

AVIS DE SOUTENANCE DE THESE

Monsieur Marek STEHLIK est autorisé à présenter ses travaux en vue de l'obtention du diplôme national de DOCTORAT délivré par l'école CENTRALE MARSEILLE

Le 26 octobre 2022, à 14H00

Lieu : salle Pierre Cotton, Institut Fresnel, 52 Av. Escadrille Normandie
Niemen, 13013 Marseille

Titre : **Étude de la tenue au flux laser de matériaux et structures couches minces pour la réalisation d'optiques diffractives de type GWS (Grating Waveguide Structure)**

École doctorale : **ED 352 Physique et Sciences de la Matière**

Spécialité : **Optique, Photonique, et Traitement d'Image**

Rapporteurs

Monsieur Laurent LAMAINERE, Directeur de Recherche, CEA- CESTA, Le barp, France.
Monsieur Andrius MELNINKAITIS, Associate Professor, Vilnius University, Lituanie.

Membres du Jury

Monsieur Laurent LAMAINERE, Directeur de Recherche, CEA -CESTA, Le barp, France.
Monsieur Andrius MELNINKAITIS, Associate Professor, Vilnius University, Lituanie.
Monsieur Laurent GALLAIS, Professeur, Ecole Centrale de Marseille, France.
Madame Aurélie JULLIEN, Directeur de Recherche, INPHYNI, Nice, France.
Monsieur Daniel KRAMER, Senior Scientist, ELI Beamlines, Tchèque, République.
Monsieur Frank WAGNER, Maître de Conférences, Institut Fresnel, France.

Résumé (FR)

L'endommagement laser et la contamination induite par laser sont des phénomènes qui limitent les performances des composants optiques à base de couches minces optiques dans les lasers haute puissance à impulsions ultracourtes.

Afin d'améliorer la résistance au flux laser des couches optiques destinées à être utilisées dans des composants diffractifs (GWS), des tests de différents matériaux diélectriques, le développement d'empilements optimisés et l'étude de l'effet de la technique de dépôt ont été réalisés.

De tels développements reposent sur une métrologie robuste de l'endommagement laser. Malgré les processus physiques d'excitation des matériaux diélectriques dans le régime sub-ps, indiquant que le seuil d'endommagement laser (LIDT) ne devrait pas dépendre de la taille du faisceau, nous avons constaté que cette affirmation n'est pas sans équivoque dans la littérature publiée sur le sujet. Notre travail de métrologie avec une source laser de 500 fs 1030-nm souligne la difficulté de la mesure du LIDT par des faisceaux laser très focalisés et nous suggérons la déformation du faisceau due à l'auto-focalisation dans la lentille comme une explication possible. Nous avons également identifié les paramètres de test permettant d'obtenir des résultats LIDT stables et reproductibles.

Nous avons effectué une étude de la tenue au flux laser de sesquioxydes cristallins déposés par laser pulsé (Sc₂O₃, Y₂O₃, Lu₂O₃) et des oxydes métalliques amorphes (HfO₂, Nb₂O₅, SiO₂) déposés par pulvérisation magnétron.

Nous avons mesuré les LIDT intrinsèques de chaque matériau et leur évolution avec le nombre d'impulsions pour différents paramètres laser pertinents pour le fonctionnement des GWS.

Après cette sélection et cette étude des matériaux en couches minces, nous avons étudié les effets des techniques de fabrication et le design des GWS sur le LIDT. Puisque la fabrication de composants optiques diffractifs nécessite des étapes de fabrication multiples et complexes, nous avons étudié l'effet de certaines de ces étapes, utilisation de promoteur d'adhésion et couches de masquage, sur la tenue au flux laser. Nous avons observé que les LIDT des surfaces traitées sont proches des LIDT des surfaces non traitées, dans nos conditions de test.

Sur la base d'une source laser 700-fs 515-nm 3.3-MHz, nous avons étudié la dynamique de croissance de la contamination induite par laser (LIC) en fonction du matériau, de la technique de dépôt et de l'épaisseur des couches. Nous avons trouvé une relation quasi linéaire entre les épaisseurs de dépôt de LIC et les épaisseurs de couche de SiO₂ et HfO₂. De plus, la technique de dépôt et donc les propriétés du matériau ont un effet déterminant sur la croissance du dépôt de LIC.

Mots clés :

Seuil d'endommagement induit par laser, contamination induite par laser, couches minces d'oxyde, impulsions subpicosecondes.

Abstract (EN)

The laser-induced damage and laser-induced contamination are phenomena limiting reliable operation of coating-based optical components in ultrashort pulse high-power lasers.

To enhance the damage resistance of optical coatings intended to be used in diffractive components (GWS), testing of various coating materials, development of optimized coating designs, and comparison between deposition methods have been done.

Such developments on coatings rely on a robust laser damage metrology. Despite the efficient excitation of dielectric materials in sub-ps regime, indicating that laser-induced damage threshold (LIDT) should not be dependent on beam size, we found that this statement is not unequivocal in the published literature. Our work on metrology with 500-fs 1030-nm laser source underlines the difficulty of LIDT measurement by very focused laser beams and we suggest beam deformation due to self-focusing in the lens as a possible explanation. We have also identified testing parameters to obtain reliable and scalable LIDT results.

