



**HAL**  
open science

## Propriétés optiques linéaires des guides d'ondes hybrides Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>/SiGe dans le moyen-infrarouge

Adam Bieganski, Marko Perestjuk, Rémi Armand, Alberto Della Torre,  
Vincent Reboud, Jean-Michel Hartmann, Jean-Hervé Tortai, Thach Nguyen,  
Arnan Mitchell, Christelle Monat, et al.

### ► To cite this version:

Adam Bieganski, Marko Perestjuk, Rémi Armand, Alberto Della Torre, Vincent Reboud, et al..  
Propriétés optiques linéaires des guides d'ondes hybrides Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>/SiGe dans le moyen-infrarouge.  
JOURNÉES NATIONALES d'OPTIQUE GUIDÉE JNOG 2023, Jul 2023, Lyon, France. hal-  
04266403

**HAL Id: hal-04266403**

**<https://hal.science/hal-04266403>**

Submitted on 31 Oct 2023

**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.

# Propriétés optiques linéaires des guides d'ondes hybrides Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>/SiGe dans le moyen-infrarouge

Adam BIEGANSKI<sup>1,2</sup>, Marko PERESTJUK<sup>1,2</sup>, Rémi ARMAND<sup>1</sup>, Alberto DELLA TORRE<sup>1</sup>, Vincent REBOUD<sup>3</sup>, Jean-Michel HARTMANN<sup>3</sup>, Jean-Hervé TORTAI<sup>4</sup>, Thach NGUYEN<sup>2</sup>, Arnan MITCHELL<sup>2</sup>, Christelle MONAT<sup>1</sup>, Sébastien CUEFF<sup>1</sup>, Christian GRILLET<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut des Nanotechnologies de Lyon (INL), Université de Lyon, 69131 Ecully, France

<sup>2</sup>School of Engineering, RMIT University, Melbourne, VIC 3001, Australia

<sup>3</sup>Université Grenoble Alpes, CEA-Leti, 38054 Grenoble, France

<sup>4</sup>Université Grenoble Alpes, CNRS, CEA/LETI Minatoc, Laboratoire des Technologies de la Microélectronique, 38054 Grenoble, France

[adam.bieganski@ec-lyon.fr](mailto:adam.bieganski@ec-lyon.fr)

## RESUME

Nous étudions dans le moyen infra-rouge, les propriétés optiques linéaires du matériau à changement de phase Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, en phase amorphe et cristalline. Nous montrons que l'ajout de Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> sur des guides SiGe induit des pertes inférieures à 1 dB/cm entre 3,3 μm < λ < 3,9 μm, quelle que soit la phase.

**MOTS-CLEFS :** *photonique silicium ; moyen-infrarouge intégrée ; matériaux à changement de phase*

## 1. INTRODUCTION

Un ingrédient clé pour la création de plateformes spectroscopiques compactes et performantes est une source de lumière à large bande et brillante dans l'infrarouge moyen (MIR), telle qu'un supercontinuum (SC) sur plateforme intégrée<sup>[1-5]</sup>.

Notre groupe a déjà démontré la génération de SC s'étendant sur une large plage spectrale (sur plus d'une octave de 3 à 8,5 μm) et une brillance élevée dans des guides d'ondes en SiGe en dispersion anormale<sup>[2]</sup>. Nous avons par la suite effectué la première démonstration d'une source SC de type All Normal Dispersion-ANDi s'étendant sur plus d'une octave et aboutissant à un SC entièrement cohérent dans le MIR <sup>[3]</sup>. Très récemment, et toujours sur cette plateforme SiGe nos travaux sur la conception de guides à dispersion avancée nous ont permis de démontrer des SC avec une réponse spectrale propre et uniforme grâce à une architecture de guides à dispersion variable qui ont été exploités pour de la spectroscopie de gaz multi espèces<sup>[4]</sup>.

Dans tous ces travaux (et ceux de la communauté des SC intégré en général) le profil de dispersion du guide d'onde est fixe et ne peut être modifié après l'étape de fabrication. Une solution attrayante pour contrôler les caractéristiques de dispersion est l'utilisation des matériaux à changement de phase (PCM). Les PCM présentent en effet un fort contraste optique entre leurs états amorphe et cristallin et cette transition amorphe-cristalline réversible peut être pilotée optiquement ou électriquement à grande vitesse. En particulier nous visons une approche permettant de reconfigurer, i.e d'ajuster « à la demande », les propriétés de dispersion des guides (en exploitant les propriétés de changement d'indice rapide) et de contrôler ainsi les caractéristiques temporelles et spectrales des impulsions générées en fonction des applications visées.

Dans ce travail, nous explorons le trisulfure d'antimoine – Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, un candidat prometteur mais très peu étudié dans le moyen infra-rouge<sup>[6]</sup>. En particulier, nous mesurons l'indice de réfraction du Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> entre 2 et 10 μm dans sa phase amorphe et cristalline, et mesurons l'impact en termes de pertes de propagation linéaire du Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> sur des guides SiGe (entre 3 et 4 μm).

