ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

www.onera.fr

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Développement d'optiques à Gradient d'Indice (GRIN) radial ou sphérique par échange ionique pour l'amélioration des performances des systèmes optroniques infrarouges

Référence : **PHY-DOTA-2024-09**
(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : Octobre ou novembre 2024	**Date limite de candidature :** mars 2023

Mots clés : verre en Chalcogénure, échange ionique, gradient d'indice, instrumentation infrarouge

Profil et compétences recherchées :

Ingénieur ou master en chimie des matériaux ou en optique, goût pour l'expérimentation, goût pour les projets inter-disciplinaires

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif :

Les concepteurs en optique ont toujours repoussé les limites de ce qui est possible de faire avec les outils dont ils disposent pour améliorer les performances des systèmes optroniques. Par exemple les surfaces asphériques et les surfaces diffractives ont permis de miniaturiser les systèmes optiques tout en améliorant leurs performances. Ainsi et paradoxalement, il s'agit de simplifier les systèmes optroniques en y intégrant des composants plus complexes. De nombreuses équipes s'intéressent donc par exemple à l'utilisation d'optiques à gradient d'indice (GRIN) pour des applications d'imagerie. Ce sont des composants optiques dont l'indice de réfraction varie dans l'épaisseur du matériau. Ainsi les rayons lumineux ne sont plus seulement contrôlés par les surfaces mais aussi dans le volume du matériau, ce qui confère aux concepteurs en optique plus de degrés de liberté pour concevoir un système optique. Si les gradients d'indice sont très courants dans la vision animale, leur réalisation reste délicate et de nombreuses techniques ont été développées. Dans le domaine infrarouge, deux voies technologiques ont été le plus étudiées. La 1ere voie technologique est basée sur le changement d'indice avec une cristallisation contrôlée provoquée par un traitement thermique. La 2ème voie technologique consiste à provoquer une inter-diffusion entre plusieurs matériaux d'indice différent. Cette 1ère voie nécessite une composition vitreuse avec une cristallisation très bien contrôlable et la cristallisation doit provoquer un changement d'indice important. La 2ème voie semble difficile puisque les verres de chalcogénure sont composés des gros atomes qui se diffusent très difficilement.

Depuis 5 ans, l'ISCR (Institut des sciences chimiques de Rennes) et l'ONERA développent et étudient des optiques GRIN dans des verres infrarouges de Chalcogénure par échange ionique. Cette voie alternative permet d'envisager une industrialisation plus simple de ce type d'optique. Lors d'une précédente thèse [1], la faisabilité d'obtenir des GRIN radiaux par échange ionique d'ions Na+ avec des ions Ag+ a été démontrée. Les ions Ag+ ont une grande distance de diffusion dans le matériau et des GRIN radiaux de diamètres inférieurs à 15mm ont pu être obtenus. De plus les GRINs obtenus ont une variation d'indice supérieure à 0,1. Mais la propriété la plus remarquable est l'obtention d'un GRIN de constringence négative qui est une propriété clef très recherchée des GRINs pour simplifier efficacement les architectures optiques. En effet peu de compositions possèdent une telle propriété.

L'objectif de la thèse est dans un premier temps de consolider les acquis sur les échanges ioniques Na+/Ag+ en vue de réaliser un démonstrateur. Il s'agira d'étudier plusieurs compositions vitreuses, plusieurs concentrations ioniques, mettre au point des stratégies de recuit des matériaux et de traitement protectrices de surface, en vue de réaliser des optiques GRIN stable dans le temps, usinable ou moulable. Le/la doctorant(e) mettra en œuvre le processus de synthèse et d'échange ionique à l'ISCR. Tout au long de cette étude, les matériaux analysés seront caractérisés afin de sélectionner l'approche la plus pertinente. Le/la doctorant(e) participera donc à la réalisation de lames à gradient d'indice radial. Ces lames seront usinées par la société Umicore pour réaliser un démonstrateur conçu par l'ONERA. Cette première étape permettra au/à la doctorant(e) de s'approprier des moyens expérimentaux de l'ISCR pour fabriquer et caractériser les matériaux et des moyens expérimentaux de l'ONERA pour caractériser les optiques et le système optique. La profondeur de diffusion des ions limite actuellement les diamètres des optiques à des valeurs inférieures à 15mm. Cette contrainte limite l'utilisation de ces gradients d'indice radiaux à des systèmes optiques de petite longueur focale.

