

DEVELOPPEMENT D'UN CAPTEUR SPECTROSCOPIQUE INTEGRE POUR LE MOYEN INFRAROUGE PAR ONDE EVANESCENTE EXALTEE PAR DES EFFETS DE PLASMONIQUE

J. Lemaitre¹, M. Baillieul², G. Demesy³, L. Bodiou¹, ⁴A. Rumyantseva⁴, F. Colas⁵, E. Rinnert⁵, K. Bourkema⁵, G. Lerondel⁴, G. Renversez³, C. Boussard-Pledel², B. Bureau², V. Nazabal², J. Charrier¹

¹ Univ Rennes, CNRS, Institut FOTON, UMR-CNRS 6082, BP80518, F-22305 Lannion Cedex, France

²ISCR, UMR-CNRS 6226, Glass and Ceramics Team, 35042 Rennes, France

³ Aix Marseille Univ, CNRS, Centrale Marseille, Institut Fresnel, 13013 Marseille, France

⁴ L2n, CNRS FRE 2019, Université de Technologie de Troyes, CS 42060, 10004 Troyes, France

⁵ IFREMER, Detection, Sensors & Measurements Laboratory-Technology Research & Development Department, F-29280 Plouzané, France

joel.charrier@univ-rennes1.fr

RÉSUMÉ

Cet article présente la conception et la fabrication d'un capteur en optique intégrée en verres de chalcogénure basé sur la spectroscopie par onde évanescente amplifiée par des effets de plasmonique de surface pour la détection ultrasensible de molécules dans le moyen infrarouge et les premières mesures de caractérisations optiques associées.

MOTS-CLEFS : *capteurs intégrés spectroscopiques, verres de chalcogénure, plasmonique, moyen infrarouge*

1. INTRODUCTION

La demande croissante de capteurs portables dans les domaines sociétaux de l'environnement et de la santé nécessite le développement de nouveaux capteurs intégrés notamment optiques pour les gammes de longueurs d'onde du moyen infrarouge (Mid-IR). Pour ces longueurs d'onde, de nombreuses molécules possèdent des bandes d'absorption permettant de les identifier et de les quantifier. Les verres de chalcogénure, de par leur facile mise en œuvre et leur transparence dans le moyen infrarouge, possèdent beaucoup d'atouts pour fabriquer des dispositifs en optique intégrée dans le moyen infrarouge [1-3]. Les capteurs spectroscopiques à onde évanescente peuvent ainsi bénéficier du développement de ces matériaux pour détecter des molécules possédant des bandes d'absorption caractéristiques dans le Mid-IR. Par ailleurs, en utilisant l'effet plasmonique en déposant des plots d'or à la surface de ces capteurs intégrés, l'absorption par onde évanescente peut être exaltée afin d'augmenter la sensibilité et de diminuer les limites de détection des dispositifs développés.

Dans cet article, nous proposons d'illustrer le développement de ce capteur en optique intégrée en verres de chalcogénure (ChG) basé sur la spectroscopie infrarouge par onde évanescente amplifiée par des effets de plasmonique de surface (effet SEIRA).

2. CONCEPTIONS DES TRANSDUCTEURS INTEGRES

Afin de réaliser ces capteurs, une étude théorique a permis de concevoir des structures monomodes dans le moyen infrarouge, d'optimiser la partie évanescente des modes des guides (Figures 1 a, b et c) et de modéliser l'interaction onde guidée-plot métallique qui est à la base de l'effet de

transduction exaltée du capteur envisagé afin de la maximiser (Figures 1 d, e et f). A partir de ces différentes études, les dimensions des guides ont été fixées (hauteur $h = 2,2 \mu\text{m}$, largeur $= 14 \mu\text{m}$ pour une longueur d'onde de $7,7 \mu\text{m}$) avec un réseau de nanoplots d'or (dimensions latérales et transversales égales à $0,85 \mu\text{m}$ et $0,62 \mu\text{m}$ respectivement, une hauteur de 100 nm avec une périodicité longitudinale de $4,5 \mu\text{m}$).

