

STABILITE A LONG TERME D'UN PEIGNE DE FREQUENCES OPTIQUES GENERE A L'AIDE DE LASERS A VERROUILLAGE DE MODES PASSIF A BASE DE BATONNETS QUANTIQUES INAs/INP

Kamel Merghem¹, Cosimo Caló¹, Vivek Panapakkam¹, Anthony Martinez¹, Abderrahim Ramdane¹

¹ *Laboratoire de Photonique et Nanostructures, UPR 020, 91460 Marcoussis, France*

Kamel.merghem@lpn.cnrs.fr

RÉSUMÉ

Nous présentons dans cet article une technique de stabilisation d'un peigne de fréquences optiques généré à l'aide de lasers à verrouillage de mode à base de bâtonnets quantiques InAs/InP. Nous nous intéresserons plus particulièrement à la stabilité en fréquence à long-terme évaluée à partir de la variance d'Allan. Le peigne de fréquences optiques généré présente 110 modes espacés de ~ 10 GHz avec un rapport signal à bruit de plus de 30 dB. La technique de stabilisation mise en œuvre permet d'atteindre une stabilité en fréquence de 3×10^{-9} pour une période d'échantillonnage de 1000 secondes.

MOTS-CLEFS : *Lasers à verrouillage de modes ; laser à bâtonnets quantiques ; peigne de fréquence, Variance d'Allan.*

1. INTRODUCTION

Les lasers à semi-conducteurs à verrouillage de modes utilisés comme peignes de fréquences présentent de grandes potentialités pour de multiples applications dans le domaine des télécommunications et de la métrologie en raison de leur compacité et de leur capacité à générer des peignes avec des espacements élevés (≥ 10 GHz). D'importants progrès ont été réalisés sur ces lasers, et ces dispositifs présentent aujourd'hui des performances intéressantes en termes de bruit de phase, de gigue temporelle et de puissances optiques [1].

Pour les applications de métrologie, la dérive à long terme est un des paramètres primordiaux et représente une des limitations actuelles des lasers à semi-conducteurs. Pour répondre à cette exigence, nous avons développé une technique permettant d'améliorer considérablement la stabilité à long terme du peigne de fréquences généré. Cette dernière permet d'atteindre des stabilités relatives de l'ordre de 10^{-9} pour un temps d'échantillonnage de 1000 secondes. Dans cet article, nous présentons les caractéristiques du peigne de fréquences optiques généré à l'aide d'un laser à base de bâtonnets quantiques et sa stabilité relative à long terme.

2. STRUCTURE LASER

La structure active laser est composée d'un empilement de 9 plans de bâtonnets quantiques InAs/InP dans des barrières InGaAsP (structure dite « dash-in-a-barrier »). La croissance est réalisée par épitaxie par jets moléculaires par sources gazeuses sur un substrat d'InP dopé S (001). L'empilement de plusieurs couches de bâtonnets quantiques permet l'obtention d'un fort gain modal similaire à celui de lasers à puits quantiques [2]. Les lasers à base de bâtonnets quantiques sont des lasers autopulsants permettant de générer des impulsions sans l'aide de section à absorbant saturable [3]. Les lasers étudiés sont de type BRS (Buried Ridge Stripe) et consiste en deux sections de gain avec une longueur de cavité totale de 4230 μm correspondant à une fréquence de répétition de 10,18 GHz. La première section de gain, de 4 mm de long, est alimentée par un courant de polarisation allant jusqu'à 250 mA, tandis que la seconde section d'une longueur de 230 μm est alimentée jusqu'à seulement 50 mA. Les lasers sont montés « p-side up » sur des embases en cuivre pour un bon contrôle en température.

3. CARACTERISTIQUES DES LASERS A VERROUILLAGE DE MODES

Dans cette partie, nous nous intéressons aux caractéristiques du laser à verrouillage de modes, dans le domaine Radio-Fréquence (RF) et spectral évaluées à l'aide d'un analyseur de spectre électrique couplé à une photodiode rapide et d'un analyseur de spectre optique.

Les figures 1 et 2 montrent respectivement le spectre RF et le spectre optique correspondant pour un courant de polarisation I_1 de 212 mA appliqué sur la longue section de gain et d'un courant I_2 de 18 mA appliqué à la courte section de gain.

Le spectre RF nous donne une fréquence de répétition de 10.188 GHz et une largeur RF d'environ 5 kHz. La présence de faibles largeurs RF est synonyme de forte corrélation de phase entre les modes de la cavité et d'un mécanisme de verrouillage de modes très efficace. La largeur spectrale de la raie RF est directement liée au bruit de phase des lasers [4]. Une faible largeur de raie RF implique un faible bruit de phase, ce qui se traduit par un faible niveau de la gigue temporelle des impulsions optiques issues de ces lasers en verrouillage de modes. En raison de l'effet plasma généré par l'injection des porteurs, la fréquence RF augmente avec le courant à raison de 75 kHz/mA. A fort courant, on observe également les spectres optiques les plus larges. Ces derniers atteignent des largeurs à mi-hauteur de plus de 1,1 THz pour $I_1=212$ mA and $I_2=18$ mA, ce qui correspond à 110 modes longitudinaux centrés à 1546 nm espacés de 10,18 GHz.

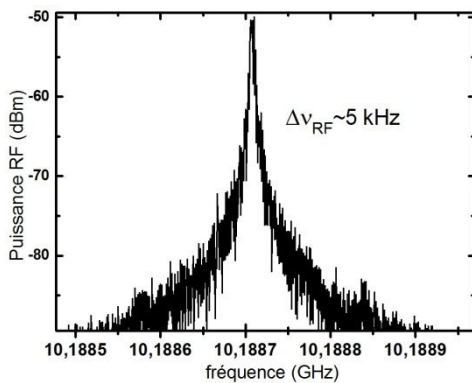


Figure 1. Spectre Radio Fréquence pour $I_1=212$ mA and $I_2=18$ mA

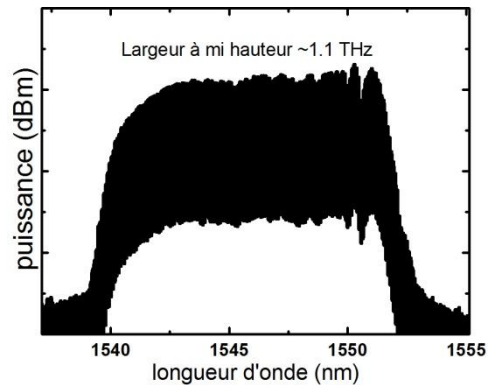


Figure 2. Spectre optique pour $I_1=212$ mA and $I_2=18$ mA

4. STABILITE DU PEIGNE DE FREQUENCES OPTIQUES GENERE

En raison du bruit environnemental lié aux conditions expérimentales (variation de température ou de courant de polarisation, rétroaction optique non contrôlée...), la fréquence RF du laser peut fluctuer dans le temps, ce qui a pour effet de dégrader la stabilité à long terme du peigne de fréquence.

Récemment, nous avons démontré la génération de peignes de fréquences optiques à l'aide de lasers à base de bâtonnets quantiques pouvant atteindre une stabilité à long terme de l'ordre de 10^{-7} pour un temps d'échantillonnage de 1000 secondes [5]. Afin d'améliorer cette stabilité, nous avons développé une technique de stabilisation basée sur une boucle de rétroaction qui compense la dérive en fréquence en modifiant le courant de polarisation sur la petite section de gain. La figure 3 montre la dérive de la fréquence RF pendant une heure d'acquisition avec une période d'échantillonnage d'une seconde avec et sans boucle de rétroaction. Sans stabilisation, la variation maximale observée est de ~ 80 kHz. La distribution de la mesure est gaussienne avec une valeur moyenne de 10.1881 GHz et un écart-type 14.1 kHz. Lorsque la boucle de rétroaction est activée, on obtient une dérive maximale de 20 kHz et un écart type presque trois fois plus faible de ~ 5 kHz.

