



Céramiques nanocomposites MgO-Y₂O₃ pour les applications de fenêtres infrarouges aérospatiales à faible émissivité

**Soutenance de thèse – Nathan BRARD
13 décembre 2023 – 14h**

Salle Marcel Pierre - ONERA Palaiseau

Devant le jury composé de :

Rapporteuse	GUILLEMET-FRITSCH Sophie – Directrice de Recherche,	CNRS-CIRIMAT-UT3
Rapporteur	MAITRE Alexandre - Professeur,	U. Limoges-IRCER
Examinatrice	AMORY Lucille - Ingénieure,	DGA
Examineur	MORTIER Michel – Directeur de Recherche,	CNRS-IRCP
Invité	FLAVIN Edouard - Ingénieur,	MBDA
Directeur de thèse	BACH Stéphane – Maître de conférence,	U. Paris-Saclay-Evry
Encadrant	PETIT Johan – Maître de recherche,	ONERA/DMAS

Résumé

Ces travaux de thèse ont consisté en la synthèse et la caractérisation d'un matériau céramique nanocomposite MgO-Y₂O₃ pour les applications de fenêtres aérospatiales dans l'infrarouge (IR) à faible émissivité. C'est-à-dire un matériau qui soit transparent dans l'IR, plus spécifiquement dans la bande II de transparence de l'atmosphère (de 3 à 5 μm de longueur d'onde) et ce, même à des températures élevées (jusqu'à 1000 °C au moins). En effet, les céramiques transparentes en bande II actuellement utilisées pour protéger les détecteurs optiques (saphir, spinelle, AlON) présentent des dégradations de leur transparence, et donc une hausse de leur émissivité, avec l'augmentation de la température. Ces phénomènes limitent les températures d'utilisation dans les avions.

La céramique nanocomposite MgO-Y₂O₃ est développée depuis une vingtaine d'année et apparaît comme une solution à ce problème. De par sa fenêtre de transparence plus large (jusqu'à 9 μm dans l'IR) et sa structure composite ralentissant la croissance granulaire pour garder des grains nanométriques, ce matériau allie propriétés optiques et thermomécaniques adéquates pour des applications en conditions sévères. Cependant, la mise en œuvre du procédé d'élaboration de ce matériau est très exigeante. En effet, sa microstructure, dans l'objectif d'obtenir les propriétés recherchées, doit présenter un faible diamètre de grains, une densité relative proche de 1 et une répartition des grains des deux composés la plus homogène possible. Les différentes étapes d'élaboration de la céramique (synthèse de la poudre, frittage et post-traitements) ont ainsi été étudiées et optimisées en s'appuyant sur les moyens techniques de l'ONERA et de l'ICMPE et sur des procédés de frittage originaux.

Dans cette thèse, des travaux ont tout d'abord été réalisés sur la synthèse d'une poudre composite MgO-Y₂O₃ nanométrique. C'est une synthèse par voie sol-gel à 800 °C, utilisant le procédé de Pechini, qui est choisie et justifiée. La poudre est ensuite frittée par procédé FACE (DCS et SPS) en faisant varier les paramètres de frittage mais aussi à l'aide de cycles thermiques en deux étapes originaux. Ceux-ci permettent d'obtenir des microstructures plus denses et plus fines par rapport à un cycle thermique classique en une étape. En parallèle, le procédé FACE est modélisé à l'aide d'un calcul par éléments finis pour appuyer les analyses. Enfin, les impacts des post-traitements, frittage HIP et recuits sous air, sur les propriétés des matériaux les plus denses et les plus fins frittés ont été évalués. Un HIP allant jusqu'à 4000 bar et disponible à l'ONERA a été utilisée. A l'issue de ces étapes, le matériau obtenu le plus prometteur a un diamètre moyen de grains de 235 ± 40 nm et une densité relative proche de 1. Il présente une transmittance en bande

Il supérieure à 80 % pour une épaisseur de 1 mm. A 1000 °C et à 5 μm , cette transmittance ne se dégrade que de 10 à 15 % pour une épaisseur de 2 mm. Sa dureté est de $10,7 \pm 0,1$ GPa.

Cette thèse ouvre la voie à de futures recherches visant à améliorer le procédé d'élaboration de cette céramique. Cela pourrait inclure une étude paramétrique plus approfondie des conditions de la synthèse sol-gel et du traitement HIP. Avec une élaboration plus maîtrisée, des perspectives à plus long terme pourraient inclure le frittage de pièces de tailles plus importantes et de formes plus complexes. En outre, l'extension de la fenêtre de transparence du matériau vers le proche infrarouge, voire le visible, pourrait être envisagée en affinant la microstructure et/ou en utilisant de nouvelles compositions.

Mots clés

Nanocomposite MgO-Y₂O₃, Céramique transparente IR, Synthèse sol-gel, Frittage SPS, Frittage en deux étapes, Haute température