## 2. RESULTATS EXPERIMENTAUX

Les matériaux sont généralement caractérisés par un indice de réfraction complexe  $\tilde{n} = n + ik$ , où  $n$  décrit la réfraction de la lumière et  $k$  son absorption. Nous avons effectué des mesures d'ellipsométrie du  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  entre 2 et 10  $\mu\text{m}$  dans les deux phases. La cristallisation a été réalisée en chauffant l'échantillon sur une plaque chauffante jusqu'à la température de 280°C. L'absorption  $k$  mesurée est inférieure au seuil de détection ( $k < 10^{-5}$ ) dans toute la plage de mesure aussi bien en phase amorphe que cristalline. Les valeurs d'indice de réfraction  $n$  sont présentées sur la figure 1. Le contraste d'indice  $\Delta n$  entre la phase amorphe et cristalline varie entre 0,78 (longueur d'onde 2,1  $\mu\text{m}$ ) et 0,99 (10  $\mu\text{m}$ ). Entre 3.5 et 4  $\mu\text{m}$  (longueur d'onde de pompe visée dans le futur pour générer nos supercontinuum reconfigurables) le contraste d'indice s'établit typiquement entre 0,86 et 0,89.

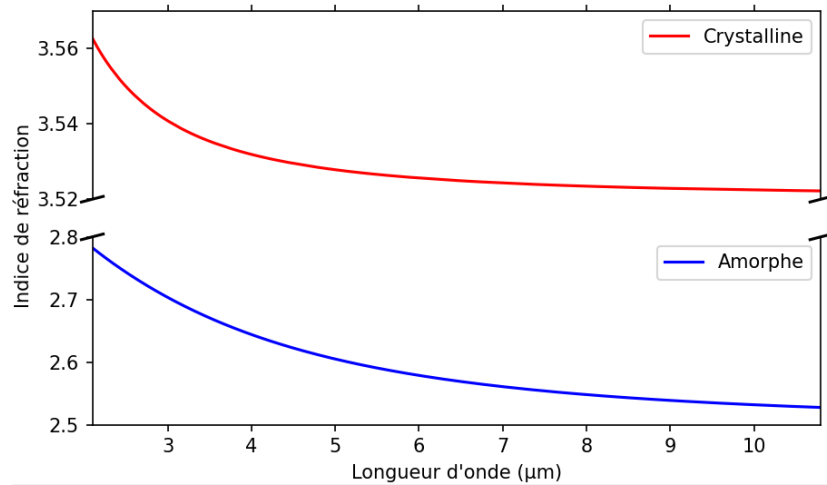


Figure 1 : Indice de réfraction du sulfure d'antimoine dans la phase amorphe (bleu) et cristalline (rouge) dans la gamme entre 2 et 10  $\mu\text{m}$ .

Pour mesurer les pertes de propagation linéaire de guides hybrides  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  sur SiGe (voir fig 2), nous avons dans un premier temps conçu un guide d'onde SiGe-sur-Si de section 3,00  $\mu\text{m} \times 3,20 \mu\text{m}$ . Le guide d'onde est monomode au-delà de 3,6  $\mu\text{m}$ . La puce photonique a été fabriquée au CEA-Leti en utilisant les procédés standards d'épitaxie et de lithographie<sup>[2]</sup>. Le dépôt de la couche de  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  a été effectué au sein de la plateforme NanoLyon de l'Institut des Nanotechnologies de Lyon. Une couche de  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  amorphe de 100 nm d'épaisseur a été déposée par dépôt physique en phase vapeur. Pour éviter sa dégradation, elle a été recouverte d'une couche de protection en  $\text{SiO}_2$  de 11 nm (voir figure 2a).

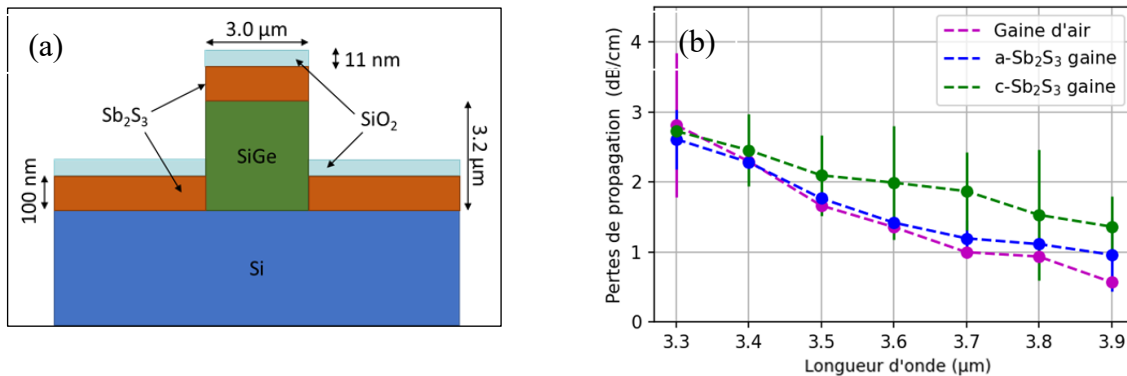


Figure 2 : (a) vue schématique du guide d'ondes fabriqué, (b) pertes de propagation linéaire mesurées dans les guides d'ondes gainés d'air et de  $\text{Sb}_2\text{S}_3$

