



**HAL**  
open science

## Génération de seconde harmonique dans un guide d'onde en phosphore de gallium à orientation structurée aux longueurs d'onde télécom

Brieg Le Corre, Alice Marceau, Konstantinos Pantzas, Sylvain Combrié, Francesco Rinaldo Talenti, Abdelmounaim Harouri, Bruno Gérard, Grégoire Beaudoin, Luc Le Gratiet, Gilles Patriarche, et al.

### ► To cite this version:

Brieg Le Corre, Alice Marceau, Konstantinos Pantzas, Sylvain Combrié, Francesco Rinaldo Talenti, et al.. Génération de seconde harmonique dans un guide d'onde en phosphore de gallium à orientation structurée aux longueurs d'onde télécom. Journées Nationales d'Optique Guidée (JNOG'40), Jul 2023, Lyon, France. hal-04196334

**HAL Id: hal-04196334**

**<https://hal.science/hal-04196334>**

Submitted on 12 Sep 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.

# Génération de seconde harmonique dans un guide d'onde en phosphure de gallium à orientation structurée aux longueurs d'onde télécom

B. Le Corre<sup>1-2</sup>, A. Marceau<sup>1-3</sup>, K. Pantzas<sup>1</sup>, S. Combrié<sup>3</sup>, F.R. Talenti<sup>3-4</sup>, A. Harouri<sup>1</sup>, B. Gérard<sup>5</sup>, G. Beaudoin<sup>1</sup>, L. Le Gratiet<sup>1</sup>, G. Patriarche<sup>1</sup>, A. De Rossi<sup>3</sup>, Y. Léger<sup>2</sup>, I. Sagnes<sup>1</sup>, A. Grisard<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Centre de Nanosciences et de Nanotechnologie, CNRS, 91120 Palaiseau, France

<sup>2</sup>Institut FOTON (UMR6082/CNRS-Univ. Rennes-INSa), 35708 Rennes, France

<sup>3</sup>Thales Research and Technology, 91767 Palaiseau, France

<sup>4</sup>Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Elettronica e Telecomunicazioni, Sapienza University of Rome, 00184 Rome, Italy

<sup>5</sup>III-V Lab, 91767 Palaiseau, France

brieg.le-corre@c2n.upsaclay.fr

## RESUME

Le phosphure de gallium à orientation structurée (OP-GaP) est présenté comme nouvelle plateforme pour la photonique non-linéaire intégrée. La fabrication de l'OP-GaP et sa mise en guide suspendu sont décrites. Le rendement de génération de seconde harmonique mesuré est de  $200\% W^{-1}cm^{-2}$ . Son utilisation pour la génération de peignes est abordée.

**MOTS-CLEFS :** *Guide d'onde suspendu, Phosphure de gallium, Optique non-linéaire.*

## 1. INTRODUCTION

Par ses nombreuses propriétés utiles à l'optique non-linéaire et l'intégration, le phosphure de gallium (GaP) suscite un intérêt croissant en tant que matériau pour la photonique non-linéaire intégrée. Il possède notamment des forts coefficients non-linéaires, une large plage de transparence (500 nm – 12  $\mu$ m), une absorption à deux photons négligeable au-delà de 0,7  $\mu$ m, et des désaccords de paramètres de maille et de coefficients d'expansion thermique faibles avec le silicium.

Afin de maximiser l'interaction non-linéaire dans le GaP, il est de surcroît nécessaire que l'accord de phase soit respecté et que le recouvrement entre les différentes ondes du mélange soit optimal. Ici, le premier aspect est adressé en structurant le GaP, afin d'inverser périodiquement l'orientation et, par conséquent, la non-linéarité. Ce matériau structuré permet, par le choix de la période d'inversion, d'obtenir le quasi-accord de phase (QAP) pour le procédé désiré. Ce matériau est ensuite mis en guide d'onde afin d'optimiser le recouvrement des ondes mélangées et exalter l'interaction non-linéaire.

Dans la présente contribution, le processus de fabrication de l'OP-GaP et la réalisation de guides d'onde suspendus sont présentés. Le rendement de conversion de ces guides d'OP-GaP est évalué pour la génération de seconde harmonique (SHG) à partir des longueurs d'onde télécom, montrant un rendement record pour le GaP à orientation structurée. Enfin, des designs de guides en OP-GaP pour l'obtention de peignes de fréquence sont introduits.

## 2. FABRICATION DU GUIDE D'ONDE SUSPENDU EN OP-GAP

La structuration du GaP est obtenue en six étapes, représentées en Figure 1. Dans un premier temps, des membranes de GaP sont épitaxiées par MOVPE sur des substrats de GaAs

sacrificiels. Les deux membranes sont ensuite collées par collage moléculaire direct. Ainsi, la membrane supérieure voit son orientation être inversée par rapport à celle de la membrane inférieure. Après le retrait du substrat de GaAs supérieur, la période de QAP est définie par lithographie électronique et les membranes sont gravées afin d'exposer les deux orientations de manière alternée, fabriquant ainsi le germe de l'OP-GaP. Une reprise d'épitaxie en MOVPE permet d'atteindre l'épaisseur désirée. Enfin, cette étape est suivie d'une étape de polissage qui permet d'aplanir la surface de l'OP-GaP.

