



HAL
open science

Modélisation d'un laser à fibre émettant à 800 nm

Pavel Peterka, Ivan Kašík, Bernard Dussardier, Wilfried Blanc

► **To cite this version:**

Pavel Peterka, Ivan Kašík, Bernard Dussardier, Wilfried Blanc. Modélisation d'un laser à fibre émettant à 800 nm. 30èmes Journées Nationales d'Optique Guidée, Jul 2011, Marseille, France. (poster P191) pp 289-291. hal-00734310

HAL Id: hal-00734310

<https://hal.science/hal-00734310>

Submitted on 21 Sep 2012

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.

MODÉLISATION D'UN LASER À FIBRE ÉMETTANT À 800 NM

Pavel Peterka¹, Ivan Kasik¹, Bernard Dussardier², Wilfried Blanc²

¹ *Institute of Photonics and Electronics ASCR, v.v.i., 18251 Prague, République Tchèque*

² *Laboratoire de Physique de la Matière Condensée, Université de Nice-Sophia Antipolis, CNRS UMR6622, Avenue Joseph Vallot, Parc Valrose, 06108 Nice Cedex 2, France*

wilfried.blanc@unice.fr

RÉSUMÉ

Les lasers à fibres émettant vers 800 nm sont développées pour différentes applications telles que le médical ou le pompage des fibres dopées au Bi. Nous présentons dans cette communication la première modélisation numérique d'un tel dispositif. Trois verres sont étudiés : silice, silice modifiée (+aluminium) et ZBLAN. Pour 5 W de pompe à 1064 nm, une puissance laser de 2 W à 810 nm est prédite pour une fibre à base de silice modifiée. Cette puissance égale celle des fibres fluorées actuellement disponibles. De plus, une accordabilité de 30 nm est prévue.

MOTS-CLEFS : *fibres lasers, thulium, modélisation, transferts d'énergie*

1. INTRODUCTION

La plupart des longueurs d'onde de fonctionnement fiable offertes par des composants à fibres dopées avec des ions de terres rares sont situées autour de 1, 1,5 et 2 μm grâce à des dopages à l'ytterbium, erbium et thulium, respectivement. Nous proposons d'étudier une fibre dopée au thulium (TDF) à base de silice émettant à une longueur d'onde plus courte, vers 800 nm. Cette longueur d'onde permettrait, d'une part, d'étendre le domaine spectral couvert par des dispositifs à fibres. D'autre part, elle pourrait être utilisée pour pomper certains types de lasers et d'amplificateurs (par exemple les fibres dopées au bismuth). Un laser à fibre efficace dans la région spectrale de 800 nm pourrait aussi être utilisé dans le médical ou potentiellement pour remplacer le laser titane saphir dans certaines applications. Les amplificateurs et laser autour de 810 nm ont été étudiés en utilisant des TDF à basse énergie de phonon tels que les verres fluorés présentant une forte efficacité quantique du niveau supérieur laser ($^3\text{H}_4$). Une puissance de sortie allant jusqu'à 2 W et une efficacité de 37 % ont été atteintes dans de telles fibres [1]. Toutefois, la puissance de sortie a été limitée à cause du faible seuil d'endommagement de ce verre. La silice est préférable mais sa haute énergie de phonon limite *a priori* son utilisation. Cependant, nous avons montré qu'en ajoutant de l'aluminium, l'efficacité quantique du niveau $^3\text{H}_4$ peut être multipliée par 4 [2]. Nous présentons dans cette communication la première analyse théorique d'un tel dispositif. La potentialité d'un TDF à base de silice est alors discutée en comparaison avec un verre fluoré (ZBLAN).

2. LE LASER À FIBRE ET LES CARACTÉRISTIQUES DES FIBRES

Le système de pompage de la fibre laser repose sur un mécanisme d'*upconversion* représenté sur la Fig. 1a. Il peut être configuré de façon compacte dans un système tout fibré tel qu'indiqué sur la Fig. 1c. Les lasers à fibre dopés à l'ytterbium peuvent servir de sources de pompage fiable et peu coûteux. Cependant, le pompage à une seule longueur d'onde autour de 1060 nm conduit à la deuxième étape non voulue de l'absorption dans l'état excité (ESA) vers le niveau $^1\text{G}_4$. En outre, la promotion des ions thulium vers des niveaux supérieurs devient plus probable. Cela pourrait conduire à la formation de centres colorés et par conséquent au photonoircissement. Une alternative consiste à utiliser deux longueurs d'onde de pompe. Ce régime de pompage ainsi que la configuration laser sont représentés Fig. 1b et Fig. 1d, respectivement. Seule la première configuration est discutée dans ce résumé. La seconde sera présentée lors de la communication.

