



HAL
open science

LASER THULIUM EFFICACE BASE SUR UNE FIBRE A GRANDE AIRE MODALE A TRIPLE GAINE FABRIQUEE PAR LA METHODE REPUSIL

Dia Darwich, Romain Dauliat, Raphaël Jamier, Aurélien Benoit, Stephan Grimm, Kay Schuster, Philippe Roy

► **To cite this version:**

Dia Darwich, Romain Dauliat, Raphaël Jamier, Aurélien Benoit, Stephan Grimm, et al.. LASER THULIUM EFFICACE BASE SUR UNE FIBRE A GRANDE AIRE MODALE A TRIPLE GAINE FABRIQUEE PAR LA METHODE REPUSIL. Journées Nationales de l'Optique Guidée, Jul 2015, Rennes, France. pp.P94. hal-01250402

HAL Id: hal-01250402

<https://hal.science/hal-01250402>

Submitted on 6 Jan 2016

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.

LASER THULIUM EFFICACE BASE SUR UNE FIBRE A GRANDE AIRE MODALE A TRIPLE GAINÉ FABRIQUÉE PAR LA METHODE REPUSIL

Dia Darwich¹, Romain Dauliat¹, Raphaël Jamier¹, Aurélien Benoit¹, Stephan Grimm², Kay Schuster² et Phillipe Roy¹

¹ Univ. Limoges, CNRS, XLIM, UMR 7252, F-87000 Limoges, France

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

dia.darwich@xlim.fr

RÉSUMÉ

Nous rapportons ici une fibre à large aire modale de 18 μm de diamètre de cœur dopée thulium fabriquée par un procédé alternatif nommé Repusil et présentant un profil à triple gainé. Cette fibre, caractérisée en configuration laser, nous a permis d'obtenir un faisceau monomode transverse proche de la limite de diffraction ($M_{x,y}^2 < 1,1$) avec une efficacité laser de 50,4%.

MOTS-CLEFS : Fibre LMA ; fibre dopée thulium ; laser fibré ; méthode Repusil

1. INTRODUCTION

De nombreux travaux ont été menés ces dernières années sur la montée en puissance des sources lasers à fibre dopée thulium permettant de générer un signal laser de forte puissance moyenne dans une bande spectrale comprise entre 1800 nm et 2050 nm [1,2]. Cette gamme spectrale est très attractive pour de nombreuses applications tant civiles que militaires. La médecine (opération de la cornée [3] ou de la prostate [4]), l'environnement et la défense (détection de polluants ou de matières dangereuses dans l'atmosphère par Lidars [5]) ou encore l'aéronautique (détection de rafales de vents ou de vortex) sont autant de secteurs d'activités demandeurs de telles sources lasers puissantes, fiables et peu onéreuses. Les avancées obtenues sur le développement de sources lasers fibrées à $\lambda \sim 2 \mu\text{m}$ se sont ainsi fortement appuyées sur les percées technologiques menés sur la conception et la fabrication des fibres dites à Large Aire Modale (LMA pour l'anglicisme « Large Mode Area ») permettant de repousser le seuil d'apparition des effets non-linéaires. Bien que de nombreuses bandes d'absorption puissent être utilisées, l'inversion de population dans les lasers à fibres dopées thulium est dans la majorité des cas obtenue au travers d'un pompage optique à $\lambda_p \sim 790 \text{ nm}$. Le fort défaut quantique peut alors être partiellement compensé en tirant profit du processus de relaxation croisée [6] : lorsqu'un ion Tm^{3+} est excité, il peut transférer une partie de son énergie à un autre ion Tm^{3+} voisin l'excitant ainsi à son tour (autrement dit l'absorption d'un photon de pompe induit ainsi l'émission stimulée de deux photons signal). La mise en place de ce processus impose alors une contrainte sur la composition du matériau actif. Les concentrations d'ions de thulium et de co-dopants tels que l'oxyde d'aluminium doivent être parfaitement contrôlées et suffisamment élevées, augmentant ainsi indéniablement l'indice de réfraction du matériau de cœur. La conservation du caractère monomode de la fibre LMA dopée thulium ne peut alors être satisfaite qu'au travers d'une structure guidante adaptée. Une solution bien connue consiste par exemple en l'utilisation d'une fibre « triple gainé » [7,8]. Une troisième gainé, dopée passivement de manière à élever son indice de réfraction, est ainsi ajoutée sur le pourtour du cœur de manière à abaisser l'ouverture numérique du cœur pouvant ainsi être fortement dopée en ions de terres rares. Dans la majorité des cas, ces fibres sont réalisées par des méthodes conventionnelles de fabrication (méthodes CVD) éprouvant des limitations notamment en terme d'homogénéité indicielle et de diamètre de cœur rendant plus difficile l'accroissement du diamètre du cœur des fibres LMA pour la montée en puissance.

