



HAL
open science

DIODE LASER MONOFRÉQUENCE PAR CONTRE RÉACTION D'UN RÉSEAU DE BRAGG FIBRÉ DANS LE PROCHE UV

Antoine Congar, Mathilde Gay, Georges Perin, Dominique Mammez,
Jean-Claude Simon, Pascal Besnard, Julien Rouvillain, Thierry Georges,
Laurent Lablonde, Thierry Robin, et al.

► **To cite this version:**

Antoine Congar, Mathilde Gay, Georges Perin, Dominique Mammez, Jean-Claude Simon, et al..
DIODE LASER MONOFRÉQUENCE PAR CONTRE RÉACTION D'UN RÉSEAU DE BRAGG
FIBRÉ DANS LE PROCHE UV. 40ième édition des Journées Nationales d'Optique Guidée (JNOG),
Jul 2021, Dijon, France. hal-04182850

HAL Id: hal-04182850

<https://hal.science/hal-04182850v1>

Submitted on 18 Aug 2023

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0
International License

DIODE LASER MONOFRÉQUENCE PAR CONTRE RÉACTION D'UN RÉSEAU DE BRAGG FIBRÉ DANS LE PROCHE UV

Antoine Congar¹, Mathilde Gay¹, Georges Perin¹, Dominique Mammez¹, Jean-Claude Simon¹, Pascal Besnard¹, Julien Rouvillain², Thierry Georges², Laurent Lablonde³, Thierry Robin³ et Stéphane Trebaol¹

¹ Univ Rennes, CNRS, Institut FOTON - UMR 6082, F-22305 Lannion, France

² Oxxius, 4 rue Louis de Broglie, 22300 Lannion, France

³ iXblue, rue Paul Sabatier, 22300 Lannion, France

antoine.congar@univ-rennes1.fr

RÉSUMÉ

Nous proposons un laser dans le proche-UV. Ses hautes propriétés de cohérence (taux de réjection des modes latéraux de 44 dB, largeur de raie intrinsèque de 16 kHz, puissance de 1,4 mW) et son architecture simple (un réseau de Bragg fibré et une diode commerciale InGaN/GaN sans traitement anti-reflet) en font un composant compact et compétitif.

MOTS-CLEFS : *diode InGaN/GaN, réseau de Bragg fibré, cohérence, proche-UV*

1. INTRODUCTION

La technologie des lasers émettant dans le bleu et le proche UV (NUV), à base de diodes InGaN émettant par la tranche, est aujourd'hui mature. Le marché, dominé par le Blu-ray et l'éclairage, nécessite des diodes puissantes et à bas coût. Cependant, des progrès sont encore à effectuer dans le domaine spectral, permettant de répondre aux exigences d'applications émergentes comme la spectroscopie Raman [1], les LiDAR sous-marins [2] ou les horloges optiques miniatures [3]. Des largeurs de raie dans la gamme de quelques GHz à des largeurs sub-MHz sont alors nécessaires.

Deux approches sont principalement rapportées pour réduire la largeur de raie. Dans une approche «monolithique», elle est obtenue par des perturbations de la cavité laser permettant une modulation de l'indice effectif le long du ruban du laser. Récemment, les premières diodes NUV monomodes (SLM) pompées électriquement ont été démontrées [4]. Dans la seconde approche, un composant externe induisant une contre-réaction est utilisé. Dans la majorité des dispositifs commerciaux, la fonction de filtrage est apportée par la cavité externe créée entre un réseau de diffraction, utilisé comme miroir, et la face de sortie de la diode. Ces dispositifs sont onéreux car ils nécessitent l'utilisation de composants opto-mécaniques et électroniques de précision ainsi qu'une diode dont la facette de sortie est traitée anti-reflet.

Dans cet article nous proposons une alternative, couramment utilisée aux longueurs d'onde télécom, dans laquelle la contre-réaction est obtenue par l'utilisation d'un réseau de Bragg fibré (FBG) [5].

2. DISPOSITIF ET BANC DE MESURE

Le composant sous test est représenté dans le rectangle en pointillés de la figure 1. Il est basé sur une diode InGaN/GaN commerciale émettant à 400 nm, dont la facette de sortie n'est pas traitée anti-reflet. Son intervalle spectral libre (ISL) est de 27 pm, soit 50.5 GHz (longueur de cavité : $L_c=1$ mm). Le faisceau émis par la diode est injecté dans la fibre via un coupleur après mise en forme grâce à un jeu de lentilles. Le réseau de Bragg est inscrit dans une fibre monomode en silice dopée au germanium. Cette première réalisation de réseau de Bragg à 400 nm implique l'utilisation d'un interféromètre de Talbot [6, 7] pour soumettre la fibre à un réseau de franges transverse sans avoir recours à un masque de phase, indisponible à cette longueur d'onde. La cavité externe, formée par le réseau de Bragg et la face de sortie de la diode a une longueur d'environ 7 cm dont une partie en espace libre. Son ISL est d'environ 1,5 GHz. Nous définissons deux régimes de fonctionnement selon la résolution avec laquelle le spectre est étudié. La figure 1 représente schématiquement le montage expérimental utilisé. Le faisceau est séparé en deux

