



**HAL**  
open science

## Caractérisation à 10 Gbit/s d'un modulateur à électro-absorption à cavité verticale à 850 nm

Laurent Bramerie, Mathilde Gay, Lucas Laplanche, Ludovic Marigo- Lombart, Christophe Viallon, Alexandre Arnoult, Alexandre Rumeau, Stéphane Calvez, Guilhem Almuneau

► **To cite this version:**

Laurent Bramerie, Mathilde Gay, Lucas Laplanche, Ludovic Marigo- Lombart, Christophe Viallon, et al.. Caractérisation à 10 Gbit/s d'un modulateur à électro-absorption à cavité verticale à 850 nm. Journées nationales de l'optique guidée (JNOG), Jul 2023, Lyon, France. hal-04624668

**HAL Id: hal-04624668**

**<https://hal.science/hal-04624668>**

Submitted on 25 Jun 2024

**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.

# Caractérisation à 10 Gbit/s d'un modulateur à électro-absorption à cavité verticale à 850 nm

Laurent BRAMERIE<sup>1</sup>, Mathilde GAY<sup>1</sup>, Lucas LAPLANCHE<sup>2</sup>, Ludovic MARIGO-LOMBART\*<sup>2</sup>, Christophe VIALON<sup>2</sup>, Alexandre ARNOULT<sup>2</sup>, Alexandre RUMEAU<sup>2</sup>, Stéphane CALVEZ<sup>2</sup>, Guilhem ALMUNEAU<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut Foton, CNRS UMR 6082, Université de Rennes – 22300 Lannion, France

<sup>2</sup> LAAS-CNRS, Université de Toulouse, CNRS, Toulouse, France

\* Maintenant chez NIL Technology

[gay@enssat.fr](mailto:gay@enssat.fr)

## RESUME

Nous présentons la conception, la fabrication et la caractérisation d'un modulateur à électro-absorption à cavité verticale (SNEAM pour Surface-Normal Electro-Absorption Modulator) à 850 nm. La caractérisation électro-optique et les performances en modulation télécom sont notamment présentées.

**MOTS-CLEFS :** *modulateur à électro-absorption à cavité verticale; télécommunications optiques;*

## 1. INTRODUCTION

Le projet ANR EAM-VCSEL (Electro-absorption Modulator - Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser) vise à développer une technologie de source laser faible coût et économe en énergie pour les liaisons de communication optiques courtes distances et à très hauts débits, et ce en surpassant les performances des lasers VCSEL actuels à modulation directe [1-3]. Par conséquent, l'objectif principal est de développer une architecture de composant permettant des débits jusqu'à 100 Gbit/s par canal dans des conditions de fonctionnement et des exigences environnementales définies par les applications. Notre approche consiste à intégrer de façon monolithique un modulateur à électro-absorption (SNEAM) dans la structure verticale du VCSEL [4]. En découplant les propriétés électriques et optiques du modulateur et du laser, on peut optimiser les performances à ultra haute fréquences. Nous présentons ici la structure en microcavité et la caractérisation d'un SNEAM basé sur des puits quantiques GaAs pour un fonctionnement autour de 850 nm. Les caractérisations de la réponse en fréquence et les performances en modulation à 10 Gbit/s de ce modulateur démontrent les possibilités de transfert de données à très haut débit, et de fait l'intérêt de les intégrer à un VCSEL pour dépasser leurs limites intrinsèques en modulation directe.

## 2. CONCEPTION ET FABRICATION DU SNEAM

La structure verticale du modulateur SNEAM est composée de deux miroirs de Bragg (DBR) ( $\text{Al}_{0,15}\text{GaAs}/\text{Al}_{0,9}\text{GaAs}$ ) entourant une cavité optique  $2\text{-}\lambda$  formée par 25 multi-puits quantiques (MQW)  $\text{GaAs}/\text{Al}_{0,3}\text{GaAs}$ . Cette géométrie en cavité Fabry-Perot (FP) permet un multiple passage des photons augmentant ainsi le contraste d'absorption quand un champ électrique est appliqué.

