



HAL
open science

Dynamique spectrale et propriétés de bruit dans les lasers InGaN

Antoine Congar, Kamal Hussain, Christelle Pareige, Jean-Michel Lamy, Eric Feltin, Raphaël Butté, Nicolas Grandjean, Pascal Besnard, Stephane Trebaol

► **To cite this version:**

Antoine Congar, Kamal Hussain, Christelle Pareige, Jean-Michel Lamy, Eric Feltin, et al.. Dynamique spectrale et propriétés de bruit dans les lasers InGaN. OPTIQUE Bordeaux 2016 - 36è Journées Nationales d'Optique Guidée (JNOG'36), Jul 2016, Bordeaux, France. hal-01959573

HAL Id: hal-01959573

<https://hal.science/hal-01959573v1>

Submitted on 18 Dec 2018

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.

DYNAMIQUE SPECTRALE ET PROPRIETES DE BRUIT DANS LES LASERS INGAN.

A. Congar¹, K. Hussain¹, C. Pareige¹, J.-M. Lamy², E. Feltin³,
R. Butté², N. Grandjean², P. Besnard¹, S. Trebaol¹,

¹Laboratoire FOTON UMR CNRS 6082, Université Rennes 1, ENSSAT, 22305 Lannion, France

²Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Institute of Physics, CH-1015 Lausanne, Suisse

³NOVAGAN s.a.r.l., Chemin de Mornex 5, CH-1003 Lausanne, Suisse

antoine.congar@univ-rennes1.fr

RÉSUMÉ

Cet article présente les caractéristiques spectrales et de bruit d'intensité d'un laser InGaN émettant autour de 420 nm. En particulier, nous mettons en évidence l'évolution de la structure modale du laser en fonction du courant de pompe, celle-ci oscillant entre fonctionnement monomode, multimode. Cette dynamique spectrale du laser implique une compétition de gain entre les modes longitudinaux engendrant une augmentation du bruit d'intensité, cette remontée de bruit pouvant être problématique dans des applications nécessitant un rapport signal à bruit significatif.

MOTS-CLEFS : nitrure de gallium; bruit d'intensité; sauts de mode.

1. INTRODUCTION

De nombreuses applications nécessitent l'utilisation de sources cohérentes fiables et compactes facilement intégrables dans les systèmes photoniques. L'étude des composants photoniques à base de nitrure de gallium (GaN) constitue un axe de recherche important dans la gamme 400 à 450 nm pour des applications telles que le stockage de données, les spectroscopies linéaire et non-linéaire [1] ou encore dans les communications optiques sous-marines [2] et LiFi. Notre étude porte sur des lasers à semi-conducteurs en GaN pompés électriquement. La zone active est une hétérostructure à base de puits quantiques en InGaN de 4,5 nm d'épaisseur. La caractérisation fine de ces structures constitue un premier pas vers l'obtention de structures plus cohérentes et monomodes.

2. RESULTATS

Le montage expérimental permet la mesure simultanée de la puissance optique, du spectre et du bruit d'intensité (Relative Intensity Noise (RIN)). Nous avons étudié les dynamiques croisées du RIN et du comportement spectral en fonction du courant de pompe. Les structures sous test sont des lasers Fabry-Perot émettant dans le violet/bleu (400-450 nm), dont les détails de fabrication sont donnés dans la référence [3]. Notre étude met en évidence l'impact de la dynamique spectrale sur le RIN du laser. En outre, les signatures spectrales du laser telles que *mode clustering*, *redshifts* induisant des sauts de modes sont analysées. Une largeur de *ridge* de 2,5 μm assure une structure monomode transverse du faisceau laser. La courbe P(I) (Fig 1 a) décrit une dépendance linéaire de la puissance optique au courant de pompe. Cette mesure statique masque la riche dynamique de redistribution spectrale de l'énergie en fonction du courant de pompe. Sous le seuil (Fig 1 b) le laser est en régime d'émission spontanée amplifiée. Le profil de gain présente une modulation d'une périodicité de 800 pm, soit 16 fois l'intervalle spectral libre (ISL) attendu.

Plusieurs phénomènes physiques peuvent expliquer ce comportement de *mode clustering*. Le plus probable serait l'existence de modes se propageant dans le substrat. Un couplage avec le mode optique lorsque la couche dopée n est fine ($< 2 \mu\text{m}$) expliquerait cette sur-modulation du spectre [4]. Lorsque le courant augmente, le laser adopte un comportement monomode avec un ratio de suppression des modes latéraux de 24 dB. A 160 mA ($2,5 I_{\text{th}}$), deux modes sont présents

simultanément. Deux hypothèses sont envisageables : d'une part l'existence de deux modes stables, d'autre part une compétition entre deux modes échangeant de l'énergie par l'intermédiaire d'une redistribution du gain modal. Toutefois, Le temps d'intégration de l'analyseur de spectre optique ne peut pas permettre de trancher en faveur d'une des deux hypothèses.

