

MESURE DE L'EFFET KERR DANS DES GUIDES PLANS PAR ANALYSE DE FAISCEAUX AUTO-PIEGES

**Tintu Kuriakose¹, Emeline Baudet², Rémi Boidin³, Mahmoud M. R. Elsayw⁴, Petr Němec³,
Virginie Nazabal², Gilles Renversez⁴ et Mathieu Chauvet¹**

¹*FEMTO-ST Institute, UMR CNRS 6174, Université de Franche-Comté, 15B avenue des
Montboucons, 25030 Besançon – France*

²*Institut des sciences chimiques de Rennes, UMR CNRS 6226, Equipe Verres et Céramiques,
Université de Rennes 1, 35042 Rennes, France*

³*Department of Graphic Arts and Photophysics, Faculty of chemical Technology, University
of Pardubice, Studentská 573, 53210 Pardubice, Czech Republic*

⁴*Université d'Aix-Marseille, CNRS, Centrale Marseille, Institut Fresnel, Marseille 13013,
France*

tintu.kuriakose@femto-st.fr

RÉSUMÉ

Nous présentons une nouvelle technique expérimentale basée sur l'analyse de faisceaux auto-piégés pour mesurer les non-linéarités Kerr dans des guides plans. Cette technique est appliquée pour analyser les propriétés non linéaires de guides constitués de verres de chalcogénure Ge-Sb-Se qui possèdent un effet Kerr autorisant la formation de solitons spatiaux. Les caractéristiques optiques linéaires et non linéaires de ces structures sont étudiées à 1550 nm en régime femtoseconde. Les coefficients non linéaires obtenus par la technique proposée sont en accord avec les valeurs publiées dans la littérature.

MOTS-CLEFS : *Effet Kerr, guides planaires, Kerr; auto-focalisation, chalcogénures*

1. INTRODUCTION

Les matériaux optiques non linéaires suscitent un grand intérêt, tant du point de vue fondamental que du point de vue des applications. Différentes techniques telles que la spectroscopie d'absorption à deux photons, le mélange d'ondes, la génération de troisième harmonique, l'interférométrie non linéaire, l'obturateur Kerr optique ou encore l'auto modulation de phase ont été développées pour mesurer l'effet non linéaire Kerr ainsi que les coefficients d'absorption non linéaire [1]. Les études antérieures sur les propriétés non linéaires des verres de chalcogénure sont le plus souvent basées sur la technique Z-scan [2], qui est appropriée pour analyser les matériaux massifs ou sous la forme de lames minces. Toutefois, pour étudier ces propriétés non linéaires dans des couches très minces formant des guides d'ondes planaires, d'autres techniques doivent être utilisées. Nous proposons ici une technique basée sur l'analyse de l'auto-piégeage du faisceau. L'auto-piégeage se produit lorsque l'effet de diffraction est compensé par un changement d'indice non linéaire induit par le faisceau lui-même [3]. Un tel effet peut même conduire à la formation de solitons spatiaux, qui sont des faisceaux qui se propagent sans changer leur forme. Parmi la variété de matériaux non linéaires, les verres à chalcogénure sont d'un grand intérêt en raison de leur forte non-linéarité de Kerr, de faibles pertes, de faibles coûts de fabrication et d'un potentiel application important dans le spectre de l'infrarouge. Bien que les propriétés des verres massifs de chalcogénure soient bien connues il n'en est pas de même lorsqu'ils sont déposés sous la forme de films minces. En effet, les films déposés ont souvent des propriétés non linéaires qui diffèrent significativement du verre initial massif. Nous présentons donc ici la caractérisation optique de guides d'ondes planaires de chalcogénures par des

faisceaux auto-piégés. Cette technique est bien adaptée pour mesurer la non-linéarité optique dans les guides d'onde plans de toute composition.

2. TECHNIQUE DES FAISCEAUX AUTO-PIEGES

La technique proposée consiste à injecter un laser impulsif dans un guide d'onde planaire tandis que le profil de faisceau en sortie est analysé avec une caméra. Lorsque le faisceau injecté est focalisé (typiquement de 10 à 30 μm de large), il s'élargit en raison de la diffraction en régime linéaire. Dans le régime non linéaire, c'est-à-dire à haute puissance, la diffraction est modifiée soit par auto-focalisation soit par auto-défocalisation. Pour modéliser la propagation du faisceau optique, on utilise l'équation non linéaire de Schrödinger. Elle peut s'écrire sous la forme [4]

$$\frac{\partial E_{(x,y)}}{\partial z} - \frac{i}{2k} \frac{\partial^2 E_{(x,y)}}{\partial x^2} + \frac{\alpha}{2} E_{(x,y)} - i \frac{2\pi}{\lambda} n_2 I E_{(x,y)} = 0 \quad (1)$$

