**Description des travaux effectués**

**- Validation des sous-ensembles de réseau avec un synchrotron :**

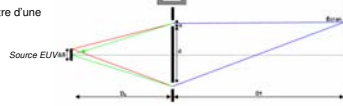
Impression des franges d'interférences avec la configuration multi-pitch ( $p=80\text{nm}, 100\text{nm}, 140\text{nm}$  et  $200\text{nm}$ )

Photo de la membrane contenant quatre paire de réseau de diffraction

**- Simulation :**

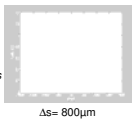
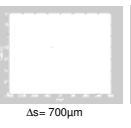
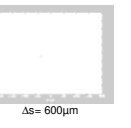
- Calcul théorique des interférences à base de fentes de Young

Développement d'une technique d'estimation du diamètre d'une source optique à base de fentes de Young



Exemple :  
 $D_s=1\text{m}, D_1=50\text{cm}$   
 $d=50\mu\text{m}, a=10\mu\text{m}$

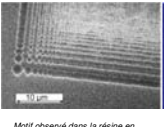
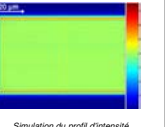
Variation de la signature des franges d'interférences en fonction du diamètre de la source EUV

$\Delta s = 800\mu\text{m}$      $\Delta s = 700\mu\text{m}$      $\Delta s = 600\mu\text{m}$

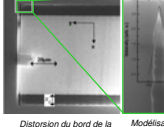
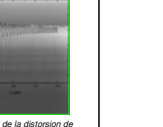
- Modélisation des phénomènes observés lors de l'impression des franges d'interférences sous synchrotron

Etude de la diffraction Fresnel

Motif observé dans la résine en marge de la région d'interférences    Simulation du profil d'intensité optique diffracté

Etude de la distorsion du bord de la région d'interférence

Distorsion du bord de la région d'interférence    Modélisation de la distorsion de bord