Les DBRs inférieur (10 périodes) et supérieur (6 périodes) du SNEAM sont dopés respectivement N et P à  $2 \cdot 10^{18} \text{cm}^{-3}$ , et la cavité est non intentionnellement dopée. Les électrodes sont placées sur des couches GaAs fortement dopées en surface et au niveau d'une couche sous le DBR inférieur. Le substrat GaAs est dopé N. Le procédé technologique de fabrication consiste à former un méso par gravure ICP-RIE, déposer les contacts métalliques inférieur et supérieur, planariser à l'aide de polymère BCB, et former les électrodes RF en géométrie micro-ruban. Les diamètres des modulateurs varient de 18 à 27  $\mu\text{m}$ . Dans cette contribution nous rapportons les résultats obtenus avec un diamètre de 24  $\mu\text{m}$ . La figure 1 (a) est une image au microscope électronique à balayage colorisée du méso après gravure montrant en jaune une électrode, en vert les DBR et en rose les MQW. La figure 2(b) est une image du dessus au microscope optique montrant le modulateur circulaire ainsi que les contacts masse-signal-masse (GSG pour ground signal ground) pour la modulation haute fréquence.

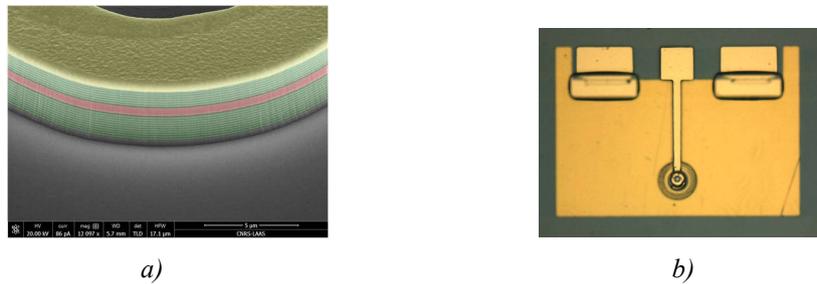


Figure 1 : (a) Vue colorisée au microscope électronique de la structure SNEAM. (b) Vue de dessus (Microscope optique) des accès RF (GSG) et du composant.

### 3. CARACTERISATIONS STATIQUES DU SNEAM

La figure 2 (a) présente le schéma expérimental mis en place pour les mesures statiques. Le signal d'injection provient soit d'une source super-luminescente (SLED) qui jouera le rôle de source blanche pour la caractérisation spectrale, soit d'un laser à cavité externe (ECL) que l'on ajustera à la longueur d'onde de travail (ici 839 nm). Ce signal traverse un circulateur optique suivi d'une fibre SMF-28 clivée à  $90^\circ$  pour illuminer le dispositif. Une tension de polarisation est appliquée à travers un bias-Tee et une pointe GSG de bande passante 50 GHz. Nous mesurons le spectre optique et la puissance en sortie du circulateur en fonction de la tension de polarisation appliquée au dispositif. En prenant comme référence la puissance transmise pour une tension de polarisation nulle nous pouvons en déduire la transmission normalisée.

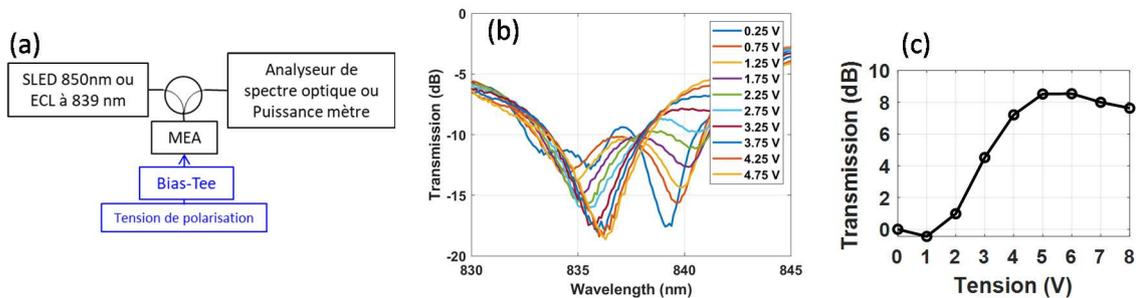


Figure 2 : (a) Schéma expérimental de la réponse spectrale du SNEAM. (b) Transmission spectrale à différentes tensions de polarisation. (c) Transmission en fonction de la tension de polarisation à la longueur d'onde de travail.

