

Localisation et mesure de l'amplitude d'un saut de phase d'un réseau de Bragg.

Xavier Chapeleau*, Dominique Leduc, Cyril Lupi et Christian Boisrobert

Laboratoire de Physique des Isolants et d'Optronique,
Université de Nantes, 2 rue de la Houssinière, 44300 Nantes, France

*NefTest Photonics, Les Clayes sous Bois, France
xavier.chapeleau@physique.univ-nantes.fr

Résumé : L'association de la réflectométrie à faible cohérence et de l'algorithme inverse du layer-peeling permet de déterminer l'amplitude de modulation de l'indice et la phase de réseaux de Bragg. Pour la première fois, nous appliquons cette technique à la caractérisation d'un réseau de Bragg à saut de phase. Nous démontrons qu'elle permet de localiser et de mesurer ce saut de phase.

Mots clés : Interférométrie, Réseau de Bragg, Mesure d'indice, Saut de phase

1 Introduction

Les réseaux de Bragg à saut de phase sont caractérisés par un pic très fin en transmission. Cette propriété est très utilisée dans le domaine des télécommunications notamment pour réaliser des laser à fibre monofréquence mais également dans le domaine des capteurs car une raie aussi fine permet l'amélioration de la sensibilité de la mesure. Suivant leurs applications, les réseaux de Bragg à saut de phase doivent respecter des caractéristiques spectrales et temporelles très pointues. Etant donné que ces caractéristiques dépendent du profil d'indice, il est indispensable de le mesurer afin de s'assurer qu'il correspond bien au profil «designé».

La réflectométrie à faible cohérence permet de mesurer les réponses spectrales et temporelles de réseaux de Bragg [1]. A l'aide de ces informations et d'une technique inverse appelée layer-peeling [2, 3], le profil d'indice du réseau peut alors être déterminé. Nous avons déjà démontré et rapporté dans différents articles [4, 5], l'efficacité de l'association de la réflectométrie et du layer-peeling, mais à notre connaissance, c'est la première fois qu'elle est appliquée à des réseaux de Bragg à saut de phase.

2 Réflectométrie à faible cohérence et layer-peeling

Le dispositif expérimental est constitué de deux interféromètres de Michelson. L'interféromètre de mesure est situé sur la droite de la figure 1. Il est presque entièrement fibré et un coupleur à -3 dB y tient lieu de lame séparatrice. Le réseau de Bragg étudié est connecté au bras de test de cet interféromètre. Dans le bras de référence, un chariot mobile sur lequel est monté un coin cube permet de faire varier la longueur du chemin optique. Un détecteur relève alors un interférogramme caractéristique de l'échantillon sous test. La partie variable de l'intensité détectée est le produit de convolution de la densité spectrale de puissance de la source et du coefficient complexe de réflexion du réseau de Bragg. En connaissant le spectre de la source, il est donc possible de mesurer ce coefficient complexe de réflexion à l'aide d'une transformée de Fourier discrète. Cela nécessite un échantillonnage fin et régulier. Le second interféromètre de Michelson en espace libre (sur la gauche de la figure 1) est utilisé comme comptage de franges et permet de mesurer le déplacement du chariot. Le pas d'échantillonnage est alors fixé par la longueur d'onde du laser stabilisé en fréquence et est égal à $\frac{\lambda_{\text{He-Ne}}}{8} = 79.1 \text{ nm}$.

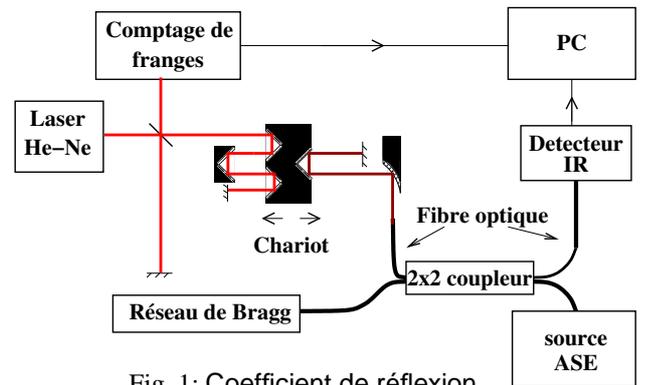


Fig. 1: Coefficient de réflexion

L'algorithme de synthèse que nous employons pour reconstruire le profil d'indice du réseau de Bragg est le layer-peeling. Cette technique utilise le coefficient complexe de réflexion du réseau comme point de départ et s'appuie sur les équations de couplage. Ces équations ont été établies en considérant que l'indice de réfraction du réseau de Bragg peut s'écrire sous la forme :

$$n(z) = n_{\text{eff}} + \Delta n_{\text{Ac}}(z) \cos \left[\frac{2\pi}{\Lambda_0} z + \Phi(z) \right] \quad (1)$$

où Λ_0 et $\Phi(z)$ sont respectivement la période et la phase du réseau. n_{eff} correspond à l'indice effectif de la fibre non photoinscrite et $\Delta n_{\text{Ac}}(z)$ à l'amplitude de modulation de l'indice du réseau.

3 Mesures du profil d'indice et de la phase du réseau

Le réseau de Bragg que nous avons étudié possède une longueur de 5 mm de long, une amplitude de modulation de $2,4 \cdot 10^{-4}$ et un saut de phase de π selon les simulations théoriques du fabricant. La figure 2(a) présente l'amplitude de modulation déterminée par l'algorithme du layer-peeling pour 10 mesures réflectométriques successives. Ces 10 courbes sont quasiment indiscernables, ce qui témoigne de la très bonne répétabilité de nos mesures. Nous pouvons également observer que les profils d'indice reconstruits possèdent une longueur de 5,4 mm et une amplitude de modulation maximale de $2,6 \cdot 10^{-4}$. Ces résultats sont conformes aux données du fabricant.

