

LASER HYBRIDE INTEGRE SUR $\text{InP-Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2$ A FAIBLE LARGEUR DE RAIE

SYLVAIN BOUST^{1,3}, PEPPINO PRIMIANI^{1,3}, CARMEN GOMEZ¹, JEAN-FRANÇOIS PARET¹, ALEXANDRE GARREAU¹, KARIM MEKHAZNI¹, CATHERINE FORTIN¹, MATHILDE MAKHSIYAN¹, JEAN-MARC FEDELI², FRANÇOIS DUPORT¹, FREDERIC VAN DIJK¹, ET MARC VALLET³

¹ III-V Lab, GIE entre Thales Research and Technology, Nokia, et CEA LETI, 91767 Palaiseau Cedex, France

² CEA LETI, 38054 Grenoble, France

³ Univ Rennes, CNRS, Institut FOTON – UMR 6082, F-35000 Rennes, France

sylvain.boust@3-5lab.fr

RÉSUMÉ

Nous présentons un laser hybride intégré sur puce $\text{InP-Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2$ atteignant une largeur de raie de 23 kHz. Une accordabilité électrique continue de 91 pm à 1546,1 nm, combinée à un taux de réjection moyen de 74 dB, est expérimentalement démontrée.

MOTS-CLEFS : *circuits intégrés photoniques, laser semiconducteur hybride.*

1. INTRODUCTION

Les sources lasers 1,55 μm de grande pureté spectrale sont des éléments clés pour la mesure précise de distance ou de vitesse (LiDAR) ou la transmission cohérente de données, en espace libre ou par fibre. Pour atteindre de faibles largeurs de raie, une longue cavité laser avec peu de pertes est nécessaire [1]. Pour y parvenir en photonique intégrée, une technique est de former une longue cavité laser par l'aboutement d'un milieu actif semiconducteur en matériaux III-V avec un composant passif en silicium [2].

Ce papier présente un laser hybride formé par un amplificateur optique à semi-conducteur avec une facette traitée haute réflectivité (RSOA) sur InP associé à un guide d'onde à faibles pertes en $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2$ contenant un réseau de Bragg (Fig. 1).

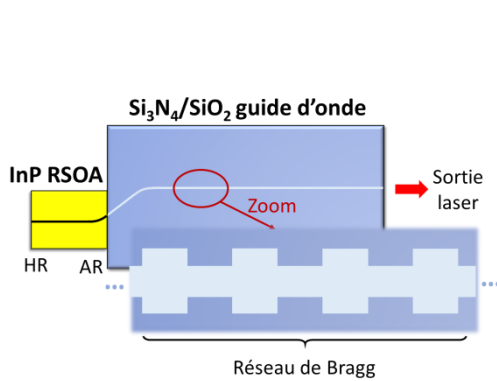


Fig. 1 : Schéma de la cavité laser : le réseau de Bragg est contenu dans le guide d'onde $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2$.

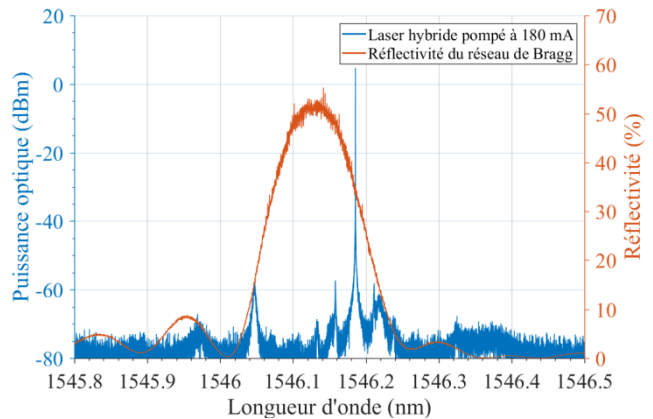


Fig. 2 : Spectre optique d'un laser hybride proche d'un saut de mode (bleu) et spectre en réflexion du réseau de Bragg (orange). Les pics à 1546,16 nm et 1546,21 nm sont des artefacts liés à l'analyseur de spectre optique.

2. LASER MONOMODE A FAIBLE LARGEUR DE RAIE

Le RSOA, réalisé au laboratoire en technologie InP, est basé sur une structure SIBH (structure ruban enterrée utilisant des caissons latéraux en matériau semi-isolant) à confinement

optique asymétrique (SCOWA). Ce composant actif de 1 mm de long présente un gain centré à $1,55 \mu\text{m}$ assez fort (de l'ordre de la vingtaine de dB) pour compenser les pertes d'une longue cavité externe aboutée. La face traitée HR constitue l'un des miroirs du résonateur laser.