voies. Sur la voie 2, le spectre est mesuré grâce à un analyseur de spectre optique (ASO) (résolution $\simeq 10$ pm) qui nous permet d'identifier un régime **monomode** (SLM), dans lequel le laser est forcé à émettre sur un mode de la diode laser par le réseau de Bragg. La voie 1, quant à elle, permet de résoudre l'ISL de la cavité externe (plusieurs dizaines de fois inférieure à la résolution de l'ASO). L'utilisation d'un Fabry-Perot d'analyse (FPA) (ISL 1 GHz ; résolution 2,4 MHz) donne alors accès à la caractérisation d'un régime que nous appellerons **monofréquence** (MF), dans lequel le laser émet sur un mode de la cavité externe. Le FPA peut être utilisé comme un discriminateur de fréquence afin de convertir les fluctuations de fréquence du laser en fluctuations d'intensité, mesurées sous forme de densité spectrale de puissance sur un analyseur de spectre électrique (ASE). Ceci permet de remonter à la valeur de la largeur de raie.

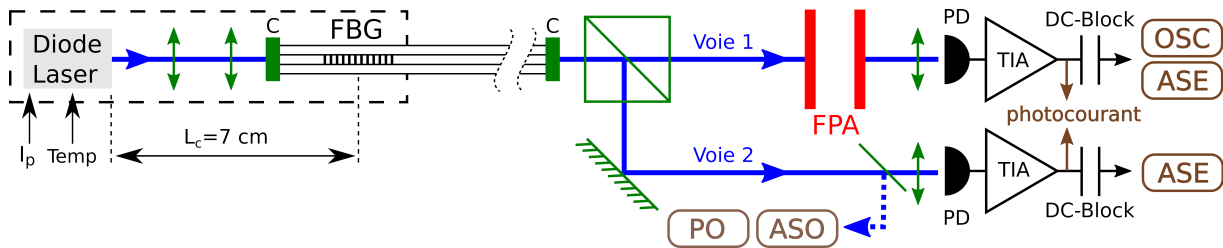


FIGURE 1 : Montage expérimental. La diode est contrôlée en courant (I_p) et en température (Temp). Après mise en forme, le faisceau est injecté dans la fibre grâce à un coupleur (C). Les mesures de puissance optique (PO), de spectre à l'analyseur de spectre optique (ASO) et de bruit d'intensité sont réalisées sur la voie 2. La voie 1 permet de scanner la raie laser à travers un Fabry-Perot d'analyse (FPA) ou de mesurer le bruit de fréquence. Le signal électrique généré par la photodiode (PD) via un amplificateur transimpédance (TIA) est analysé sur un oscilloscope (OSC) ou un analyseur de spectre électrique (ASE).

La versatilité du processus de fabrication du réseau de Bragg permet de choisir la largeur à -3 dB de sa bande de réflexion, qui doit être inférieure à l'ISL de la diode. Elle est ici d'environ 20 pm. La diode n'étant pas traitée anti-reflet, nous sommes en présence de deux cavités couplées. Le comportement SLM est atteint lorsque la diode est soumise à un régime de couplage fort [8] caractérisé par l'expression $\eta^2 R_B > R_{DL}$, qui permet de déterminer la réflectivité minimum que doit avoir le miroir de Bragg, η étant le coefficient de couplage du coupleur et R_{DL} la réflectivité de la facette de sortie. Dans la présente configuration, le réseau a une réflectivité $R_B = 70\%$.

3. RÉSULTATS

La figure 2 a) montre l'influence de la contre-réaction sur la diode laser. Le spectre noir est celui de la diode non filtrée. Très multimode, il présente en outre un phénomène de cluster modal typique des diodes GaN [9]. Un mode de la diode est sélectionné, lorsqu'elle est soumise à la contre-réaction du FBG. Pour un courant de pompe d'environ 95 mA, on obtient une puissance de 1,4 mW et le spectre (en bleu sur la figure 2 a)) présente un mode principal dominant les modes latéraux avec un taux de réjection (SMSR) de 44 dB. Le recouvrement entre un mode spécifique de la diode et la bande de réflexion du réseau peut être optimisé en ajustant la tension du FBG et le courant de pompe de la diode. L'ajustement de la longueur d'onde du réseau sur le maximum de gain de la diode permet d'optimiser le SMSR.

