



HAL
open science

REPONSE NONLINEAIRE RAPIDE A L'ECHELLE PICOSECONDE DANS UN GUIDE A CRISTAL PHOTONIQUE DE GAAS

Alexandre Baron, Aleksandr Ryasnyanskiy, Quynh Vy Tran, Sylvain Combrié,
Nicolas Dubreuil, C. Husko, Philippe Delaye, Robert Frey, Gérald Roosen,
Simone Cassette, et al.

► **To cite this version:**

Alexandre Baron, Aleksandr Ryasnyanskiy, Quynh Vy Tran, Sylvain Combrié, Nicolas Dubreuil, et al.. REPONSE NONLINEAIRE RAPIDE A L'ECHELLE PICOSECONDE DANS UN GUIDE A CRISTAL PHOTONIQUE DE GAAS. Journées Nationales d'Optique Guidée (JINOG'08), Oct 2008, Lannion, France. hal-00561116

HAL Id: hal-00561116

<https://hal-iogs.archives-ouvertes.fr/hal-00561116>

Submitted on 31 Jan 2011

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.

REPONSE NONLINEAIRE RAPIDE A L'ECHELLE PICOSECONDE DANS UN GUIDE A CRISTAL PHOTONIQUE DE GAAS

Alexandre Baron¹, Aleksandr Ryasnyanskiy¹, Quyn Vy Tran², Sylvain Combrié²,
Nicolas Dubreuil¹, Chad Husko², Philippe Delaye¹, Robert Frey¹, Gérald Roosen¹,
Simone Cassette², Alfredo De Rossi²

¹ Laboratoire Charles Fabry de l'Institut d'Optique, Campus Polytechnique, RD 128, 91127
Palaiseau Cedex

² Thales Research and Technology, RD 128, 91767 Palaiseau

nicolas.dubreuil@institutoptique.fr

RESUME

L'étude de la propagation d'impulsions courtes dans des guides membranaires à cristal photonique de GaAs, révèle la présence d'effets nonlinéaires très rapides avec une constante de temps estimée inférieure à 10 ps. Ces travaux illustrent la potentialité de réaliser des composants en GaAs très rapides pour le traitement de l'information.

MOTS-CLEFS : *guide optique ; cristal photonique; optique nonlinéaire.*

1. INTRODUCTION

Les guides à cristal photonique présentent des propriétés de propagation linéaire et nonlinéaire originales qui permettent d'entrevoir le développement de composants compacts pour le traitement de l'information. En particulier, la lumière se propage dans un mode à très fort confinement transversal, de l'ordre de 10^{-9} cm², ce qui tend à exalter les nonlinéarités. Des réalisations de commutateurs optiques à faible puissance de commande ont été démontrées dans des microcavités à cristal photoniques en silicium [1], AlGaAs [2] et GaAs [3]. Les composants à base de semi-conducteurs III-V offrent l'avantage d'une ingénierie du gap électronique en vue d'accéder à des effets Kerr d'origine électronique afin de minimiser les temps de commutation. Bien que ce dernier argument soit à l'avantage des structures en AlGaAs, l'effet des porteurs générés par absorption à deux photons peut donner lieu à des phénomènes similaires au Kerr optique (de type "Kerr-like") très rapides, grâce à la diminution du temps de recombinaison des porteurs dans ce type de structures.

Dans ce travail, nous nous intéressons à l'étude d'effets de type Kerr-like dans des guides à cristal photonique en GaAs, matériau pour lequel le coefficient d'absorption à deux photons est dix fois supérieur à celui du silicium [4]. Les guides se présentent sous la forme d'une fine membrane suspendue de GaAs d'épaisseur 250 nm. La période a du cristal photonique, formé de trous d'air de rayon $r=0,3a$, est de 410 nm. Les guides de type W1 sont obtenus en ne gravant pas une rangée de trous dans la direction TK du cristal photonique [5].

2. DESCRIPTION DE LA SOURCE OPO ET DU BANC D'INJECTION

Notre objectif est d'étudier la dynamique des interactions nonlinéaires dans des structures à cristal photonique. Nous avons développé une source laser impulsionnelle spécifique, largement accordable autour de 1550 nm. Notre choix s'est porté sur la réalisation d'un oscillateur paramétrique optique (OPO) pompé par un laser Ti :Saphir émettant des impulsions de 10 ps à une cadence de 80 MHz et avec une puissance moyenne maximale de 1,7 W. La cavité de l'OPO est en anneau et seul le faisceau signal est résonant dans la cavité. La longueur de la cavité est ajustée de sorte que les impulsions signal qui résonnent dans la cavité soient amplifiées de manière synchrone par les impulsions délivrées par le laser Ti :Sa. Le cristal nonlinéaire à quasi-accord de phase est un PP-SLT de 20 mm de long. En utilisant un coupleur de sortie pour le signal de 90%, l'OPO présente un seuil d'oscillation autour de 400 mW et une puissance nominale de 1W pour une puissance de

pompe de 1,7 W. Les impulsions délivrées pour le signal ont des durées égales à celle du laser de pompe et présentent des largeurs spectrales proches de la limite de Fourier.

