

RESEAU DE BRAGG FIBRE POUR LE FILTRAGE A BANDE ETROITE DE L'EMISSION AUTOUR DE 400 NM D'UNE DIODE LASER INGAN

Laurent Lablonde¹, Emmanuel Pinsard¹, Olivier Rabine¹, Catherine Le Rouzic¹, Thierry Robin¹, Antoine Congar², Mathilde Gay², Dominique Mammez², Stéphane Trebaol²

¹ iXblue, division Fibres, rue Paul Sabatier, 22300 Lannion, France

² Univ Rennes, CNRS, Institut FOTON, UMR 6082, F-22305 Lannion, France

laurent.lablonde@ixblue.com

RÉSUMÉ

Nous rapportons la conception de réseaux de Bragg fibrés et présentons le résultat obtenu après montage d'un réseau utilisé comme réflecteur externe d'une diode laser InGaN afin d'en affiner le spectre jusqu'à obtenir une émission monomode longitudinale.

MOTS-CLEFS : *réseau de Bragg ; cavité externe ; diode laser ; spectroscopie Raman*

1. INTRODUCTION

Les lasers émettant autour de la frontière bleue-ultraviolette sont utilisés de nos jours dans de multiples domaines comme la recherche médicale, la spectrométrie, les communications optiques sous-marines, l'holographie, la mesure par interférométrie et la thérapie laser. L'excitation UV en spectroscopie Raman bénéficie ainsi de plusieurs avantages par rapport aux longueurs d'onde visibles : meilleure sensibilité grâce à la dépendance de la diffusion en $1/\lambda^4$ et amélioration du rapport signal à bruit par la lecture d'un spectre éloigné des sources de luminescence davantage présentes dans la partie visible du spectre. Les diodes lasers émettant dans la bande 375 – 400 nm sont compactes mais souffrent d'un prix relativement élevé comparées aux diodes émettant à de plus grandes longueurs d'onde et ont souvent un régime multimodal à la fois transverse et longitudinal. Les diodes laser à base d'InGaN [1] sont communément utilisées pour une émission dans le bleu et ont aujourd'hui des puissances de sortie limitées à quelques centaines de milliwatts mais qui progressent rapidement. La technique d'affinage spectral d'une diode laser multimode par réinjection d'un mode longitudinal au moyen d'un miroir à réseau de Bragg fibré à bande étroite situé dans le pigtail de sortie s'avère donc particulièrement intéressante. Cette solution bien maîtrisée à 1.55 μ m [2] n'a jamais été publiée à notre connaissance pour les courtes longueurs d'onde envisagées dans cette étude. Elle rend possible la réalisation d'une solution compacte, flexible et stabilisante en longueur d'onde et à bas coût, apte à répondre aux applications de spectroscopie Raman, au stockage holographique ou à toute autre application nécessitant une source laser à grande longueur de cohérence. Elle s'appuie sur une première étude à base de réseaux de Bragg fibrés de longueur d'onde inférieure à 400 nm.

2. CONCEPTION DES MIROIRS

La technique de réalisation employée repose sur le phénomène de photosensibilité d'une fibre germanosilicate exposée transversalement à un champ de franges UV. La fibre de diamètre de mode 2.4 μ m à 400 nm a une longueur d'onde de coupure située autour de 370 nm. Le pas du masque de phase le plus petit pouvant être gravé commercialement et diffractant efficacement sur les ordres ± 1 est $\Lambda=275$ nm ce qui ne permet pas d'atteindre une longueur d'onde de Bragg inférieure à 405 nm en inscription directe en considérant un indice effectif du mode fondamental $n=1.474$ après inscription. Afin de lever cette limitation, nous employons l'interféromètre de Talbot à masque de phase [3] montré en figure 1. Le faisceau TEM00 de puissance moyenne 100 mW correspond à la 5^{ème} harmonique (213 nm) d'un laser Nd:VO₄ déclenché nanoseconde à un taux de répétition de 12.5 kHz présentant une bonne efficacité pour inscrire dans une fibre silice à cœur dopé germanium sans