Où $E(x, y)$ est le champ électrique optique qui est lié à la distribution d'intensité du faisceau par, $I = |E|^2$. n_2 est le coefficient non linéaire de Kerr, α est l'absorption, k est la constante de propagation dans le milieu. Le coefficient de Kerr est déduit par l'analyse de la modification du profil de faisceau de sortie en fonction de la puissance lumineuse injectée. Enfin, les résultats expérimentaux sont comparés avec les simulations données par l'équation (1) résolue avec une méthode de propagation du faisceau (BPM) [5].

3. CHARACTERISATION DE GUIDES PLANS

Nous avons étudié des structures constituées de verres Ge-Sb-Se déposés par la technique de pulvérisation par magnétron à radiofréquence sur des plaquettes de silicium oxydées [6]. La structure et les propriétés physico-chimiques ont tout d'abord été analysées en utilisant la spectroscopie micro-Raman et la diffraction des rayons X. L'épaisseur et l'indice de réfraction des guides d'ondes ont été caractérisés par microscopie électronique à balayage, ellipsométrie et technique de couplage par prisme. Des guides d'onde dont la couche guidante a une épaisseur de 3 μm ont été réalisés pour deux compositions chimiques: $\text{Ge}_{28.3} \text{Sb}_{6.8} \text{Se}_{64.9}$, $\text{Ge}_{12.1} \text{Sb}_{25.5} \text{Se}_{62.5}$ appelés respectivement Se_2 et Se_6 par la suite.

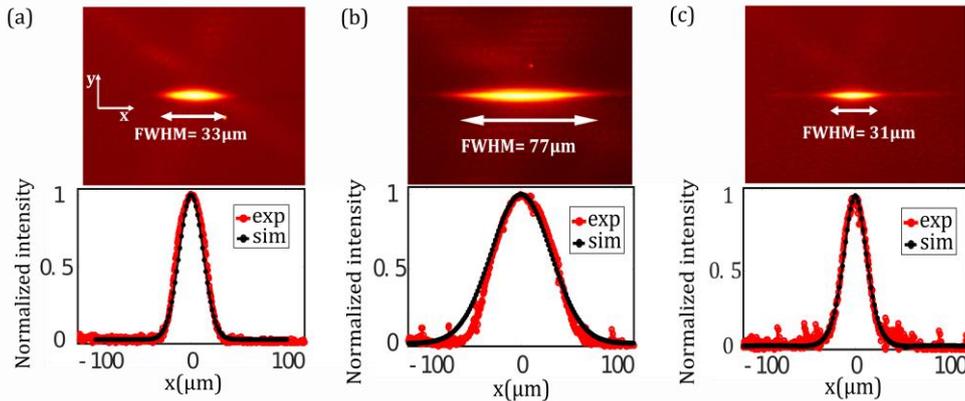


Fig. 1: Les images expérimentales et la comparaison entre les profils expérimentaux et numériques d'analyse d'auto-piégeage de faisceau en fonction de l'intensité de pic d'entrée dans une longueur de 1 cm $\text{Ge}_{12.1} \text{Sb}_{25.5} \text{Se}_{62.5}$ guide d'ondes planaire (a) faisceau d'entrée, (b) sortie diffractée Faisceau en régime linéaire, (c) faisceau auto-piégé conduisant à la formation de solitons. Les courbes rouges correspondent aux résultats expérimentaux et les courbes noires correspondent aux ajustements numériques.

