



**HAL**  
open science

## Développement d'une plate-forme optique intégrée à base de verres de chalcogénures pour des applications capteurs dans le moyen infra-rouge

Aldo Gutiérrez, Emeline Baudet, Loïc Bodiou, Jonathan Lemaitre, Isabelle Hardy, Joël Charrier, Virginie Nazabal, Bruno Bureau

### ► To cite this version:

Aldo Gutiérrez, Emeline Baudet, Loïc Bodiou, Jonathan Lemaitre, Isabelle Hardy, et al.. Développement d'une plate-forme optique intégrée à base de verres de chalcogénures pour des applications capteurs dans le moyen infra-rouge. Optique Bretagne 2015 - 35ème Journées Nationales d'Optique Guidée (JNOG'35), Jul 2015, Rennes, France. hal-01261941

**HAL Id: hal-01261941**

**<https://hal.science/hal-01261941v1>**

Submitted on 26 Jan 2016

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# DEVELOPPEMENT D'UNE PLATEFORME OPTIQUE INTEGREE A BASE DE VERRES DE CHALCOGENURES POUR DES APPLICATIONS CAPTEURS DANS LE MOYEN INFRAROUGE

Aldo Gutiérrez<sup>1</sup>, Emeline Baudet<sup>2</sup>, Loïc Bodiou<sup>1</sup>, Jonathan Lemaitre<sup>1</sup>, Isabelle Hardy<sup>1</sup>, Joël Charrier<sup>1</sup>, Virginie Nazabal<sup>2</sup>, Bruno Bureau<sup>2</sup>

<sup>1</sup> UMR FOTON, CNRS, Université de Rennes 1, INSA Rennes, ENSSAT, Lannion 22305, France

<sup>2</sup> CNRS UMR 6226 ISCR, Université de Rennes 1, 22302 Rennes, France

[gutierre@enssat.fr](mailto:gutierre@enssat.fr)

## RÉSUMÉ

Cet article présente le développement d'une plateforme intégrée en verres de chalcogénure pour réaliser un capteur par onde évanescente dans la gamme spectrale du moyen infrarouge. La structure proposée est celle d'un guide d'onde de type ruban sur un substrat de silicium, dont les couches de cœur et de confinement sont constituées respectivement en  $\text{Ge}_{12,5}\text{Sb}_{25}\text{Se}_{62,5}$  et  $\text{Ge}_{28,1}\text{Sb}_{6,3}\text{Se}_{65,6}$ . Nous détaillerons tout d'abord les résultats de simulation permettant d'optimiser la structure afin d'obtenir d'une part, la transmission monomodale aux longueurs d'onde 6,3  $\mu\text{m}$  et 7,8  $\mu\text{m}$  et d'autre part, un fort taux de recouvrement de l'onde évanescente avec le superstrat dans l'objectif de détecter des molécules absorbant spécifiquement à ces deux longueurs d'onde. Enfin, des mesures de pertes optiques sur ces guides à  $\lambda=1,55 \mu\text{m}$  ainsi que la propagation de la lumière à  $\lambda=7,8 \mu\text{m}$  seront présentées.

**MOTS-CLEFS :** *Capteur optique ; moyen infrarouge; verres de chalcogénures, onde évanescente.*

## 1. INTRODUCTION

Actuellement il existe un fort intérêt dans l'industrie et la recherche scientifique pour le développement de nouvelles techniques de détection, capables de détecter dans une grande variété de milieux et dans différentes conditions physiques en opérant avec de grandes sensibilités et résolution. Parmi ces différents types de capteurs, les dispositifs développés en optique présentent certains avantages sur les autres types de capteurs, tels que l'intégration des éléments dans un appareil de dimensions très compactes, l'immunité au bruit électromagnétique et la potentialité de détection en milieux liquides ou gazeux.

La pertinence de développer des capteurs optiques dans le moyen infrarouge (MIR) est basée sur le fait que de nombreuses molécules présentent des bandes d'absorption vibrationnelles dans cette gamme de fréquences (s'étendant de 3 à 20  $\mu\text{m}$ ) rendant ainsi possible des tests spectroscopiques de grande sensibilité pour l'analyse chimique. Les verres de chalcogénures (ChGs) sont des matériaux semi-conducteurs contenant du Se, du Te et du S. Ces verres sont des matériaux prometteurs pour la photonique notamment grâce à leurs caractéristiques intrinsèques de transparence dans le MIR, leur propriétés non linéaires et leur potentialité d'être dopés par des ions terres rares. Ces propriétés peuvent être optimisées pour la fabrication de capteurs optiques [1, 2]. L'objectif de ces travaux est d'utiliser la transparence des matériaux ChGs pour fabriquer un capteur spectroscopique à onde évanescente dans le MIR à partir d'un guide d'onde ruban réalisé à partir de verres de ChGs déposés sur un substrat de silicium. La conception de ces guides est décrite puis nous présentons les propriétés de propagation de ces matériaux en mesurant leurs pertes optiques.