Afin d'évaluer la stabilité temporelle à long-terme, nous avons calculé la variance d'Allan [6] à partir des mesures représentées sur la figure 3. La variance calculée est de 3×10^{-7} pour 1 seconde et on atteint la valeur de 3×10^{-9} pour 1000 secondes (figure 4) avec le système de stabilisation. En comparaison, sans stabilisation, la valeur de la variance d'Allan est toujours supérieure à 2×10^{-7} pour les différents temps d'échantillonnage.

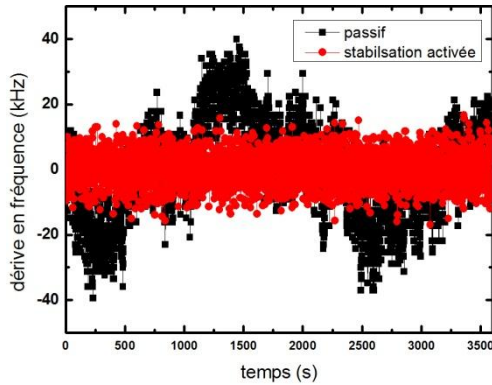


Figure 3. Mesures de la dérive en fréquence pendant 1 h avec/sans stabilisation.

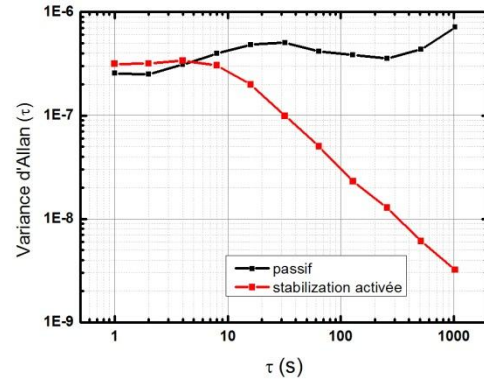


Figure 4. Variations d'Allan calculées à partir des données expérimentales de la figure 3.

5. CONCLUSION

Nous avons démontré la génération d'un peigne de fréquences à l'aide de lasers à verrouillage de modes passif à base de bâtonnets quantiques. Ce peigne de fréquence permet de générer plus de 110 modes centrés à 1546 nm avec un espacement ~ 10 GHz. Nous avons obtenu une stabilité à long-terme de 2×10^{-7} dans une configuration passive. Pour améliorer ces performances, nous avons mis en œuvre une technique de stabilisation permettant d'atteindre, pour la première fois, des stabilités allant jusqu'à 3×10^{-9} pour un temps d'échantillonnage de 1000 secondes.

En conclusion, les performances des lasers à verrouillage de modes passif à base de bâtonnets quantiques en font des candidats idéaux pour les applications de type génération de peignes de fréquences optiques cohérents.

REFERENCES

- [1] M. Faugeron et al, "High Peak Power, Narrow RF Linewidth Asymmetrical Cladding Quantum Dash Mode-Locked Lasers," *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 2013.
- [2] K. Merghem et al, "Improvement of modal gain of InAs/InP quantum-dash lasers," *Compound Semiconductor Week (CSW/IPRM), 2011 and 23rd International Conference on Indium Phosphide and Related Materials*, 2011.
- [3] C. Gosset et al, "Subpicosecond pulse generation at 134 GHz using a quantum-dash-based Fabry-Perot laser emitting at 1.56 μm ," *Applied Physics Letters*, vol. 88, pp. 241105–3, Juin. 2006.
- [4] Rosales et al, "High performance mode locking characteristics of single section quantum dash lasers," *Optics Express*, vol. 20, p. 8649, Mar. 2012.
- [5] K. Merghem, et al., "Stability of Optical Frequency Comb Generated with InAs/InP Quantum-Dash-Based Passive Mode-Locked Lasers," *IEEE J. Quantum Electron.* 50, 275–280 (2014).
- [6] D. Allan, "Time and frequency (time-domain) characterization, estimation, and prediction of precision clocks and oscillators," *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control*, vol. UFFC-34, no. 6, pp. 647 – 54, 1987.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été soutenu par le projet européen EC FP7 BIG PIPES.

Les auteurs tiennent à remercier François Lelarge de III-V Lab (laboratoire commun d'"Alcatel Lucent Bell Labs", "Thales Research&Technology" et "CEA-LETI") pour la fourniture des composants.