hydrogénation préalable [4]. Après diffraction par un masque de phase de pas usuel $\Lambda=1069$ nm, les ordres ± 1 , émergents avec un angle θ_1 , sont recombinaés après réflexion sur deux miroirs plans. L'angle d'intersection des ordres détermine le pas des franges (et celui du réseau), selon la relation (1). Il peut varier avec la rotation α des miroirs sous le contrôle de platines de positionnement avec une résolution de $15\mu^\circ$. Il est ajusté entre 101.8° et 105.0° afin d'obtenir $\lambda_B \in [395 ; 405]$ nm. Les ordres sont focalisés par une lentille cylindrique située devant le masque de phase. Plusieurs réseaux, de profil uniforme et de longueur 3 mm, de réflectivités 30 à 90 %, de FWHM 35 pm, sont inscrits en balayant à différentes vitesses un champ de franges de 0.7 mm le long de la fibre. L'amplitude de modulation d'indice photoinduite est estimée à 0.5×10^{-4} .

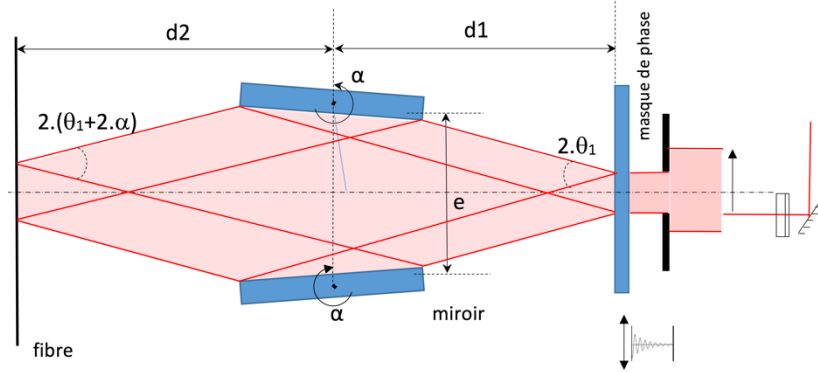


Fig. 1 : Schéma de principe de l'interféromètre de Talbot à masque de phase

$$\lambda_B = \frac{n \cdot \lambda_L}{\sin(\theta_1 + 2 \cdot \alpha)} \quad (1)$$

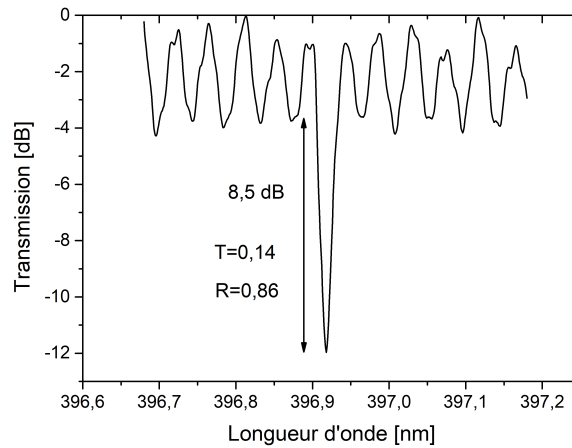


Fig. 2 : Spectre de transmission d'un réseau de Bragg centré autour de 396,9 nm

3. FILTRAGE DU LASER A SEMI-CONDUCTEURS EN CAVITE EXTERNE

La source laser est constituée d'une diode laser FP en InGaN [5] de $\lambda \approx 398$ nm, de type amplificateur réflectif (RSOA), couplée optiquement avec une cavité étendue par sa face de sortie traitée anti-reflet ($R \approx 2\%$). La rétroaction optique sélective en longueur d'onde est ainsi obtenue en injectant l'émission de la diode par une optique de focalisation dans la fibre monomode du FBG de 86 %. A l'autre bout du FBG, la fibre est reliée à tour de rôle à un analyseur de spectre optique, à un puissance-mètre et un Fabry-Perot d'analyse (FPA) de finesse 300 pour la caractérisation de l'émission laser filtrée. L'intervalle spectral libre de la cavité (10 cm dans l'air et 24 cm de fibre) est

de 326 MHz. Pour un courant d'alimentation de 87 mA, l'atténuation spectrale du FBG apparaît dans le spectre multimode de la diode à 396.9 nm (Fig. 2). A 100 mA, au-dessus du seuil laser estimé à 88 mA, nous mesurons une émission laser monomode longitudinale, de puissance 500 μ W, de taux de réjection des modes latéraux de 25 dB et de largeur de raie inférieure à 3.2 MHz, limitée par la résolution de notre FPA après vérification sur un laser de référence à très faible largeur de raie [6].

