



**HAL**  
open science

## Les céramiques entrent en transparence

Rémy Boulesteix, Alexandre Maitre, Hugues Potier, Jean-Eucher Montagne

► **To cite this version:**

Rémy Boulesteix, Alexandre Maitre, Hugues Potier, Jean-Eucher Montagne. Les céramiques entrent en transparence. 2014. hal-01100598

**HAL Id: hal-01100598**

**<https://unilim.hal.science/hal-01100598>**

Submitted on 12 Jan 2015

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Les céramiques entrent en transparence...

Céramique de grenat d'yttrium et d'aluminium (YAG) pour lasers avant (blanche) et après (transparente) traitement thermique



© Remy BOULESTEIX < SPTS

Depuis quelques années, les céramiques polycristallines transparentes présentent un intérêt croissant pour des applications optiques et, plus particulièrement, pour des applications laser. Dans ce domaine, les lasers compacts et de forte puissance constituent un enjeu industriel majeur pour le développement de nouvelles technologies.

Les monocristaux actuellement utilisés sont très coûteux à produire et les procédés actuels ne permettent pas la fabrication de pièces de grande taille (au plus quelques centimètres) ce qui limite la puissance laser disponible. A l'inverse, les caractéristiques des céramiques polycristallines permettent de pallier ces inconvénients.

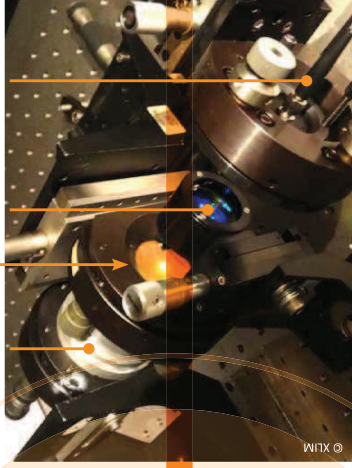
Ces matériaux possèdent en effet les avantages des monocristaux : dureté, résistance aux chocs thermiques, stabilité chimique, mais peuvent être élaborés avec des formes, des tailles et des architectures plus variées. La flexibilité des procédés de fabrication employés, reposant essentiellement sur la mise en forme et le frittage de poudres, permet de nouvelles améliorations : ces céramiques transparentes peuvent être réalisées dans une composition chimique désirée, avec une architecture plus ou moins complexe (pièces à gradients de composition dans une ou plusieurs directions), sous forme de pièces de grande taille et à moindre coût.

Parmi ces céramiques, les composés de la famille des grenats dopés par des terres rares comme le Grenat d'Yttrium et d'Aluminium dopé au néodyme s'imposent comme des matériaux particulièrement adaptés pour la réalisation de milieux amplificateurs de lasers solides de puissance. Plus récemment, de nouveaux matériaux de la famille des sesquioxydes sont venus compléter ce panel.

## « ...maîtriser les caractéristiques chimiques, microstructurales et optiques... »

Le premier défi à relever pour élaborer ces matériaux reste l'élimination de tous les défauts microstructuraux résiduels comme les impuretés, pores ou inclusions. Ceux-ci sont effectivement susceptibles d'induire une diffusion de la lumière qui diminue leur transparence. Cette problématique, qui conditionne les performances lasers des céramiques, reste un sujet d'étude majeur en même temps que la recherche de

Miroir Collimateur Fibre optique



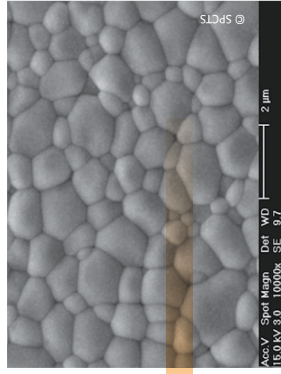
Banc laser utilisant une céramique transparente

Le principal avantage de ce procédé est sa grande flexibilité qui permet de réaliser des pièces de formes diverses (disques, barreaux, etc.) et dont la répartition en dopant (ou luminescent) est contrôlée. Certaines pièces peuvent ainsi présenter une répartition inhomogène en dopant de manière à obtenir des propriétés optiques originales (guide d'onde, amélioration du rendement laser, etc.).