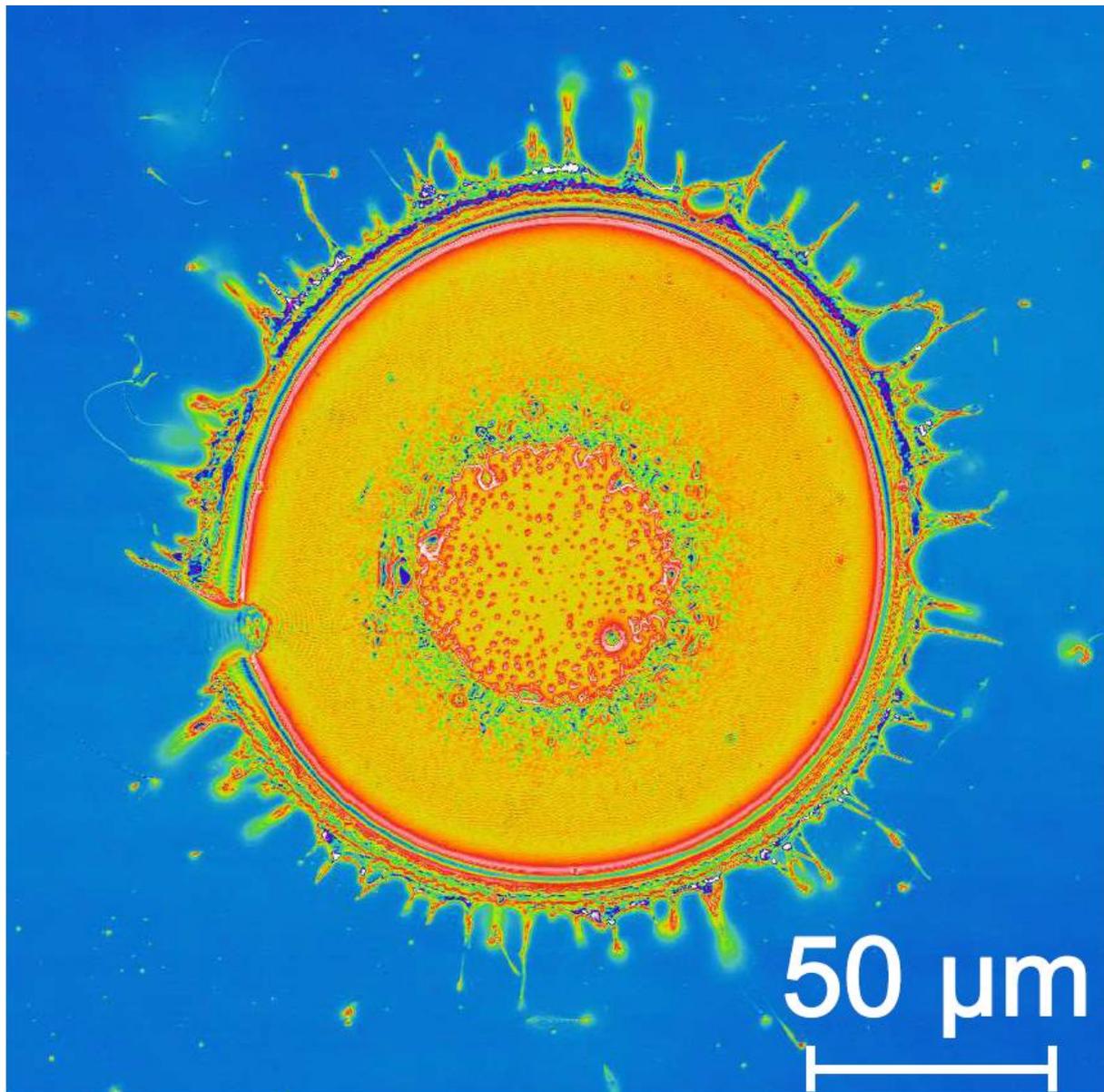
We performed LIDT tests with pulsed-laser deposited crystalline sesquioxides (Sc₂O₃, Y₂O₃, Lu₂O₃) and amorphous metal oxides (HfO₂, Nb₂O₅, SiO₂) coated by magnetron sputtering. We found the intrinsic LIDT of each material and their evolution with the number of pulses for different laser parameters relevant to the GWS operation.

Following this screening and investigation of coating materials, we investigated the effects of fabrication techniques and designs of GWS on the LIDT. Since the fabrication of diffractive optical components involve multiple and complex fabrication steps, we have investigated the effect of surface processing with adhesion promoter (Ti) and masking layers (Cr) on the LIDT. We observed that the LIDTs of treated surfaces are close to the untreated ones, in our test conditions.

Using 700-fs 515-nm 3.3-MHz setup we studied laser-induced contamination (LIC) growth in dependence on coating material, its deposition technique and its thickness, since LIC is a main issue related to the application. We found a nearly linear relationship between LIC deposit thicknesses and SiO₂ and HfO₂ coating thicknesses. Moreover the deposition technique and hence the material properties has a strong effect on the LIC deposit growth.

Keywords:

Laser-induced damage threshold, Laser-induced contamination, Oxide coatings, Sub-ps pulses.



Endommagement de la monocouche de Nb_2O_5 de 450 nm d'épaisseur par un tir avec fluence intrinsèque de 1,47 J/cm^2 . La surface de Nb_2O_5 a été examinée ex-situ avec un microscope confocal OLS5000-SAF (Olympus) équipé d'un objectif à magnification 100X.