www.onera.fr

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Imagerie hyperspectrale basée sur un réseau 3D de circuits photoniques intégrés

Référence : **PHY-DOTA-2024-08** *(à rappeler dans toute correspondance)*

Début de la thèse : Octobre 2024	**Date limite de candidature :** Mai 2024

Mots clés :

Optique intégrée, micro-photonique, guides d'ondes, imagerie hyperspectrale

Profil et compétences recherchées :

Optique, micro-photonique, laser, programmation (Python, Matlab…). Goût prononcé pour l'expérimentation optique et les simulations numériques

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif :

Les caméras hyperspectrales collectent et traitent l'information spectrale pour chaque point de leur champ de vue. De telles caméras permettent d'extraire plus d'informations d'une scène par rapport aux caméras traditionnelles. Les applications de l'imagerie hyperspectrale sont diverses et variées : agriculture, surveillance, observation de la terre, biologie, imagerie biomédicale, astronomie et géosciences.

Nous étudions à l'ONERA depuis plusieurs années les imageurs hyperspectraux et nous avons conçu plusieurs instruments dont certains fonctionnent dans l'infrarouge et plusieurs utilisent le principe de la spectroscopie par transformée de Fourier. Ces instruments reposent sur des composants optiques fonctionnant en espace libre. Pour augmenter les performances et les fonctionnalités des architectures optiques tout en les miniaturisant, nous étudions des concepts non conventionnels et nous évaluons leur apport pour des systèmes optroniques.

Nous développons une solution à base de circuits photoniques intégrés (PICs) afin de rendre les systèmes optiques à la fois compacts, performants et avec des fonctionnalités avancées, dont en particulier l'imagerie hyperspectrale. Les PICs sont des circuits optiques sur une lame transparente qui comportent des entrées et sorties optiques reliées par un réseau de guides d'ondes. Selon la technologie utilisée, les guides d'ondes peuvent soit être inscrits à la surface d'un substrat soit à l'intérieur du substrat choisi. Les premiers types de guides d'ondes sont maitrisés industriellement mais ils souffrent d'une limitation importante pour les applications d'imagerie : ils sont gravés sur un plan et non en 3D, de fait, ils ne peuvent que très difficilement couvrir le plan focal d'une lentille. Les applications liées à l'imagerie tels que nous souhaitons les mettre en œuvre sont délicates avec cette technologie.

En ce sens, nous collaborons avec l'Institut de Chimie Moléculaire et des Matériaux d'Orsay (ICMMO) pour développer des PICs inscrits non plus sur la surface mais à l'intérieur de l'échantillon, c'est-à-dire dans le volume d'une lame de verre. Cette technique consiste à utiliser un laser à impulsions ultrabrèves (quelques centaines de femtosecondes) pour changer l'indice de réfraction du verre au niveau du point de focalisation du laser. En déplaçant le point de focalisation dans l'échantillon, il est possible de définir un réseau 3D de guides d'ondes (Figure 1). Grâce à des simulations numériques et des résultats expérimentaux préalables, nous concevons actuellement un système d'analyse spectrale basé sur la spectroscopie par transformée de Fourier. La composante imagerie n'est pas encore prise en compte.

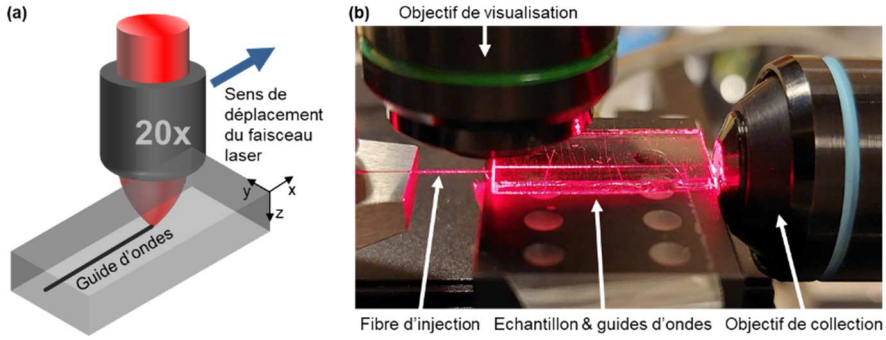

Figure 1 : (a) Illustration de la technique d'écriture de guides d'ondes par un laser à impulsions ultrabrèves. (b) Montage permettant de caractériser les PICs et visualisation d'un guide d'ondes inscrit par le laser.