La figure 2(b) présente la phase $\Phi(z)$ du réseau de Bragg pour 10 mesures successives. Elle est linéaire le long du réseau sauf en son centre où apparaît une brusque augmentation. Sur l'encart de la figure 2(b), nous pouvons mesurer que cette variation de phase est égale à π et qu'elle s'étale sur une centaine de micromètres. Ces résultats sont encore une fois en accord avec les spécifications du produit. Par ailleurs, les figures 2(a) et (b) permettent de constater que l'introduction d'un saut de phase perturbe le réseau car son amplitude de modulation présente un creux.

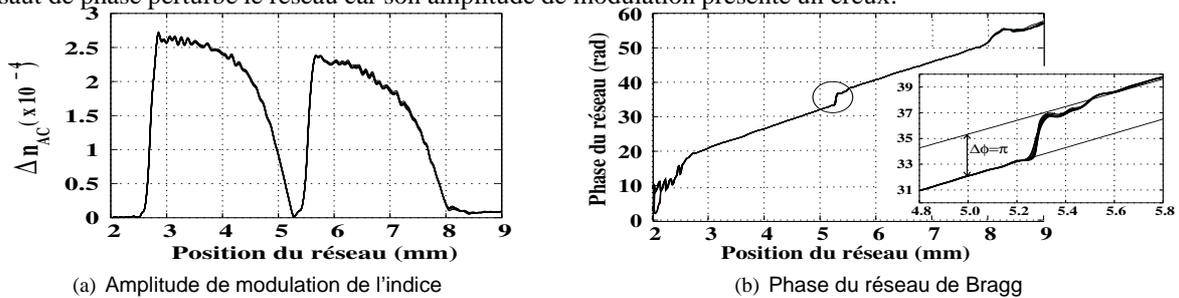


Fig. 2: Amplitude de modulation et phase du réseau à saut de phase.

4 Reconstruction du spectre et du temps de groupe

Pour vérifier la validité de nos résultats, nous avons calculé les réponses spectrales et temporelles du réseau de Bragg à partir des mesures de l'amplitude de modulation d'indice et de phase présentées dans le paragraphe précédent. Les figures 3(a) et (b) montrent que le coefficient de réflexion et le temps de groupe relatif calculés à partir de $\Delta n_{AC}(z)$ et de $\Phi(z)$ se superposent parfaitement aux mesures obtenues par réflectométrie.

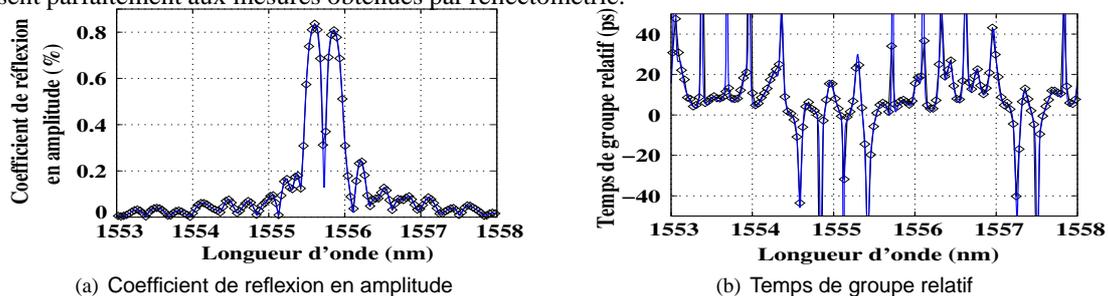


Fig. 3: Coefficients de réflexion et temps de groupe relatif calculés (en trait plein) et mesurés (points) du réseau à saut de phase.

5 Conclusion

Dans ce papier, nous avons démontré que l'association de la réflectométrie et du layer-peeling permet de localiser des sauts de phase dans des réseaux de Bragg et d'en mesurer l'amplitude. Par comparaison des réponses spectrales et temporelles mesurées et calculées, nous avons également prouvé la validité de nos résultats.

Références bibliographiques

1. X. Chapeleau, D. Leduc, M. Wicks, R. Le Ny et C. Boisrobert, "High accuracy relative group delay measurements of a chirped grating (NIST Telecom Round Robin)" Proceedings of SOFM'02, Boulder, 53-56 (2002).
2. R. Feced, M. Zervas et M. Muriel, "An efficient inverse scattering algorithm for the design of nonuniform fiber Bragg gratings", IEEE J. Quantum Electron., **35**(8), 1105-1115 (1999).
3. J. Skaar, L. Wang et T. Erdogan, "On the Synthesis of Fiber Bragg Gratings by Layer Peeling", IEEE J. Quantum Electron., **37**(2), 165-173 (2001).
4. X. Chapeleau, D. Leduc, C. Lupi, R. Le Ny, M. Douay, P. Niay et C. Boisrobert, "Experimental synthesis of fiber Bragg gratings using optical low coherence reflectometry", Appl. Phys. Lett., **82**(24), 4227-4229, (2003).
5. D. Leduc, X. Chapeleau, C. Lupi, R. Le Ny et C. Boisrobert, "Accurate low-coherence interferometric relative group delay and reflectance measurements ; characterization of a free space optics multiplexeur/demultiplexeur", Journal of Optics A : Pure and Applied Optics, **2**, 51-55, (2003).