Pour les mesures de pertes, nous utilisons le banc expérimental décrit dans [2]. Nous utilisons un amplificateur paramétrique optique (MIROPA-fs, Hotlight Systems) pulsé avec un taux de répétition de 63 MHz, une durée d'impulsion  $\sim 200$  fs, en polarisation TE. La longueur d'onde varie entre 3,3 à 3,9  $\mu\text{m}$ . Pour évaluer les pertes de propagation, nous avons mesuré la transmission sur trois guides d'ondes de longueurs différentes (4,2 ; 6,2 et 8,2 cm), avec une puissance moyenne relativement faible ( $\sim 1$  mW correspondant à des puissances pics couplées de 80 W) pour éviter tout effet non linéaire. À chaque longueur d'onde, les pertes ont été calculées comme la pente de l'ajustement linéaire au logarithme décimal du signal de tension de sortie (mesuré avec un photodétecteur Thorlabs PDA20H-EC). Les résultats sont présentés dans la figure 2b.

Les résultats montrent que le dépôt d'une couche de  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  amorphe de 100 nm apporte des pertes de propagation supplémentaires négligeables par rapport au guide d'onde SiGe gainé d'air. Sa cristallisation introduit moins d'un dB/cm de perte supplémentaire, ce qui reste compatible avec l'utilisation de guides hybrides en régime non linéaire en particulier pour une génération efficace de supercontinuum reconfigurable que nous viserons dans un futur proche.

### 3. CONCLUSION

Nous avons mesuré par ellipsométrie dans le moyen infra-rouge (entre 2 et 10  $\mu\text{m}$ ), les propriétés linéaires (indice de réfraction et absorption) du  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  en phase amorphe et cristalline. Le contraste d'indice mesuré entre les deux phases peut atteindre jusqu'à 0.99 dans le MIR avec une absorption mesurée inférieure à  $k \sim 10^{-5}$  dans toute la gamme MIR. Nous avons montré que le dépôt d'une couche de  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  de 100 nm sur guide SiGe induit des pertes négligeables en phase amorphe et faibles ( $< \text{dB/cm}$ ) en phase cristalline. Nos résultats montrent que  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  est un matériau PCM très prometteur dans le MIR pour modifier la dispersion d'un guide, et donc potentiellement exploitable pour créer des sources supercontinuum reconfigurables.

### REMERCIEMENTS

Nous remercions le soutien du Laboratoire international associé en photonique entre la France et l'Australie (LIA ALPhFA), l'Agence Nationale de la Recherche (MIRSICOMB, ANR-17-CE24-0028 ; MetaOnDemand, ANR-20-CE24-0013 et MIRthFUL, ANR-21-CE24-0005), le programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 dans le cadre des actions Marie Skłodowska-CurieMSCA (REDI, accord n° 101034328 et ECLAUSion accord n° 801512).

### REFERENCES

- <sup>1</sup> C.-S. Brès, A. Della Torre, D. Grassani, V. Brasch, C. Grillet, and C. Monat, "Supercontinuum in integrated photonics: generation, applications, challenges, and perspectives," *Nanophotonics*, vol. 12, no. 7, pp. 1199–1244, Mar. 2023, doi: 10.1515/nanoph-2022-0749.
- <sup>2</sup> M. Sinobad *et al.*, "Mid-infrared octave spanning supercontinuum generation to 85  $\mu\text{m}$  in silicon-germanium waveguides," *Optica*, vol. 5, no. 4, p. 360, Apr. 2018, doi: 10.1364/OPTICA.5.000360.
- <sup>3</sup> M. Sinobad *et al.*, "Mid-infrared supercontinuum generation in silicon-germanium all-normal dispersion waveguides," *Opt. Lett.*, vol. 45, no. 18, p. 5008, Sep. 2020, doi: 10.1364/OL.402159.
- <sup>4</sup> A. D. Torre *et al.*, "Mid-infrared supercontinuum generation in a varying dispersion waveguide for multi-species gas spectroscopy," *IEEE J. Select. Topics Quantum Electron.*, pp. 1–10, 2023, doi: 10.1109/JSTQE.2022.3185169.
- <sup>5</sup> M. Montesinos-Ballester *et al.*, "On-Chip Mid-Infrared Supercontinuum Generation from 3 to 13  $\mu\text{m}$  Wavelength," *ACS Photonics*, vol. 7, no. 12, pp. 3423–3429, Dec. 2020, doi: 10.1021/acsp Photonics.0c01232.
- <sup>6</sup> M. Delaney, I. Zeimpekis, D. Lawson, D. W. Hewak, and O. L. Muskens, "A New Family of Ultralow Loss Reversible Phase-Change Materials for Photonic Integrated Circuits:  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  and  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$ ," *Adv. Funct. Mater.*, vol. 30, no. 36, p. 2002447, Sep. 2020, doi: 10.1002/adfm.202002447.

