



# THÈSE DE DOCTORAT DE

## L'UNIVERSITÉ DE RENNES

ÉCOLE DOCTORALE N° 601

*Mathématiques, Télécommunications, Informatique, Signal, Systèmes,  
Electronique*

Spécialité : *Optique et Photonique*

Par

**Sofiane MEZIANI**

## Développement de capteurs spectroscopiques en photonique intégrée dans le moyen infrarouge

Thèse présentée et soutenue à Lannion, le 14 juin 2024

Unité de recherche : *Institut Fonctions Optiques pour les Technologies de l'Information - FOTON*

### Rapporteurs avant soutenance :

Éric Tournié                      Professeur des Universités, IES Université de Montpellier  
Han Cheng SEAT                Maître de conférences, LAAS, INP de Toulouse

### Composition du Jury :

|                 |                          |  |
|-----------------|--------------------------|--|
| Examineurs      | Éric Tournié             | Professeur des Universités, IES Université de Montpellier  |
|                 | Han Cheng SEAT           | Maître de conférences, LAAS, INP de Toulouse               |
|                 | Yannick Coffinier        | Directeur de Recherches, IEMN, Université de Lille         |
|                 | Marc Lamy de la Chapelle | Professeur des Universités, IMMM, Université du Mans       |
| Dir. de thèse : | Joël Charrier            | Professeur des Universités, I. Foton, Université de Rennes |
| Encadrants :    | Loïc Bodiou              | Maître de conférences, I. Foton, Université de Rennes      |
|                 | Nathalie Lorrain         | Maître de conférences, I. Foton, Université de Rennes      |

---

**Titre :** Développement de capteurs spectroscopiques en photonique intégrée dans le moyen infrarouge

**Mots clés :** Optique intégrée, Capteur, verres de chalcogénure, silicium poreux, MIR

**Résumé :** Ces dernières années, un intérêt scientifique croissant s'est manifesté pour le développement de circuits photoniques dans le moyen infrarouge (MIR) dédiés aux applications de capteurs. La présence, dans cette plage de longueurs d'onde, des bandes d'absorption affichées par plusieurs molécules toxiques et polluantes rend les capteurs MIR bien adaptés pour répondre à une gamme diversifiée d'utilisateurs, avec divers avantages tels que des coûts de fabrication réduits et la compacité des dispositifs. Cependant, ces circuits doivent être fabriqués à partir de matériaux transparents dans le MIR. Les verres de chalcogénure (ChGs) et le silicium poreux (PSi) présentent un grand potentiel pour la conception de tels circuits. Les ChGs offrent

une large transparence allant du proche infrarouge à 20  $\mu\text{m}$ , tandis que le PSi est transparent de 1 à 8  $\mu\text{m}$ . Les ChGs peuvent être utilisés pour la spectroscopie par champ évanescent, tandis que le PSi peut améliorer l'interaction avec les molécules ciblées grâce à ses pores ouverts permettant la détection de volume. Ce travail est dédié au développement de capteurs optiques intégrés MIR à partir des deux plateformes ChGs et SiP. Les circuits intégrés sont d'abord fabriqués puis caractérisés grâce à un banc optique adapté pour le MIR. Des tests de transduction sont menés pour la preuve de concept avec des analytes en phase gazeuse ou liquide pour des longueurs d'onde autour de 4 et de 7  $\mu\text{m}$ .

---

**Title :** Development of Integrated Photonics Spectroscopic Sensors in the Mid-Infrared

**Keywords :** Integrated Optics, Sensor, Chalcogenide Glasses, Porous Silicon, mid-IR

**Abstract:** In recent years, there has been growing scientific interest in the development of photonic circuits in the mid-infrared (mid-IR) range dedicated to optical sensing applications. The presence of absorption bands exhibited by various toxic and polluting molecules within this wavelength range renders mid-IR sensors well-suited to cater to a diverse array of users, with various advantages such as reduced manufacturing costs and compact devices. However, these circuits must be fabricated from materials that are transparent in the mid-IR range. Chalcogenide glasses (ChGs) and porous silicon (PSi) have great potential for the design of such circuits. ChGs offer a large

transparency range from near-infrared to 20  $\mu\text{m}$ , while PSi is transparent from 1 to 8  $\mu\text{m}$ . ChGs can be used for evanescent field spectroscopy, while PSi can improve interaction with target molecules through its open pores allowing for volume detection. This work is dedicated to the development of integrated mid-IR optical sensors based on both ChGs and PSi platforms. The integrated circuits are first fabricated and then characterized using an optical bench adapted for the mid-IR. Transduction tests are conducted for proof of concept with various analytes in gas or liquid phase, targeting absorption peaks around 4 and 7  $\mu\text{m}$ .