Pour caractériser ces matériaux, différentes techniques d'analyse sont mises en œuvre. La microscopie électronique, en transmission ou à balayage, est utilisée pour détecter les défauts, les identifier et corriger le procédé d'élaboration en fonction de leur nature. On observe ainsi clairement l'impact de la qualité des poudres ou des conditions de traitement thermique sur la quantité de défauts résiduels présents dans le matériau final. La spectroscopie optique permet de son côté de déterminer les propriétés d'absorption et de luminescence des céramiques élaborées en vue de leur intégration dans des systèmes lasers.

## Procédés d'élaboration et analyses

Le procédé d'élaboration développé au Laboratoire des Céramiques Transparentes pour application Laser (LCTL\*) s'appuie sur un traitement thermique particulier appelé de type « frittage-réactif ». Il consiste à mélanger dans des proportions contrôlées les poudres d'oxydes simples, à les mettre en forme pour obtenir une pièce qui est ensuite portée à haute température (>1700°C). Au cours du traitement thermique, les poudres réagissent et la pièce se densifie par un phénomène appelé frittage pour conduire au final à un matériau dense, de pureté contrôlée, et avec la composition chimique désirée. Le challenge à relever, dans le cadre des activités du laboratoire, est de maîtriser les caractéristiques chimiques, microstructurales et optiques des matériaux obtenus, grâce au contrôle de chacune des étapes mises en œuvre au cours du procédé d'élaboration.



Grains vus au microscope électronique à balayage d'une céramique transparente de grenat d'yttrium et d'aluminium (YAG) pour lasers

Acc.V Spot Magn. Dat. WD 2.000µm SE-TOPO 10000x SE 9.7 © SPTS

Pour inscrire leur stratégie de recherche en matière de céramiques laser dans la durée, ces deux partenaires ont souhaité mettre en place le LCTL à Limoges, avec comme ambition de synthétiser des céramiques pour des applications comme milieux amplificateurs de lasers plus performants et dont la puissance devrait être significativement augmentée.

**Hugues POTTÉ < CILAS**  
pote@cilas.com  
**Jean-Eucher MONTAGNE < CILAS**  
montagne@cilas.com  
www.cilas.com

**Rémy BOULESTEIX < SPTS**  
remy.boulesteix@unilim.fr  
**Alexandre MAITRE < SPTS**  
alexandre.maitre@unilim.fr  
www.unilim.fr/spts

## Du laboratoire à l'industrie

Depuis près d'une dizaine d'années, le SPTS et CILAS travaillent en synergie au développement de procédés de fabrication de céramiques transparentes, aux formes et architectures plus ou moins complexes selon les applications visées. Plusieurs programmes de recherche communs ont jalonné cette période de collaboration. Ainsi, depuis 2010, CILAS et le SPTS travaillent conjointement sur des projets de recherche et développement. Les résultats de ces travaux ont abouti à la maîtrise des principales étapes de la fabrication de céramiques transparentes de la famille des grenats et des sesquioxydes avec des architectures complexes. Au final, l'intégration de ces nouveaux matériaux dans des systèmes lasers adaptés, développés en partie par des laboratoires partenaires comme XNUM (UMR 7252 CNRS/ Université de Limoges), a conforté leur intérêt et leurs potentialités pour ce type d'application.

\* Début 2014, le laboratoire Science des Procédés Céramiques et Traitements de Surface (SPCTS, UMR 7315 Université de Limoges-CNRS-ENSCI) et la société CILAS (Compagnie Industrielle des Lasers) ont associé leurs compétences scientifiques et techniques dans le cadre de la création d'un Laboratoire Commun de Recherche intitulé « Laboratoire des Céramiques Transparentes pour application Laser » (LCTL). Il conçoit et étudie les propriétés de céramiques transparentes pour des applications photoniques. Ce laboratoire, installé dans les locaux du SPTS sur le site du Centre Européen de la Céramique, élabore ces nouvelles céramiques par un procédé développé et optimisé depuis une dizaine d'années.



Céramiques transparentes pour lasers. De gauche à droite : "cru" (avant traitement thermique), Barreau de Nd:YAG, disque de Nd:YAG, barreau bicouche de YAG:Nd:YAG, disque de Nd:Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

© Remy BOULESTEIX < SPTS