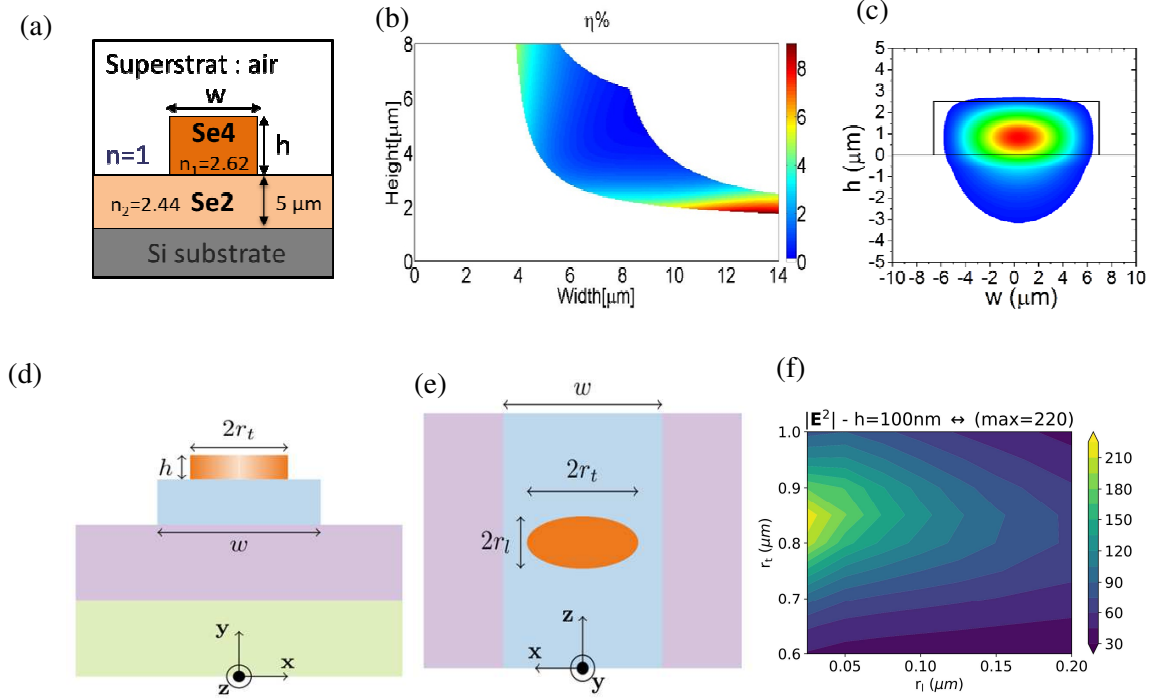


Fig. 1 : (a) et (d) Représentations schématiques de la structure guidante sans et avec nanoplot d'or en coupe respectivement; (e) en vue de dessus, (b) Partie évanescence des modes des guides en fonction des dimensions du guide ruban, (c) Profil du mode guidé et (f) Cartographie de l'effet de résonance en fonction des dimensions des nanoplots d'or

3. FABRICATION DES TRANSDUCTEURS INTEGRES

Pour fabriquer ce capteur intégré SEIRA, les couches en verres de chalcogénure (ChG) sont déposées sur un substrat de silicium par pulvérisation magnétron RF [4, 5]. Les guides plans sont constitués typiquement d'une première couche de confinement de composition nominale $\text{Ge}_{28,1}\text{Sb}_{6,3}\text{Se}_{65,6}$ (Se2) sur laquelle est déposée la couche guidante de composition $\text{Ge}_{19,4}\text{Sb}_{16,7}\text{Se}_{63,9}$ (Se4). Les nanoplots d'or sont déposés par LIL (Lithographie Interférentielle Laser) à la surface des guides plans en ChG ensuite les plots d'or sont gravés localement avec un plasma Argon. Les guides de type ruban ont ensuite été fabriqués par photolithographie et gravure sèche (Reactive Ion Etching) avec un plasma de CHF_3 (Figures 2).