Le faisceau signal délivré par l'OPO est relié au banc d'injection des guides par l'intermédiaire d'une fibre optique monomode de type SMF28, comme illustré Fig. 1. La longueur de la fibre est suffisamment courte, de l'ordre de 20 cm, afin de s'affranchir de l'automodulation de phase. Par ailleurs, en conservant la fibre dans une position fixe, un taux de polarisation supérieur à 95% a été mesuré. En sortie du coupleur à fibre, une lame demi-onde (notée $\lambda/2$) est insérée pour ajuster la direction de polarisation selon la direction de polarisation TM du mode du guide. L'injection dans le guide est réalisée grâce un objectif de microscope de grossissement 60 et d'ouverture numérique 0,85. Un second objectif, similaire au précédent, réalise la collimation du faisceau transmis en sortie de guide qui est alors injecté dans une seconde fibre monomode reliée à un analyseur de spectre optique (ASO). Les deux objectifs de microscope sont montés sur deux systèmes de translation XYZ disposant de trois actionneurs piézoélectriques. Afin de s'assurer que le flux analysé provient bien du guide, une image de sa face de sortie est projetée sur une caméra CCD en InGaAs au travers d'une lame séparatrice 50/50.

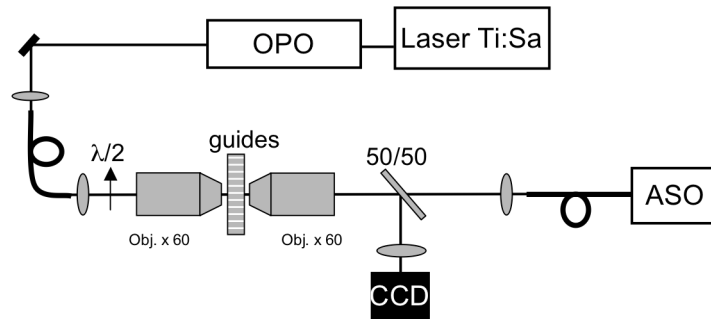


FIG. 1 : Banc d'injection du faisceau signal issu de l'OPO dans les guides à cristal photonique.

3. ABSORPTION A DEUX PHOTONS ET EFFET KERR

Une première étape consiste à mesurer la transmission d'un des guides en fonction de la puissance du faisceau signal de l'OPO injecté dans le guide. La puissance moyenne incidente est mesurée avant le premier objectif de microscope grâce à un puissance-mètre calibré. La puissance moyenne transmise est mesurée par un second puissance-mètre calibré, en sortie de la seconde fibre. Tout au long de la mesure, le contrôle des conditions d'injection dans le guide est assuré grâce à l'image prise par la caméra CCD. La variation de la puissance transmise en fonction de la puissance incidente est présentée Fig. 2. Son allure s'écarte très nettement d'une droite. La courbe expérimentale s'ajuste parfaitement par une tendance caractéristique du phénomène d'absorption à deux photons (TPA). Cette courbe est de la forme $P_{out} = K^2 P_{in} / (1 + K \beta_{TPA} L P_{in} / A_{eff})$, où P_{in} et P_{out} représentent respectivement les puissances crêtes incidentes et de sortie du guide, A_{eff} l'aire effective du mode, L la longueur du guide, K l'efficacité de couplage dans le guide supposée identique en entrée et sortie du guide et enfin β_{TPA} est le coefficient d'absorption par TPA. En tenant compte des valeurs $A_{eff} = 10^{-9} \text{ cm}^2$, $L = 1 \text{ mm}$, des pertes de couplage dans la seconde fibre, et des pertes de la lame séparatrice, la valeur du coefficient β_{TPA} , après ajustement de la courbe expérimentale, est égale à $3 \cdot 10^{-8} \text{ cm/W}$. Cette valeur reste indicative et devra être déterminée avec plus de précision, en tenant compte notamment de l'indice de groupe du guide. Son ordre de grandeur est néanmoins compatible avec les valeurs de la littérature (10^{-8} cm/W [6]).

