

# CARACTÉRISATION RÉVOLUE SPECTRALEMENT DU CHAMP LOINTAIN DE PUCES LASER À SEMI-CONDUCTEUR

Jannik F. Ehlert<sup>1,2</sup>, Alain Mugnier<sup>1</sup>, Frédéric Grillot<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> EXFO Optics, 4 rue Louis de Broglie, 22300 Lannion, France

<sup>2</sup> LTCI, Télécom Paris, Institut Polytechnique de Paris, 91120 Palaiseau, France

<sup>3</sup> Center for High Technology Materials, University of New Mexico, NM87106, USA

jannik.ehlert@telecom-paris.fr

## RÉSUMÉ

Nous proposons une adaptation de la méthode de mesure du champ lointain pour obtenir une caractérisation résolue spectralement notamment pour des diodes semi-conductrices en régime d'émission spontanée amplifiée. Nous décrivons en détail la méthode de mesure mise en place et présentons les résultats obtenus dans le cas d'une diode à hétérostructure.

**MOTS-CLEFS :** *champ lointain, puce à semi-conducteur, caractérisation spectrale*

## 1. INTRODUCTION

Les lasers accordables sur une grande plage spectrale sont des sources très utiles pour de nombreuses applications comme la caractérisation spectrale de composants passifs ou la spectroscopie [1]. Les lasers à cavité étendue sont une solution technique éprouvée pour réaliser de telles sources accordables. Ils comprennent une puce laser à semi-conducteur qui constitue le milieu à gain et un dispositif de filtrage spectral accordable qui permet de sélectionner la fréquence optique émise. La plage spectrale couverte par un tel laser peut atteindre plus de 200 nm pour une émission centrée à 1550 nm [1]. Les effets chromatiques sur la propagation du faisceau dans la cavité doivent être considérés dans la conception de ces lasers. Pour cela, il est important de connaître l'évolution des propriétés spatiales du faisceau émis par la puce semi-conductrice suivant la longueur d'onde.

Une méthode classique de caractérisation du faisceau émis par un guide optique est la mesure du champ lointain par balayage angulaire d'un détecteur [2]. Cette méthode est parfaitement adaptée pour un guide optique passif (comme une fibre optique) éclairé par une source monochromatique ou de faible largeur spectrale. Ce n'est plus le cas pour un composant actif émettant sur une large bande spectrale. Dans cet article, nous proposons une adaptation de la mesure du champ lointain pour obtenir une caractérisation résolue spectralement du faisceau émis par une puce laser.

## 2. MÉTHODE DE MESURE

La méthode classique de caractérisation du champ lointain d'un guide optique consiste à mesurer la puissance optique en fonction de la direction  $\theta$  par rapport à l'axe optique. On utilise une platine de rotation sur lequel est placé le détecteur de puissance et dont le centre coïncide avec la sortie du guide optique. La sélectivité angulaire de la mesure peut être contrôlée soit grâce à un trou (ou une fente) placé devant le détecteur soit en utilisant une fibre optique pour capter le signal.

Dans le cas d'une émission large bande, le signal mesuré est un champ lointain « moyen » résultant des différentes composantes présentes dans le spectre avec une pondération dépendant de la sensibilité spectrale du détecteur utilisé, de la dépendance spectrale de la divergence du guide optique considéré et de celle du couplage avec la fibre optique utilisée le cas échéant.

Afin d'obtenir une mesure de champ lointain résolue spectralement, le signal est capté par une fibre optique qui est connectée à un analyseur de spectre optique (OSA) comme illustré à la figure 1. Pour chaque position angulaire, un spectre optique est ainsi enregistré. A partir de

l'analyse à une longueur d'onde  $\lambda$  donnée des différents spectres optiques mesurés, on reconstruit la distribution angulaire  $P_\lambda(\theta)$  du faisceau en champ lointain associée à cette longueur d'onde.

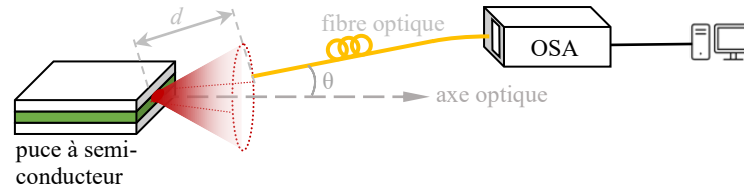


Fig. 1 : Schéma de principe du montage de caractérisation du champ lointain résolu spectralement.

La distance  $d$  entre la sortie de la puce et la fibre doit garantir la condition de champ lointain du guide mesuré. Le choix de la valeur utilisée résulte d'un compromis entre sélectivité angulaire et puissance couplée. Cette distance vaut typiquement 1 mm. La fibre optique utilisée est une fibre monomode standard clivée à angle droit, son alignement permet de maximiser la puissance couplée.

Les paramètres de l'analyseur de spectre optique ont été optimisés afin de maximiser la dynamique en puissance. Le mode « haute sensibilité » de l'analyseur est utilisé pour réduire le plancher de bruit. Du fait de la grande largeur spectrale du signal émis, la résolution spectrale a été adaptée à une valeur typique de 2 nm pour augmenter la puissance mesurée par l'analyseur.

Les puces semi-conductrices caractérisées fonctionnent en régime d'émission spontanée amplifiée : le très faible niveau de réflectivité résiduelle de la face de sortie [3] permet d'éviter l'apparition d'effet laser dans la puce même à fort courant. Le guidage étant réalisé par une double hétérostructure, il existe une dissymétrie intrinsèque entre les propriétés spatiales de l'émission dans le plan parallèle à la jonction et dans celui perpendiculaire à celle-ci. On réalise systématiquement une mesure du champ lointain dans chacun de ces deux plans en pivotant la puce de  $90^\circ$ .