Une mesure au Fabry-Perot d'analyse (ISL 1 GHz) démontre, au prix d'une stabilisation mécanique et thermique du dispositif laser, le caractère monofréquence de l'émission et justifie la mesure du bruit de fréquence (figure 2 b)). Les largeurs de raie sont obtenues à partir de cette mesure de bruit de fréquence, en utilisant la méthode de la beta-line [10]. Au dessus de 10 kHz, la courbe représente un bruit blanc caractéristique de la contribution Lorentzienne (ligne pointillée violette) de la raie laser, permettant d'extraire sa largeur intrinsèque de 16 ± 5 kHz. Avant 10 kHz, la courbe présente une pente en $1/f^2$ traduisant l'influence des diverses contributions extérieures (acoustique, thermiques, électromagnétiques). On en extrait la largeur de 950 kHz pour 10 ms d'intégration. Ces mesures placent les performances spectrales

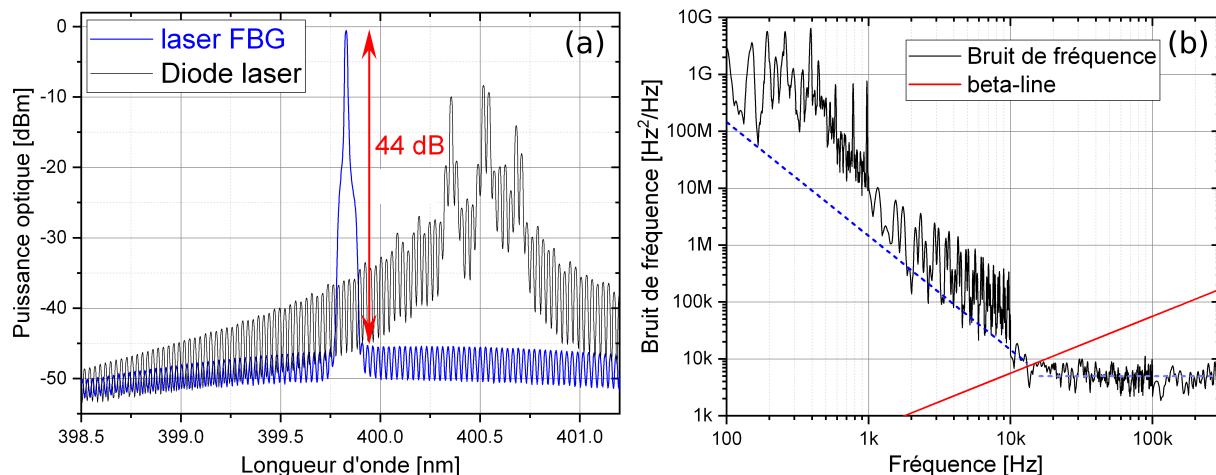


FIGURE 2 : a) Spectres de la diode non perturbée (noir) et sous contre-réaction par le FBG (bleu). Le SMSR est de 44 dB pour une puissance optique de 2,4 mW. b) Bruit de fréquence pour un courant de pompe de 1,26 fois le courant de seuil.

du laser à réseau de Bragg fibré au niveau de lasers équivalents dans le NUV [11], tout en présentant une architecture simplifiée.

4. CONCLUSION

L'utilisation d'un réseau de Bragg fibré pour la contre-réaction d'un laser InGaN/GaN permet d'obtenir une source laser NUV entièrement fibrée, compacte et à bas coût. Nous démontrons un fonctionnement monomode avec un SMSR de 44 dB et une largeur de raie intrinsèque de 16 kHz pour une puissance de 1,4 mW. Ces résultats ouvrent la voie vers la réalisation de dispositifs commerciaux compétitifs et performants.

RÉFÉRENCES

- [1] P. Larkin, *Infrared and Raman Spectroscopy*. Elsevier Science, London, 2011.
- [2] L. K. Rumbaugh *et al.*, "An underwater chaotic lidar sensor based on synchronized blue laser diodes," in *Proc.SPIE*, vol. 9827, may 2016, p. 98270I.
- [3] V. Maurice *et al.*, "Miniaturized optical frequency reference for next-generation portable optical clocks," *Opt. Express*, vol. 28, no. 17, pp. 24 708–24 720, 2020.
- [4] T. J. Slight *et al.*, "Continuous-wave operation of (Al,In)GaN distributed-feedback laser diodes with high-order notched gratings," *Applied Physics Express*, vol. 11, no. 11, p. 112701, 2018.
- [5] R. Kashyap, *Fiber Bragg Gratings*. San Diego, USA : Academic press, 1999.
- [6] K. Stump, T. K. Plant, and Y. Sun, "Variable wavelength fibre Bragg gratings written with diffractive optical element," *Electronics Letters*, vol. 36, no. 6, pp. 567–569, 2000.
- [7] L. Lablonde, "Réseau de Bragg fibré pour le filtrage à bande étroite de l'émission autour de 400 nm d'une diode laser InGaN," in *39ièmes JNOG, Paris Saclay, France*, juillet 2019.
- [8] K. Petermann, *Laser Diode Modulation and Noise*. Springer Science & Business Media, Berlin, 1988.
- [9] A. Congar *et al.*, "Impact of mode-hopping noise on InGaN edge emitting laser relative intensity noise properties," *IEEE Journal of Quantum Electronics*, vol. 54, no. 1, 2017.
- [10] G. Di Domenico, S. Schilt, and P. Thomann, "Simple approach to the relation between laser frequency noise and laser line shape," *Applied Optics*, vol. 49, no. 25, p. 4801, 2010.
- [11] X. Zeng and D. L. Boiko, "1/f noise in external-cavity InGaN diode laser at 420 nm wavelength for atomic spectroscopy," *Optics letters*, vol. 39, no. 6, pp. 1685–1688, 2014.