IRAMIS : Institut Rayonnement Matlère de Saclay

Saclay

LIDYL/ATTO

Génération d'harmoniques d'ordre élevé à 13 nm pour une imagerie sans lentille à résolution nanométrique

Spécialité Laser

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil LIDYL/ATTO

Candidature avant le 07/05/2020

Durée 4 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact BOUTU Willem
+33 1 69 08 51 63
willem.boutu@cea.fr

Résumé

L'imagerie par diffraction cohérente (CDI) est une imagerie sans lentille qui utilise la cohérence spatiale et l'optique de Fourier permettant d'atteindre en microscopie à rayons X une résolution spatiale seulement limitée par la longueur d'onde. Développée pour les installations synchrotron, elle est aujourd'hui mise en œuvre, en particulier au CEA-LIDYL, avec des impulsions femtoseconde de courte longueur d'onde, ce qui permet l'essor d'une imagerie à l'échelle nanométrique.

L'objectif du stage est de mettre en œuvre ce type de microscopie avec des impulsions laser harmoniques à 13 nm, obtenues à partir du nouveau laser femtoseconde à taux de répétition élevé de l'équipe.

Sujet détaillé

L'imagerie par diffraction cohérente (CDI) est une technique d'imagerie sans lentille qui utilise la cohérence spatiale et l'optique de Fourier pour éliminer l'optique traditionnelle utilisée dans le but d'atteindre une résolution spatiale limitée en longueur d'onde en microscopie à rayons X. Développée à l'origine pour les installations synchrotron, sa mise en œuvre sur des sources de longueur d'onde courte basées sur des lasers a permis l'essor de l'imagerie femtoseconde à l'échelle nanométrique.
Depuis plus de 10 ans, le CEA-LIDYL a mis au point de nouvelles techniques CDI utilisées en laboratoire, telles que l'holographie à transformée de Fourier avec référence étendue [1], l'imagerie stéréo 3D [2] ou le CDI en une seule prise pour des expériences à résolution temporelle [3,4]. Ces sources à petite échelle sont basées sur un phénomène ultra non linéaire appelé génération d'ordre harmonique élevé (HHG), découvert au CEA-Saclay il y a 30 ans [5}.

En focalisant un faisceau laser infrarouge femtoseconde sur un jet de gaz, il est possible de générer un rayonnement cohérent ultra-court (femtoseconde à attoseconde) dans le domaine ultra-ultra-violet. Ce processus est maintenant bien compris et fait actuellement l'objet d'une démocratisation rapide pour des expériences de spectroscopie ultra-rapide. Cependant, le faible flux de photons est une limitation importante pour de nombreuses applications.
L'acquisition au CEA-LIDYL, d'un laser femtoseconde à taux de répétition élevé permet le développement selon une

nouvelle technologie d'une source de HHG à haut flux, basée sur une géométrie capillaire.

L'objectif du stage est de mettre en œuvre sur ce laser le nouvel appareil de microscopie dans le nouveau laboratoire du groupe. Après optimisation et caractérisation de l'émission harmonique, l'étudiant utilisera le rayonnement à une longueur d'onde de 13 nm pour effectuer une première expérience CDI (par une technique d'imagerie aussi appelée ptychographie [6]), afin de démontrer qu'il est possible d'obtenir la résolution spatiale à l'échelle nanométrique sur un échantillon à l'état solide de grande taille. Cette première démonstration constituera un premier pas vers le développement d'une nouvelle ligne de lumière dédiée à l'inspection des masques lithographiques, un outil essentiel pour l'industrie de la microélectronique. Ces développements s'inscriront dans le cadre d'un nouveau laboratoire commun avec la PME Imagine Optic d'Orsay, qui vise à proposer de nouveaux outils de métrologie à courte longueur d'onde.

Mots clés

Laser, génération d'harmoniques, microscopie nanométrique

Compétences

Impulsions laser femtosecondes, Génération d'harmoniques

Logiciels

13 nm high order harmonic generation for nanometer scale resolution lensless imaging

Summary

Full description

Coherent diffractive imaging (CDI) is a lensless imaging technique that uses spatial coherence and Fourier optics to remove the traditionallyused objectiveoptics in order to reach wavelength limited spatial resolution in X-ray microscopy. First developed for synchrotron facilities, its implementation onlaser based short wavelengthsources has allowedfor the rise of nanoscale femtosecond imaging. For more than 10 years the CEA-LIDYL has developed new CDI techniqueson laboratory sources, such as Fourier Transform Holography with Extended Reference [1], Stereo 3D imaging [2], or single shot CDI for time resolved experiments [3,4].
Those small scale sources arebased on anultra nonlinearphenomenon called high order harmonic generation (HHG), discovered at CEA-Saclay 30 years ago [5}. When focusing a femtosecond infrared laser beam on a gas jet, one can generate ultrashort (femtosecond to attosecond) coherent radiation in the extremeultraviolet domain.This process is now well understood, and is currently undergoing a rapid democratization for ultrafast spectroscopy experiments. However, the low photon flux is a strong limitation for many applications.
At CEA-LIDYL we recently acquired a high repetition rate femtosecond laser and developed a new technology for high flux HHG source, based on a long capillary geometry. The aim of the internshipis to implement this new apparatus on the laser in the group new laboratory. After optimization and characterization of the harmonic emission, the fellow will use the λ=13nm radiation to perform a first CDI experiment, with the aim of demonstrating nanometer scale spatial resolution on a large size solid-state sample using an imaging technique called ptychography [6]. This first demonstration is a first step towards the development of a new beamline dedicated to lithographymask inspection, a vital toolfor microelectronics industry. These developments will take placein the framework of a new jointlaboratory with Orsay SME Imagine Optic, which is aiming at proposing new metrology tools at short wavelengths.

1. Gauthier et al., Single-shot Femtosecond X-Ray Holography Using Extended References, PRL 105, 093901 (2010)
2. Duarte et al., Computed stereo lensless X-ray imaging, Nat. Photonics 13, 449 (2019)
3. Ravasio et al., Single-Shot Diffractive Imaging with a Table-Top Femtosecond Soft X-Ray Laser-Harmonics Source, PRL 103, 028104 (2008)
4. Boutu et al., Impact of noise in holography with extended references in the low signal regime, Opt. Express 24, 6318 (2016)
5. Ferray et al., Multiple-harmonic conversion of 1064 nm radiation in rare gases, J. Phys. B 21, L31 (1988)
6. Thibault et al., High-Resolution Scanning X-ray Diffraction Microscopy, Science 321, 379 (2008)

Keywords

Skills

Softwares