Ainsi, dans une deuxième partie de la thèse, le/la doctorant(e) s'intéressera aux optiques à gradient d'indice sphériques. Ces optiques peuvent être obtenues en courbant une optique à gradient d'indice axial. Ainsi, la

longueur de diffusion ne limite plus le diamètre des optiques mais plutôt l'épaisseur des optiques. Des optiques de plus grand diamètre peuvent donc être obtenues. Le doctorant étudiera donc la possibilité de mouler des optiques à gradients d'indice axiaux obtenues par échange ionique pour obtenir des optiques à gradient d'indice sphérique. Il/elle travaillera avec l'ONERA pour étudier l'intérêt de ces optiques dans une architecture optique, mettra en place un banc de métrologie pour mesurer les variations d'indices et participera à la réalisation d'un démonstrateur et à sa caractérisation. Pour cela il/elle s'appuiera sur les moyens d'analyse de front d'onde et les moyens de caractérisation disponibles à l'ONERA.

Les échanges ioniques Na+/Ag+ permettent de créer un profil à gradient radial d'indice divergeant. Un profil radial à gradient convergeant de constringence négative permettrait cependant une plus large diffusion des optiques à gradient d'indice dans les systèmes infrarouges. Selon l'avancée de la thèse sur les deux premières parties, le/la doctorant(e) pourra étudier d'autres compositions de verre en Chalcogénure et d'autres échanges ioniques afin de proposer des pistes pour réaliser un gradient d'indice radial convergent et de constringence négative.

Les travaux sur la synthèse des matériaux et leur analyse se feront à l'ISCR et représenteront une grande partie du temps de la thèse. La métrologie de profil à gradient d'indice et la caractérisation de caméra se fera à l'ONERA dans le cadre de missions financés par l'ASTRID MIRGRIN.

[1] *Claire Fourmentin, « Développement d'optiques à Gradient d'INdice (GRIN) de réfraction par échange ionique pour des applications à l'imagerie thermique dans le domaine 8-12 µm », thèse.*

[1] *James W. Howard, Danette P. Ryan-Howard, "Optical Design Of Thermal Imaging Systems Utilizing Gradient-Index Optical Materials," Opt. Eng. 24(2) 242263 (1 April 1985).*

[2] *Richard A. Flynn, E. F. Fleet, Guy Beadie, and James S. Shirk, "Achromatic GRIN singlet lens design," Opt. Express 21, 4970-4978 (2013).*

[3] *Anthony J. Visconti, Kejia Fang, James A. Corsetti, Peter McCarthy, Greg R. Schmidt, Duncan T. Moore, "Design and fabrication of a polymer gradient-index optical element for a high-performance eyepiece," Opt. Eng. 52(11) 112107 (2 August 2013).*

[4] *https://eom.umicore.com/en/infrared-solutions/infrared-optics/products/optics-catalogue*.

Collaborations envisagées :

Co-encadrement avec l'ISCR pour la fabrication des optiques à gradient d'indice par échange ionique. Fabrication des optiques par la société Umicore dans le cadre du projet MIRGRIN

Laboratoire d'accueil à l'ONERA :

Département : Département d'Optique et Techniques Associées

Lieu (centre ONERA) : Palaiseau

Contact : Florence de la Barrière / Guillaume Druart

Tél. : 01 80 38 63 53 / 01 80 38 64 13
Email :Florence.De_La_Barriere@onera.fr, guillaume.druart@onera.fr

Directeur de thèse :

Nom : Xianghua Zhang

Laboratoire : ISCR

Tél. : 02 23 23 69 37

Email : xiang-hua.zhang@univ-rennes1.fr

Pour plus d'informations : https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche