

AMPLIFICATION DE PUISSANCE PAR FIBRES OPTIQUES DOPEES Er^{3+} REALISEES PAR LA METHODE POUDRE REPUSIL

Geoffroy Granger¹, Romain Dauliat¹, Anka Schuchow², Katrin Wondraczek², Philippe Roy¹,
Sébastien Février¹

¹ Univ. Limoges XLIM UMR CNRS 7252, 123 avenue Albert Thomas, France

² Leibniz Institute of Photonic Technology, Albert-Einstein-Strasse 9, 07745 Jena, Germany

sebastien.fevrier@xlim.com

RÉSUMÉ

Nous présentons les premiers résultats d'amplification par fibres optiques dopées Er^{3+} efficaces réalisées par la voie poudre. Ces fibres permettent d'obtenir des résultats à l'état de l'art en termes d'amplification de puissance en bande télécom.

MOTS-CLEFS : *fabrication de fibres optique, erbium, méthode poudre, amplificateurs de puissance.*

1. INTRODUCTION

Les méthodes CVD associées au dopage en solution n'ont plus à faire leurs preuves pour la fabrication de fibre optique actives mais se limitent malgré tout à des dimensions de cœur faible. D'un autre côté, les fibres dopées Er^{3+} souffrent d'un problème inhérent à cette terre rare : la génération d'agrégats qui diminue drastiquement l'efficacité des systèmes lorsque le dopage est trop élevé. La solution classique, qui correspond très bien au besoin des amplificateurs télécom, consiste à doper faiblement (quelques centaines de ppm) le cœur et donc à recourir à de grande longueurs de fibre, ce qui, en revanche, est préjudiciable à l'obtention de fortes énergies à cause des effets non-linéaires. Aussi, afin d'augmenter l'énergie extractible, il devient nécessaire d'augmenter le diamètre de la zone guidante et la concentration en Er^{3+} sans obtenir d'agrégats. La première solution, géométrique, est apportée par le changement de procédé de fabrication : la méthode poudre dite REPUSIL [1], qui couplée à des étapes de *rod-in-tube* et *stack-and-draw*, a déjà permis la fabrication de fibres à grande aire modale dopées ytterbium [2] ou thulium [3] avec un très bon contrôle du profil d'indice et de dopage en terre rare. La seconde réponse, chimique, est apportée par le choix judicieux des précurseurs et des co-dopants. Il est en effet bien connu que le co-dopage en aluminium, en plus d'apporter le contraste d'indice nécessaire au guidage, permet une bonne dilution des agrégats d'ions de terre rare dans la matrice de silice en libérant des sites disponibles. Aussi, une augmentation de la concentration en ions actifs devra s'accompagner d'une augmentation du taux d'aluminium, que cependant les méthodes CVD ont du mal à fournir. La méthode REPUSIL permet là aussi de dépasser cette limitation.

Dans cette communication nous développons notre méthode de fabrication ainsi que les premières valorisations de ces fibres démontrant la pertinence du procédé REPUSIL quant à la fabrication de fibres pour la bande télécom et pour la montée en puissance. Cette étude constitue à notre connaissance, la première démonstration de fibres efficaces dopées erbium autrement réalisées que par des méthodes CVD.

2. PROCEDE DE FABRICATION

Déjà utilisée pour la fabrication de fibres dopées Yb^{3+} et Tm^{3+} , la méthode REPUSIL doit être adaptée pour l' Er^{3+} en changeant de précurseurs de terre rare. Comme décrit dans la référence [1], deux matériaux sont fabriqués, un à base de $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Er}_2\text{O}_3$, qui constituera le cœur de la fibre, et un second d' $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$. L'aluminium dans le cœur ayant pour rôle principal la bonne répartition des ions de terre rare ($\sim 1.5 \times 10^{25}$ ions/ m^3) afin d'éviter la formation d'agrégats, il impose

de fait un contraste d'indice positif qui sera balancé par le second matériau de gaine ou de piédestal, afin d'obtenir un guidage monomode pour des cœurs de grande dimensions. Afin de tester le matériau de cœur, nous réalisons d'abord une fibre simple gaine (SG) petit cœur (10 μm de diamètre) (Fig. 1). Les fibres gros cœur pour l'amplification de puissance, sont réalisées avec un piédestal adapté en indice (Fig. 1), une double gaine hexagonale (DG, insert Fig. 1) et revêtues d'un polymère bas indice. Il est intéressant de noter que les fibres sont homogènes sur toute la longueur du fibrage sans modification des taux de dopant, ce qui représente un atout par rapport aux techniques CVD classiques.

