

Calibration de lames de phase par interférométrie à 13 nm

P. Pichon, D. Joyeux, D. Phalippou, M. Singh¹, J. Braat¹, M. Haidl² et U. Dinger²

Laboratoire Charles Fabry de l'Institut d'Optique, BP. 147, 91403 Orsay cedex, France

¹ Research Group for Optics, Department of Applied Physics, Delft University of Technology, Lorentzweg 1, 2628 CJ Delft, Pays Bas

² Carl Zeiss, Carl Zeiss Strasse 4-54, 73466 Oberkochen, Allemagne

Résumé : Nous avons développé un interféromètre basé sur le bimiroir de Fresnel pour calibrer une technique de dépôt d'une couche déphasante de molybdène sur des multicouches Mo-Si. L'épaisseur nominale de la couche déphasante de Mo variait de 10 à 80 nm. Les interférogrammes projetés sur un écran fluorescent puis enregistrés par une CCD refroidie étaient traités par une technique basée sur la transformée de Fourier spatiale de l'interférogramme, pour obtenir le déphasage optique entre une zone de référence et la zone déphasée. Nous avons montré la pertinence de cette technique interférométrique dont l'erreur potentielle sur l'épaisseur optique des plots est estimée à $\lambda/100$. La même technique permet l'évaluation d'un profil de pente d'un front d'onde jusqu'à une fréquence spatiale de l'ordre de $0,5\text{-}1\text{ mm}^{-1}$. Dans ce cadre, la sensibilité peut atteindre $0,4\text{ }\mu\text{rad rms}$ à 14 nm.

1. INTRODUCTION

Le développement actuel des optiques X, notamment avec miroirs multicouches, induit celui des méthodes de caractérisation et de contrôle à la longueur de travail de ces optiques. Les imperfections locales des multicouches pouvant engendrer des défauts de phase importants, il est souhaitable de disposer d'une méthode de correction après dépôt. L'un des procédés de correction envisagés est de rajouter de la matière pour rattraper les retards de phase locaux [1], la partie réelle de l'indice de réfraction n ($n = 1 - \delta + i\beta$) étant inférieure à 1 en X. Le molybdène a été choisi comme matériau correcteur car il offre un bon compromis entre le déphasage (proportionnel à δe) et l'atténuation (proportionnelle à $\exp(-\beta e)$). Toutefois, les indices dépendant de la méthode de dépôt, il faut caractériser les couches de molybdène en tant qu'épaisseur optique et non physique, et dans les conditions d'utilisation finale. Cette caractérisation doit se faire avec un dépôt sur multicouche, à la longueur d'onde de travail, et l'interférométrie est alors un outil qui s'impose.

2. CHOIX ET PRINCIPE DE L'INTERFÉROMÈTRE

Les contraintes liées à la mise en œuvre d'interféromètres dans le domaine spectral XUV font du bimiroir de Fresnel un très bon candidat pour l'interférométrie [2,3]. Dans le montage utilisé (fig. 1-2), on éclaire un miroir multicouches recouvert par des plots rectangulaires de molybdène de façon qu'après passage sur le bimiroir de Fresnel, la partie réfléchie par la multicouche vierge interfère avec celle réfléchie par la multicouche recouverte de molybdène. La source est le synchrotron du LURE (Orsay).

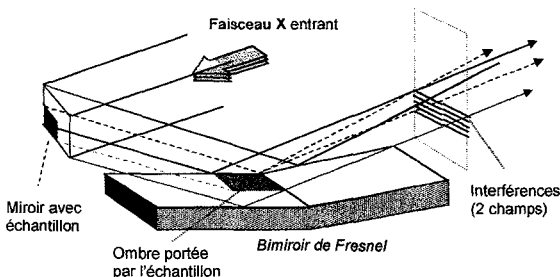


Figure 1 : Principe de l'interféromètre

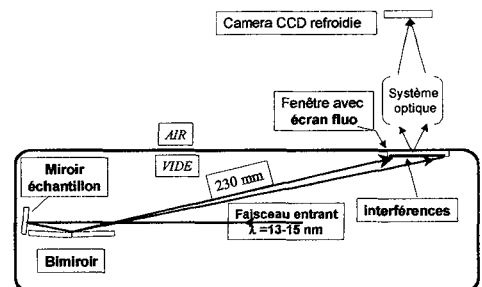


Figure 2 : Schéma du montage

Le champ d'interférence ainsi obtenu est projeté sous une incidence rasante de 6° (pour augmenter l'interfrange apparent) sur un écran fluorescent dont on fait l'image sur une caméra CCD.