Dans cette communication, nous démontrons la fabrication d'une fibre LMA dopée thulium à triple gainé obtenue à partir d'un procédé technologique alternatif nommé « Répusil » [9,10]. Cette fibre, caractérisée en configuration laser, nous a permis d'obtenir un faisceau monomode proche de la limite de diffraction ($M_{x,y}^2 < 1,1$) avec une efficacité laser de 50,4%.

2. CARACTERISTIQUES DE LA FIBRE LMA TRIPLE GAINE DOPEE THULIUM

La fibre fabriquée (assemblage par la technique « stack and draw » de tiges dopées passivement ou activement conçues par le procédé « Répusil ») est une fibre triple gaine comme le montre le profil d'indice schématisé sur la figure 1.a. Le cœur dopée avec des ions thulium présente un diamètre de 18 μm . La première gaine, la plus proche du cœur ayant pour rôle d'abaisser l'ouverture numérique de ce dernier de manière à garantir une émission monomode à 2 μm , a un diamètre de 53,5 μm . La différence indicielle Δn entre l'indice du cœur et celui de cette gaine dopée passivement avec de l'oxyde d'aluminium est de $2 \cdot 10^{-3}$. La deuxième gaine, faite de silice pure, permet de guider le rayonnement de pompe et a donc classiquement une forme en D. Ses dimensions transversales sont 221 μm et 289 μm (cf. figure 1.b). La différence indicielle Δn entre l'indice de la première gaine et celui de cette deuxième gaine vaut $14 \cdot 10^{-3}$. La troisième gaine est alors le revêtement polymère bas indice recouvrant la fibre. Il est à noter que les pertes de fond ont été mesurées à 0,7 dB/m à $\lambda = 1320 \text{ nm}$.

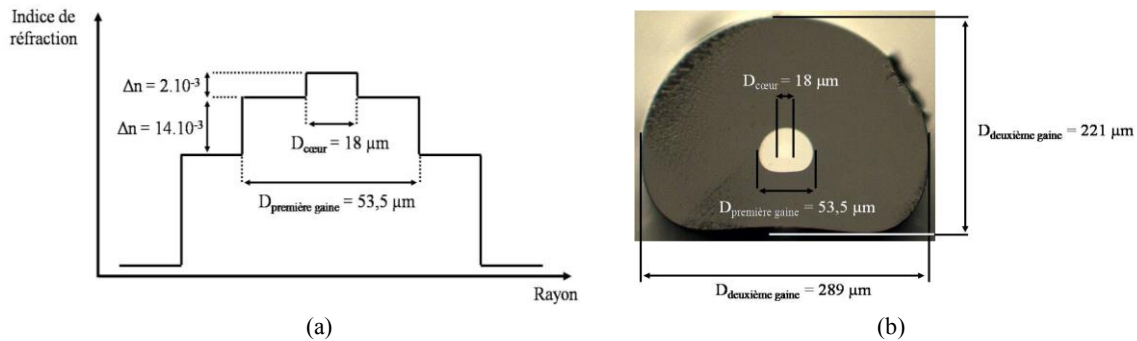


Fig.1 : (a) Profil d'indice théorique de la fibre fabriquée. (b) Image microscope de la section transverse de la fibre. La troisième gaine (polymère bas indice) n'est pas présente.