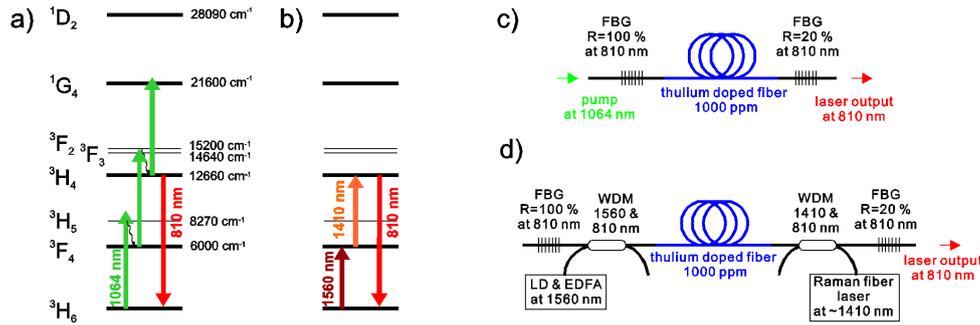


FIGURE 1 : diagrammes des niveaux d'énergie du thulium avec une seule longueur d'onde de pompage (a) ou avec deux longueurs d'onde de pompe (b) et les montages laser correspondants pour TDF simple (c) et à double longueur d'onde (d) de pompage.

Dans la modélisation, la concentration en ions thulium est fixée à 1000 ppm mol. Les processus de transfert d'énergie entre ions sont considérés comme faibles à cette concentration. Des pertes de la cavité cumulées de 1 dB sont pris en compte à cause des pertes d'insertion entre les composants. Trois verres ont été étudiés : silice, silice modifiée (avec une concentration en Al_2O_3 de 10 %mol [2]) et ZBLAN. Les durées de vie de fluorescence de ces matériaux sont indiquées dans le tableau 1.

TABLE 1 : Durées de vie de fluorescence des niveaux d'énergie du thulium dans trois fibres optiques de verres différents. Les valeurs sont indiquées en μs .

Niveau d'énergie de Tm^{3+}	silice	silice modifiée	ZBLAN
$^3\text{F}_4$	335	430	9000
$^3\text{H}_4$	14,2	58	1350
$^1\text{G}_4$	784	540	1110

3. LES RÉSULTATS DE SIMULATION NUMÉRIQUE

Pour prédire la performance des dispositifs à base de fibres dopées au thulium et leur optimisation, nous avons développé un modèle numérique, résolu spatialement et spectralement [3]. Nous avons optimisé les paramètres de la fibre (rayon du coeur - a , l'ouverture numérique - ON, rayon de dopage avec thulium) et de la cavité (la réflectivité du miroir de sortie, longueur du TDF) en fonction de la configuration la plus simple et compacte (Fig.1c). En général, la pente laser ne peut pas être constante avec l'augmentation de puissance de la pompe à cause du remplissage progressif du niveau $^1\text{G}_4$. Par conséquent, pour une puissance de pompe donnée, tous les paramètres de la fibre et de la cavité laser ont été optimisés pour une puissance de sortie maximale à la longueur optimale des fibres. La puissance de sortie a été trouvée très peu sensible à la réflectivité des fibres de Bragg (FBG) dans la gamme 70-95 %. Nous avons alors choisi 80 % dans la modélisation du laser. La dépendance de la puissance de sortie du laser à 810 nm en fonction du rayon de cœur de la fibre est représentée sur la Fig. 2a pour plusieurs valeurs de ON et pour les trois verres hôtes de la fibre. La gamme des rayons de cœur est limitée à l'intervalle de régime monomode à la longueur d'onde laser, c'est-à-dire, où la longueur d'onde de coupure en vigueur prévue est inférieure à 800 nm. Le niveau de sortie des puissances ne varie pas de façon significative pour $a > 1,4 \mu\text{m}$ et $\text{ON} > 0,2$. On peut voir sur la Fig.2b que dans le cas de la silice modifiée (i.e. quand la durée de vie du niveau $^3\text{H}_4$ est améliorée) la puissance de sortie du laser est très proche de celle de ZBLAN et atteint environ 2 W pour une puissance injectée de 5 W à 1064 nm.