## 2. CONCEPTION DU CAPTEUR PAR ONDE OPTIQUE EVANESCENTE

La plateforme guidante intégrée est réalisée sur un substrat de silicium à base de verres de chalcogénures pour le MIR. Elle est composée d'un guide de type ruban constitué de deux couches

de verres de chalcogénures nommés Se6 et Se2 de compositions différentes, correspondantes respectivement, à la couche guidante et à celle de confinement avec le substrat (Fig. 1). La composition de ces couches et leurs indices de réfraction associés sont regroupés dans le tableau 1.

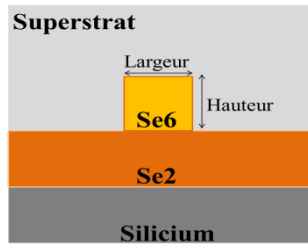


Fig. 1 : Représentation schématique du guide d'onde ruban à base de matériaux chalcogénures.

Indices de réfraction		
$\lambda$ ( $\mu\text{m}$ )	Se2 ( $\text{Ge}_{28,1}\text{Sb}_{6,3}\text{Se}_{65,6}$ )	Se6 ( $\text{Ge}_{12,5}\text{Sb}_{25}\text{Se}_{62,5}$ )
1,55	2,54	2,87
6,3	2,50	2,81
7,8	2,50	2,81

Tab. 1 : Indices de réfractons des matériaux chalcogénures en fonction de la longueur d'onde.

Les couches minces de ChGs de composition nominale  $\text{Ge}_{12,5}\text{Sb}_{25}\text{Se}_{62,5}$  (Se2) et  $\text{Ge}_{28,1}\text{Sb}_{6,3}\text{Se}_{65,6}$  (Se6) ont été déposées par pulvérisation RF magnétron de cibles synthétisées à partir des éléments commerciaux (Ge, Sb, Se) de pureté élevée (5N). Les guides d'onde ont ensuite été fabriqués par photolithographie et gravure sèche (Reactive Ion Etching) avec un plasma de  $\text{CHF}_3$ . Les figures 2a et 2b représentent respectivement la section d'un guide ruban et une vue de dessus d'un guide en forme de spirale.

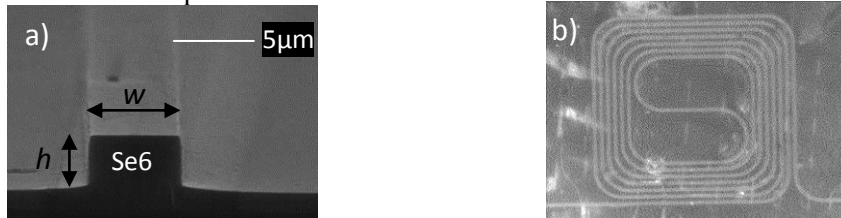


Fig. 2 : (a) Image de microscopie électronique à balayage (MEB) d'une section de guide d'onde en verres de chalcogénures (cœur en Se6 déposé sur une couche de Se2 pour la gaine). (b) Vue de dessus d'un guide ruban en forme de spirale obtenu au microscope optique.

Pour la conception du capteur à onde évanescente, les dimensions géométriques du guide (largeur  $w$ , hauteur  $h$ ) sont à déterminer pour, à la fois, obtenir un comportement monomodal, éviter les pertes radiatives vers le substrat et optimiser le taux de recouvrement de l'onde évanescente avec le superstrat. Le facteur  $\eta$  représente la proportion de l'intensité lumineuse qui n'est pas confinée dans le cœur du guide d'onde et qui va interagir avec le superstrat pour la détection de molécules.

Nous proposons d'utiliser la méthode de l'indice effectif pour calculer les dimensions du guide pour une propagation monomodale dans le MIR. Afin d'éviter les fuites vers le substrat de silicium, l'épaisseur de la couche de Se2 a été fixée à une valeur de  $5 \mu\text{m}$ . Ensuite nous utilisons les dimensions obtenues pour calculer le facteur  $\eta$  approprié pour la détection de molécules dans le superstrat. Les valeurs simulées de  $\eta$  sont représentées (fig. 3) en fonction des dimensions du guide pour les deux longueurs d'onde  $6,3$  et  $7,8 \mu\text{m}$  avec un superstrat d'indice de réfraction égal à 1 pour la détection de gaz par exemple.

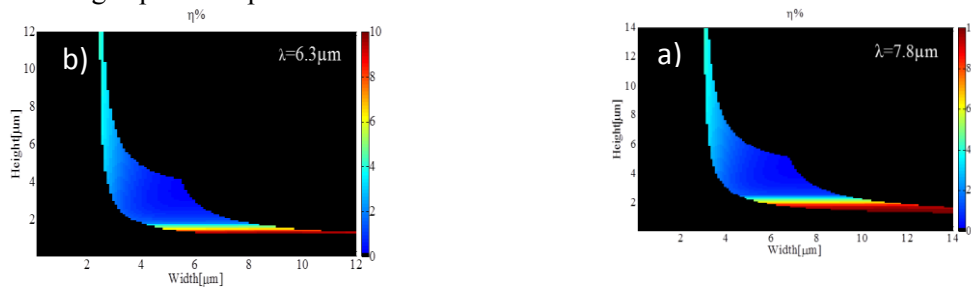


Fig. 3 : Evolution du facteur de puissance  $\eta$  de l'onde évanescente en fonction des dimensions géométriques de la couche guidante pour la propagation monomodale dans le moyen infrarouge à  $6,3 \mu\text{m}$  (a) et  $7,8 \mu\text{m}$  (b).