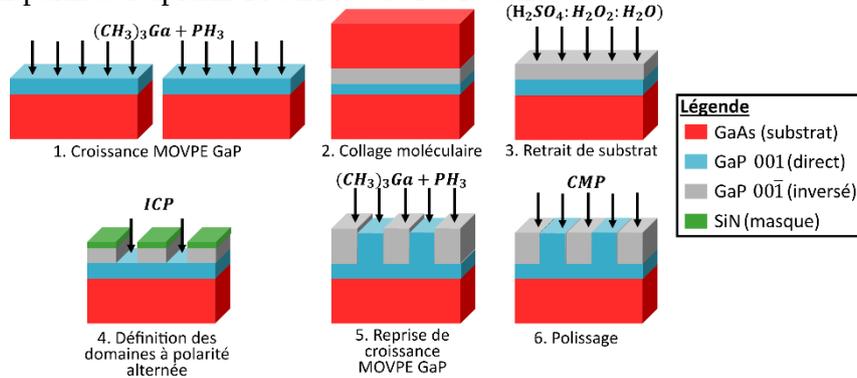


Figure 1 : Etapes d'obtention de l'OP-GaP

Par la suite, des guides d'ondes de type shallow ridge sont conçus à partir de l'OP-GaP selon les étapes décrites en Figure 2. Une première étape de gravure profonde permet d'atteindre la couche sous le GaP. Ensuite, une deuxième étape de gravure permet de définir le guide. Enfin, le GaP est sous-gravé permettant l'obtention du guide d'onde suspendu.

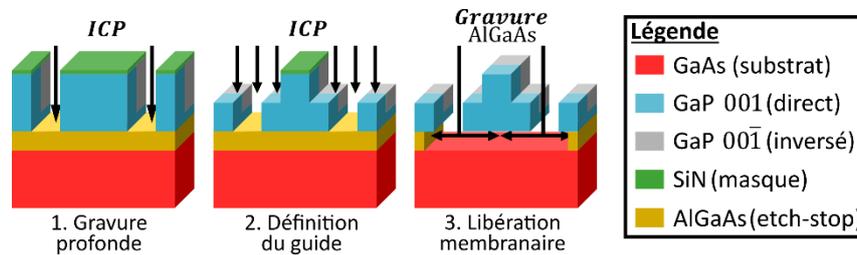


Figure 2 : Etapes pour l'obtention du guide suspendu en OP-GaP

### 3. GENERATION DE SECONDE HARMONIQUE

Un guide OP-GaP suspendu de type shallow ridge de 1 mm de long sur  $3 \mu\text{m}$  de haut a été réalisé, avec une profondeur de gravure latérale de  $1,6 \mu\text{m}$ , façonnant un ridge de  $4,5 \mu\text{m}$  de large. Une période de renversement de l'orientation de GaP de  $2,75 \mu\text{m}$  a été choisie lors du design du guide OP-GaP permettant le quasi-accord de phase entre les modes fondamentaux  $\text{TE}_{00}$  et  $\text{TM}_{00}$  aux longueurs d'onde fondamentales ( $1,596 \mu\text{m}$ ) et seconde harmonique respectivement. Des mesures de l'efficacité de la SHG dans le guide ont été menées [1]. La Figure 3

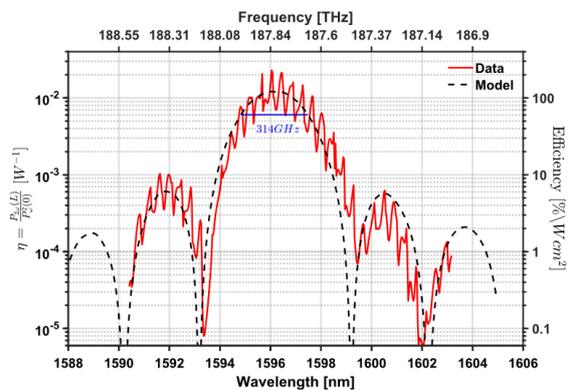


Figure 3 : Efficacité de conversion de la SHG de type I en fonction de la longueur d'onde de pompe

représente l'efficacité de conversion obtenue dans le guide OP-GaP suspendu pour la SHG de type I. Une puissance de pompe incidente de 70 mW est utilisée durant la mesure.