3. CARACTERISATIONS EN CONFIGURATION LASER

a) Montage expérimental :

La fibre LMA dopée thulium a été caractérisée en configuration laser ($L_{\text{fibre}} = 4,5 \text{ m}$) en utilisant le montage expérimental schématisé sur la figure 2.

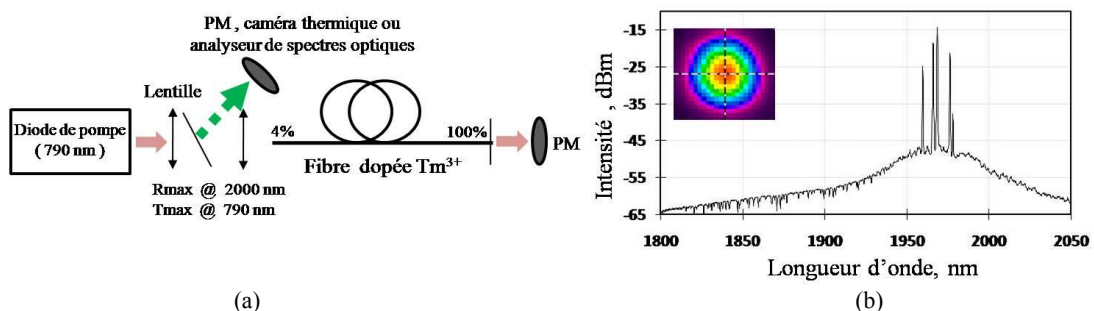


Fig. 2 : (a) Schéma du montage expérimental utilisé pour la caractérisation de la fibre LMA en configuration laser, où PM signifie « puissance mètre ». (b) Mesure du spectre d'émission. En insert : observation en champ lointain de la répartition de l'intensité lumineuse du signal émis.

La cavité laser (montage 4% -100%) est formée par une extrémité de la fibre clivée à 0° et un miroir dichroïque totalement réfléchissant autour de 2 μm . La diode de pompe émet un rayonnement multimode à 790 nm. La distribution d'intensité lumineuse en sortie de la cavité a été observée à l'aide d'une caméra thermique. L'émission laser s'effectue sur un régime monomode transverse (cf. figure 2.b) proche de la limite de diffraction ($M_{x,y}^2 < 1,1$). Le spectre d'émission mesuré à la sortie du laser à l'aide d'un analyseur de spectre optique est caractérisé par plusieurs raies laser autour de 1970 nm (cf. figure 2.b), aucune sélectivité spectrale n'étant effectuée à ce stade. L'insertion de réseaux de Bragg assurant un spectre mono-raie est en cours de réalisation et pourra être discutée lors de la présentation.

b) Influence de la température :

La puissance de signal émise en sortie de la cavité laser a été mesurée en fonction de la puissance de pompe injectée (cf. figure 3.a) pour une température de 20°C (température mesurée à l'aide d'un thermocouple sur le revêtement polymère de la fibre). La puissance de pompe seuil est proche de 4,5 W et la pente d'efficacité est égale à 47,7%, avec une puissance de sortie maximale de 7,54 W. Une étude a été menée sur l'influence de la température sur la pente d'efficacité du laser. La fibre a alors été placée sur la majeure partie de sa longueur dans une enceinte permettant un refroidissement jusqu'à une température de 0°C. On observe ainsi une augmentation quasi-linéaire de la pente d'efficacité du laser lorsque la température de l'enceinte diminue (cf. figure 3.b). Il est à noter que toutes ces mesures ont été faites sous les mêmes conditions d'injection. La pente d'efficacité atteint 50,4% (une puissance maximale de 8 W) pour une température de 0°C, soit une augmentation de 2,7% par rapport à la valeur obtenue à 20°C. Cette valeur montre que la méthode de synthèse alternative employée ici n'entraîne aucune dégradation de la qualité optique des verres fabriqués par rapport aux méthodes de production habituelles. L'efficacité laser est ici uniquement limitée par la quantité modérée d'ions thulium introduit dans la matrice aluminosilicate. La préparation de composition optimisée est en cours de réalisation.