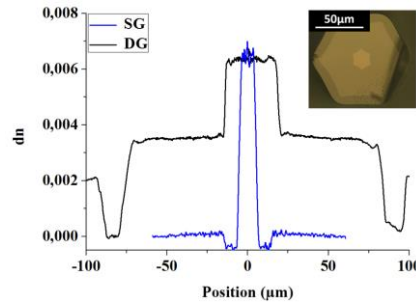


Fig. 1 : (b) Profil d'indice de réfraction de deux fibres SG et DG avec en insert l'image au microscope optique de la section transverse d'une fibre DG.

3. RESULTATS EXPERIMENTAUX EN REGIME PETIT SIGNAL

Afin de qualifier les matériaux synthétisés, nous avons dans un premier temps caractérisé la fibre SG en régime linéaire. Les pertes de fond ont été mesurées avec une source supercontinuum en dehors des bandes d'absorption de l'erbium par la méthode du cut-back sur une longueur de fibre $L_f = 20$ m. Les pertes sont de l'ordre de 25 dB/km à 1200 nm. On note aussi l'absence de pic OH- à 1380 nm, ce qui montre la bonne qualité du procédé de fabrication. Cette valeur de pertes, toutefois supérieure à celle obtenue par CVD, impose de travailler avec des amplificateurs courts, surtout en architecture DG, donc avec un taux de dopage suffisant et un rapport cœur/gaine faible. Ensuite, l'absorption due à la terre rare a été mesurée à l'aide d'une source blanche pour $L_f = 20$ cm à ~ 28 dB/m à 980 nm (Fig. 2a) ce qui est en accord avec les analyses chimiques et montre qu'il n'y a pas dilution des composés initiaux. La durée de vie a été mesurée par la méthode classique du chopper et de la photodiode. La transition télécom est de 10.8 ms sous forme d'exponentielle décroissante simple pour une pompe à 980 nm ce qui est en accord avec un milieu peu agrégé.

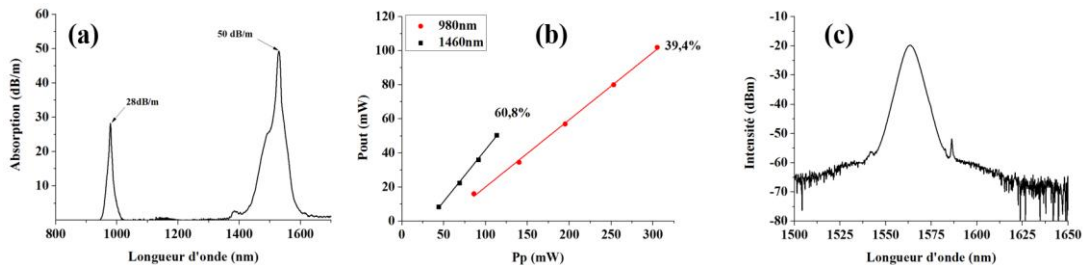


Fig. 2 : (a) Absorption du cœur de la fibre SG. (b) Courbe d'efficacité de l'oscillateur à 1585 nm pour deux longueurs d'onde de pompe. (c) Spectre mesuré en sortie de la cavité ML.

L'efficacité du matériau de cœur a ensuite été testée en réalisant des oscillateurs en cavité classique Fabry-Pérot (FBG 100%-5%) à différentes longueurs d'onde d'émission, pompée à 980 nm favorisant l'hypothétique up-conversion puis 1460 nm considéré comme résonant. Nous obtenons, pour une longueur optimale variant avec la longueur d'onde de pompe, une extraction quasi constante de 60% du rendement quantique : respectivement 39,5% et 60,8% en fonction de la puissance injectée (Fig. 2b), ce qui montre là encore la bonne qualité des fibres réalisées et le faible

taux d'agrégats. Notons que sans précautions, l'oscillateur émet un train d'impulsions caractéristique du phénomène connu de *self-pulsing* dû à l'erbium. Enfin nous utilisons ces fibres en cavité à verrouillage de modes en phase (*mode-lock* ML). Le fort taux de dopage nous permet de réaliser des cavités courtes et d'extraire un soliton (415 fs en limite de Fourier, 6,2 nm à 1563 nm) cadencé à ~90 MHz en fréquence fondamentale, pour 800 μ W de puissance moyenne (Fig. 2c).

