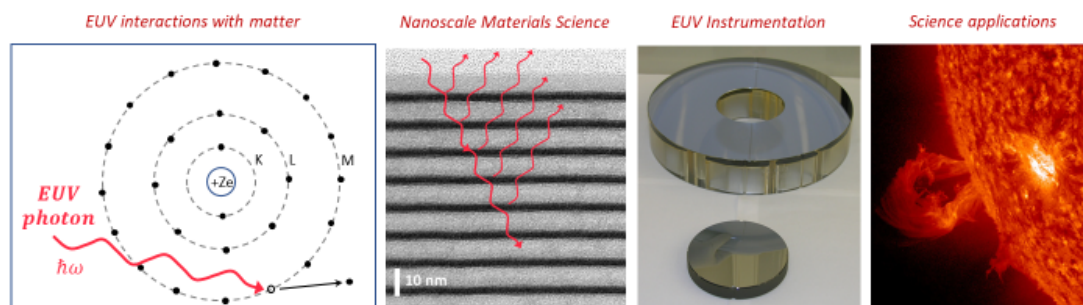


Matériaux en films minces pour l'extrême ultraviolet

Établissement Institut d'Optique Graduate School
École doctorale Ondes et Matière
Spécialité optique et photonique
Unité de recherche Laboratoire Charles Fabry
Directeur de la thèse : Professeur Franck DELMOTTE
Contact : franck.delmotte@institutoptique.fr
<https://www.linkedin.com/in/franck-delmotte-74a68a79/>



Profil et compétences recherchées

Master ou diplôme d'ingénieur en optique ou en sciences des matériaux. Goût pour le travail expérimental, l'analyse de données et la modélisation.

Résumé

Le domaine de l'optique extrême-ultraviolet (EUV, longueurs d'onde entre 1 nm et 100 nm) connaît une évolution rapide depuis une vingtaine d'années. Plusieurs barrières scientifiques et technologiques ont été franchies au cours de ces dernières années grâce au rayonnement EUV : la génération d'impulsions EUV de durée inférieure à 100 attosecondes ($100 \text{ as} = 10^{-16} \text{ s}$) a permis l'observation des orbitales électroniques dans les molécules par tomographie; la couronne du soleil et de ces protubérances ont pu être observées en 3 dimensions en combinant les images prises par les deux télescopes EUV de la mission NASA STEREO; un morceau de matière a été chauffé pour la première fois à plus d'un million de degrés par le laser à électrons libres. Les progrès importants réalisés par les composants optiques dédiés à cette gamme spectrale ont également participé à cette évolution. En particulier, les miroirs interférentiels multicouches, basés sur une structure périodique de films minces (d'épaisseur nanométrique), ont largement démontré leur intérêt dans de nombreux domaines scientifiques et technologiques : rayonnement synchrotron, plasmas chauds (projet laser Mégajoule), physique solaire (télescopes imageurs EUV), microscopie X pour la biologie, lithographie EUV, analyse X, etc.

La réalisation d'optiques pour le domaine spectral EUV est rendue difficile par les propriétés optiques des matériaux à ces longueurs d'onde très courtes. D'une part, l'absorption est non nulle et augmente avec la longueur d'onde. D'autre part, la réfraction est faible et ne permet pas de réfléchir efficacement la lumière à une interface. De plus tous les défauts (de surface et/ou d'interface) doivent avoir des amplitudes négligeables devant la longueur d'onde ce qui amène à repousser les limites technologiques actuelles, notamment en termes de planéité et de rugosité des interfaces.

Pourtant, l'émergence de nouvelles sources X et de nouvelles applications dans ce domaine spectral requiert des composants optiques toujours plus performants, sur une gamme spectrale étendue et/ou avec des fonctions spécifiques. Cela amène à reconsidérer les structures et les matériaux usuellement utilisés pour réaliser ces composants.

Le sujet de cette thèse est **d'étudier les propriétés optiques des matériaux en films minces en vue de développer des miroirs EUV plus performants** et de pouvoir modéliser correctement les performances des instruments existants (télescopes EUV, microscopes X, spectromètre X, etc.), notamment pour les longueurs d'onde supérieures à 35 nm, qui reste un **domaine spectral largement inexploré**.

Les objectifs de la thèse sont d'une part de déterminer expérimentalement les constantes optiques de plusieurs matériaux d'intérêt dans la gamme EUV et d'autre part de développer de nouveaux revêtements interférentiels efficace aux grandes longueurs d'ondes. Le doctorant ou la doctorante aura accès pour réaliser ce travail à un ensemble d'outils technologiques de pointe : machines de dépôt et de caractérisation d'empilement de couches minces nanométriques du LCF, caractérisation sur le rayonnement synchrotron SOLEIL et ALS, etc. Le financement des missions vers les US est assuré par un projet International du CNRS.

Ce travail de thèse se fera dans le cadre d'une **collaboration entre le LCF et 2 laboratoires américains** (International Research Project du CNRS) : le Lawrence Livermore National Lab. (Livermore, CA, USA) et le Center for X-ray Optics (Berkeley, CA, USA). Un séjour dans un de ces laboratoires pour y mener des expériences est prévu au cours de la thèse.

Quelques travaux récents du groupe en lien avec le sujet

1. F. Delmotte et al, "New method for the determination of photoabsorption from transmittance measurements in the extreme ultraviolet," *Opt. Express* 30, 23771 (2022)
2. Amr Hisham K. Mahmoud, Sébastien de Rossi, Evgueni Meltchakov, Blandine Capitanio, Muriel Thomasset, Maxime Vallet, Eva Hériprié, and Franck Delmotte, "Al/Mo/SiC multilayer diffraction gratings with broadband efficiency in the extreme ultraviolet", *Opt. Express* 30, 38319 (2022)
3. Jennifer Rebellato, Regina Soufli, Evgueni Meltchakov, Eric Gullikson, Sébastien de Rossi, and Franck Delmotte, "High efficiency Al/Sc-based multilayer coatings in the EUV wavelength range above 40 nanometers", *Optics Letters* 45, 869 (2020)
4. Franck Delmotte et al., "Soft x-ray optical constants of sputtered Chromium thin films with improved accuracy in the L and M absorption edge regions", *Journal of Applied Physics* 124, 035107 (2018)