

Lasers à verrouillage de mode actif fondamental et harmonique sur plateforme InP/Si₃N₄

Sylvain Boust¹, Jérôme Bourderionnet¹, Ghaya Baili¹, Sylvain Combrié¹, Yasmine Ibrahim², Alexandre Garreau², Karim Mekhazni², Catherine Fortin², François Duport², Frédéric van Dijk², Arnaud Brignon¹

¹Thales Research and Technology, 91767 Palaiseau Cedex

²III-V Lab, GIE entre Thales Research and Technology, Nokia et CEA LETI, 91767 Palaiseau Cedex

Les peignes de fréquences optiques générés sur photonique intégrée permettent de répondre à de nombreuses applications. Grâce à leur compacité, leur faible consommation électrique, et leur facilité de mise en œuvre à grande échelle, ces sources pourraient être utilisées dans la spectroscopie des gaz à effet de serre [1], ou la génération de forme d'ondes et le traitement du signal sur porteuse RF pour des applications radar [2]. Le verrouillage actif harmonique, dans une cavité de dynamique Classe-A [3], permet d'aller naturellement vers une fréquence de répétition élevée tout en garantissant une réjection drastique du bruit d'émission spontanée amplifiée (ASE) grâce à la fonction de filtrage du laser. La maîtrise d'une dynamique de classe A repose sur la maîtrise de cavités à fort facteur de qualité. La maturité technologique de la photonique intégrée permet de maîtriser progressivement ce point, et nous proposons dans ce papier son optimisation via un exemple précis.

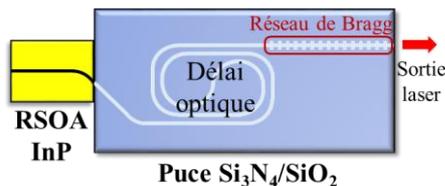


Figure 1 : Schéma d'une cavité laser. Selon la configuration, le délai optique vaut 21 mm, 163 mm ou 461 mm.

ISL _{cavité} théorique	Harmonique utilisée	f _{RF} (GHz) injecté	I _{RSOA} (mA)	P _{opt} fibrée (dBm)
3,5 GHz	1 ^{ère}	3,6356	82	-2.3
500 MHz	7 ^{ème}	3,5372	114	-1.7
175 MHz	20 ^{ème}	3,6043	145	-2.7

Tableau 1 : Configurations testées. La puissance RF injectée de 30 dBm est générée par un Anritsu MG3694C.

Nous avons conçu trois lasers à cavité étendue (Figure 1) basés sur l'aboutement d'un amplificateur optique à semi-conducteur (RSOA fabriqué par le III-V Lab) en InP et d'une cavité passive comprenant un retard optique et d'un réseau de Bragg en Si₃N₄ (composant fabriqué par Ligentec). L'objectif est de verrouiller en phase les modes optiques d'un peigne de fréquence en modulant la section de gain du RSOA à une fréquence de 3,5 GHz (harmonique d'ordre 1 ou d'ordre élevé de l'intervalle spectral libre (ISL) de la cavité laser). Les trois lasers ont des longueurs de cavités différentes, formant des ISLs théoriques de 3,5 GHz, 500 MHz, et 175 MHz. Dans ce papier, nous comparons les peignes de fréquences générés à 3,5 GHz par ces trois cavités soit respectivement à leur fréquence fondamentale, la 7^{ème} harmonique, et la 20^{ème} harmonique.

En utilisant des contrôleurs de précision micrométrique, nous pouvons aligner le RSOA devant différentes lignes à retard du composant Si₃N₄ et ainsi tester les trois configurations décrites au-dessus. Pour celles-ci, nous avons simultanément mesuré les spectres optiques (Figure 2a-c), les spectres électriques (Figure 2d-f) et leur bruit de phase RF à la fréquence de répétition de 3,5 GHz (Figure 2g). Pour faciliter la comparaison, nous avons veillé à pomper le RSOA de manière à équilibrer au mieux la puissance extraite de ces trois cavités (Tableau 1).

Les spectres optiques montrent des peignes de fréquences dont le nombre de raies diminue pour les cavités les plus longues. En effet, en travaillant en régime harmonique plusieurs hypothèses peuvent l'expliquer : le taux de pompage et les conditions de dispersion de la cavité sont différents et en outre la modulation appliquée est moins efficace à courant élevé du RSOA. Les spectres RF montrent un bon verrouillage des modes par la finesse et la bonne amplitude des raies multiples de 3,5 GHz, et par la forte réjection des modes multiples de la fréquence fondamentale (Figure 2e et f).

Les mesures de bruit de phase (Figure 2g) permettent de souligner la qualité du verrouillage des modes : hormis des bruits techniques potentiellement liés à des instabilités de couplage et des bruits

d'alimentation, les bruits de phase des trois cavités sont limités par le bruit du générateur RF utilisé jusqu'à 500 kHz. Au-delà, nous observons le bénéfice du verrouillage harmonique : le bruit de la cavité à 3,5 GHz plafonne à -136 dBc/Hz, alors que le bruit des cavités à 500 MHz et 175 MHz sont filtrés respectivement à -140 dBc/Hz et -138 dBc/Hz grâce à la fonction de filtrage de ces cavités à plus fort facteur de qualité. Par exemple, la cavité avec un ISL de 175 MHz montre une fréquence de coupure de quelques MHz conforme à nos attentes. La cavité à 500 MHz montre un meilleur filtrage du bruit de phase grâce à un meilleur compromis longueur/pertes.