4. RESULTATS EXPERIMENTAUX EN REGIME D'AMPLIFICATION

L'amplification de puissance se fait dans une configuration DG (insert Fig. 1) avec des fibres de 20/125 μ m à 40/250 μ m dont la sortie est clivée en angle (approx. 8°). Dans un premier temps, nous réalisons une architecture MOPA pompée par diode multimode à 980 nm, seedée par une source accordable fine spectralement et pré-amplifiée à 50 mW sur la bande 1550-1590 nm ce qui nous permet d'obtenir le maximum de puissance extractible pour L_f fixe. Pour $L_f \sim 7,5$ m, nous obtenons un gain >18dB limité par la puissance de pompe disponible (Fig. 3a) pour une efficacité de 23,5% en fonction de la puissance injectée (P_p) et 44,3% de conversion par rapport à la pompe absorbée (P_{abs}) (Fig. 3b) à la $\lambda_{opt}=1575$ nm. L'émission est monomode (insert Fig. 3b). Enfin nous étudions la pertinence de ces fibres en régime d'amplification non-linéaire afin de les comparer à nos résultats précédents [4]. De la même manière nous obtenons une impulsion de 75 fs en limite de Fourier à 1630 nm par auto-décalage Raman du soliton avec une énergie de ~10 nJ (courbe bleue Fig. 3c).

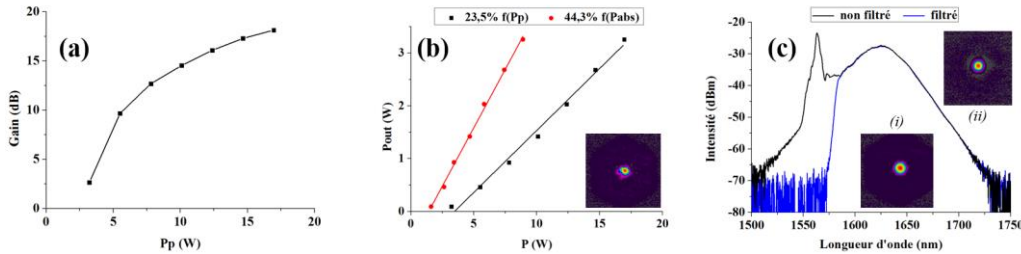


Fig. 3 : (a) Mesure de gain du MOPA DG et (b) d'efficacité à 1575nm. (c) Spectre du soliton décalé avec en insert les images en intensité (i) sans et (ii) avec filtrage spectrale.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Pour la première fois à notre connaissance, nous avons fabriqué et caractérisé dans différents régimes de fonctionnement des fibres dopées erbium fabriquées par le procédé REPUSIL. Bien que leurs pertes de fond soient nettement supérieures à celles obtenues par les méthodes classiques de CVD, ces fibres permettent l'obtention de résultats à l'état de l'art en termes d'efficacité d'amplification petit signal, de génération d'impulsions et d'amplification de puissance en configuration MOPA ce qui démontre le potentiel de cette méthode de fabrication pour remplacer les fibres produites par la méthode MCVD. Nous travaillons activement à l'amélioration des performances et nous allons désormais réaliser des fibres à plus gros cœur, réduire le rapport cœur/gaine, explorer l'augmentation du taux de dopage en Er^{3+} et son rapport à l' Al_2O_3 .

REFERENCES

- [1] K. Schuster *et al.*, Material and technology trends in fiber optics. *Advanced Optical Technologies*, 3(4), pp. 447-468 (2014).
- [2] R. Dauliat *et al.*, "Ytterbium doped all solid Large Pitch Fiber made from powder sintering and vitrification", in *International Conference on Fibre Optics and Photonics*, OSA Technical Digest (online) (Optical Society of America, 2012), paper TPO.7.
- [3] D. Darwich *et al.*, "Large mode area thulium-doped fully aperiodic large-pitch fiber laser", in *Advanced Photonics 2018 (BGPP, IPR, NP, NOMA, Sensors, Networks, SPPCom, SOF)*, OSA Technical Digest (online) (Optical Society of America, 2018), paper SoW2H.4.
- [4] P. Cadroas *et al.*, All-fiber femtosecond laser providing 9 nJ, 50 MHz pulses at 1650 nm for three-photon microscopy. *Journal of Optics*. 19. (2017)