



**HAL**  
open science

## **Emission bifréquence d'un laser à semiconducteur en cavité externe à 852 nm pour les horloges atomiques a césium (orale)**

Fabiola A. Camargo, Paul Dumont, Gaëlle Lucas-Leclin, Patrick Georges,  
Jean-Marie Danet, David Holleville, S. Guérandel, Isabelle Sagnes, Ghaya  
Baili, Loïc Morvan, et al.

### **► To cite this version:**

Fabiola A. Camargo, Paul Dumont, Gaëlle Lucas-Leclin, Patrick Georges, Jean-Marie Danet, et al..  
Emission bifréquence d'un laser à semiconducteur en cavité externe à 852 nm pour les horloges atom-  
iques a césium (orale). 13 me Colloque sur les Lasers et l'Optique Quantique (COLOQ 13) Société  
Francaise d'Optique, Jul 2013, Villetaneuse, France. hal-00843530

**HAL Id: hal-00843530**

**<https://iogs.hal.science/hal-00843530v1>**

Submitted on 11 Jul 2013

**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.

# EMISSION BIFREQUENCE D'UN LASER A SEMICONDUCTEUR EN CAVITE EXTERNE A 852 NM POUR LES HORLOGES ATOMIQUES A CESIUM

F. A. Camargo<sup>1\*</sup>, P. Dumont<sup>1</sup>, G. Lucas-Leclin<sup>1</sup>, P. Georges<sup>1</sup>, J.-M. Danet<sup>2</sup>, D. Holleville<sup>2</sup>, S. Guerandel<sup>2</sup>, I. Sagnes<sup>3</sup>, G. Baili<sup>4</sup>, L. Morvan<sup>4</sup> et D. Dolfi<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire Charles Fabry, CNRS, Univ Paris-Sud XI, Palaiseau

<sup>2</sup> LNE-SYRTE, Systèmes de Référence Temps-Espace, Observatoire de Paris, CNRS, UPMC, Paris

<sup>3</sup> Laboratoire de Photonique et de Nanostructures, CNRS UPR20, Marcoussis

<sup>4</sup> Thales Research and Technology, Palaiseau

\* [fabiola.camargo@institutoptique.fr](mailto:fabiola.camargo@institutoptique.fr)

## RÉSUMÉ

Nous décrivons l'émission simultanée en phase, sur deux fréquences optiques polarisées perpendiculairement, d'un laser à semiconducteur en cavité externe pompé optiquement. L'émission est accordable autour de la raie D<sub>2</sub> du césium à 852,14 nm avec une puissance optique d'environ 13 mW sur chaque polarisation. La différence de fréquence est ajustée grâce à un modulateur électro-optique autour de 9,2 GHz. Nous évaluons la source réalisée en vue de son application au piégeage cohérent de population d'atomes de césium dans une horloge atomique.

**MOTS-CLEFS :** *laser à semiconducteur ; VECSEL ; horloges atomiques.*

## 1. INTRODUCTION

Le piégeage cohérent de population (CPT) est d'un grand intérêt pour la réalisation d'horloges atomiques compactes. Cette technique repose sur le couplage de deux niveaux de la structure hyperfine de l'état fondamental de l'atome de césium par excitation sur un niveau atomique commun. Elle nécessite l'utilisation de deux faisceaux laser en phase, accordables sur une transition atomique du Cs, et dont la différence de fréquence est réglable à 9,192 GHz. Une solution pour obtenir une source de grande pureté spectrale, présentant des bruits d'intensité et de phase faibles, consiste à réaliser un laser à semiconducteur à émission par la surface en cavité externe (VECSEL) produisant une émission laser bifréquence et bipolarisée. Ce fonctionnement a déjà été démontré avec un VECSEL émettant à 1  $\mu\text{m}$  [1] puis à 852 nm [2]. Nous décrivons un VECSEL pompé optiquement, émettant simultanément deux modes longitudinaux polarisés perpendiculairement autour de 852 nm dont l'écart de fréquence est réglable à 9,2 GHz.

## 2. DESCRIPTION DU VECSEL BIFREQUENCE

La cavité laser est constituée d'une structure active semiconductrice et d'un miroir de sortie de rayon de courbure  $R = 15$  mm et de transmission 0,5% à 852 nm monté sur une céramique piézo-électrique. La structure semiconductrice est composée d'un miroir de Bragg hautement réfléchissant à 852 nm et du milieu à gain formé de 7 puits quantiques en GaAs placés entre des barrières d' $\text{Al}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{As}$  [2]. La cavité laser, longue de 10 mm, impose le diamètre du faisceau laser sur la structure à  $\sim 70\mu\text{m}$  et assure un intervalle spectral libre d'environ 12 GHz, supérieur à la différence de fréquence  $\Delta\nu_0 = 9,192$  GHz visée. La source de pompage est une diode laser émettant une puissance de 1,5 W à 670 nm et couplée dans une fibre multimode. Les dimensions du faisceau de pompe sont  $70\mu\text{m} \times 110\mu\text{m}$  sur la structure.