L'enveloppe de la courbe expérimentale obtenue suit l'allure du carré d'un sinus cardinal et est en accord avec la courbe théorique, indiquant une bonne uniformité de la période de renversement sur la longueur du guide. Son enveloppe est également modulée par des variations périodiques dues aux interférences de Fabry-Pérot. Le pic d'efficacité de conversion atteint est de  $200\% W^{-1}cm^{-2}$  pour une pompe à  $1,596 \mu m$  et la bande passante à 3 dB est de 2,67 nm. En terme d'efficacité, il s'agit d'une amélioration d'un facteur 500 par rapport à la publication la plus récente de SHG dans des guides GaP, où un accord modal était utilisé [2].

#### 4. VERS LA GENERATION DE PEIGNES DE FREQUENCES

A présent, nous proposons de réaliser un dispositif plus complexe, tel que celui représenté par la Figure 4, devant permettre l'obtention d'interactions non-linéaires d'ordre 2 cascades pour générer des peignes de fréquences.

La génération de peigne par effet d'ordre 2 en cascade a déjà été observée pour le niobate de lithium polarisé périodiquement (PPLN) placé dans une cavité résonante [3], dans des microrings PPLN [4], et étudiée de façon théorique [5, 6].

Le principe de fonctionnement de ce type de dispositif est le suivant. Le micro-résonateur OP-GaP est pompé à la fréquence  $\nu$ . La fréquence  $2\nu$  est générée par SHG quasi-accordé en phase grâce au renversement périodique du GaP dans les parties rectilignes de l'hippodrome. Ensuite, lorsqu'une certaine puissance de pompe est atteinte, la puissance de la seconde harmonique atteint un seuil et une oscillation paramétrique non-dégénérée se met en place permettant la génération d'un signal et d'un complémentaire ( $\nu \pm \Delta\nu$ ) à partir de la fréquence  $2\nu$  avec une efficacité de conversion dépendant du désaccord de phase. La cascade d'effets non-linéaires qui s'ensuit entraîne alors la génération d'autres fréquences autour de la fréquence de pompe et de sa seconde harmonique avec une efficacité compétitive vis-à-vis de l'effet Kerr direct à l'ordre 3.

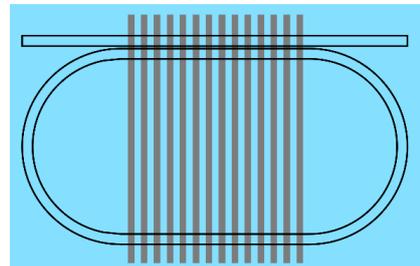


Figure 4 : Micro-résonateur hippodrome avec orientation structurée

#### CONCLUSION

Par un nouveau processus de fabrication, un guide d'onde OP-GaP suspendu de type swallow ridge a été réalisé pour la SHG, démontrant une efficacité de conversion de  $200\% W^{-1}cm^{-2}$ , plaçant la plateforme OP-GaP à l'état de l'art des matériaux III-V aux longueurs d'onde télécom. Nos futurs travaux porteront sur la conception et l'étude de dispositifs de génération de peignes de fréquences sur cette même plateforme.

#### REMERCIEMENTS

Le présent travail est soutenu par le réseau français Renatech et a bénéficié d'une aide de l'Etat gérée par l'Agence Nationale française pour la Recherche (ANR-17-CE24-0019) et au titre de France 2030 pour le projet ANR-22-PEEL-0005. F.T. a reçu un financement du programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union européenne dans le cadre de la convention de subvention Marie Skłodowska-Curie n° 814147.

## RÉFÉRENCES

- [1] K. Pantzas *et al.*, « Continuous-Wave Second-Harmonic Generation in Orientation-Patterned Gallium Phosphide Waveguides at Telecom Wavelengths », *ACS Photonics*, vol. 9, n° 6, p. 2032-2039, juin 2022, doi: 10.1021/acsp Photonics.2c00156.
- [2] A. P. Anthur *et al.*, « Second harmonic generation in gallium phosphide nano-waveguides », *Opt. Express*, vol. 29, n° 7, p. 10307-10320, mars 2021, doi: 10.1364/OE.409758.
- [3] I. Ricciardi *et al.*, « Frequency comb generation in quadratic nonlinear media », *Phys. Rev. A*, vol. 91, n° 6, p. 063839, juin 2015, doi: 10.1103/PhysRevA.91.063839.
- [4] J. Szabados *et al.*, « Frequency Comb Generation via Cascaded Second-Order Nonlinearities in Microresonators », *Phys. Rev. Lett.*, vol. 124, n° 20, p. 203902, mai 2020, doi: 10.1103/PhysRevLett.124.203902.
- [5] F. Leo *et al.*, « Frequency-comb formation in doubly resonant second-harmonic generation », *Phys. Rev. A*, vol. 93, n° 4, p. 043831, avr. 2016, doi: 10.1103/PhysRevA.93.043831.
- [6] T. Hansson *et al.*, « Singly resonant second-harmonic-generation frequency combs », *Phys. Rev. A*, vol. 95, n° 1, p. 013805, janv. 2017, doi: 10.1103/PhysRevA.95.013805.