La cavité laser est fermée au moyen d'un guide d'onde Si_3N_4 entouré de silice au bout duquel est gravé un réseau de Bragg. Les faibles pertes du guide (1 dB/cm) et la longueur de la cavité réalisée sont des éléments clés pour obtenir une faible largeur de raie. Soulignons que le réseau de Bragg doit également avoir une réflectivité suffisamment étroite pour garantir un régime monomode du laser. Pour former ce réseau de Bragg, nous avons varié périodiquement la largeur du guide d'onde entre $2,9 \mu\text{m}$ et $3,7 \mu\text{m}$. Ainsi, tous les $5,797 \mu\text{m}$, une dent de dimension $264 \times 400 \text{ nm}$ est placée de part et d'autre du guide d'onde formant ainsi un réseau de Bragg du 21^{ème} ordre, mesurant $6,47 \text{ mm}$ de long. Nous avons mesuré au moyen d'un circulateur la réflectivité de ce réseau (Fig. 2). Sa largeur totale à mi-hauteur est de 139 pm . Cette valeur doit être proche de l'intervalle spectral libre (ISL) de la future cavité laser pour que le laser soit monomode. La réflectivité maximale a été choisie selon le compromis suivant : peu réfléchissante pour favoriser une forte puissance laser de sortie, mais suffisamment réfléchissante pour diminuer les pertes associées au miroir de sortie, et par conséquent favoriser une faible largeur de raie [1].

Pour mettre bout à bout les composants, nous utilisons un dispositif d'alignement dynamique avec des platines de translations micrométriques. Enfin, le faisceau de sortie est collecté au moyen d'une fibre lentillée placée derrière le circuit passif.

Sur la figure 2 est montré un spectre d'émission typique. Nous observons le mode principal (à $1546,19 \text{ nm}$) ainsi qu'un mode secondaire (à $1546,05 \text{ nm}$) fortement rejeté de 65 dB. Notons que ce cas est le plus défavorable car le laser oscille en bord de réflectivité du réseau. Dans les meilleurs cas (oscillation centrée sur le réseau), la réjection est supérieure à 78 dB. Enfin, nous mesurons un ISL de 140 pm , ce qui correspond à une cavité de longueur géométrique effective de $4,66 \text{ mm}$.

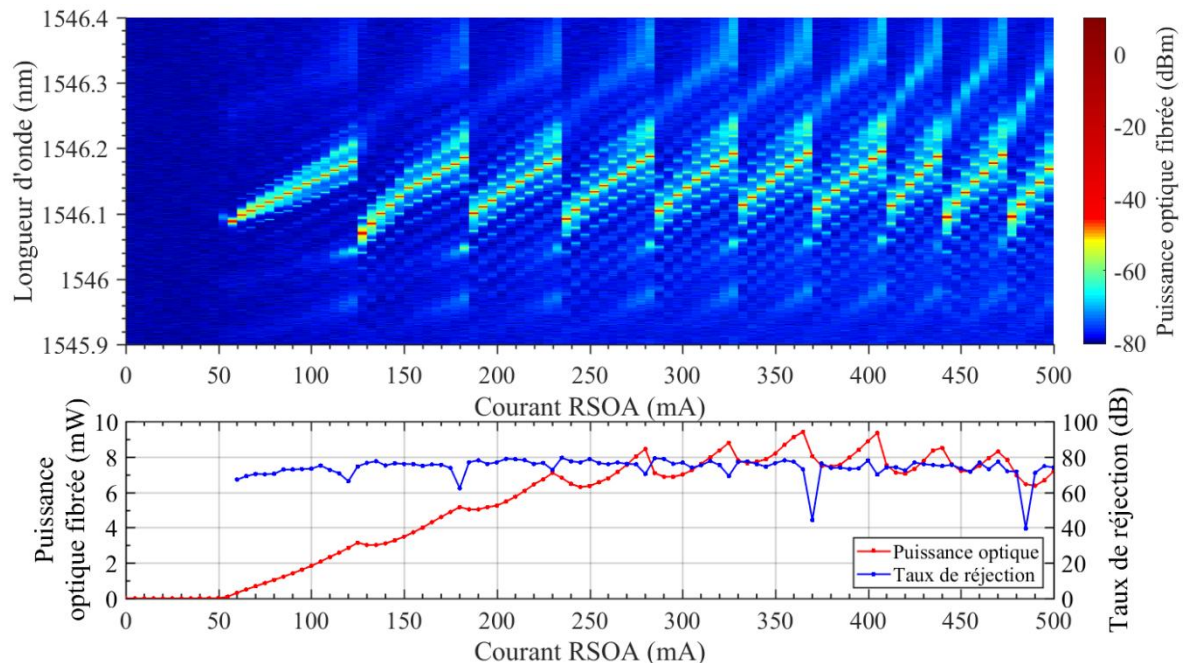


Fig. 3 : Spectres optiques (a) et puissance optique (b) couplée dans la fibre en fonction du courant du RSOA. La dynamique de la mesure limite à 78 dB le taux de réjection maximum mesurable.

Pour évaluer l'accordabilité en longueur d'onde et vérifier le caractère monomode du laser, nous avons mesuré l'évolution du spectre en fonction du courant du RSOA. Ce mode d'accordabilité pourra être utilisé pour des applications LiDAR. Nous observons une accordabilité continue de 91 pm , et un taux de réjection moyen de 74 dB. Sur le graphique ci-dessus, nous

relevons un seuil à 55 mA, et une puissance couplée dans la fibre dépassant 9 mW, correspondant à une puissance sortant du laser de plus de 20 mW.