L'objectif de cette thèse consiste à effectuer les études théoriques, numériques et expérimentales au niveau des composants puis du système global pour ajouter la fonction d'imagerie au système d'analyse spectrale et ainsi réaliser un imageur hyperspectral sur une puce photonique. Ces travaux permettront aussi d'obtenir un modèle numérique du système et d'effectuer en laboratoire des études allant de sous composants isolés au système global. Il s'agira aussi de comprendre la physique sous-jacente des différents phénomènes qui interviendront tout au long de la thèse.

****

La thèse pourra se décomposer de la manière suivante :

- Le/la doctorant(e) se familiarisera dans un premier temps avec la technique de micro structuration 3D par un laser fs de l'indice optique des verres à l'ICMMO et réalisera ses premiers guides d'ondes.
- Le/la doctorant(e) se familiarisera aussi avec les outils de simulation numérique des guides d'ondes et des circuits photoniques en place sur les serveurs de calculs de l'ONERA et aux programmes d'analyse des données associés.
- Le/la doctorant(e) étudiera ensuite le meilleur maillage des guides d'ondes au niveau du plan focal de la lentille, notamment en termes de distance entres les guides d'ondes. En effet, la structuration de guides d'ondes trop proches entre eux entrainera un couplage non souhaité entre les guides d'ondes. En revanche, des guides d'ondes trop éloignés réduira l'efficacité radiométrique du système optique global. Pour cela, des études théoriques, numériques et expérimentales seront effectuées sur la fonction de transfère de modulation (FTM) d'un tel système optique (Figure 2).

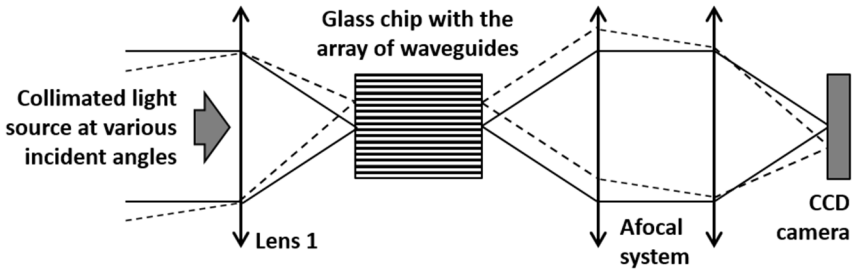

Figure 2: *Illustration du montage qui pourrait être utilisé pour mesurer la fonction de transfère de modulation (FTM) du réseau 3D de PICs en faisant varier l'angle d'incidence du faisceau d'entrée.*

- Le/la doctorant(e) étudiera des concepts via des études numériques pour augmenter le taux de couplage de la lumière dans les guides d'ondes et augmenter ainsi la transmission globale du système optique. Un concept sera sélectionné, réalisé expérimentalement et étudié au laboratoire.
- Le/la doctorant(e) réalisera le système optique complet incluant le module de couplage de la lumière et un module de spectroscopie par transformée de Fourier. Ce dispositif constituera la preuve de concept d'un imageur hyperspectral sur une puce photonique.
- Le/la doctorant(e) étudiera expérimentalement le système complet pour évaluer ses performances et comparera les résultats avec les attentes théoriques et numériques.

Le/la doctorant(e) profitera pleinement des compétences en instrumentation optique et des moyens de caractérisations du Département d'Optique et Techniques Associées (DOTA) de l'ONERA et de l'ICMMO. Il/elle bénéficiera également des moyens et du savoir-faire de l'ICMMO dans la structuration de fonctions 3D par un laser à impulsions femtosecondes.

Collaborations envisagées :

Institut de Chimie Moléculaire et des Matériaux d'Orsay (ICMMO)

Laboratoire d'accueil à l'ONERA :	**Directeur de thèse :**
Département : Optique et Techniques Associées (DOTA)	Nom : Matthieu Lancry
Lieu : ONERA, Centre de Palaiseau	Laboratoire : ICMMO
Contact : Olivier Gazzano	Tél. : 01 69 15 62 18
Tél. : 01 80 38 63 63 Email : olivier.gazzano@onera.fr	Email : matthieu.lancry@universite-paris-saclay.fr

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