Nous avons exploré également l'accordabilité du laser TDF à base de silice modifiée. Dans ce cas, nous avons mesuré l'absorption réelle et les spectres d'émission autour de 800 nm. Avec l'absorption

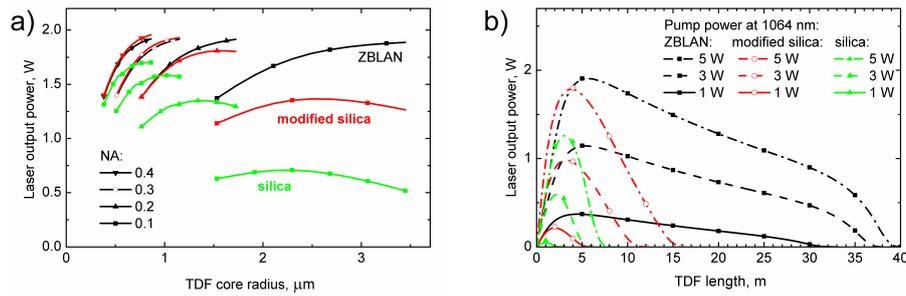


FIGURE 2 : (a) Puissance de sortie laser à 810 nm en fonction de la taille du rayon du cœur de la fibre et pour plusieurs valeurs de NA pour une puissance de pompe de 5 W à 1064 nm. (b) Puissance de sortie laser à 810 nm en fonction de la longueur TDF pour trois matériaux hôtes et trois niveaux de puissance de la pompe.

mesurée et les spectres d'émission et pour certains paramètres de cavité laser, la sortie du laser en fonction de la longueur d'onde du FBG est représentée sur la Fig. 3. Une accordabilité de 30 nm est prévue.

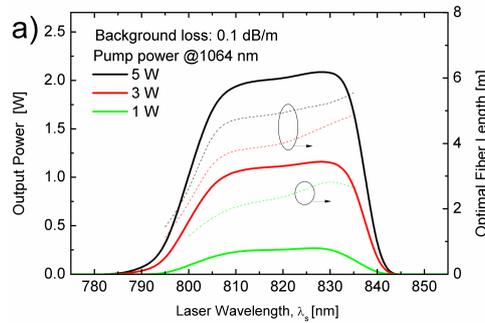


FIGURE 3 : Puissances de sortie laser et longueur optimale de la fibre en fonction de la longueur d'onde.

CONCLUSION

Nous avons proposé une modélisation numérique d'une fibre laser émettant vers 800 nm. De telles fibres étaient jusqu'à maintenant réalisées dans des verres fluorés. À travers cette étude, nous avons montré qu'il est théoriquement possible d'atteindre les mêmes puissances de sortie dans une fibre à base de silice modifiée. Une accordabilité de 30 nm est aussi prédite.

REMERCIEMENTS

Ce travail rentre dans le cadre d'un projet soutenu par le CNRS (PICS 5304) et par la Czech Science Foundation (projet n° P205/11/1840) ainsi que le Ministère de l'Éducation, de la Jeunesse et des Sports de la République Tchèque (projet ME10119 'FILA'). Le LPMC est intégré au GIS GRIFON (<http://grifon.xlim.fr>).

RÉFÉRENCES

- [1] M. Dennis, J. Dixon, and I. Aggarwal, "High power upconversion lasing at 810 nm, in Tm :ZBLAN fibre," *Electronics Letters*, vol. 30, no. 2, p. 136, 1994.
- [2] B. Faure, W. Blanc, B. Dussardier, and G. Monnom, "Improvement of the Tm³⁺ :3H₄ level lifetime in silica optical fibers by lowering the local phonon energy," *Journal of Non-Crystalline Solids*, vol. 353, no. 29, pp. 2767–2773, Sep. 2007.
- [3] P. Peterka, I. Kasik, A. Dhar, B. Dussardier, and W. Blanc, "Theoretical modeling of fiber laser at 810 nm based on thulium-doped silica fibers with enhanced 3H₄ level lifetime," *Optics Express*, vol. 19, no. 3, pp. 2773–2781, Jan. 2011.



2011 Optique *Marseille* *

COLOQ - HORIZONS - JNCO - JNOG

Marseille,

4-7 juillet 2011

Recueil des communications

JNOG