Le spectre en transmission est représenté sur la figure 2 (b), et laisse apparaître deux minima de transmission : une première résonance en basse longueur d'onde correspondant à

la cavité FP du modulateur et une deuxième en haute longueur d'onde correspond au pic excitonique des MQW. La figure 2(c) montre la transmission en fonction de la tension de polarisation à la longueur d'onde de travail choisie. Nous obtenons une variation d'absorption supérieure à 8 dB pour une amplitude de tension de commande de 4 V.

#### 4. CARACTERISATIONS DYNAMIQUES DU SNEAM

Une caractérisation de la réponse électro-optique (EO) en modulation à haute fréquence a ensuite été effectuée. La figure 3 (a) présente le schéma expérimental mis en place pour cette mesure. Pour cette étude, la tension de polarisation de l'EAM (2.7V) et le signal électrique généré par un analyseur de réseau vectoriel (VNA) sont combinés dans le bias-Tee. Le signal réfléchi par l'EAM est détecté par une photodiode InGaAs de bande passante 35 GHz incluant un étage d'amplification électrique puis transmis au VNA pour l'analyse. Les réponses EO de la photodiode à 850 nm, du bias-Tee et des câbles RF sont utilisées pour normaliser la mesure. La mesure effectuée avec l'EAM, correspondant finalement à la mesure de la réponse EO de l'EAM et de la pointe GSG, est représentée sur la figure 3 (b). Nous mesurons une bande passante à 3 dB de 23 GHz (qui correspond aux résultats obtenus sur des composants similaires en [5]). L'électro-absorption de l'EAM est uniquement sensible à la tension appliquée. Malgré le fait que le VNA génère une tension constante en sortie, les variations fréquentielles d'impédance entre la chaîne RF et l'EAM génèrent des variations de la tension appliquée résultants en des variations d'absorption expliquant probablement la présence d'oscillations sur la réponse EO. Dans le futur, nous allons préciser ces caractérisations en cherchant à normaliser la réponse fréquentielle EO de l'EAM par rapport à la tension appliquée, qui peut être déterminée dès lors que les impédances présentes de part et d'autre de la pointe RF sont connues. Cette étude permettra in fine de pouvoir compenser fréquentiellement la réponse EO à l'émission pour garantir une tension constante appliquée à l'EAM et ainsi avoir une réponse EO sans oscillation.

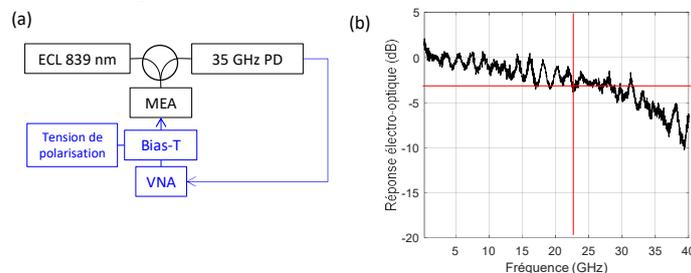


Figure 3 : a) Schéma expérimental pour les mesures EO. b) Réponse EO de l'EAM.

Nous avons ensuite mis en place un banc de caractérisation à 10 Gbit/s à 839 nm. Le schéma expérimental est présenté sur la figure 4 (a) : en émission, le montage est identique au précédent, en remplaçant le VNA par un générateur de séquences binaires à 10 Gbit/s avec des séquences longues de  $2^{31}-1$  bits suivi d'un amplificateur électrique délivrant 4 Vcc (volt crête à crête). En réception, nous utilisons un SOA (Semiconductor Optical Amplifier) comme préamplificateur optique suivi d'un filtre optique de largeur à mi-hauteur 1 nm. Le signal est finalement détecté par la photodiode InGaAs. Après détection nous analysons le taux d'erreur binaire (BER) et le diagramme de l'œil (superposition synchrone de tous les symboles).

