

Analyse d'un laser DFB soumis à une injection optique par réflectométrie à faible cohérence

Carlos Palavicini et Yves Jaouën

École Nationale Supérieure des Télécommunications,
Département Communications et Électronique, CNRS (UMR 5141),
46, rue Barrault, 75634 Paris Cedex 13
carlos.palavicini@enst.fr, yves.jaouen@enst.fr
Commission des auteurs : Électronique et Photonique.

Résumé

Un laser à semi-conducteurs à contre-réaction distribuée a été caractérisé sous différents régimes de fonctionnement au moyen d'un réflectomètre à faible cohérence sensible à la phase. L'indice de groupe et sa variation autour du courant de seuil, les pertes de la cavité et le coefficient de couplage du réseau ont été ainsi mesurés avec précision. Les mesures des variations de l'indice complexe induites par une injection optique externe sont également présentées.

Mots clés : réflectométrie à faible cohérence, lasers à semi-conducteurs, couplage phase-amplitude, injection optique.

Introduction

La réflectométrie à faible cohérence (OLCR, pour *Optical Low-Coherence Reflectometry*) est un outil d'investigation qui permet la détermination des paramètres spatiaux et spectraux d'une vaste gamme de composants photoniques passifs [1]. Il est également possible d'étendre cette technique de caractérisation à des structures actives [2-4]. La réflectivité complexe du composant sous test requiert un contrôle précis de la différence des chemins optiques dans les bras de l'interféromètre, permettant ainsi la détermination exacte des sauts de phase et certaines caractéristiques spectrales telles que la dispersion chromatique et le temps de groupe. Les variations du gain et de l'indice du matériau induites dans un laser à contre-réaction distribuée (DFB, pour *Distributed Feedback*) par injection optique ont été mesurées. Ainsi, il est montré que le facteur de couplage phase-amplitude (ou facteur alpha de Henry) peut être directement déduit à partir des mesures réalisées à l'OLCR.

Méthode expérimentale

Un réflectomètre optique à faible cohérence est fondamentalement un interféromètre de Michelson illuminé par une source blanche, incluant un miroir mobile (M1) dans l'un des bras et l'objet sous test (DUT) dans l'autre (Fig. 1). Dans notre cas, la source 'blanche' est de type super-fluorescente à fibre dopée Erbium ($\Delta\lambda \approx 40$ nm, à $\lambda \approx 1,55$ μm), correspondant à une résolution spatiale $\Delta l = 18$ μm . Le réflectogramme est classiquement obtenu en faisant varier la différence de marche optique, à vitesse constante. Les franges d'interférences correspondant à une position localisée dans l'objet sous test sont détectées avec un photo-détecteur PIN-FET à faible bruit (PD), tant que la différence de marche optique reste en deçà de la longueur de cohérence de la source. La conception d'un OLCR sensible à la phase impose une mesure précise de la position du miroir de référence. Pour ce faire, le signal issu d'un interféromètre cohérent est utilisé comme horloge externe. La longueur d'onde du laser He-Ne ($\lambda_{\text{He-Ne}} \approx 632,8$ nm) utilisé dans ce dernier fixe la période d'échantillonnage à $\lambda_{\text{He-Ne}}/2$ soit 316 nm.

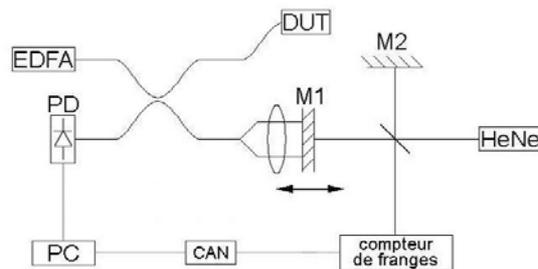


Fig. 1. Montage simplifié du réflectomètre à faible cohérence sensible à la phase.

