



HAL
open science

Miniaturisation d'une diode laser InGaN à faible largeur de raie par contre réaction optique d'un réseau de Bragg fibré pour la gamme du bleu et du proche ultraviolet

Ronan Kervazo, Antoine Congar, Georges Perin, Laurent Lablonde, Raphaël Butté, Nicolas Grandjean, Jean-Claude Simon, Monique Thual, Loïc Bodiou, Stephane Trebaol, et al.

► To cite this version:

Ronan Kervazo, Antoine Congar, Georges Perin, Laurent Lablonde, Raphaël Butté, et al.. Miniaturisation d'une diode laser InGaN à faible largeur de raie par contre réaction optique d'un réseau de Bragg fibré pour la gamme du bleu et du proche ultraviolet. OPTIQUE Normandie 2024, Société Française d'Optique, Jul 2024, Rouen, France. hal-04652629

HAL Id: hal-04652629

<https://hal.science/hal-04652629v1>

Submitted on 18 Jul 2024

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.

Miniaturisation d'une diode laser InGaN à faible largeur de raie par contre réaction optique d'un réseau de Bragg fibré pour la gamme du bleu et du proche ultraviolet

Ronan KERVAZO¹, Antoine CONGAR², Georges PERIN¹, Laurent LABLONDE³, Raphaël BUTTÉ⁴, Nicolas GRANDJEAN⁴, Jean-Claude SIMON¹, Monique THUAL¹, Loïc BODIOU¹, Stéphane TREBAOL¹, Joël CHARRIER¹

¹ Univ. Rennes, CNRS, Institut FOTON – UMR 6082, Lannion, France

² Oxxius, 4 rue Louis de Broglie, Lannion, France

³ Exail, rue Paul Sabatier, Lannion, France

⁴ Institute of Physics, École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), CH-1015 Lausanne, Suisse

ronan.kervazo@univ-rennes.fr

RESUME

Le travail présenté vise au développement d'une diode laser intégrée hybride à faible largeur de raie émettant à 399,6 nm composée d'une diode intégrée en InGaN et d'un réseau de Bragg fibré (FBG). Cette source laser cohérente compacte présente un rapport de suppression de mode latéral (SMSR) de 40 dB accompagné d'une puissance de sortie de l'ordre du mW ainsi qu'une largeur de raie intrinsèque de 14 kHz dans l'UV proche. Les performances spectrales obtenues sont compatibles avec les besoins de la métrologie des fréquences.

MOTS-CLEFS : *Optique intégrée ; Bleu et proche ultraviolet ; Fibre à réseau de Bragg ; Diode Laser à Cavité Externe (ECDL)*

1. INTRODUCTION

Ces dernières années, la recherche se tourne de plus en plus vers le développement de composants photoniques intégrés destinés à des gammes de longueurs d'onde se situant autour du bleu et du proche ultraviolet. En effet, cette gamme de longueur d'onde peut être utilisée par exemple pour les communications sous-marines ou la détection de polluants grâce à la transparence de l'eau dans cet intervalle spectral [1]. Ces longueurs d'onde sont également utiles pour la réalisation de capteurs biochimiques [2], de sondes biomédicales [3] ou encore pour la métrologie optique [4]. La mise en œuvre de dispositifs en photonique intégrée dans cette gamme de longueurs d'onde offre ainsi de nombreuses opportunités de réduction de coût, de taille et de consommation grâce à la miniaturisation des composants facilitant ainsi le développement et leur intégration dans de nouveaux produits commerciaux. Certaines de ces applications nécessitent des diodes lasers avec des performances spectrales bien particulières, notamment au niveau de la largeur spectrale de la raie laser.

2. APPROCHE HYBRIDE

L'étude présentée consiste au développement d'une source laser compacte et à bas bruit de fréquence obtenue grâce à l'utilisation d'une diode laser UV en InGaN émettant à 399,6 nm et soumise à une contre-réaction optique provenant d'un réseau de Bragg fibré (FBG) couplé par la facette en bout à bout (Figure 1). Ce dernier agit comme un filtre optique qui améliore fortement les performances spectrales du laser initialement multimode longitudinalement. Cette configuration, nommée UV FGL (Fiber Bragg Grating Laser), forme une diode laser à cavité externe (ECDL) d'environ 2 cm. Grâce à la bande passante étroite du FBG, un rapport de suppression de mode latéral (SMSR) de 40 dB est obtenu. Le laser monomode ainsi obtenu présente une largeur de raie intrinsèque de 14 kHz ainsi qu'une puissance de sortie fibrée de l'ordre du milliwatt.