En augmentant le courant de pompe, la longueur d'onde d'émission laser croît à cause de l'échauffement du composant modifiant alors la longueur optique de la cavité. Cette augmentation est limitée par la largeur spectrale de la réflectivité du réseau de Bragg, entraînant régulièrement des sauts de modes longitudinaux (Fig. 3a) également repérable par des discontinuités de puissance et une dégradation ponctuelle du taux de réjection du mode secondaire (Fig. 3b).

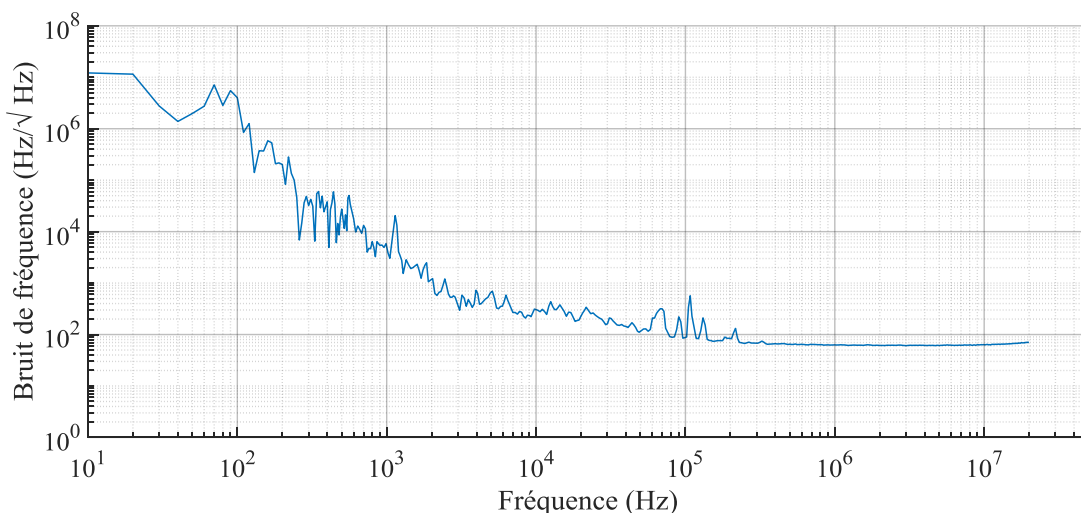


Fig. 4 : Bruit de fréquence optique acquis pour un courant de RSOA de 235 mA

Nous avons mesuré le bruit de fréquence associé à la fréquence optique de notre laser par un montage auto-hétérodyne retardé utilisant 10 km de fibre comme délai (Fig. 4). À partir du plancher de bruit, nous calculons [3] une largeur de raie Lorentzienne moyenne de 23 kHz. Cette largeur de raie se rapproche de l'état de l'art [4], mais elle reste limitée par l'instabilité de la cavité attribuée aux vibrations mécaniques du système d'aboutement dont la contribution est visible à basse fréquence. Ce problème sera amélioré lors de la mise en module du laser, les éléments optiques étant alors solidarisés.

CONCLUSION

Nous avons démontré le design et la caractérisation d'un laser hybride InP-Si₃N₄/SiO₂ basé sur l'aboutement d'un RSOA et d'un réseau de Bragg très sélectif en longueur d'onde. La puissance optique fibrée de 9 mW, le taux de réjection moyen de 74 dB, et la faible largeur de raie à 23kHz font de ce laser un choix prometteur pour des applications LiDAR. En travaillant sur le processus de fabrication du guide d'onde Si₃N₄/SiO₂, nous comptons diminuer ses pertes de propagation en dessous de 0,1 dB/m et ainsi réduire la largeur de raie. De plus, d'autres applications comme la génération de peignes de fréquences à faible ISL seront alors réalisables sur la base de la même plateforme technologique.

REFERENCES

- [1] R. F. Kazarinov and C. H. Henry, "The Relation of Line Narrowing and Chirp Reduction Resulting from the Coupling of a Semiconductor Laser to a Passive Resonator," *IEEE J. Quant. Electron.*, vol 23, pp 1401-1409 (1987).
- [2] H. Debregeas *et al*, "2kHz linewidth C-band tunable laser by hybrid integration of reflective SOA and SiO₂ PLC external cavity," *Proc. of the 2014 International Semiconductor Laser Conf.*, pp. 50–51 (2014).
- [3] O. Llopis *et al*, "Phase noise measurement of a narrow linewidth CW laser using delay lines approaches". *Opt. Lett.*, vol 36, pp 2713-2715 (2011).
- [4] Y. Fan *et al*, "290 Hz intrinsic linewidth from an integrated optical chip-based widely tunable InP-Si₃N₄ hybrid laser", 2017 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO), San Jose, CA (2017)