La figure 3 représente les valeurs de  $\eta$  en fonction des dimensions  $w$  et  $h$  du guide ruban. Les valeurs de  $\eta$  augmentent quand les dimensions des guides diminuent et atteignent une valeur maximale de l'ordre de 10% à  $\lambda=6,3$  et  $\lambda=7,8$   $\mu\text{m}$  pour une hauteur de guide au voisinage de 2  $\mu\text{m}$ . Pour la réalisation technologique de notre capteur à onde évanescente, les dimensions suivantes ont été choisies:  $h=2$   $\mu\text{m}$ ,  $w=10$   $\mu\text{m}$  correspondant à  $\eta=8$  % à 7,8  $\mu\text{m}$ .

### 3. CARACTERISATION OPTIQUE DES GUIDES PLANS DE CHALCOGENURES DANS LE MIR

La qualité optique des couches de chalcogénures a été vérifiée à partir des mesures de pertes optiques d'une structure planaire : nous avons mesuré  $0,4\pm 0,1$  dB/cm à  $\lambda=1,55$   $\mu\text{m}$  pour la structure Se6 de cœur sur une couche de Se2 comme gaine. Cette valeur de l'ordre de 0,5 dB/cm à 1,55  $\mu\text{m}$  démontre la potentialité des couches à base de ChGs pour la fabrication d'un micro-capteur spectroscopique dans le MIR.

Un banc d'injection opérant dans le MIR a été réalisé (fig. 4a). Il est composé de deux sources laser à cascade quantique émettant à  $\lambda=6,3$   $\mu\text{m}$  et 7,8  $\mu\text{m}$ , de fibres optiques en ChGs (composition GeAsSe) pour le couplage avec la plateforme intégrée, d'objectifs en ZnSe transmettant de 2 à 12  $\mu\text{m}$ , d'une caméra dans la gamme spectrale du visible qui permet d'optimiser les réglages mécaniques du couplage optique et d'une caméra thermique permettant d'imager le signal par champ proche à la sortie des guides d'onde. Cette configuration expérimentale, nous a permis de démontrer la propagation guidée dans le MIR ( $\lambda=7,8$   $\mu\text{m}$ ) à partir de ces structures guidantes constituées de verres de chalcogénures (fig. 4b et 4c). Ce résultat est une première étape prometteuse vers le développement d'un capteur spectroscopique par onde évanescente intégré à partir de cette plateforme fonctionnant dans le MIR.

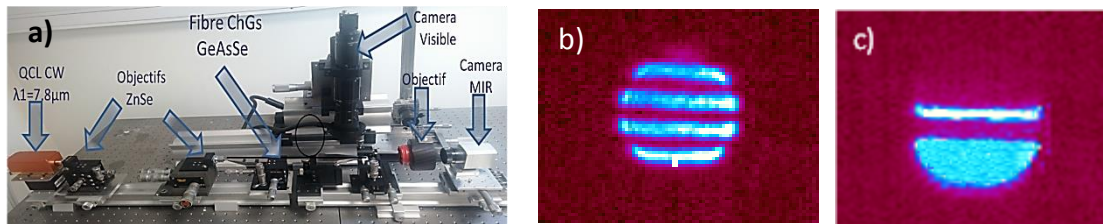


Fig. 4 : (a) Configuration expérimentale du banc d'injection dans le MIR. (b) Image de champ proche dans le MIR prise par une caméra thermique qui affiche les franges d'interférences. (c) Image de champ proche de l'injection de la lumière dans le cœur du guide plan en ChGs à  $\lambda=7,8$   $\mu\text{m}$

### CONCLUSION

Nous avons présenté la conception et la fabrication de guides ruban à base de verres de chalcogénures ainsi qu'une configuration expérimentale fonctionnant dans le MIR. Le but est d'utiliser cette plateforme pour le développement d'un capteur spectroscopique intégré par onde évanescente dans le MIR. Nous avons démontré la faisabilité de réalisation des guides, en testant la qualité optique des couches de chalcogénures pour lesquelles nous avons mesuré des pertes autour de 0,5 dB/cm.

### RÉFÉRENCES

- [1] J. Charrier, M. Brandily, H. Lhermite, K. Michel, B. Bureau, F. Verger, V. Nazabal, "Evanescent wave optical micro-sensor based on chalcogenide glass", *Sensors and Actuators B*, vol. 173, p. 468-476, 2012.
- [2] B. J. Eggleton, B. Luther-Davies, K. Richardson, "Chalcogenide photonics", *Nature Photonics*. vol. 5, p. 141-148, 2011.
- [3] V. Singh, P. T. Lin, "Mid-Infrared materials and devices on a Si platform for optical sensing", *Science and Technology of Advanced Materials*, vol. 15, 014603, 2014.