Les résultats sont présentés sur la figure 4. Nous observons un plancher d'erreur à un BER de  $10^{-6}$  avec l'EAM, et une pénalité de 7 dB pour un BER de  $10^{-5}$  par rapport à la mesure de référence obtenue avec un modulateur LiNbO<sub>3</sub> de type Mach Zehnder (MZM) à 850 nm. Les diagrammes de l'œil mesurés pour une même puissance en entrée du SOA de -23 dBm et sur la photodiode de -3 dBm montrent que le taux d'extinction est comparable avec les deux modulateurs. Par ailleurs, l'ouverture temporelle de 90 % du temps bit du diagramme de l'œil obtenu avec l'EAM confirme que la bande passante du composant est largement supérieure au débit comme la montré la mesure EO du composant. La cause de la dégradation du BER est en cours d'investigation et pourrait provenir de réflexions multiples optiques ou électriques.

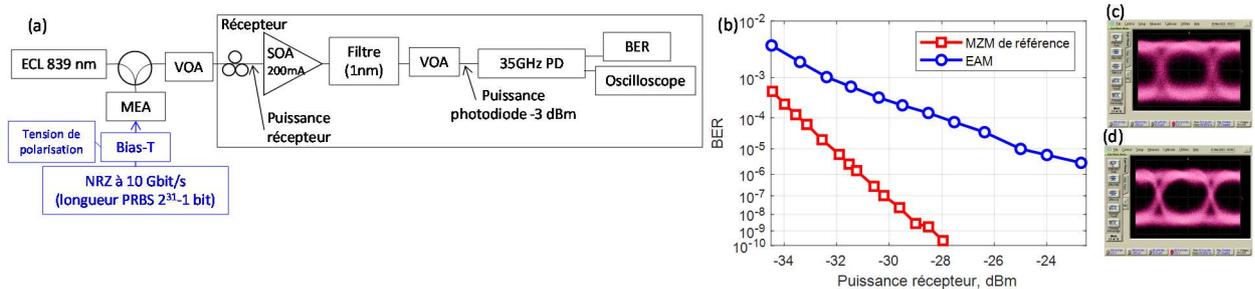


Figure 4 : a) Schéma expérimental pour les mesures télécom. (b) BER en fonction de la puissance sur le récepteur. Diagrammes de l'œil (c) avec l'EAM et (d) le MZM.

## CONCLUSION

Nous présentons l'étude d'un modulateur à électro-absorption à cavité verticale en vue de la réalisation d'un composant intégré EAM-VCSEL dépassant les limites de modulation d'un VCSEL directement modulé. Le SNEAM étudié présente une bande passante de 23 GHz et un taux d'extinction supérieur à 8 dB pour 4 V<sub>cc</sub>. Nous démontrons pour la première fois une mesure de modulation de données à 10 Gbit/s à 850 nm sur ce type de structure.

## REMERCIEMENTS

Ce travail a bénéficié du support de l'Agence Nationale de la Recherche (projet EAM-VCSEL ANR-19-CE24-0018), de la centrale technologique du LAAS CNRS, membre du réseau Renatech ainsi que de la plateforme de caractérisation PERSYST de l'institut Foton.

## RÉFÉRENCES

- <sup>1</sup> T. D. Germann, W. Hofmann et al., "Electro-optical resonance modulation of vertical-cavity surface-emitting lasers," *Opt. Express* 20, 5099 (2012).
- <sup>2</sup> M. Yakimov, J. v. Eisdien et al., "Concept of feedback-free high-frequency loss modulation in detuned duo-cavity vertical cavity surface-emitting laser," *J. Vac. Sci. Technol. B* 28, no. 3 (2010).
- <sup>3</sup> Panajotov, K., & Schatz, R. Coupled-Cavity VCSEL with an Integrated Electro-Absorption Modulator: Small- and Large-Signal Modulation Analysis. *Applied Sciences*, 10(17), 6128 (2020).
- <sup>4</sup> Marigo-Lombart, L., Rumeau, A., Viallon, C., Arnoult, A., Calvez, S., Monmayrant, A. & Almuneau, G. High frequency operation of an integrated electro-absorption modulator onto a vertical-cavity surface-emitting laser. *Journal of Physics: Photonics*, 1(2), 02LT01. (2019).
- <sup>5</sup> Marigo-Lombart L, Viallon C, Rumeau A, et al. "High frequency characterization of a vertical electro-absorption modulator for data communications," *International Topical Meeting on Microwave Photonics (MWP 2018)*, Toulouse, France, (2018).