Résultats et discussion

Les réflectogrammes complexes obtenus pour un laser DFB polarisé autour du courant de seuil sont montrés sur la Fig. 2. Les réflexions dues à la fibre lentillée et à la face clivée du laser sont clairement identifiées, correspondant à un espacement de 79 μm . Le pic localisé aux alentours de 1,8 mm correspond à la réflexion due à la face arrière du laser et confirme que son revêtement a reçu un traitement qui assure une réflectivité élevée. Le laser est constituée de 2 parties : une section passive d'adaptation de mode et une section active de longueurs optiques respectives 425,25 μm et 1155,75 μm . La distance entre deux minima consécutives ($m1$ et $m2$) détermine la longueur de battement (L_B) et est utilisée pour calculer l'amplitude de la modulation de l'indice du réseau $\Delta n_{p-p} = \lambda_0/2L_B$ où Δn_{p-p} est la valeur pic à pic de l'amplitude de la modulation et λ_0 est la longueur d'onde d'émission [5]. Une longueur de battement de 365 μm a été mesurée à partir du module du réflectogramme issu de l'OLCR (Fig. 2a) donnant une amplitude de la modulation de l'indice de $\Delta n_{p-p} = 2 \cdot 10^{-3}$ et un coefficient de couplage de $\kappa = \pi \Delta n_{p-p}/2\lambda_0 = 21$ cm^{-1} . Cette valeur est très proche de l'estimation $\kappa = 20$ cm^{-1} mesurée par une méthode traditionnelle.

La phase du réflectogramme, présentée dans la Fig. 2b, peut être utilisée pour obtenir le coefficient de couplage complexe $\tilde{\kappa}$ dans le cas des lasers DFB à couplage par le gain.

Le facteur de couplage phase-amplitude α_H d'un laser DFB décrit le couplage entre les parties réelle et imaginaire des changements de l'indice de réfraction dépendant de la densité des porteurs [6]. Le paramètre α_H est simplement défini comme le rapport des dérivés partielles des variations de l'indice par rapport à la densité des porteurs. Supposant des petites variations de la densité des porteurs, le changement du gain Δg induit par l'injection optique externe est alors accompagné d'une variation de la partie réelle de l'indice de réfraction $\Delta n' = -\alpha_H \Delta n''$. L'effet de l'injection optique externe se manifeste dans les résultats issus de l'OLCR de deux manières. Premièrement, un changement ΔL_{opt} de la longueur optique est observé, fournissant ainsi un moyen d'obtenir la modification induite par l'injection optique de la partie réelle de l'indice de réfraction $\Delta n' = \Delta L_{opt} / L_{phy}$. Deuxièmement, la différence logarithmique des réflectogrammes du laser entre le régime "libre" et le régime "injecté" permet de déterminer le changement net du gain Δg induit par l'injection optique, et d'en déduire la partie imaginaire de la variation d'indice $\Delta n'' = (\lambda_0 / 2\pi) \cdot \Delta g$ [7]. Ainsi, la quantité de lumière injectée dans le laser est évaluée de façon précise. La Fig. 3 présente les variations de l'indice de réfraction complexe en fonction du taux d'injection pour un désaccord fréquentiel faible (~500 MHz). Le facteur de couplage phase-amplitude moyen est $\alpha_H = 2,86$.

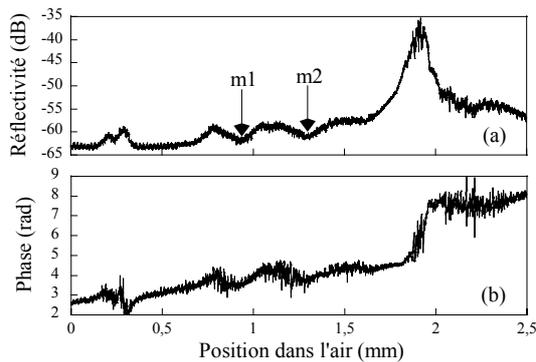


Fig. 2. (a) Module et (b) phase du réflectogramme du laser DFB polarisé autour du seuil.