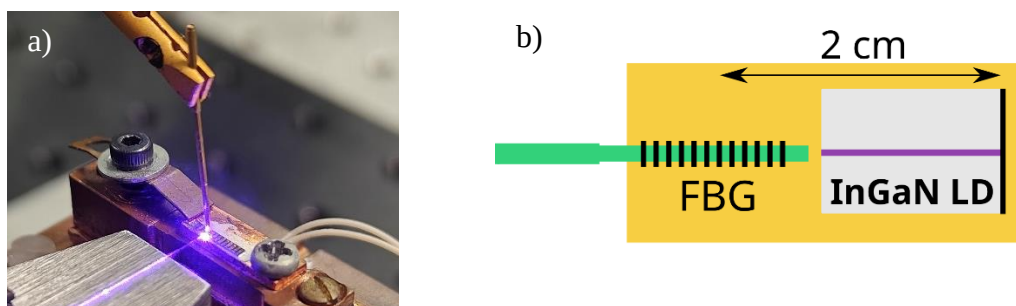


Figure 1 : Montage expérimental a) Diode laser intégrée en InGaN alimentée par un courant et couplée par bout à bout avec un réseau de Bragg fibré. La diode est également contrôlée en température par un module Pelletier. b) Représentation schématique du système. La cavité totale mesure environ 2 centimètres.

Le FBG associé à la diode laser permet d'obtenir un fonctionnement monomode stable et un affinement spectral de la diode laser sous contre-réaction optique. Un seul mode longitudinal de la diode laser doit être sélectionné. Pour cela, la largeur à mi-hauteur (FWHM) de la réflectivité du FBG doit être plus étroite que l'intervalle spectral libre (ISL) de la diode laser multimode (26 pm) pour assurer la sélection d'un seul mode longitudinal de la diode laser. Le FBG a été conçu en conséquence. Son spectre de transmission (Figure 2a, courbe bleue) affiche une réflectivité de 53,5 % et un FWHM évalué à 20 pm.

Le spectre optique de la diode laser a d'abord été caractérisé sans réseau de Bragg (courbe grise de la figure 2a). Sans rétroaction, le spectre optique de la diode révèle un fonctionnement multimode avec un SMSR maximal de l'ordre de 20 dB. En alignant soigneusement le réseau de Bragg devant la sortie de la diode laser Fabry-Perot, la largeur de bande du spectre du laser est considérablement réduite et présente un fonctionnement monomode à la longueur d'onde de Bragg avec un SMSR de 40 dB pour un courant de pompe de 124 mA (courbe rouge de la figure 2a). La puissance de sortie de la FGL peut atteindre jusqu'à 1,8 mW à 399,6 nm, ce qui correspond approximativement à 3,9 mW au niveau de la facette de sortie de la diode, ce qui est bien supérieur aux puissances optiques rapportées récemment par des approches alternatives dans le domaine spectral de l'UV proche [5-7]. Une mesure au Fabry-Perot d'analyse a également été réalisée, permettant à la fois d'estimer la largeur de raie du laser qui se révèle être inférieure à la résolution du système (3,9 MHz) mais également de confirmer le comportement monomode du système (Figure 2b).

