



HAL
open science

Taper à fibre optique microstructurée air/slice à dispersion modifiée pour une émission large bande et accordée autour de $2 \mu\text{M}$ par mélange à quatre ondes dégénérées

Sidi-Ely Ahmedou, Guillaume Walter, Romain Dauliat, Sébastien Février, Jules Herbuvaux, Constance Valentin, Stéphane Petit, Jérôme Lhermite, Jean-Christophe Delagnes, Laurent Labonte, et al.

► To cite this version:

Sidi-Ely Ahmedou, Guillaume Walter, Romain Dauliat, Sébastien Février, Jules Herbuvaux, et al.. Taper à fibre optique microstructurée air/slice à dispersion modifiée pour une émission large bande et accordée autour de $2 \mu\text{M}$ par mélange à quatre ondes dégénérées. Optique Nice 2022, Jul 2022, Nice, France. pp.08-B7. hal-03777122

HAL Id: hal-03777122

<https://hal.science/hal-03777122>

Submitted on 14 Sep 2022

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.

TAPER A FIBRE OPTIQUE MICROSTRUCTUREE AIR/SILICE A DISPERSION MODIFIEE POUR UNE EMISSION LARGE BANDE ET ACCORDEE AUTOUR DE 2 μM PAR MELANGE A QUATRE ONDES DEGENEREEES

Sidi-Ely Ahmedou¹, Guillaume Walter², Romain Dauliat¹, Sébastien Février¹, Jules Herbuvaux², Constance Valentin², Stéphane Petit², Jérôme Lhermite², Jean-Christophe Delagnes², Laurent Labonté⁴, Sébastien Tanzilli⁴, Frédéric Gérôme¹, Benoît Debord¹, Fetah Benabid¹, Guy Millot³, Philippe Roy¹, Raphael Jamier¹

¹Université de Limoges, CNRS, XLIM, UMR 7252, F-87000 Limoges, France

²CELIA, Centre Lasers Intenses et Applications, Université de Bordeaux-CNRS-CEA, UMR 5107, F-33405 Talence Cedex, France

³ICB, Université de Bourgogne Franche-Comté, CNRS, UMR 6303, F-21078 Dijon, France

⁴Univ. Côte d'Azur, CNRS, Institut de Physique de Nice, F-06108 Nice Cedex 2, France
sidi-ely.ahmedou@xlim.fr

RESUME

Ce travail rapporte la conception, la fabrication et la caractérisation d'une fibre optique microstructurée air/silice effilée permettant une conversion de fréquence large bande par le processus de mélange à quatre ondes vers le moyen infra-rouge. Nous démontrons expérimentalement une bande de gain paramétrique de près de 100 nm. Une utilisation envisagée de ce taper réside dans le développement de sources laser femtosecondes.

MOTS-CLEFS : *Taper à fibre optique; Mélange à quatre ondes*

1. INTRODUCTION

Des myriades d'applications dans le moyen infrarouge (MIR) nécessitent des impulsions ultra-courtes à large bande souvent combinées avec une large accordabilité spectrale. Il existe quelques matériaux laser solide (SSL) efficaces émettant dans cette gamme spectrale (généralement dopés avec Tm^{3+} , Ho^{3+} , Cr^{2+} , Fe^{3+} et Er^{3+}). Cependant, leur efficacité diminue rapidement lorsque la longueur d'onde d'émission augmente [1] et, à l'exception des matrices dopées Tm^{3+} ou Cr^{2+} , ces matériaux actifs ne peuvent pas supporter des impulsions ultra-courtes d'une durée sub-100 fs. Même les sources les plus avancées n'offrent qu'une accordabilité limitée. Pour contourner ces limitations, des impulsions intenses à $\sim 2 \mu\text{m}$ peuvent être obtenues par génération de différence de fréquence (DFG) ou par conversion de fréquence par un processus de mélange à quatre ondes dégénéré (degenerate Four-Wave-Mixing (d-FWM)) à partir de lasers IR conventionnels tels que les systèmes à base de Ti:Saphire ou les lasers dopés aux terres-rares. En effet, ils délivrent une intensité crête suffisante pour induire ces processus non-linéaires efficacement. Dans le contexte de la conversion paramétrique d-FWM, les fibres à cristaux photoniques hautement non linéaires (HNL-PCF) présentent de nombreux avantages grâce notamment aux degrés de liberté portant sur leurs paramètres opto-géométriques et sur les propriétés de dispersion chromatique correspondantes.

