Investigation du mélange à quatre ondes et applications à la mesure simultanée de la dispersion et du coefficient Kerr sur des fibres en verres de chalcogénure.

Duc Minh Nguyen, Sy Dat Le, Monique Thual, Thierry Chartier

▶ **To cite this version:**

Duc Minh Nguyen, Sy Dat Le, Monique Thual, Thierry Chartier. Investigation du mélange à quatre ondes et applications à la mesure simultanée de la dispersion et du coefficient Kerr sur des fibres en verres de chalcogénure.. Optique Marseille 2011 - 30è Journées Nationales d'Optique Guidée (JNOG 2011), Jul 2011, Marseille, France. pp.277-279. hal-00744754

HAL Id: hal-00744754
https://hal.science/hal-00744754

Submitted on 21 May 2015

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.

INVESTIGATION DU MELANGE A QUATRE ONDES ET APPLICATION A LA MESURE SIMULTANEE DE LA DISPERSION ET DU COEFFICIENT KERR SUR DES FIBRES EN VERRES DE CHALCOGENURE

Duc Minh Nguyen[1,2], Sy Dat Le[1,2], Monique Thual[1,2], Thierry Chartier[1,2]

[1] *Université européenne de Bretagne, 5 Boulevard Laënnec, 35000 Rennes, France*
[2] *CNRS Foton (UMR 6082), Enssat / Université de Rennes 1, BP 80518, 22305 Lannion, France*

dnguyen@enssat.fr

RÉSUMÉ

L'efficacité du mélange à quatre ondes est étudiée en fonction de la dispersion et du coefficient non-linéaire Kerr. Une technique simple qui permet de calculer simultanément les deux paramètres pour des fibres en verres de chalcogénure à partir de cet effet non-linéaire est proposée.

MOTS-CLEFS : *Mélange à quatre ondes, dispersion, coefficient Kerr, fibre en verre de chalcogénure.*

1. INTRODUCTION

Les fibres à cristal photonique en verres de chalcogénure présentent un grand intérêt pour des applications tout optiques liées à leur forte non-linéarité. La dispersion chromatique D pour ces fibres est généralement bien différente de zéro autour de la longueur d'onde de 1.55 µm [1]. Parmi les effets optiques non-linéaires, le mélange à quatre ondes (FWM) est celui qui nécessite le moins de puissance d'entrée et qui est le plus sensible à la dispersion dont dépend l'accord de phase, paramètre critique du FWM. A notre connaissance, aucune technique basée sur le FWM ne permet de mesurer simultanément les paramètres (D, γ) lorsque la dispersion est grande autour de 1.55 µm. Les techniques de FWM proposées par M. Jaworski [2] et par H. Chen [3] permettent de déterminer simultanément (D, γ), mais elles ne fonctionnent que lorsque la longueur d'onde pour laquelle la dispersion est nulle est proche de 1.55 µm. Dans cet article, nous présentons une technique basée sur le FWM permettant de mesurer simultanément (D, γ) lorsque la dispersion est très différente de zéro à la longueur d'onde de travail (1.55µm). La technique est appliquée aux fibres en verre de chalcogénure très fortement non-linéaires.

2. INVESTIGATION DU MELANGE A QUATRE ONDES

Le FWM est un effet optique non-linéaire dans lequel un photon à la fréquence f_4 est généré à partir de trois autres photons à des fréquences f_1, f_2, f_3. Dans le cas de deux pompes d'entrée à des fréquences f_1 et f_2 telles que $f_1 > f_2$, la puissance du signal anti-Stokes (correspondant à la fréquence haute f_4) dans une fibre chalcogénure peut être calculée par la formule [3,4]

$$P_{anti-Stokes\,chalco}(L) = \left(n_0^2 / n_{chalco}^2\right)\eta^2\gamma^2 L^2 P_{10}^2 P_{20} \exp(-\alpha L)\left[1-\exp(-\alpha L)\right]^2 / \alpha^2 , \quad (1)$$

où P_{10}, P_{20} sont les deux puissances des pompes à l'entrée, L la longueur de fibre, α l'atténuation, n_0 est l'indice de réfraction du cœur d'une fibre en silice monomode standard et n_{chalco} est l'indice du verre de chalcogénure. Dans le cas où la dispersion est différente de zéro, l'efficacité d'accord de phase η ne dépend que de la dispersion du matériau et des effets non-linéaires. Ce paramètre peut être calculé à partir du paramètre de désaccord de phase Δk [3]-[5].

