

Abdallah JAAFAR soutiendra sa thèse le 14 novembre 2024.

*Veillez communiquer cette information auprès de vos collègues susceptibles
d'être intéressés.*

*Soutenance de thèse
Institut FOTON – Equipe Systèmes Photoniques
Jeudi 14 novembre 2024 – 14h00
(ENSSAT – Amphi 137C)*

*Développement de matériaux poreux pour des applications de
détection en optique intégrée dans le moyen infrarouge*

Abdallah JAAFAR

Jury

Rapporteurs :	Gaël Gautier Laurent A. Francis	Professeur des Universités, GREMAN, Université de Tours, France Professeur des Universités, Université de Louvain-La-Neuve, Belgique
Examineurs :	Gaël Gautier Laurent A. Francis Frédérique Cunin Abderraouf Boucherif	Professeur des Universités, GREMAN, Université de Tours, France Professeur des Universités, Université de Louvain-La-Neuve, Belgique Directrice de recherche au CNRS, ICGM, Université de Montpellier, France Professeur des Universités, 3IT, Université de Sherbrooke, Canada
Dir. de thèse :	Mohammed Guendouz	Maître de conférences - HDR, I. Foton, Université de Rennes, France
Co-Encadrantes :	Nathalie Lorrain Parastesh Pirasteh	Maître de conférences, I. Foton, Université de Rennes, France Ingénieure de recherche, I. Foton, Université de Rennes, France

Mots clés : Silicium poreux, oxydation thermique, guide d'onde ridge, moyen infrarouge, détection de CO₂, germanium poreux.

Résumé : Les capteurs optiques intégrés basés sur des dispositifs optiques guidés en matériaux poreux peuvent détecter efficacement et sélectivement des molécules polluantes présentes dans l'eau, l'air et l'environnement. La structure poreuse permet aux molécules à détecter de s'infiltrer dans les pores, ce qui permet une détection volumique. Cette caractéristique exalte la sensibilité d'un capteur optique intégré et offre aussi la possibilité de détecter une très faible quantité de molécules. Dans ce travail, deux matériaux transparents dans le moyen infrarouge (MIR) ont été étudiés pour le développement de guides d'onde optiques intégrés : le silicium poreux (SiP) et le germanium poreux (GeP). Le SiP est produit par anodisation électrochimique et peut être utilisé jusqu'à la longueur d'onde de 8 µm. Des guides d'onde plan et ridge en SiP ont été développés à partir de substrats de silicium de

type P faiblement ou fortement dopés. L'effet de traitement thermique d'oxydation sur le guidage a été étudié. Un test de transduction sur la détection de CO₂ dans le MIR autour de la longueur d'onde de 4.3 µm a été réalisé. Le GeP, quant à lui, est produit par gravure électrochimique bipolaire et permet d'étendre la plage de détection jusqu'à la longueur d'onde de 14 µm. Ce matériau, utilisé pour le développement d'un capteur optique intégré, constitue ainsi un atout considérable étant donné que la plupart des molécules polluantes présentent une bande d'absorption dans le MIR. Des couches homogènes de faibles épaisseurs ont pu être réalisées. Un premier test d'élaboration d'un miroir de Bragg a aussi été effectué.

Keywords: Porous silicon, thermal oxidation, ridge waveguide, mid-infrared, CO₂ detection, porous germanium.

Abstract: Integrated sensors based on guided optical devices can efficiently and selectively detect pollutant molecules present in water, air, and environment. The porous structure allows the targeted molecules to penetrate into the pores, leads to volume detection. This characteristic greatly enhances the sensitivity and the ability to detect a very small number of molecules. In this study, two mid-infrared (mid-IR) transparent materials were investigated for the development of integrated optical waveguides: porous silicon (PSi) and porous germanium (PGe). PSi is produced by electrochemical anodization and can be used up to a wavelength of 8 µm. PSi-based planar and ridge waveguides were developed from lightly or heavily P-doped silicon substrates.

The effect of thermal oxidation treatment on the optical properties of the waveguides was investigated. Transduction tests were carried out to detect carbon dioxide (CO₂) in the mid-IR at around 4.3 µm wavelength. On the other hand, PGe is produced using bipolar electrochemical etching, extending the detection range to a wavelength of 14 µm. This material offers a considerable advantage for the development of an integrated optical sensor, as most polluting molecules have an absorption band in the mid-IR spectral range. Thin and homogeneous PGe layers were obtained. An initial test for the fabrication of a Bragg mirror was also conducted.