Dans cet article, nous nous concentrerons sur le cas spécifique de l'extension de l'étendue spectrale du gain paramétrique issu du processus de d-FWM dans les HNL-PCF. Ici, notre objectif est d'étendre la gamme de longueur d'onde générée en proposant une fibre optique microstructurée air/silice présentant un gradient longitudinal de sa géométrie (section transverse) : un taper fibré. Lors du fibrage, une homothétie (périodique) de la structure photonique permet de faire varier continûment les propriétés de dispersion (dont notamment la longueur d'onde du zéro de dispersion). Cela permet d'étendre la plage exploitable du gain paramétrique sur une largeur

spectrale allant jusqu'à 100 nm. Cette largeur est quasiment 2 fois supérieure à celle qui peut être atteinte avec une HNL-PCF usuelle de diamètre externe constant [2].

2. RESULTATS NUMERIQUES ET EXPERIMENTAUX

Le taper à fibre optique proposé dans cette étude est basé sur une variation adiabatique, faible et continue, de la section transverse de la fibre (homothétie depuis son diamètre externe). L'idée est de modifier longitudinalement les propriétés de dispersion apportées par la fibre. Cette variation décale progressivement la longueur d'onde centrale du gain paramétrique. Ainsi, un ensemble plus large des longueurs d'onde constituant le spectre d'une impulsion courte autour de 1,03 μm satisfont alors les conditions d'accord de phase. En sortie du taper, les différentes contributions locales donnent un spectre élargi autour de 2 μm . Une étude numérique a été réalisée en résolvant l'équation de Schrödinger non linéaire généralisée (GNLSE) [3] incluant les coefficients de dispersion de deuxième ordre β_2 et quatrième β_4 ordre. Un taper a été modélisé par une concaténation de quatre segments de fibres (cf. Figure 1) d'une longueur de 20 cm chacune (notées F1, F2, F3 et F4 sur la Figure 1) avec des diamètres externes différents. Le nombre de fibres, ainsi que leur longueur sont définis en fonction de la largeur spectrale du gain paramétrique souhaitée. De plus ces longueurs sont choisies afin de minimiser des effets parasites tels que la génération de supercontinuum. Les propriétés de dispersion de chaque fibre ont été calculées séparément en utilisant le logiciel commercial « COMSOL Multiphysics ». La Figure 2 montre les résultats numériques pour chaque fibre individuellement (Figure 2.a-d) ainsi que pour la structure concaténée (Figure 2.e). L'impulsion d'entrée considérée dans le modèle (centrée à 1,03 μm) a une puissance crête de 44 kW et une durée de 50 ps (FWHM).

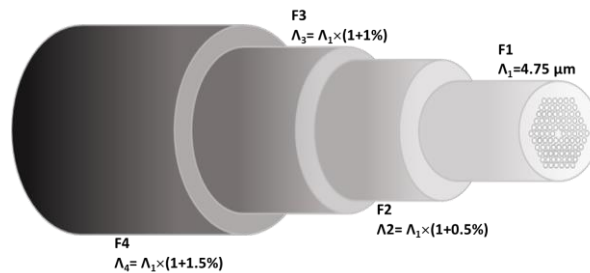


Figure 1 : Représentation schématique du taper modélisé. Λ_i ($i=1, 2, 3$ ou 4) désigne la distance entre les centres de deux trous d'air adjacents de la microstructure, ayant un diamètre d_{hole} , tel que $d_{hole} / \Lambda_i = 0,67$.

On observe (Figure 2(a-d)) que les longueurs d'onde centrales du signal généré par chaque segment de fibre sont décalées les unes par rapport aux autres, et croissent avec le diamètre externe de la fibre considérée. La figure 2 (e) montre que le taper (concaténation des 4 segments de fibres) produit un gain paramétrique qui couvre toute la largeur de bande obtenue pour les fibres prises séparément, permettant ainsi d'élargir le spectre du signal obtenu autour de 1,85 μm .

Afin de valider expérimentalement ces résultats numériques, une HNL-PCF a été fabriquée à un diamètre externe à 122 μm fixe. A partir de celle-ci, deux tronçons de fibres effilées ont été obtenus par variation continue et contrôlée du diamètre externe allant de 122 à 118 μm , soit sur une distance de 1 m (taper « 1 », cf. Fig.3.a), soit sur une distance de 2 m (taper « 2 », Fig.3.b).