Les mesures optiques sont effectuées en utilisant des impulsions laser de durée 200 fs délivrée par un oscillateur paramétrique optique accordable avec un taux de répétition de 80 MHz. Les pertes linéaires des guides ont été mesurées à $0,26 \text{ cm}^{-1}$ pour Se_6 et $0,19 \text{ cm}^{-1}$ pour Se_2 . Des mesures de la transmission en fonction de l'intensité ont conduit à l'extraction des coefficients d'absorption à 2 photons. Notre méthode originale basée sur l'analyse d'auto-piégeage a ensuite été mise en œuvre pour déduire la non-linéarité de Kerr. Ainsi une observation typique faite dans à la sortie d'un guide Se_6 de 1 cm de longueur est présentée sur la figure 1. Le faisceau à $1,55 \mu\text{m}$ injecté à l'entrée a une taille de $33 \mu\text{m}$ (FWHM) dans la dimension transversale (fig. 1a). Le profil du faisceau à la sortie du guide est imagé sur une caméra vidicon à l'aide d'un objectif de microscope. A faible intensité d'entrée ($0,07 \text{ GW/cm}^2$), le faisceau diffracte et sa largeur est d'environ $77 \mu\text{m}$ (fig. 1b). A une intensité plus élevée, on observe un rétrécissement du faisceau qui révèle un coefficient Kerr n_2 positif. Une augmentation supplémentaire de la puissance du faisceau conduit à la formation d'un soliton spatial comme représenté sur la figure (1c). La formation du soliton spatial de Kerr est confirmée en comparant les profils des faisceaux en entrée et en sortie. Dans notre cas, le soliton est observé pour une intensité d'entrée de $0,33 \text{ GW/cm}^2$. La comparaison des résultats expérimentaux avec les simulations numériques données par l'équation (1) résolue par BPM donne un coefficient non linéaire n_2 de $32,5 \pm 2,5 \times 10^{-18} \text{ m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$. Les principales sources d'erreur sont dues à l'incertitude de l'intensité incidente et de la largeur du faisceau d'entrée. Des expériences similaires faites dans des échantillons de Se_2 donne un coefficient n_2 de $10,5 \pm 1,5 \times 10^{-18} \text{ m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$. Pour évaluer la validité de la technique proposée, nous avons comparé ces valeurs avec celle obtenue par la technique de Z-scan dans les verres massifs de chalcogénure de composition similaire [7]. Le bon accord trouvé montre que la technique basée sur l'auto-piégeage par faisceau convient bien pour mesurer les propriétés optiques dans les guides d'onde.

CONCLUSION

Nous avons démontré que l'analyse de profil de faisceaux auto-piégés est une technique adéquate pour mesurer la non-linéarité de Kerr dans les guides d'ondes planaires. Les coefficients d'indice de réfraction non linéaire de guides constitués de verre de chalcogénure Ge-Sb-Se ont été obtenus. Les fortes non-linéarités mesurées et les faibles pertes de propagation de ces guides d'ondes planaires les rendent aptes à la réalisation de dispositifs photoniques non linéaires.

RÉFÉRENCES

- [1] A. Zakery and S. R. Elliott, *Optical Nonlinearities in Chalcogenide Glasses and Their Applications*, Springer Series in Optical Sciences No. 135, Springer, 2007.
- [2] M. Sheik-Bahae, A. A. Said, T.-H. Wei, D. J. Hagan, and E. W. Van Stryland, "Sensitive measurement of optical nonlinearities using a single beam," *IEEE J. Quantum Electron.* **26**,760–769, 1990.
- [3] R. Y. Chiao, E. Garmire, and C. H. Townes, "Self-trapping of optical beams," *Phys. Rev. Lett.* **13**, 479, 1964.
- [4] J. S. Aitchison, D. C. Hutchings, J. U. Kang, G. I. Stegeman, and A. Villeneuve, "The nonlinear optical properties of AlGaAs at the half band gap," *IEEE J. Quantum Electron.* **33**,341–348, 1997.
- [5] L. Thylen, "The beam propagation method: an analysis of its applicability," *Opt. Quantum Electron.* **15**, 433–439, 1983.
- [6] V. Nazabal, F. Charpentier, J.-L. Adam, P. Nemeč, H. Lhermite, M.-L. Brandily-Anne, J. Charrier, J.-P. Guin, and A. Moréac, "Sputtering and Pulsed Laser Deposition for Near- and Mid-Infrared Applications: A Comparative Study of $\text{Ge}_{25}\text{Sb}_{10}\text{S}_{65}$ and $\text{Ge}_{25}\text{Sb}_{10}\text{Se}_{65}$ Amorphous Thin Films: Sputtering and Pulsed Laser Deposition for Near- and Mid-IR Applications," *Int. J. Appl. Ceram. Technol.* **8**, 990–1000, 2011.
- [7] M. Olivier, J. C. Tchahame, P. Nemeč, M. Chauvet, V. Besse, C. Cassagne, G. Boudebs, G. Renversez, R. Boidin, E. Baudet, and V. Nazabal, "Structure, nonlinear properties, and photosensitivity of $(\text{GeSe}_2)_{100-x}(\text{Sb}_2\text{Se}_3)_x$ glasses," *Opt. Mater. Express* **4**,525, 2014.