L'évolution de la puissance transmise démontre la présence de TPA. La brusque variation de la densité de porteurs alors générés doit induire une variation temporelle de la phase et donc un élargissement du spectre des impulsions transmises. C'est effectivement ce que nous avons observé

expérimentalement à l'aide de l'analyseur de spectre optique réglé sur une résolution de 0,05 nm. Les spectres des impulsions transmises pour une puissance moyenne incidente de 8 mW et 80 mW sont représentés dans la Fig. 3. Pour une faible puissance injectée, le spectre est comparable à celui des impulsions incidentes. La largeur spectrale de 0,3 nm est compatible avec la durée des impulsions. Pour une puissance moyenne incidente de 80 mW (équivalent à une puissance crête de 80 W), le spectre est nettement élargi. La courbe présente une modulation qui provient de l'effet Fabry-Perot qui se produit entre les faces d'entrée et de sortie du guide. Il est possible de s'affranchir de ces oscillations du spectre cannelé en filtrant temporellement la fonction d'autocorrélation du signal, obtenue par transformée de Fourier du spectre. La courbe en pointillés présente le spectre obtenu après filtrage de la fonction d'autocorrélation au demi-temps d'aller-retour dans le guide. Le décalage du spectre vers les courtes longueurs d'onde, par rapport à la longueur d'onde centrale des impulsions incidentes, démontre un effet très rapide de type Kerr-like induit sur le front de montée des impulsions. Un effet similaire induit sur le front descendant est également présent, comme en atteste la partie du spectre qui est décalée vers les grandes longueurs d'onde. Pour ce matériau, on sait que l'effet de TPA domine sur l'effet Kerr optique d'origine électronique. Par conséquent une étude plus poussée devra déterminer les contributions respectives des porteurs générés par TPA, et notamment une mesure de leur taux de recombinaison dans ce type de structure, et de l'effet Kerr optique.

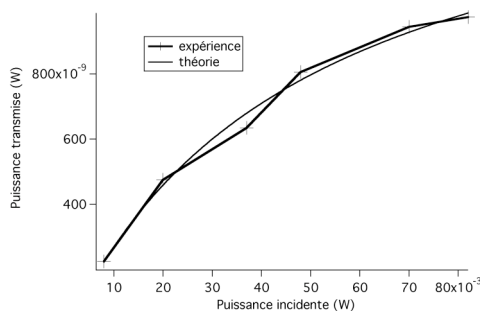


FIG. 2 : Puissance transmise à travers le guide en fonction de la puissance incidente.

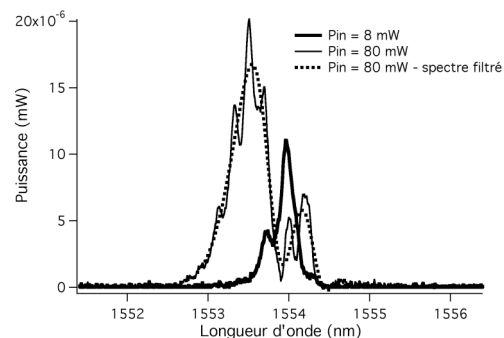


FIG. 3 : Spectres optiques des impulsions transmises pour des puissances moyennes injectées de 8 et 80 mW.

CONCLUSION

Au travers de mesures de transmission en régime picoseconde dans des guides à cristal photonique de GaAs, nous avons observé des effets nonlinéaires équivalents à de l'effet Kerr avec une constante de temps très rapide, inférieure à 10 ps, la durée des impulsions de l'OPO. Bien qu'une étude plus poussée devra déterminer les contributions respectives des effets d'absorption à deux photons et Kerr optique, ces travaux démontrent néanmoins la potentialité de la réalisation de composants optiques très rapides dans la filière GaAs.

A. Ryasnyanskiy bénéficie du soutien du RTRA le Triangle de la Physique.

RÉFÉRENCES

- [1] T. Tanabe, M. Notomi, S. Mitsugi, A. Shinya, E. Kuramochi, *Opt. Lett.*, vol. 30, 2575, 2005.
- [2] Y. Tanaka, H. Kawashima, N. Ikeda, Y. Sugimoto, H. Kuwatsuka, T. Hasama, H. Ishikawa, *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 18, 1996, 2006.
- [3] E. Weidner, S. Combrié, A. de Rossi, N. Tran, S. Cassette, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 90, 101118, 2007.
- [4] N. Notomi, A. Shinya, S. Mitsugi, G. Kira, E. Kuramochi, T. Tanabe, *Opt. Express*, vol. 13, 2678, 2005.
- [5] S. Combrié, A. de Rossi, L. Morvan, S. Tonda, S. Cassette, D. Dolfi, A. Talneau, *Electron. Lett.*, vol. 42, 86, 2006.
- [6] M. Dinu, F. Quochi, H. Garcia, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 82, 2954, 2003.