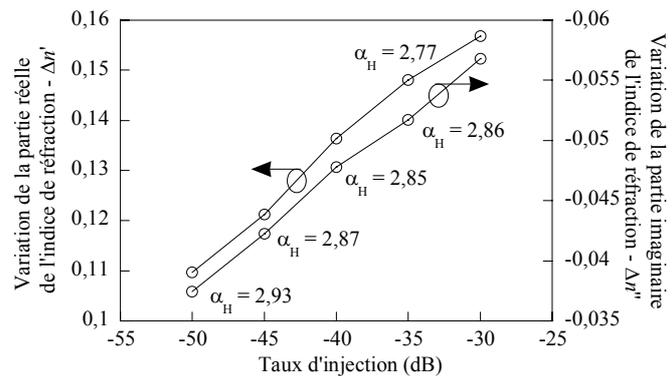


Fig. 3. Variations de l'indice complexe dues à une injection optique externe pour de différents taux d'injection.

La pertinence de l'estimation du facteur de couplage phase-amplitude α_H à partir des mesures réalisées avec l'OLCR peut être relativisée du fait de sa dépendance spectrale [8]. En effet, le paramètre α_H est fortement dispersif. La valeur du paramètre α_H correspond à une valeur moyennée par $\alpha_{H,meas} = 1 / \Delta\omega \int_{-\infty}^{+\infty} \alpha_H(\omega) S(\omega) r_{eqv}(\omega) d\omega$ où le produit $S(\omega) r_{eqv}(\omega)$ peut être considéré comme la réponse linéaire d'un filtre à bande étroite avec une largeur de bande $\Delta\omega$ déterminée à la fois par la structure et par le point de fonctionnement du laser. En conséquence, uniquement les longueurs d'onde de la source de l'OLCR autour de la longueur d'onde d'émission λ_0 sont réfléchies. L'incertitude sur l'estimation du paramètre α_H est en conséquence fortement améliorée.

Conclusion

Il a été montré que la technique de caractérisation OLCR sensible à la phase est une méthode versatile et non destructive de caractérisation des lasers DFB. Cette méthode permet de déterminer simultanément des différents paramètres tels que le facteur de couplage phase-amplitude ou le coefficient de couplage du réseau. Des modélisations effectuées par ailleurs ont conforté les expériences. De plus, la détermination précise des changements de l'indice de réfraction complexe a permis d'estimer la valeur du facteur de couplage phase-amplitude, et ceci à partir d'une mesure directe.

Références

- [1] E. I. Petermann et al, « Characterization of fiber Bragg gratings by use of optical coherence-domain reflectometry », *J. Lightwave Technol.*, vol. 17, pp. 2371-2378 (1999).
- [2] C. Boisrobert et al, « Low-coherence optical reflectometry of laser diode waveguides », *Proc. SPIE on Optical Technology for Optical Processing Systems* (1991).
- [3] Y. Gottesman et al, « Modeling of optical low coherence reflectometry recorded Bragg reflectograms: evidence to a decisive role of Bragg spectral selectivity », *J. Lightwave Technol.*, vol. 20, pp. 489-493 (2002).
- [4] G. Campuzano et al, « Determination of optically-induced complex-index change using a phase-sensitive OLCR technique », *Proc. 28th European Conf. Optical Communications (ECOC)*, Copenhagen, Danemark, paper 1.3.6 (2002).
- [5] U. Wiedmann et al, « A generalized approach to optical low-coherence reflectometry including spectral filtering effects », *J. Lightwave Technol.*, vol. 16, pp. 1343-1347 (1998).
- [6] P. Gallion et G. Debarge, « Influence of amplitude-phase coupling on the injection locking bandwidth of a semiconductor laser », *Electron. Lett.*, vol. 21, pp. 264-266 (1985).
- [7] E. Brinkmeyer et U. Glombitza, « Complex coherence-domain reflectometry in active laser diodes », *Opt. Lett.*, vol. 17, pp. 1441-1443 (1992).
- [8] M. Osinski et J. Buus, « Linewidth broadening factor in semiconductor lasers – an overview », *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 23, pp. 9-29 (1987).