En utilisant l'équation (1), le paramètre $B(\Delta\lambda, D, \gamma) = 10\log(\eta^2\gamma^2)$ peut être calculé facilement à partir de la puissance du signal anti-Stokes mesuré. Son évolution en fonction de la

différence de longueur d'onde entre les deux pompes $\Delta\lambda$ pour différentes valeurs de D et de γ est montrée sur les figures 1a et 1b respectivement. La courbe représentant $B(\Delta\lambda)$ est très sensible à la valeur de D (fig. 1a). Si nous nous concentrons sur la première partie (gauche), on peut voir que lorsque $\Delta\lambda$ augmente, B va augmenter si $D>0$, diminuer si $D<0$ et rester inchangée si $D=0$. De plus, on observe des minima sur les courbes lorsque $D\neq 0$. Concentrons-nous sur le premier minimum de B. Comme le montre la figure 1a, la valeur $\Delta\lambda_0$ correspondant à ce premier minimum dépend fortement de D. L'évolution de $\Delta\lambda_0$ en fonction de D pour différents γ est alors tracée sur la figure 1c pour étudier cette dépendance. Pour une valeur donnée de γ avec une grande marge d'erreur de $\pm 10\%$, une valeur précise de D avec erreur inférieure à $\pm 5\%$ est calculée à partir de la valeur mesurée de $\Delta\lambda_0$. Nous notons que $\Delta\lambda_0$ est régie principalement par D et peu par γ. D'autre part, l'amplitude B_{min} du premier minimum est très sensible à γ. Cette dépendance est représentée sur la figure 1b dans laquelle B est tracée en fonction de $\Delta\lambda$ pour différents γ lorsque $D=-500$ ps/nm/km. L'amplitude B_{min} varie fortement tandis que son $\Delta\lambda_0$ correspondant est à peu près le même pour différents γ. L'évolution de B_{min} en fonction de γ pour une large gamme de D est présentée sur la figure 1d. La sensibilité de $\Delta\lambda_0$ avec D et de B_{min} avec γ est ensuite utilisée pour caractériser (D,γ) d'une fibre optique comme expliqué au paragraphe 3.

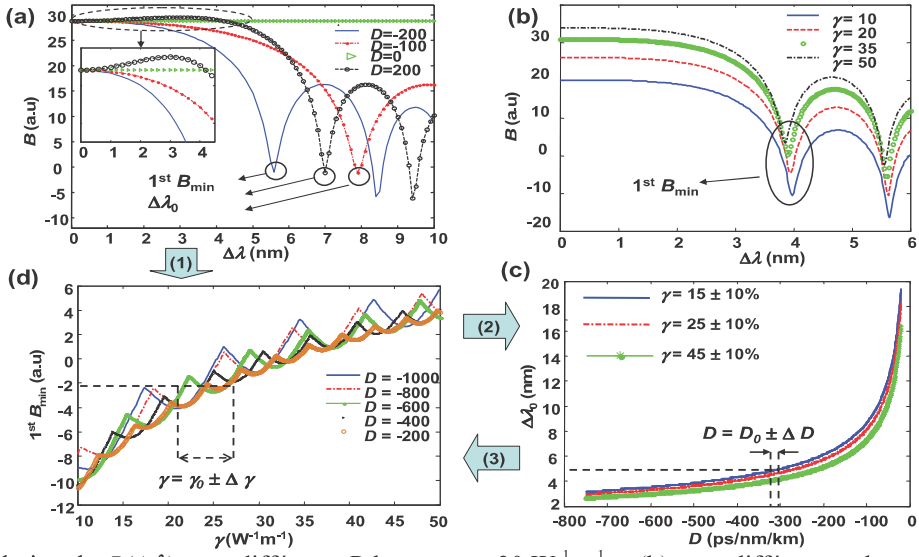

Fig. 1: (a) Evolution de $B(\Delta\lambda)$ pour différents D lorsque γ=30 $W^{-1}m^{-1}$ et (b) pour différents γ lorsque D = –500 ps/nm/km. (c) Evolution de $\Delta\lambda_0$ en fonction de D pour différent $\gamma_0 \pm 10\%$. (d) Evolution de B_{min} en fonction de $\Delta\lambda$ pour différents D. Les unités de γ et de D sont $W^{-1}m^{-1}$ et ps/nm/km respectivement.

3. TECHNIQUE DE MESURE ET RESULTATS EXPERIMENTAUX

La technique de mesure est constituée de 4 étapes. **Etape 1** : lorsque B est calculé, son évolution dans la première partie de la courbe détermine le signe de D (voir Fig. 1a). En particulier, $D>0$ si B augmente lorsque $\Delta\lambda$ augmente et réciproquement. **Etape 2** : à partir de B_{min} calculé, le coefficient Kerr γ_0 est déterminé sur la figure 1d avec une erreur $\Delta\gamma$ qui n'a pas besoin d'être petite pour un obtenir une valeur précise de D. **Etape 3** : à partir de la valeur de $\Delta\lambda_0$ mesurée, D est déduite en utilisant le diagramme $\Delta\lambda_0(D)$ comme l'illustre la figure 1d pour la valeur $\gamma_0 \pm \Delta\gamma$ obtenue à l'étape précédente. Dans cette étape, étant donné que $\Delta\lambda_0$ dépend principalement de D, une bonne précision de D est toujours obtenue, même si l'erreur sur $\Delta\gamma$ est grande. **Etape 4** : on retourne à l'étape 2 avec D calculé à l'étape 3 pour recalculer γ avec une meilleure précision.