L'émission bipolarisée est obtenue grâce à une lame biréfringente de vanadate d'yttrium ( $\text{YVO}_4$ ) de  $500\mu\text{m}$  d'épaisseur dont l'axe optique est incliné à  $45^\circ$ ; la lame induit une différence de chemin optique ainsi qu'une séparation spatiale des deux faisceaux de polarisations croisées de  $50\mu\text{m}$  sur la structure qui favorise l'émission bifréquence et bipolarisée en réduisant le couplage entre

les deux modes (Fig. 1a). Un étalon Fabry-Perot (FP) en silice, de 50 $\mu$ m d'épaisseur, impose un fonctionnement laser monofréquence sur chaque polarisation. Les deux faisceaux partagent ainsi la même cavité laser, et sont soumis aux mêmes fluctuations thermiques et mécaniques, ce qui assure leur très grande cohérence relative.

L'écart de fréquence entre les deux faisceaux polarisés  $\Delta\nu$  dépend de l'intervalle spectral libre de la cavité et de la biréfringence des éléments de la cavité [2]. Il est possible de contrôler cette biréfringence grâce au modulateur électro-optique (EO, lame de titanate de strontium MgO:SLT) en modifiant sa température ou la tension appliquée à celui-ci (Fig. 1a).

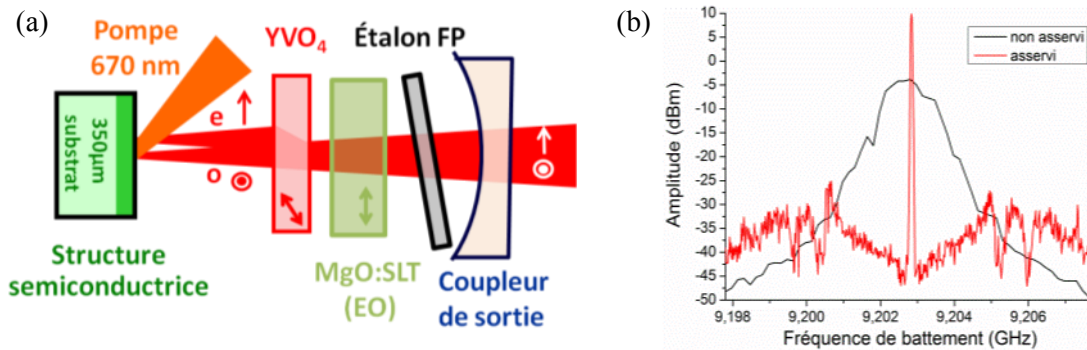


Fig. 1 : (a) Schéma de la cavité du VECSEL; (b) Fréquence de battement du VECSEL.

### 3. RESULTATS EXPERIMENTAUX ET CONCLUSION

Sans élément intracavité, le laser émet une puissance de 83 mW sur un spectre multimode autour de 855 nm avec un seuil de 0,25 W de puissance de pompe incidente. Avec tous les éléments intracavité, la puissance chute à 13 mW à 852 nm sur chaque polarisation et le seuil laser augmente à 0,35 W à cause de l'ajout de pertes dans la cavité.

La mesure de la fréquence de battement entre les deux faisceaux polarisés permet de connaître précisément  $\Delta\nu$ . La température de l'EO permet de régler grossièrement  $\Delta\nu$  de  $\sim 1$  GHz/K et la tension plus finement avec  $\sim 1$  MHz/V. En modifiant ces paramètres, nous avons observé une accordabilité de l'écart de fréquence  $\Delta\nu$  sur une bande continue de  $\sim 3$  GHz. La longueur d'onde d'émission est accordable sur une plage de 5 nm par rotation de l'étalon. La céramique piézo-électrique permet d'ajuster la longueur de cavité pour régler finement la longueur d'onde. La fréquence absolue et  $\Delta\nu$  sont asservis simultanément pour garantir la stabilité de fonctionnement du laser. Un montage d'absorption saturée du césium est utilisé pour verrouiller la longueur d'onde du mode polarisé ordinairement à 852,14 nm, tandis que  $\Delta\nu$  est asservi sur un oscillateur radiofréquence bas bruit. Une fois les fréquences asservies, la largeur du spectre de battement de fréquence est inférieure à 10 kHz, limitée par la résolution de l'analyseur de spectre (Fig. 1b).

Le bruit d'intensité relatif (RIN) du faisceau laser, sur chaque polarisation, atteint -120 dB/Hz sur la gamme de fréquences 10 Hz - 100 kHz et est limitée par celui de la diode laser de pompe.

Les performances obtenues sont compatibles avec les besoins des horloges atomiques CPT à césium. Nous souhaitons désormais approfondir l'analyse spectrale en mesurant le bruit de phase du laser avant d'envisager une expérience de piégeage cohérent d'atomes de césium.

REMERCIEMENTS : Les auteurs remercient le Triangle de la Physique et l'Agence Nationale de la Recherche pour leur soutien financier à ce projet.

### REFERENCES

- [1] G. Baili et al, "Experimental demonstration of a tunable dual-frequency semiconductor laser free of relaxation oscillations", *Opt. Lett.* 34, 3421 (2009).
- [2] F. A. Camargo et al, "Coherent Dual-Frequency Emission of a Vertical External-Cavity Semiconductor Laser at the Cesium D<sub>2</sub> line ", *IEEE PTL* 24, 1218 (2012).
- [3] B. Cocquelin et al, « Tunable Single-frequency operation of a diode-pumped Vertical-External Cavity Laser at the Caesium D<sub>2</sub> line », *App. Phys. B* 95, 315 (2009)