



**HAL**  
open science

## Evaluation de différentes plateformes à base de Phosphure de Gallium et mesures de pertes à 800 nm

Lise Morice, Antoine Lemoine, Brieg Le Corre, Abdelmounaim Harouri, Grégoire Beaudoin, Luc Le Gratiet, Tony Rohel, Julie Le Pouliquen, Rozenn Gautheron Bernard, Charles Cornet, et al.

### ► To cite this version:

Lise Morice, Antoine Lemoine, Brieg Le Corre, Abdelmounaim Harouri, Grégoire Beaudoin, et al.. Evaluation de différentes plateformes à base de Phosphure de Gallium et mesures de pertes à 800 nm. Optique Normandie 2024, Jul 2024, Rouen, France. hal-04709967

**HAL Id: hal-04709967**

**<https://hal.science/hal-04709967v1>**

Submitted on 26 Sep 2024

**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.

# Evaluation de différentes plateformes à base de Phosphure de Gallium et mesures de pertes à 800 nm

Lise MORICE<sup>1,3</sup>, Antoine LEMOINE<sup>1</sup>, Brieg LE CORRE<sup>1,2</sup>, Abdelmounaim HAROURI<sup>2</sup>, Grégoire BEAUDOIN<sup>2</sup>, Luc LE GRATIET<sup>2</sup>, Tony ROHEL<sup>1</sup>, Julie LE POULIQUEN<sup>1</sup>, Rozenn GAUTHERON BERNARD<sup>1</sup>, Charles CORNET<sup>1</sup>, Isabelle SAGNES<sup>2</sup>, Christelle MONAT<sup>3</sup>, Konstantinos PANTZAS<sup>2</sup>, Yoan LEGER<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univ Rennes, INSA, CNRS, Institut FOTON – UMR 6082, F-35000 Rennes, France

<sup>2</sup> Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies, CNRS, Univ Paris-Saclay, Palaiseau, France

<sup>3</sup> Institut des Nanotechnologies de Lyon, UMR CNRS 5270, Ecole Centrale de Lyon, Ecully, France

*Lise.Morice@insa-rennes.fr*

## RESUME

Nous comparons ici différentes plateformes de Phosphure de Gallium pour la fabrication de nano-guides d'onde pour des applications de photoniques non-linéaire intégrée. La comparaison des plateformes se fait particulièrement sur l'analyse des pertes à 800 nm, mesurées à l'aide de différentes méthodes.

**MOTS-CLEFS :** *Phosphure de Gallium, pertes*

## 1. INTRODUCTION

Le Phosphure de Gallium (GaP) est un semiconducteur III-V possédant de nombreux avantages pour la photonique non-linéaire intégrée grâce à sa large bande de transparence (visible, NIR, MIR) repoussant le seuil d'absorption à deux photons en dessous de 1100nm, son indice de réfraction élevé ( $n_0 > 3$ ), son gap indirect, sa géométrie non-centrosymétrique qui entraîne une non-linéarité du deuxième ordre  $\chi^{(2)}$  ainsi qu'une importante non-linéarité du troisième ordre  $\chi^{(3)}$  ( $n_2 = 1.2 \times 10^{-17} \text{ m}^2/\text{W}$  [1]).

La croissance du GaP peut être réalisée sur différents substrats tels que l'Arséniure de Gallium (GaAs), le Silicium (Si) ou sur substrat natif. La plateforme GaP/GaAs présente une bonne qualité cristalline malgré un taux élevé de dislocations et une rugosité pouvant être importante à l'interface GaP/GaAs. La croissance de GaP sur Si induit moins de dislocations mais présente d'autres défauts structuraux tels que parois d'antiphase et macles. Pour ces deux plateformes, l'indice de réfraction du substrat est supérieur à celui du GaP ( $n_0 = 3.27$  pour le GaAs et  $n_0 = 3.5$  pour Si contre 3.05 pour le GaP à 1.55 $\mu\text{m}$ ), il est donc nécessaire de reporter les membranes de GaP sur un matériau de plus faible indice de réfraction afin de confiner la lumière dans des guides GaP. Ici, le GaP est reporté sur dioxyde de silicium (SiO<sub>2</sub>). A l'inverse, la plateforme GaP/Al<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>P/GaP permet de fabriquer des structures monolithiques ( $n_0 = 2.88$  pour l'AlGaP). Les inconvénients ici se portent sur la qualité fluctuante et le coût élevé des substrats de GaP.

