CONCEPTION ET REALISATION D'UNE FIBRE DE BRAGG PIXELISEE HETEROSTRUCTUREE MONOMODE FLEXIBLE A GRAND CŒUR

Jean-Paul Yehouessi, Assaad Baz, Géraud Bouwmans, Olivier Vanvincq, Laurent Bigot, Yves Quiquempois

Laboratoire PhLAM -Institut IRCICA

CNRS- Université Lille1,50 avenue Halley , 59658 Villeneuve d'Ascq, France

Jean-Paul.Yehouessi@univ-lille1.fr

RÉSUMÉ

Dans cet article nous présentons la réalisation d'une fibre de Bragg pixelisée hétérostructurée passive à grande aire effective, monomode sur une plage de longueur d'onde allant de 950 nm à 1700 nm. Cette fibre présente un diamètre de mode de 40 µm et est utilisable avec un rayon de courbure inférieur à 10 cm.

MOTS-CLEFS : *fibre de Bragg, fibre microstructurée, fibre à bande interdite photonique, Fibre de Bragg pixelisée.*

1. INTRODUCTION

La montée en puissance dans les lasers à fibres est notamment limitée par l'apparition des effets non-linéaires liés aux fortes densités surfaciques de puissance atteignables par ces systèmes. L'augmentation des aires effectives dans les fibres conventionnelles est freinée par le besoin d'un contrôle précis du contraste d'indice pour atteindre de faibles ouvertures numériques, synonymes du caractère monomode de la fibre. Obtenir une fibre intrinsèquement monomode est donc une tâche délicate par cette approche pour des diamètres de modes supérieurs à 25 µm typiquement.

Les fibres microstructurées sont étudiées afin de pallier les différentes limitations en permettant un contrôle fin des ouvertures numériques ou en rejetant les modes d'ordres supérieurs indésirables. Parmi ces fibres, les fibres de Bragg constituent une alternative convaincante aux fibres à saut d'indice. Ces fibres sont composées d'un cœur de bas indice entouré d'une alternance d'anneaux concentriques de haut et bas indice. Néanmoins le premier challenge dans la réalisation des fibres de Bragg est de s'affranchir des remontées de pertes observées dans leurs bandes de transmission, ces remontées étant dues aux couplages des modes de cœur avec des modes $LP_{lm(l\neq0)}$ des anneaux de haut indices [1]. Le second challenge est de discriminer la propagation des modes d'ordres supérieurs pour obtenir une fibre monomode en pratique. La levée de ces deux verrous permettrait d'améliorer significativement les performances des fibres de Bragg pour la génération et le transport de faisceaux laser puissants.

2. MODELISATION ET CONCEPTION

Dans l'approche proposée ici, la résolution du premier verrou passe par une pixelisation des anneaux de haut indice en les réalisant à partir d'inclusions circulaires de haut indice. Cette pixelisation entraîne une réduction du nombre de modes guidés dans les anneaux de haut indice ce qui induit une absence des remontées de pertes au sein des bandes de transmission [2]. Cette approche donne lieu à une variante de cette famille de fibres appelées « fibre de Bragg pixelisées (PiBF) » (Fig. 1(a)).

En ce qui concerne la discrimination modale par les pertes, elle peut s'appuyer, en partie, sur le fait que les fibres de Bragg offrent la possibilité de contrôler la distance entre les anneaux de haut indice. Cette liberté permet d'influer significativement sur les pertes d'un mode LP_{lm} du cœur de la fibre en appliquant une condition dite « demi-onde » sur les couches de bas indice de la gaine de Bragg pour le mode donné. Dans ce cas, Δr, la distance inter-anneaux à appliquer, est donnée par la relation :

$$\Delta r = \frac{\pi r_c}{u_{lm}}$$

Où r_c est le rayon de cœur et u_{lm} la fréquence de coupure du mode LP_{lm} de cœur [3].