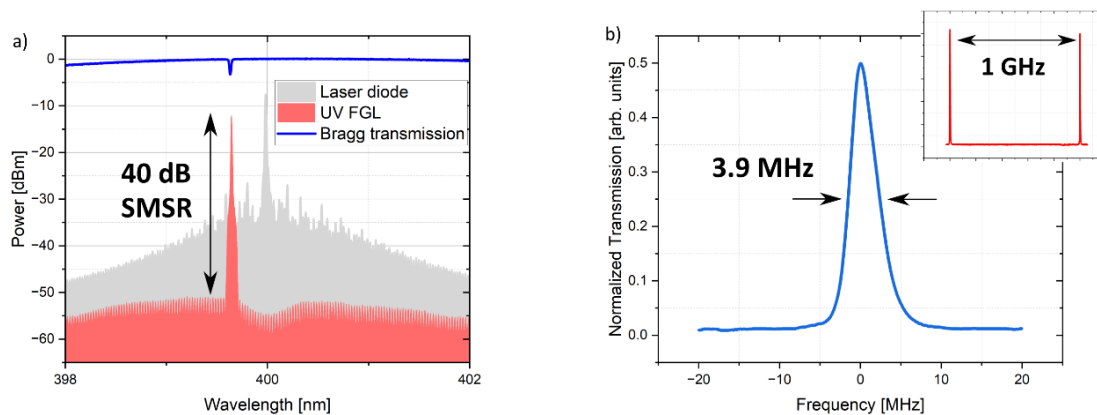


Figure 2 : Caractérisation spectrale du UV FGL. a) Spectre de la diode laser seule (courbe grise) et du UV FGL (courbe rouge) pour un courant de pompe de 124 mA. La courbe bleue correspond à la transmission du FBG. b) Spectre du UV FGL obtenu avec par un Fabry-Perot d'analyse (avec une résolution de 3.9 MHz et un ISL de 1 GHz). Insert : Spectre obtenu avec le Fabry-Perot d'analyse confirmant le régime monomode du système.

Un banc de caractérisation auto-homodyne basé sur un interféromètre Mach-Zehnder est utilisé pour déterminer le bruit de fréquence du laser. En utilisant la formule d'Elliott [9-12], la largeur de raie intrinsèque du laser peut être calculée à partir du plateau de fréquence h_0 correspondant au bruit blanc. Une valeur de $h_0 = 4149 \text{ Hz}^2/\text{Hz}$ donne une estimation de la largeur de raie intrinsèque de l'ordre de $14 \pm 2 \text{ kHz}$. L'intégration de la densité spectrale du bruit de fréquence et en particulier la contribution des basses fréquences donne accès à une estimation du profil de Voigt avec une largeur de raie de l'ordre de $720 \pm 120 \text{ kHz}$.

La prochaine étape est de concevoir un système possédant les mêmes performances spectrales que celui présenté plus haut mais en réduisant sa taille en remplaçant le FBG par un réseau de Bragg réalisé en optique intégrée. Pour réaliser de tels composants, l'utilisation de matériaux transparents dans cette gamme spectrale est nécessaire. Certains matériaux, comme le Si_3N_4 ou l' Al_2O_3 , ont déjà montré des pertes de propagation faibles dans cette gamme spectrale ($1,5 \text{ dB/cm}$ au plus bas) [8] et sont ainsi de bons candidats pour améliorer encore davantage les performances du dispositif notamment en termes de compacité. Plusieurs réseaux pour la gamme du bleu ont été simulés et sont en cours de fabrication. Leur caractérisation sera présentée afin de tester par la suite une contre-réaction optique avec une diode intégrée et un réseau de Bragg intégré. Ces résultats ouvrent la voie au développement d'une diode laser intégrée hybride fonctionnant dans le bleu et l'ultraviolet.

REFERENCES

- ¹ S. Harsdorf et al., Meas. Sci. Technol., 10, 1178 (1999)
- ² R. Gilbert et al., Environ. Sci. Technol. 53, 15 (2019)
- ³ E. Segev et al., Neurophoton. 4, 011002 (2016)
- ⁴ R. Godun et al., Phys. Rev. Lett. 113, 210801 (2014)
- ⁵ A. Siddharth, et al., APL Photonics 7, 046108 (2022)
- ⁶ M. Corato-Zanarella et al., Nat. Photonics 17, 157–164 (2023)
- ⁷ C. A. A. Franken, et al., arXiv:2302.11492, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2302.1492> (2023)
- ⁸ D. J. Blumenthal, APL Photon. 5, 020903 (2020)
- ⁹ D. S. Elliott, et al., Phys. Rev. A 26 (1), pp. 12 18 (1982)
- ¹⁰ G. M. Stéphan, et al., Phys. Rev. A 71 (4), 043809 (2005)
- ¹¹ G. Di Domenico, et al., Appl. Opt. 49 (25), 4801 (2010)
- ¹² K. Kikuchi, IEEE J. Quantum Electron 25 (4) pp. 684 688 (1989)