Dans ce travail, nous comparons les pertes par propagation obtenues dans des nano-guides d'onde réalisés à partir de deux de ces trois plateformes afin d'évaluer leur pertinence dans le développement d'une filière technologique basée sur le GaP. Les mesures de pertes, obtenues ici autour de 800nm, ont été réalisées par deux méthodes distinctes : l'imagerie de diffusion et la mesure du contraste de Franges Fabry-Perot.

## 2. MESURE DE PERTES A 800 NM SUR LA PLATEFORME GaP/GAAS REPORTEE SUR ISOLANT

Dans le cas de la plateforme GaP sur GaAs, la membrane de GaP est reportée par collage avec un polymère sur du SiO<sub>2</sub>, puis le substrat de GaAs retiré chimiquement. Les structures de guides sont ensuite réalisées par lithographie électronique et gravure sèche. Une coupe de guide GaP reporté est présentée en Figure 1a. Lorsque de la lumière est injectée par la tranche dans le guide, l'intensité lumineuse le long d'un guide suit une exponentielle décroissante telle que :

$$I = I_0 e^{-\alpha L} \quad (1)$$

Avec  $I_0$  l'intensité de l'onde incidente,  $\alpha$  les pertes par propagation et  $L$  la longueur du guide. La Figure 1b montre l'intensité lumineuse diffusée du fait de défauts le long du guide à 800 nm obtenue par imagerie en vue de dessus. La régression exponentielle donne des pertes de 54 dB/cm. Ces pertes élevées sont essentiellement dues à la rugosité de surface liée à l'interface GaP/GaAs, comme le montre la Figure 1c.

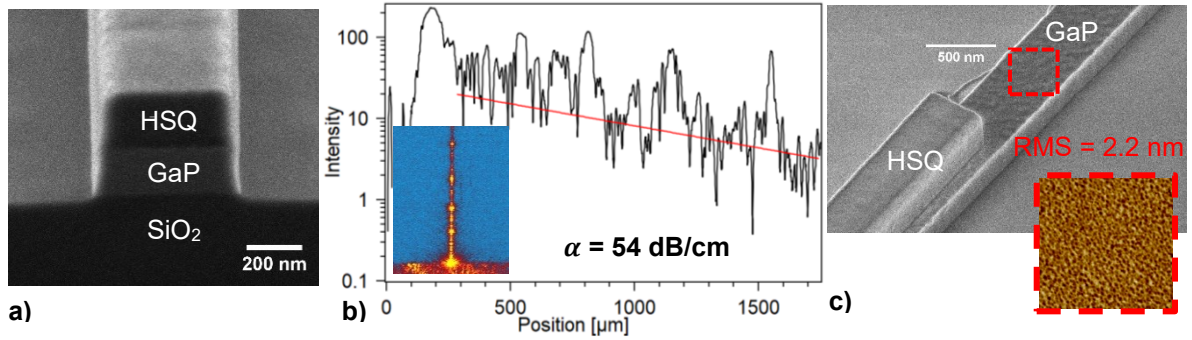


Figure 1: a) Observation SEM d'une coupe d'un guide GaP sur isolant. b) Intensité lumineuse le long du guide. L'encart montre l'intensité lumineuse le long du guide vue du dessus. c) Observation SEM d'un guide de GaP où le masque de HSQ s'est retiré sur une partie du guide. L'encart montre une mesure AFM du dessus du guide de GaP.

En effet, les pertes théoriques due à la rugosité peuvent être estimées à l'aide de la formule suivante [2] :

$$\alpha_{rug,dB/cm} = 4,34 \frac{\sigma^2}{k_0 \sqrt{2} d^4 n_{core}} g(V) f(x, \gamma) \quad (2)$$

Où  $g(V)$  est une fonction dépendant de la géométrie du guide,  $f(x,y)$  une fonction dépendant de la rugosité,  $d$  la demi-largeur du guide et  $\sigma$  la déviation standard, aussi appelée la rugosité moyenne quadratique. Cette rugosité est déterminée par un microscope à force atomique. Comme le montre la Figure 1c, la rugosité est de 2.2 nm RMS à la surface du GaP, ce qui correspond à des pertes théoriques de 50 dB/cm à 800 nm, en cohérence avec la mesure.