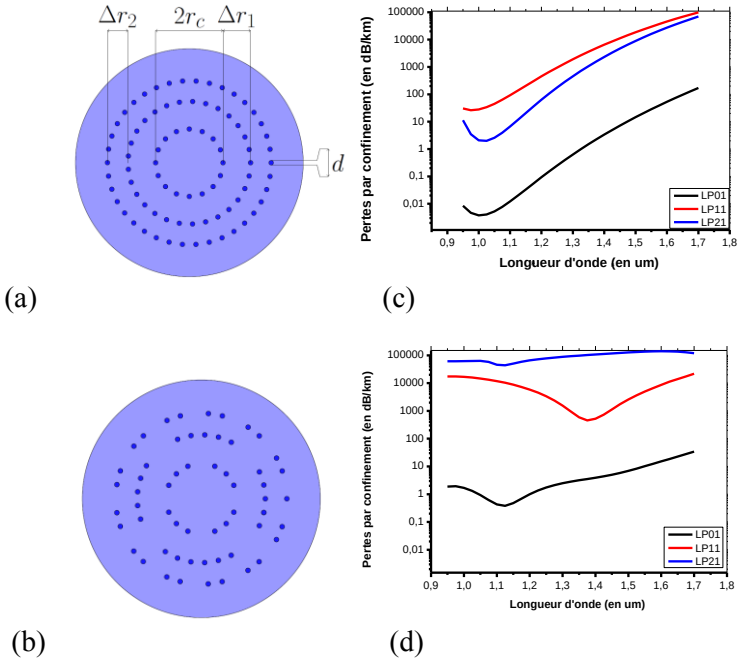

Fig. 1 : (a) Fibre de Bragg pixelisée avec la double condition demi-onde ;(b) Fibre de Bragg pixélisée avec la double condition demi-onde et hétérostructurée ; (c) et (d) Résultats numériques des pertes par confinement des modes LP_{01}, LP_{11}, LP_{21} pour les fibres représentées sur les figures respectivement (a) et (b)

Une première réalisation expérimentale de fibre de Bragg pixélisée ayant un rayon de cœur de 17 µm et dont l'épaisseur des deux couronnes de bas indice est équivalente à l'application d'une condition demi-onde pour le mode LP_{11} a permis l'obtention d'une fibre monomode pour des longueurs d'onde comprises entre 1350 nm et 1700 nm [2]. Le caractère multimode de cette fibre aux longueurs d'onde inférieures à 1350 nm est lié à la présence des modes LP_{21} et LP_{02}. Le diamètre de mode obtenu était de 26 µm.

Afin d'obtenir une fibre monomode aux longueurs d'onde d'émission de l'ytterbium (1030-1100 nm), nous avons exploré la possibilité de modifier les distances inter-anneaux de haut indice en utilisant de multiples conditions demi-onde pour les modes LP_{11}, LP_{21} et LP_{02}. Nous avons choisi de simuler une fibre optique dont le diamètre de cœur vaut 48 µm. Le rayon des plots de haut indice est fixé à 1.67 µm, le diamètre normalisé au pas vaut 0.36, le profil d'indice parabolique des plots de haut indice présente une différence d'indice maximale par rapport à la silice de 30.10^{-3}. La première couronne de bas indice possède une épaisseur fixée à 19.8 µm ce qui équivaut à une condition demi-onde appliquée au mode LP_{11}. La seconde couronne de bas indice est dimensionnée afin de défavoriser la propagation des modes LP_{21} et LP_{02} : son épaisseur est de 14.7 µm (Fig. 1(a)). Les résultats numériques montrent que, malgré l'application des deux conditions demi-onde aux deux couronnes bas indice, les pertes par confinement des modes d'ordre supérieur restent faibles à courtes longueurs d'onde (Fig. 1(b)). Afin d'augmenter les pertes par confinement des modes d'ordres supérieurs, une hétérostructuration des anneaux pixelisés a été envisagée : elle consiste à retirer des plots de haut indice. Après l'étude de diverses hétérostructurations de la gaine nous avons identifié le design de fibre proposé à la Fig. 1(c) comme celui créant une fuite suffisante des modes d'ordres supérieurs tout en maintenant des pertes par confinement assez faibles pour le mode fondamental (Fig. 1(d)).

