

AVIS DE SOUTENANCE DE THÈSE

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

Le jeudi 25 septembre 2025 à 14h00

Lieu : Salle Pierre Coton, 52 Av. Escadrille Normandie Niemen, 13013 Marseille

Titre : **Développement de filtres optiques interférentiels à faible absorption pour les lasers de puissance**

Ecole doctorale : ED 352 - Physique et Sciences de la Matière

Spécialité : PHYSIQUE & SCIENCES DE LA MATIERE - Spécialité : OPTIQUE, PHOTONIQUE ET TRAITEMENT D'IMAGE

Composition du jury :

M. Laurent GALLAIS	Centrale Méditerranée	Directeur de thèse
M. Julien LUMEAU	Institut Fresnel	Co-directeur de thèse
M. Olivier UTEZA	Laboratoire Lasers, Plasmas et Procédés Photoniques	Président
M. Joel CHARRIER	Université de Rennes	Rapporteur
M. Jean-Christophe CHANTELOUP	Ecole Polytechnique	Rapporteur
M. Alex RIBEAUD	Bühler Alzenau	Examineur

Résumé (FR)

Au rythme d'une progression fulgurante, la puissance continue des lasers fibrés est passée de quelques dizaines de watts à plusieurs centaines de kilowatts en vingt ans. Cette montée en puissance place les composants multicouches diélectriques au cœur des systèmes, car leurs miroirs, séparateurs et filtres doivent gérer des flux énergétiques extrêmes. Bien que l'absorption résiduelle soit aujourd'hui réduite à quelques parties par million grâce aux procédés de dépôt avancés, la densité de flux demeure si élevée que la moindre énergie dissipée provoque un échauffement volumique, lequel déclenche une dégradation de la réponse optique. Maîtriser l'absorption au ppm, la mesurer avec fiabilité et comprendre les phénomènes photo-induits associés sont donc devenus des enjeux décisifs pour accompagner le développement des lasers CW de forte puissance. Les impacts pratiques sont multiples : dans les armes à énergie dirigée, pour les liaisons optiques sol-satellite ou dans les domaines industriels pour la découpe. L'absorption dans les couches minces demeure l'un des principaux verrous qui limitent portée, efficacité et fiabilité des applications laser de haute puissance. Ces travaux s'intéressent à cette problématique. Il ouvre sur un cadre théorique, technologique et métrologique qui replace conception, fabrication et absorption des filtres multicouches dans le contexte des lasers CW. Ensuite, il détaille une chaîne de métrologie complète de l'absorption, depuis le banc expérimental jusqu'à la calibration, en confrontant les résultats aux modèles d'optique multicouche et à des mesures inter-laboratoires. Après quoi, vient la caractérisation expérimentale des effets thermo-induits sur la déformation du front d'onde, dont la

sensibilité est accrue par un filtrage fréquentiel dédié. Un modèle numérique prédit alors les variations d'indice, d'épaisseur et la déformation mécanique, validées par comparaison aux mesures, avant d'évaluer leur impact sur la propagation d'un faisceau laser. Enfin, l'étude explore des méthodologies sur les paramètres de dépôts et le design d'empilements pour réduire l'absorption et esquisse des solutions pour atténuer les déformations thermo-induites, ouvrant ainsi la voie à des composants plus robustes pour les flux laser de haute puissance.

Mots-clés : Photonique, Couche mince, Absorption

Abstract (EN)

Over the last two decades, continuous-wave fiber lasers have risen from a few tens of watts to several hundred kilowatts. This growth puts dielectric multilayer optics at the heart of every system. Mirrors, beam splitters and filters must withstand extreme power densities. Advanced deposition now limits residual absorption to a few parts per million. Yet the remaining heat triggers thermo-optical and thermo-elastic effects that degrade spectral response and wavefront quality. Controlling absorption at the ppm level, measuring it reliably and understanding the related photo-induced mechanisms are therefore crucial for further CW power scaling. Applications are diverse. Directed-energy weapons, free-space ground-to-satellite links and industrial laser cutting all depend on stable optics. Thin-film absorption remains a major issue that limits range, efficiency and reliability in high-power systems. This thesis addresses this problem. It first sets the theoretical, technological and metrological context for multilayer design, fabrication and absorption under CW power. It then details a complete absorption metrology chain, from the experimental bench to finite-element calibration, and validates the results against multilayer optical models and inter-laboratory data. Next comes the experimental characterisation of thermo-induced wavefront deformation, whose sensitivity is enhanced by dedicated frequency filtering. A numerical model predicts refractive-index and thickness changes and the resulting mechanical distortion. These predictions are validated and their impact on laser beam propagation is assessed. Finally, the work examines deposition parameters and stack designs that reduce absorption and proposes strategies to mitigate thermo-induced wavefront errors, paving the way for more robust optics in high-power laser applications.

Keywords: Photonic, Thin layer, Absorption