## 3. MESURES DE PERTES A 800 NM SUR LA PLATEFORME GaP/ALGaP/GaP

Pour la plateforme GaP/AlGaP/GaP, les guides sont réalisés en suivant le même protocole de lithographie électronique et gravure que précédemment. Une facette de ce type de guide est présentée en Figure 2a. Ici, les pertes sont plus faibles, rendant peu précise la mesure par imagerie de diffusion. Les mesures de pertes à 800 nm sont donc réalisées par étude du contraste des franges Fabry-Perot du guide clivé. En effet, le signal mesuré en transmission en sortie de guide (Figure 2b) présente des franges Fabry-Perot dont l'intervalle spectral libre est relié à la longueur du guide et l'indice de groupe du mode propagatif ( $ISL = \frac{\lambda^2}{2n_g L}$ ). De ce signal, il est possible de déterminer le contraste tel que :

$$C = \frac{T_{max} - T_{min}}{T_{max} + T_{min}} \quad (3)$$

Ce contraste est directement relié au coefficient  $\tilde{R}$  défini comme suit [3] :

$$\bar{R} = \frac{1 - \sqrt{1 - C^2}}{C} = R e^{-\alpha L} \quad (4)$$

où R correspond au coefficient de réflexion sur les facettes du guide et  $\alpha$  correspond au coefficient de pertes linéique. L'hypothèse d'un coefficient de réflexion de Fresnel est faite ici :

$$R = \left( \frac{n_{eff} - 1}{n_{eff} + 1} \right)^2 \quad (5)$$

Ainsi, les pertes par propagation sont calculées de la manière suivante :

$$\alpha_{dB/cm} = \frac{4.34}{L} \ln \left( \frac{R}{\bar{R}} \right) \quad (6)$$

La Figure 2c montre que les pertes dans des nano-guides de GaP/AlGaP sont de 30 dB/cm à 800 nm.

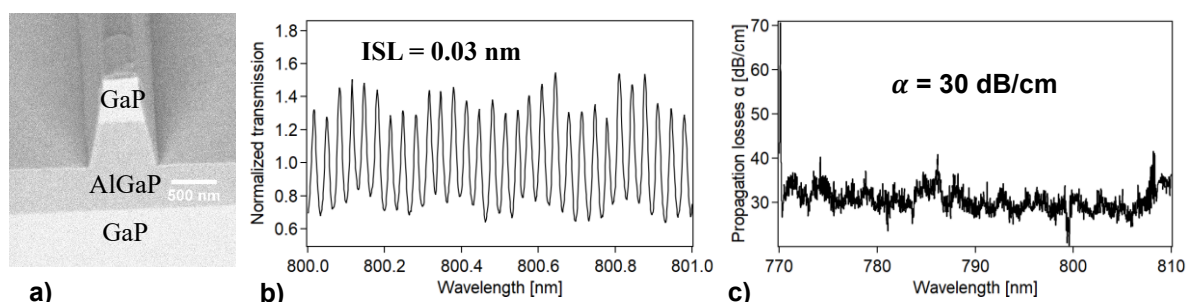


Figure 2: a) Observation SEM d'une coupe d'un guide GaP/AlGaP/GaP. b) Transmission normalisée en fonction de la longueur d'onde montrant les franges Fabry-Perot de la cavité. c) Pertes par propagation en fonction de la longueur d'onde.

## CONCLUSION

En conclusion, les mesures de pertes à 800 nm montrent que la plateforme GaP/AlGaP/GaP reste pour l'heure plus mature que la plateforme GaP/GaAs du fait de la rugosité liée à l'interface GaP/GaAs. A présent, nos efforts se concentrent sur la mesure de pertes dans la bande télécom autour de 1.55  $\mu\text{m}$ , le développement des premiers dispositifs GaP/Si reportés sur isolants et l'amélioration de l'interface GaP/GaAs.

Ce travail bénéficie d'une aide de l'État gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre de France 2030 portant la référence "ANR-22-PEEL-0005" et est soutenu par le réseau français Renatech.

## RÉFÉRENCES

- [1] D. J. Wilson, K. Schneider, S. Hoenl, M. Anderson, T. J. Kippenberg, et P. Seidler, « Integrated gallium phosphide nonlinear photonics », *Nat. Photonics*, vol. 14, n° 1, p. 57-62, janv. 2020, doi: 10.1038/s41566-019-0537-9.
- [2] S. Laval, E. Cassan, L. Vivien, et F. Grillot, « Influence of waveguide geometry on scattering loss effects in submicron strip silicon-on-insulator waveguides », *IET Optoelectron.*, vol. 2, n° 1, p. 1-5, févr. 2008, doi: 10.1049/iet-opt:20070001.
- [3] S. Combrié *et al.*, « Detailed analysis by Fabry-Perot method of slab photonic crystal line-defect waveguides and cavities in aluminium-free material system », *Opt. Express*, vol. 14, n° 16, p. 7353, août 2006, doi: 10.1364/OE.14.007353.