3. REALISATION EXPERIMENTALE

Une réalisation expérimentale des deux fibres simulées a été faite. L'observation du mode en sortie de fibre pour diverses longueurs d'onde montre que la fibre PiBF sans hétérotructuration présente une propagation multimode quelle que soit la longueur d'onde considérée. En effet, le faisceau d'une source supercontinuum injecté dans le cœur avec un décalage transverse de 15 µm prouve l'existence du mode LP_{11} après 1 m de fibre maintenue droite (Fig. 2(a)). A contrario, la fibre PiBF hétérostruturée n'admet pas la propagation de modes d'ordre supérieur après 1 m de fibre maintenue droite dans les mêmes conditions d'injection. Le diamètre de mode à 1050 nm dans ces conditions est estimé à 40 µm (Fig. 2(b)).

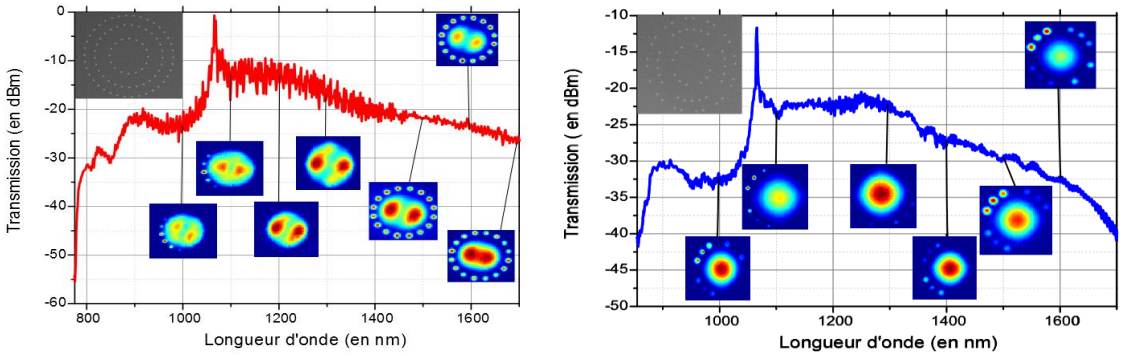

Fig. 2 : (a) Spectre de transmission de la fibre de Bragg pixelisée sans hétérostructuration avec une image de la répartition d'intensité en sortie à différentes longueurs d'onde. (b) Même illustration dans le cas de la fibre de Bragg pixelisée avec hétérostructuration.

Les pertes mesurées dans le cas de la fibre PiBF hétérostructurée courbée sur un rayon de 75 cm sont de l'ordre de 0,3 dB/m pour des longueurs d'onde situées entre 1000 nm et 1300 nm (zone d'intérêt pour les lasers ytterbium). Cette valeur chute autour de 0,1 dB/m pour les longueurs d'onde comprises entre 1300 et 1700 nm. Il convient de noter que la transmission de la fibre est préservée pour des rayons de courbures aussi faibles que 10 cm.

CONCLUSION

Nous avons simulé et réalisé une fibre de Bragg pixélisée et hétérostructurée à grande aire effective monomode dont le diamètre de mode vaut 40 µm à 1050 nm. Cette fibre offre, en outre, une bonne robustesse vis-à-vis des courbures. Cette géométrie de fibre constitue d'ores et déjà une structure très intéressante pour la réalisation de fibres flexibles adaptées au transport de puissance dans la gamme spectrale couverte par les ions ytterbium et l'erbium ainsi qu'une base prometteuse pour la réalisation de lasers ytterbium de forte puissance.

RÉFÉRENCES

[1] S Février et al. « Low-loss singlemode large mode area all-silica photonic bandgap fiber » Optics express, vol.14, no.2, pages 562-9, 2006

[2] A Baz et al. « Pixelated high-index ring Bragg fibers » Optics Express, vol 3490, 2012.

[3] D. Jain et al. «Mode area scaling with multi-trench rod-type fibers. » Optics Express, vol 21, no.2, pages 1448-55, 2013.