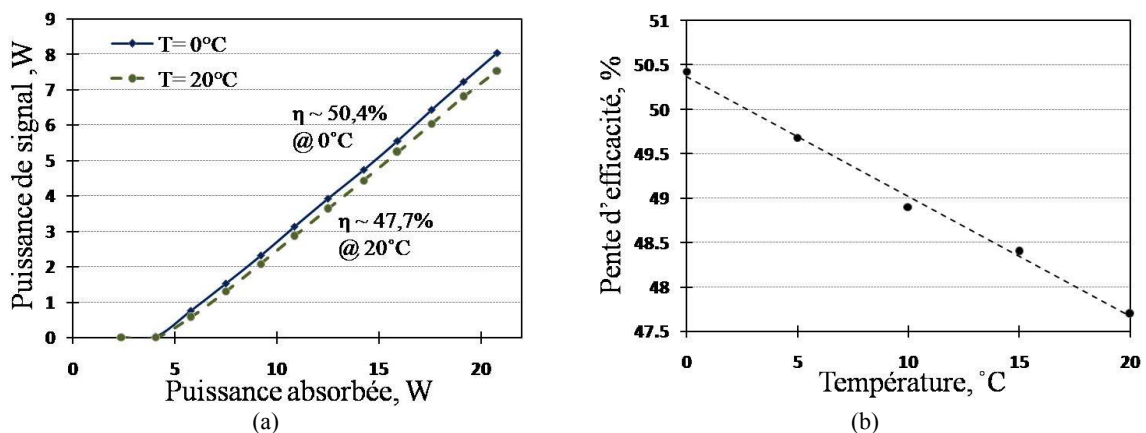


Fig.3 : (a) Puissance de signal mesurée en fonction de la puissance de pompe absorbée (la puissance de pompe est limitée par la puissance de la diode de pompe utilisée). (b) évolution de la valeur de la pente d'efficacité en fonction de la température.

CONCLUSION

Dans cette communication, nous démontrons la fabrication d'une fibre LMA dopée thulium à triple gaine obtenue à partir d'un procédé technologique alternatif nommé « Répusil ». Cette fibre, caractérisée en configuration laser, nous a permis d'obtenir une émission laser monomode transverse proche de la limite de diffraction ($M_{x,y}^2 < 1,1$) avec une efficacité laser de 50,4% pour une fibre refroidie à $T = 0^\circ\text{C}$. La puissance extraite proche de 8 W est limitée par la puissance de la diode de pompe utilisée.

Ce travail a été effectué dans le cadre du projet AVANTAGE, co-financé par l'Union européenne (« Fonds européen de développement économique et régional ») et Eolite Systems. Nous remercions également l'Agence Nationale de la Recherche pour le financement du projet ANR UBRIS2 dans le cadre duquel ces travaux ont été menés.

REFERENCES

- [1] G. D. Goodno *et al.*, Optics Letters, vol. 34, n°8, pp 1204-1206, 2009
- [2] P. F. Moulton *et al.*, IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron., vol.15, n°1, pp 85-92, 2009
- [3] A.A. Alekhin *et al.*, Laser Physics Letters, vol.7, n°6, pp 463-466, 2010
- [4] R.M. Kuntz *et al.*, World Journal of Urology, vol.25, pp 241-247, 2007
- [5] G.J. Koch *et al.*, Applied Optics, vol.43, n°26, p.5092-5099, 2004
- [6] S. Jackson, Optics Communications, vol.23, pp 197-203, 2004
- [7] P. Laperle *et al.*, Proceedings of Photonics West, SPIE 6453-08, San Jose (Etats-Unis), 2007
- [8] N. Simakov *et al.*, Optics Express, vol.23, n°3, pp 3126-3133, 2015
- [9] M. Leich *et al.*, Optics Letters, vol.36, n°9, 2011
- [10] R. Dauliat *et al.*, proceedings of JNOG, 2012