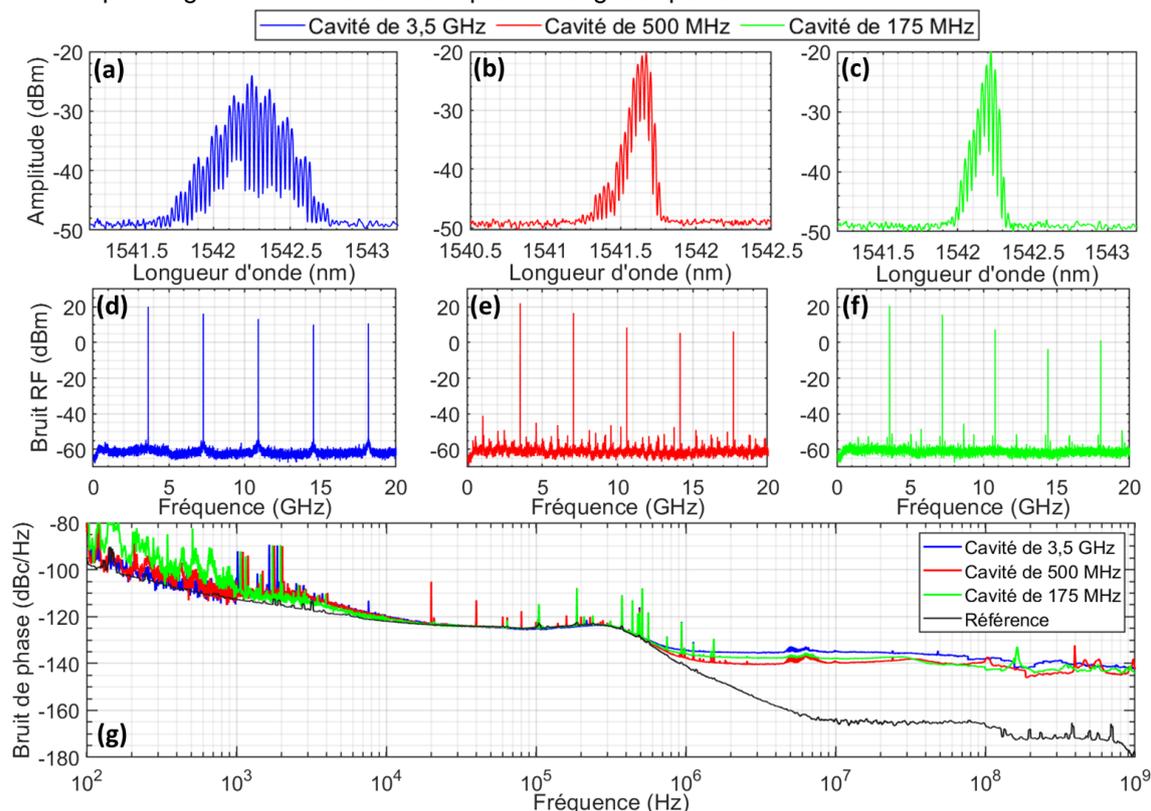


Figure 2 : Spectres optiques (a-c) et électriques (d-f) des peignes de fréquences des trois cavités. (g) Bruit de phase acquis par un analyseur R&S FSWP, avec une photodiode DSC40S et deux amplificateurs RF ZVA-183-S.

En conclusion, nous avons testé des lasers à verrouillage de mode actif en utilisant les plateformes InP et Si₃N₄. La versatilité de cette dernière nous a permis d'étudier la génération de peigne de fréquences optiques à 3,5 GHz en régime fondamental et harmonique. Grâce à son niveau de bruit de phase le plus faible, la cavité de taille intermédiaire (500 MHz) semble être le meilleur choix, ce qui viendrait du compromis entre une cavité assez étendue tout en ayant peu de pertes.

Les auteurs remercient l'Agence de Défense Européenne (EDA) pour le support de ce travail dans le contexte du projet nommé « Photonic integrated-circuits for multiband RF transceiver in arrayed systems » (PICTURE), financé par la France et l'Italie et coordonné par Leonardo S.p.a dans le cadre du projet n° B-1487-IAP1-GP de l'Agence Européenne de Défense.

Références :

- [1] G. B. Rieker, et al., "Frequency-comb-based remote sensing of greenhouse gases over kilometer air paths," *Optica* vol. 1, no. 5, pp. 290–298, 2014.
- [2] P. Ghelfi, et al., "A fully photonics-based coherent radar system," *Nature* vol. 507, pp. 341–345, 2014.
- [3] G. Baili, et al., "Low noise semiconductor-based mode-locked laser at 800 nm suitable for high bandwidth photonic analog-digital conversion." *Microwave Photonics (MWP) and the 2014 9th Asia-Pacific Microwave Photonics Conference (APMP)*, 2014.