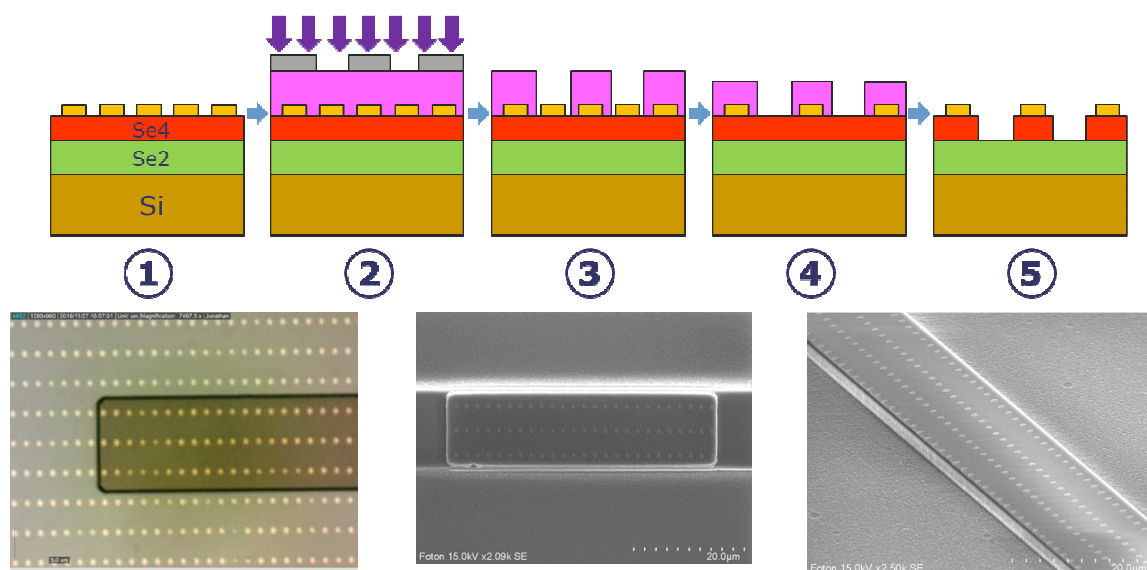


Fig. 2 : Principales étapes de procédure technologique pour la fabrication de guides intégrés SEIRA : (1) dépôt des nanoplots d'or ; (2) photolithographie pour la gravure des plots d'or ; (3) développement de la résine ; (4) gravure des plots d'or ; (5) fabrication des guides rubans en gravant localement la couche guidante de Se4 ; photos obtenues au microscope optique et au MEB de guides intégrés SEIRA

4. CARACTERISATIONS OPTIQUES

Des mesures de pertes ont été réalisées et révèlent des pertes de l'ordre de 2,5 dB/cm à 7,7 μm . Des tests de transduction ont été réalisés en phase liquide sans effet SEIRA. Des limites de détection de 2% v / v et 0,2 v / v% ont été démontrées, respectivement, pour l'isopropanol et l'acide acétique dans le cyclohexane. Des tests optiques sont en cours pour caractériser les capteurs avec les nanoplots d'or.

CONCLUSION

L'ensemble de ces résultats sera présenté et représente des étapes prometteuses vers le développement d'une plateforme optique en verres de chalcogénures pour des applications de transduction par effet SEIRA dans le moyen infrarouge.

REMERCIEMENTS

La fabrication technologique des guides d'ondes SEIRA a été réalisée au sein de la plateforme CCLO. Ce travail est financé par le projet ANR Louise (ANR-15-CE04-0001-01) et par le projet CNRS PEPS INSIS Ingénierie verte (2017-2018).

REFERENCES

- [1] M. Sieger, B. Mizaikoff, Toward on-chip mid-infrared sensors, *Anal. Chem.*, 88, 5562 (2016).
- [2] E. Baudet, A. Gutierrez-Arroyo, P. Némec, L. Bodiou, J. Lemaitre, O. De Sagazan, H. Lhermitte, E. Rinnert, K. Michel, B. Bureau, J. Charrier, V. Nazabal, Selenide sputtered films development for MIR environmental sensor, *Optical Materials Express* 6(8) (2016) 2616-2627.
- [3] A. Gutierrez-Arroyo, *et al.*, Theoretical study of an evanescent optical integrated sensor for multipurpose detection of gases and liquids in the Mid-Infrared, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 242, 842–848 (2017).
- [4] A. Gutierrez-Arroyo, *et al.*, Optical characterization at 7.7 μm of an integrated platform based on chalcogenide waveguides for sensing applications in the mid-InfraRed, *Opt. Express*, 24, 23109 (2016).
- [5] E. Baudet, M. Sergent, P. Némec, C. Cardinaud, E. Rinnert, K. Michel, L. Jouany, B. Bureau, V. Nazabal, Experimental design approach for deposition optimization of RF sputtered chalcogenide thin films devoted to environmental optical sensors, *Scientific Reports* 7(1) (2017) 3500.