La technique est utilisée pour mesurer simultanément (D, γ) pour une fibre en verre de chalcogénure de composition AsSe à cœur suspendu très fortement non-linéaire. Le schéma de principe de l'expérience et la section transverse de la fibre AsSe sont montrés sur les figures 2a et 2b respectivement. Une pompe modulée à une fréquence de 10 GHz et une pompe continue sont amplifiées, couplées et filtrées à travers un filtre optique de 5 nm de largeur spectrale. Les pompes sont ensuite injectées dans la fibre AsSe et les spectres optiques en sortie sont enregistrés pour différents $\Delta\lambda$ comme l'illustre la figure 2c. L'évolution de $B(\Delta\lambda)$ est alors calculée en utilisant l'équation (1). Les résultats calculés par la nouvelle technique sont $D = -800 \pm 40$ ps/nm/km et $\gamma = 31 \pm 1\ \mathrm{W^{-1}m^{-1}}$. Avec ces valeurs, la simulation de l'effet d'automodulation de phase est bien en accord avec l'expérience comme illustré sur la figure 2d. De plus, les valeurs calculées sont également en accord avec les valeurs rapportées dans [1] qui sont $31.3 \pm 1.5\ \mathrm{W^{-1}m^{-1}}$ pour γ et -820 ± 41 ps/nm/km pour D. La technique est donc validée.

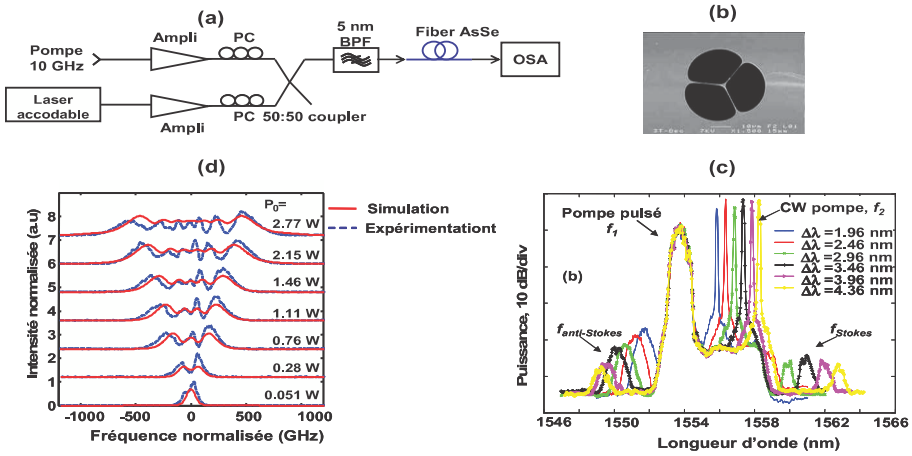

Fig. 2: (a) Schéma de montage de l'expérience. (b) Section transverse de la fibre AsSe. (c) Spectres optiques en sortie de la fibre AsSe. (d) Simulation et mesure d'automodulation de phase.

CONCLUSION

Le mélange à quatre ondes, dans le cas où la dispersion est très différente de zéro à la longueur d'onde de travail, est étudié pour proposer une technique simple qui permet de caractériser simultanément le coefficient Kerr et la dispersion chromatique de fibres fortement non linéaires. La technique est validée avec une fibre fortement non-linéaire en verre AsSe à cœur suspendu.

REMERCIEMENT

Les auteurs remercient J. Troles et P. Toupin de l'UMR CNRS Sciences Chimiques de Rennes ainsi que L. Brilland et D. Méchin de PERFOS (Lannion) pour la fibre non linéaire réalisée dans le cadre du projet ANR FUTUR.

REFERENCES

[1] D. M. Nguyen et al., "Demonstration of nonlinear effects in an ultra-highly nonlinear AsSe suspended-core chalcogenide fiber", IEEE Photon. Technol. Lett. 22 (24) (2010) pp 1844-1846.

[2] M. Jaworski, "Nonlinear coefficient measurement in non zero dispersion shifted fiber based on FWM method", IEEE Photon. Technol. Lett. 1 pp 237-240 (2002).

[3] H. Chen, "Simultaneous measurements of non-linear coefficient, zero-dispersion wavelength and chromatic dispersion in dispersion-shifted fibers by four-wave mixing", Optics. Commun. 220 pp 331-335 (2003).

[4] K. Inoue, "Four-wave mixing in an optical fiber in the zero-dispersion wavelength region", J. Lightw. Technol. 10 (11) 1553-1561 (1992).

[5] G. Agrawal, Nonlinear Fiber Optics, 4th ed., Chapter 11, New York: Academic (2007).