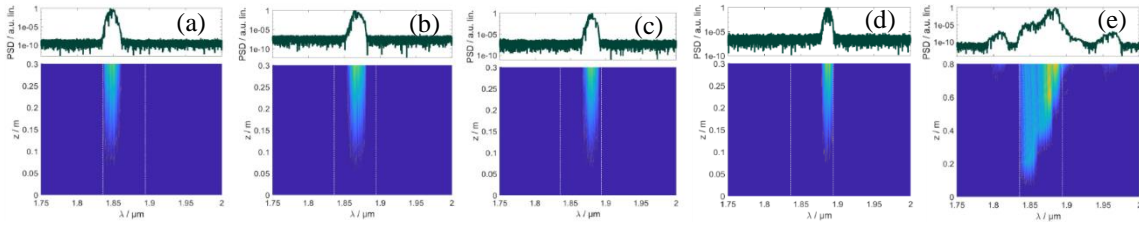


Figure 2 : Résultats des simulations numériques montrant l'évolution spectrale du signal généré par le d-FWM dans chaque tronçon de fibre considéré comme isolé (a) F1, (b) F2, (c) F3, et (d) F4. Le 5^{ème} spectre (e) correspond au résultat obtenu lorsque l'on considère la structure entière de la fibre comme présentée sur la Figure 1.

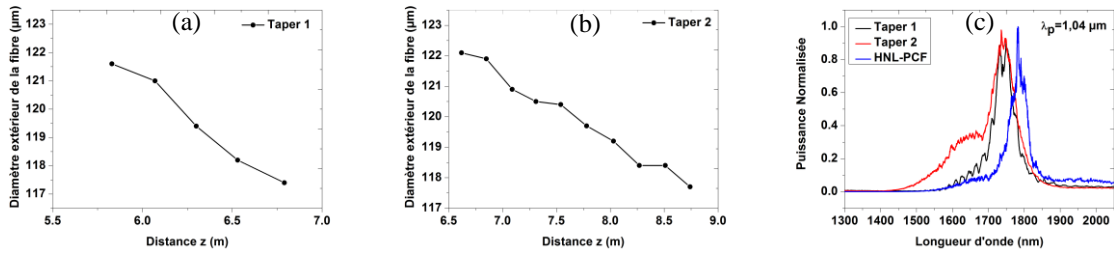


Figure 3 : (a) et (b) sont les profils du taper 1 et 2, respectivement. (c) Mesure expérimentale de spectre obtenu avec le taper 1 (courbe noire), taper 2 (courbe rouge) et la fibre HNL-PCF (courbe bleu) de diamètre externe constant sur sa longueur (servant de référence). L'impulsion d'entrée à $1,040 \mu\text{m}$ a une puissance moyenne de 10W et une largeur totale à mi-hauteur (FWHM) de 0.2 nm .

Notons que la mesure du gain paramétrique a été réalisée à une longueur d'onde de pompe différente de celle où l'étude numérique a été effectuée. Ceci est en raison de la mauvaise qualité des spectres mesurés en cette longueur d'onde et que nous sommes en train d'expliquer. Néanmoins, à la longueur d'onde de $1,04 \mu\text{m}$, on observe une nette amélioration de la largeur spectrale du gain paramétrique obtenu avec les 2 tapers comparés à celle obtenue avec la fibre HNL-PCF présentant un diamètre externe constant et servant donc de référence. Pour ce dernier nous mesurons une largeur spectrale à mi-hauteur de 52 nm alors qu'avec le taper 1 on mesure 65 nm et qu'on atteint 87 nm avec le taper 2. La largeur spectrale plus importante pour le taper 2 résulte de la variation plus adiabatique du diamètre extérieur de ce taper permettant à chaque longueur d'onde de développer un gain suffisant grâce à des conditions d'accord de phase obtenues sur une longueur de fibre plus importante.

3. CONCLUSION

Nous avons étudié numériquement et expérimentalement l'élargissement spectral du gain paramétrique obtenu dans un taper à fibre optique microstructurée. Ce taper a permis d'obtenir un gain paramétrique qui s'étend sur près de 87 nm de largeur spectrale. L'utilisation d'une telle fibre effilée avec une source à $1,03 \mu\text{m}$ façonnée spectralement ouvre ainsi la voie à la production des sources ultra-brèves fibrées et largement accordables dans le MIR.

RÉFÉRENCES

- [1] S. D. Jackson, "Towards high-power mid-infrared emission from a fibre laser," Nat. Phot. 6, 423 (2012).
- [2] M.E. Marhic et al, "Broadband fiber-optical parametric amplifiers," Opt. Lett. 21, 573(1996).
- [3] J. M. Dudley, S. Coen, et G. Genty, "Supercontinuum generation in photonic crystal fiber," Rev. Mod. Phys. 78, 1135-1184(2006).