### 3. RÉSULTATS

La méthode décrite précédemment a été appliquée pour caractériser en champ lointain le faisceau issu d'une diode semi-conductrice à multi-puits quantiques émettant dans la bande O.

La figure 2 montre dans chacun des deux plans principaux la distribution angulaire du champ lointain mesuré par la méthode classique utilisant un puissance-mètre : cela met en évidence la dissymétrie de divergence et de forme entre le plan parallèle et perpendiculaire à la jonction  $pn$ .

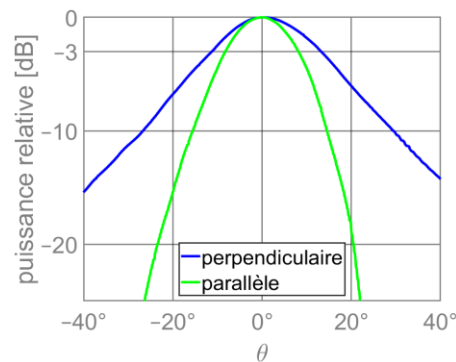


Fig. 2 : Distribution angulaire de puissance en champ lointain mesurée par la méthode classique dans les plans parallèle et perpendiculaire à la jonction

La méthode proposée a été mise en œuvre avec un pas angulaire de  $1^\circ$ . Des exemples de spectres enregistrés à différents angles pour une mesure dans le plan perpendiculaire sont présentés à la figure 3 : on observe une modification de la forme du spectre optique résultant de la dépendance spectrale de la divergence.

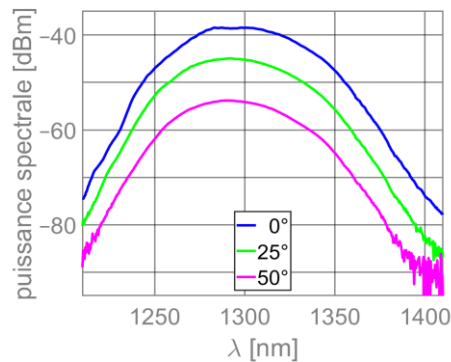


Fig. 3 : Spectres optiques mesurés dans le plan perpendiculaire à 3 angles différents

Pour chaque longueur d'onde, la distribution angulaire du champ lointain est reconstruite à partir des spectres ainsi mesurés. La figure 4 montre le résultat obtenu pour trois longueurs d'onde réparties dans la bande d'émission. Dans le plan parallèle à la jonction, la divergence ne présente pas de variation significative avec la longueur d'onde, le profil angulaire s'apparente à une évolution gaussienne. Dans le plan perpendiculaire, la divergence est plus grande et diminue avec la longueur d'onde. La puce utilisée présentant un guidage par l'indice, nous avons pu vérifier que ces résultats ne dépendent pas des conditions d'opération de la diode (température, courant).

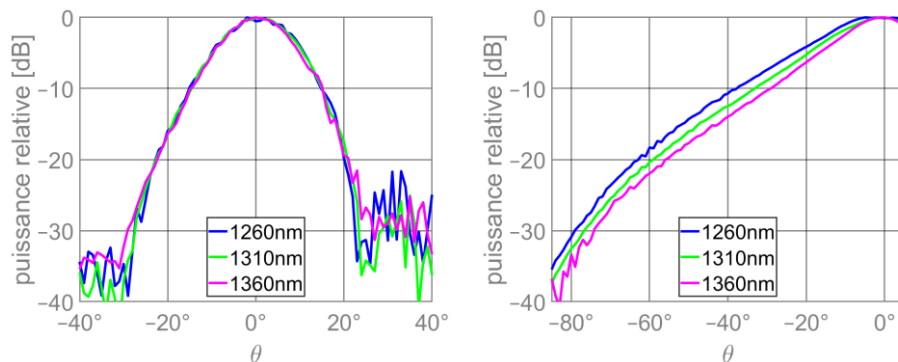


Fig. 4 : Distribution angulaire de puissance en champ lointain pour 3 longueurs d'onde dans le plan parallèle (à gauche) et dans le plan perpendiculaire (à droite).

Des mesures sont en cours afin de caractériser d'autres types de puces, comme une diode à boîte quantique présentant une dissymétrie encore plus importante. Celle-ci fait partie de travaux pour lesquels une simulation de laser en cavité étendue a été déjà réalisée [4].

#### 4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans le cas d'une diode semi-conductrice émettant sur une large bande, nous avons adapté la mesure classique de champ lointain du guide optique afin d'obtenir une caractérisation résolue spectralement de la divergence du faisceau émis. Nous avons ainsi mis évidence la dépendance en longueur d'onde de ces propriétés pour une puce semi-conductrice à multi-puits quantiques. A partir des résultats obtenus, il est envisagé, en supposant la séparabilité des axes transverses, de reconstruire à une longueur d'onde donnée les profils en champ proche en sortie de la puce.

#### RÉFÉRENCES

- [1] B. Mroziewicz, Opto-Electronics Review, vol. 16, pp. 347-366, 2008.
- [2] M. Young, Applied Optics, vol. 37, no. 24, pp. 5605-5619, 1998.
- [3] M. Krüger, V.Z. Tronciu, A. Bawamia *et al.*, Applied Physics B, vol. 125, 66, 2019.
- [4] J. F. Ehlert, A. Mugnier, G. He, F. Grillot, Semiconductor Lasers and Laser Dynamics IX, Proc. SPIE, vol. 11356, 2020.