

## **AVIS DE SOUTENANCE DE THESE**

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

**Le 14 avril 2022, à 14H00**

Lieu : Amphi Ponte, Institut Fresnel, 52 Av. Escadrille Normandie  
Niemen, 13013 Marseille

Titre : : **Composants optiques en couches minces pour lasers de forte puissance continue**

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

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

### **Rapporteurs**

Monsieur Laurent PINARD, Ingénieur de recherche, Laboratoire des Matériaux Avancés, In2p3, Villeurbanne, France.

Monsieur Pierre BOURDON, Directeur de recherche, ONERA, Palaiseau, France.

### **Membres du Jury**

Monsieur Laurent PINARD, Ingénieur de recherche, Laboratoire des Matériaux Avancés, In2p3, Villeurbanne, France.

Monsieur Pierre BOURDON, Directeur de recherche, ONERA, Palaiseau, France.

Monsieur Laurent GALLAIS, Professeur, Ecole Centrale de Marseille, France.

Madame Marine CHOREL, Ingénieur de recherche, CEA Cesta, Le Barp, France.

Madame Patricia SEGONDS, Professeur, Institut Néel, Grenoble, France.

Monsieur Julien LUMEAU, Professeur, Institut Fresnel, Marseille, France.

Madame Hélène KROL, Docteur, Cilas, Aubagne, France.

### **Résumé (FR)**

Les lasers de forte puissance continue présentent un très vaste champ d'applications industrielles, militaires et scientifiques. La montée en puissance des lasers à fibres de silice dopée Ytterbium permet d'atteindre à l'heure actuelle des niveaux de puissance de l'ordre de plusieurs centaines de kilowatts à une longueur d'onde de 1  $\mu\text{m}$ . Cependant, l'augmentation de la puissance de ces lasers nécessite le développement de composants optiques à haute tenue au flux laser.

Parmi les différents composants optiques d'un système laser, les filtres à base de couches minces optiques sont des éléments essentiels en raison du grand nombre de fonctions optiques réalisables : antireflets, miroirs, dichroïques... Malgré des niveaux d'absorption de l'ordre de la partie par million (ppm) dans les couches, les échauffements induits sous forte puissance laser constituent une limitation pour les performances laser, allant de la déformation de front d'onde jusqu'à éventuellement l'endommagement des optiques.

Pour répondre aux nouveaux besoins associés à l'emploi de lasers continus à très forte puissance, les mécanismes d'échauffement et par conséquent l'absorption des empilements de couches minces doivent être maîtrisés. Il en résulte la nécessité de développer une métrologie spécifique capable de fournir des mesures fiables à la ppm et en dessous.

Dans ce travail nous présentons le développement d'une méthode dite de thermographie synchronisée ou Lock-In Thermography, basée sur l'utilisation d'une technique de détection synchrone couplée à de la thermographie infrarouge afin d'imager les variations de température sur de grandes surfaces et d'en extraire des données locales d'absorption, par l'application d'une procédure d'étalonnage.

Cet instrument utilise sur un montage multi-passages permettant de recycler la puissance du faisceau laser et ainsi d'augmenter la puissance absorbée conduisant à une amélioration du rapport signal sur bruit. Nous avons appliqué ce système pour analyser différents échantillons (substrats, monocouches, miroirs et antireflets). Une adaptation de la LIT nous a également permis de réaliser une cartographie d'absorption des macro-défauts. Enfin des pistes de minimisation de l'absorption intrinsèque sont explorées.

**Mots clés :** Thermographie, Laser continu, Absorption optique, Couche minces optiques, Traitements optique, Mesure

## Abstract (EN)

High power continuous wave lasers have a wide range of industrial, military and scientific applications. The increase in power of Ytterbium-doped fiber lasers allows to reach power levels of several hundred kilowatts at a wavelength of 1  $\mu\text{m}$ . However, increasing the power of these lasers requires the development of optical components that handle these power levels.

Among the various optical components of a laser system, thin-film optical filters are essential elements because of the large number of optical functions that they offer: anti-reflection, mirrors, dichroic... Despite absorption levels in the order of parts per million

(ppm) in the films, high power laser heating induced is a limitation for the laser performance, ranging from wavefront deformation to eventual damage of the optics.

To meet the new requirements associated with the use of very high power continuous wave lasers, the heating mechanisms and consequently the absorption of thin film stacks must be controlled. This results in the need to develop a specific metrology capable of providing reliable measurements at the ppm level and below.

In this work we present the development of a method called Lock-In Thermography, (LIT) that is based on the use of a synchronous detection technique coupled to infrared thermography in order to image the temperature variations on large surfaces and to locally extract absorption values, by applying a calibration procedure.

This instrument uses a multi-pass setup allowing to recycle the laser beam power and thus to increase the total absorbed power leading to an improvement of the signal to noise ratio. We have applied this system to analyze different samples (substrates, single layers, mirrors and antireflection coatings). A modification of the LIT set-up also allowed us to perform an absorption mapping of macro defects. Finally, ways to minimize the intrinsic absorption of thin-film optical components are explored.

**Keywords:** Thermography, Continuous wave laser, Optical absorption, Optical thin film, Optical coating, Measure