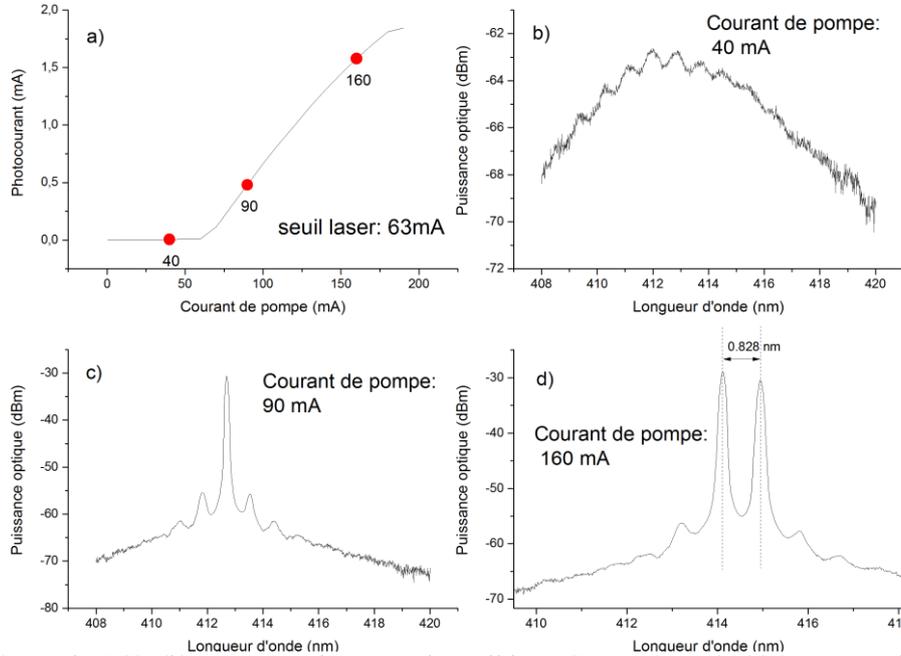


Fig. 1: (a) Courbe P(I). (b) Spectre optique sous le seuil laser ($I_{seuil} = 63$ mA), (c) à $1,4 I_{seuil}$, (d) à $2,5 I_{seuil}$.

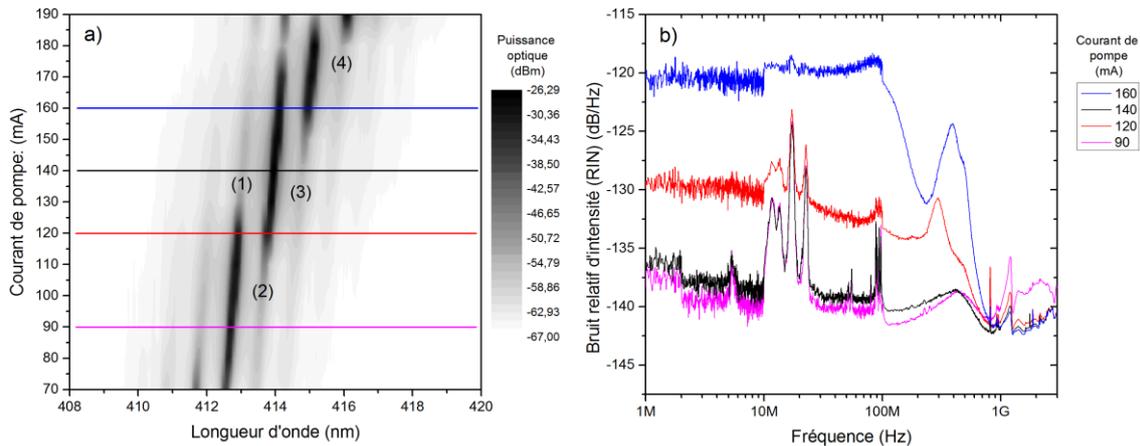


Fig. 2 : (a) Évolution de la puissance optique en fonction du courant de pompe et de la longueur d'onde. Mode 1: 90 mA, mode 2: 140 mA, mode 3: 170 mA, mode 4: 200 mA. (b) RIN à plusieurs valeurs du courant de pompe. Les pics entre 10 et 30 MHz sont des artefacts dus à l'alimentation électrique.