Les pièces maîtresses de ce montage sont le bimiroir et son support. Les deux blocs de silice de l'interféromètre sont parfaitement polis jusqu'à leurs arêtes communes et celles-ci sont strictement parallèles (à quelques μrad près). La pièce support est en céramique rectifiée et assure un angle de l'ordre du milliradian entre les deux miroirs, et une excellente stabilité du réglage interférométrique.

3. TRAITEMENT DES INTERFÉROGRAMMES ET RÉSULTATS DE LA CALIBRATION

Le profil de phase est déterminé en calculant la transformée de Fourier (TF) sur chaque colonne de l'image, transversalement aux franges. Chacune de ces TF comporte un pic de fréquence spatiale dont la phase mesure la position des franges par rapport à une origine commune à toutes les colonnes.

La figure 3 montre un des interférogrammes obtenus. La partie la plus sombre de l'image correspond au plot de molybdène, la double traversée de celui-ci par le faisceau entraînant une absorption non négligeable. On a superposé à l'interférogramme le résultat du traitement montrant le profil de phase, le long des franges. L'inclinaison moyenne de ce profil est due au fait que les franges ne sont pas strictement parallèles au bord de l'image. Le saut de phase au passage de la zone de référence à la zone recouverte de molybdène est clairement mesurable.

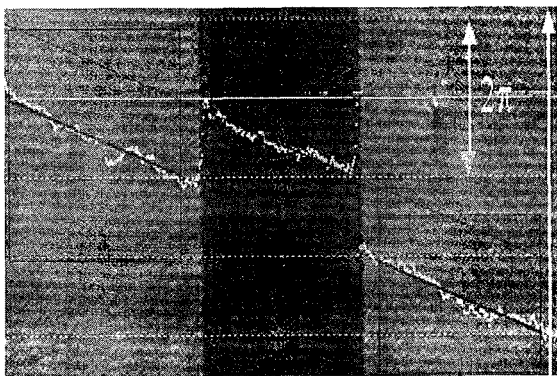


Figure 3 : Interférogramme avec un plot de 40nm et son analyse

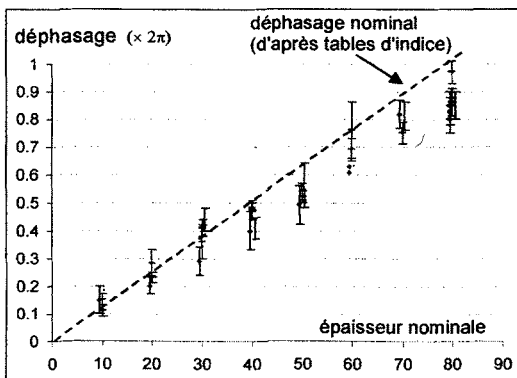


Figure 4 : Mesures des sauts de phase

Nous avons utilisé un substrat plan recouvert d'une multicouche Mo-Si comportant huit plots de molybdène d'épaisseurs nominales comprises entre 10 et 80nm. Des interférogrammes ont été faits sur les bords de chaque plot. Le graphique de la figure 4 donne les mesures des sauts de phase en fonction des épaisseurs nominales de molybdène. Le niveau important des barres d'erreur est principalement dû aux défauts de planéité des substrats qui introduisent des erreurs de pentes de quelques microradians dans la bande de fréquence spatiale de 1 mm^{-1} .

4. CONCLUSION

Nous avons montré la possibilité de mesurer des sauts de phase à l'aide d'un interféromètre à bimiroirs de Fresnel. L'efficacité de la méthode devrait encore être accrue par l'utilisation de meilleurs substrats et d'un écran fluorescent détecteur sans structure (cristal fluorescent).

Références

1. J.J.M. Braat, OSA TOPS on EUV Lithography, eds. G.D. Kubiak and D. Kania, vol. 4, p.152,1996
2. D. Joyeux, F. Polack, Journal de Physique IV France 9 (1999)
3. S. Marchesini and al., Applied Optics, Vol. 39, N°10, 1 April 2000