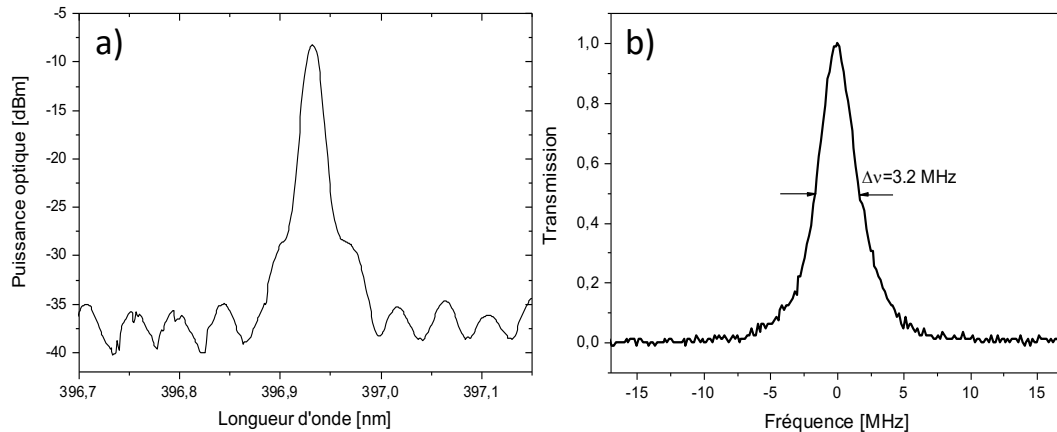


Fig. 3 : Spectre de la diode laser après rétroaction sur un réseau de Bragg fibré centré à 396.9 nm pour un courant d'alimentation de la diode de 100 mA (a). Le profil de raie mesurée correspond à la résolution spectrale du FPA (b).

CONCLUSION

Nous avons présenté le développement de réseaux de Bragg fibrés de longueurs d'onde centrales autour de 400 nm. L'affinage spectral à 396.9 nm, en cavité externe, d'une diode laser InGaN multimode permettant d'aboutir à une émission monomode de largeur de raie inférieure à 3.2 MHz a été démontrée. Ces travaux ouvrent la voie à la réalisation de sources lasers UV monofréquences, à bas-coût et de longueurs de cohérence suffisantes pour répondre aux attentes du marché comme notamment les applications de spectrométrie Raman UV.

REFERENCES

- [1] S. Nakamura, M. Senoh, S. Nagahama, N. Iwasa, T. Yamada, T. Matsushita, H. Kiyoku, Y. Sugimoto, "InGaN-Based Multi-Quantum-Well-Structure Laser Diodes", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 35, pp. L74-L76, 1996
- [2] A. Leroy, H. Helmers, H. Bissessur, G. Michaud, C. Duchemin, J-L Lafrayette, S. Hubert, B. Thedrez, S. Rabaron, J. Jacquet, L. Lablonde, M. Boitel, "Less than 36pm wavelength drift over [0,50°C] range with low-cost plug and play lasers with a-thermal wavelength selection in the connector", paper WC6, OFC, 2001
- [3] K. Stump, T.K. Plant, Y. Sun, "Variable wavelength fibre Bragg gratings written with diffractive optical element", *Elect. Lett.*, vol. 36, n°6, pp. 567-569, 2000.
- [4] M. Gagné, R. Kashyap, "New nanosecond Q-switched Nd:VO₄ laser fifth harmonic for fast hydrogen-free fiber Bragg gratings fabrication", *Opt. Commun.*, vol. 283, no. 24, 2010.
- [5] J. Dorsaz, A. Castiglia, G. Cosendey, E. Feltin, M. Rossetti, M. Duelk, C. Velez, J.-F. Carlin, and N. Grandjean, "AlGaIn-Free Blue III-Nitride Laser Diodes Grown on c -Plane GaN Substrates", *Applied Physics Express*, vol. 3, no. 9, p. 092102, 2010
- [6] M. Gay, A. Congar, D. Mammez, L. Lablonde, R. Butté, N. Grandjean, P. Besnard, S. Trebaol, "Narrow Linewidth InGaN Laser Diodes Based on External Cavity Fiber Bragg Grating", *CLEO/Europe EQEC*, 2019