La figure 2 a) montre l'évolution spectrale du laser avec le courant de pompe. On constate un décalage vers le rouge (0,0239 nm/mA) par sauts successifs du mode principal. L'augmentation du nombre de porteurs se traduit par une hausse de température qui provoque un décalage de la courbe de gain [5],[6]. Lors de la transition d'un mode à l'autre, les modes peuvent présenter simultanément une intensité significative. De plus, le mode principal lui-même subit un léger décalage vers le rouge (légère pente de 0,0075 nm/mA) probablement dû à la variation d'indice de réfraction qu'induit l'augmentation du nombre de porteurs [7]. Les Figures 2 a) et 2 b) permettent d'étudier la dynamique fréquentielle du RIN en fonction du régime laser. Au-dessus du seuil, à

90 mA le régime est monomode, la courbe de RIN est celle que l'on attend d'un laser de classe B : faible valeur relativement constante (-140 dB/Hz) à basse fréquence et pic de relaxation à plus haute fréquence, en l'occurrence 1,5 GHz pour ce laser. Lorsqu'on augmente le courant de pompe cette résonance se déplace vers les hautes fréquences [8]. Ce phénomène n'est pas visible sur la figure car la fréquence de coupure de la chaîne de détection est de 2 GHz¹. A 120 mA le laser est multimode ce qui se traduit par l'augmentation du RIN à basses fréquences et par l'apparition d'un pic vers 300 MHz. Cette augmentation du bruit confirme l'hypothèse selon laquelle il y aurait deux modes en compétition se partageant le gain. Le laser est temporairement monomode et oscille d'un mode à l'autre. Cette instabilité se traduit par une augmentation du bruit à basse fréquence. Ce phénomène de bruit dû à une compétition de mode a déjà été décrit dans les structures III/V [9]. Lorsque le courant augmente à 140 mA, le mode (2) prend le dessus sur le mode (1) suite au décalage de la courbe de gain. Le laser retrouve alors un fonctionnement monomode. Le RIN retombe à -140 dB/Hz. A 160 mA, les modes (2) et (3) sont en compétition et l'on constate une très forte augmentation du RIN d'environ 20 dB par rapport à la situation monomode. Le comportement de ces lasers peut être modélisé par un système d'équations différentielles couplées faisant intervenir un gain modal contenant un terme de saturation croisée non linéaire à l'origine des sauts de modes. Il faut aussi inclure les forces de Langevin représentant les bruits de photons et de porteurs pour rendre compte de la dynamique observée expérimentalement [9].

CONCLUSION

Lors de cette étude, nous avons pu mettre en évidence la forte corrélation existant entre le régime mono ou multimode et le RIN des lasers InGaN. Les forts niveaux de bruit s'expliquent par la compétition entre deux modes consécutifs se partageant le même gain, les modes étant alternativement et temporairement monomodes. Le passage d'un mode à l'autre se fait à la faveur d'un décalage de la courbe de gain vers les grandes longueurs d'onde. Nous développons un modèle pour simuler le spectre et le RIN. Cette étude montre que pour certains courants de pompe les lasers InGaN présentent une dynamique de bruit d'intensité pouvant être rédhibitoire pour certaines applications.

REFERENCES

- [1] X. Zeng et al., "1/f noise in external-cavity InGaN diode laser at 420 nm wavelength for atomic spectroscopy," vol. 39, no. 6, pp. 1685–1688, 2014.
- [2] Y.-C. Chi et al., "450-nm GaN laser diode enables high-speed visible light communication with 9-Gbps QAM-OFDM," *Opt. Express*, vol. 23, no. 10, p. 13051, 2015.
- [3] J. Dorsaz et al., "AlGaIn-Free Blue III-Nitride Laser Diodes Grown on c-Plane GaN Substrates," *Appl. Phys. Express*, vol. 3, no. 9, p. 092102, Sep. 2010.
- [4] V. Laino et al., "Substrate modes of (Al,In)GaN semiconductor laser diodes on SiC and GaN substrates," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 43, no. 1, pp. 16–24, 2007.
- [5] T. Meyer et al., "Spectral dynamics of 405 nm (Al,In)GaN laser diodes grown on GaN and SiC substrate," *Opt. Express*, vol. 16, no. 10, pp. 6833–6845, 2008.
- [6] Y. P. Varshni, "Temperature dependence of the energy gap in semiconductors," *Physica*, vol. 34, no. 1, pp. 149–154, 1967.
- [7] M. S. Romadon et al., "Longitudinal modes evolution of a GaN-based blue laser diode," *Opt. Laser Technol.*, vol. 70, pp. 59–62, 2015.
- [8] J. Müller et al., "Gain analysis of blue nitride-based lasers by small signal modulation," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 96, no. 13, pp. 131105-1,131105-3, 2010.
- [9] M. Ahmed and M. Yamada, "Influence of instantaneous mode competition on the dynamics of semiconductor lasers," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 38, no. 6, pp. 682–693, 2002.

¹ Mesure effectuée sur d'autres échantillons (non présenté dans cet article).