

OFFRE DE THESE

PHOTOSTRUCTURATION DE MATERIAUX MAGNETO-OPTIQUES POUR LA FABRICATION D'UN ISOLATEUR OPTIQUE

Directeur de thèse : Dr. Dominique Berling (IS2M UMR 7361 CNRS - Univ. Haute Alsace - Mulhouse)

Co-encadrante : Dr. Emilie Gamet (Laboratoire Hubert Curien UMR 5516 CNRS - Univ. Jean Monnet - Saint-Etienne)

Financement : Contrat Doctoral de l'Université de Haute Alsace - ED 182

Objectif de la thèse:

Le but de la thèse est de **proposer un démonstrateur de composant magnéto-optique intégré** : un **isolateur optique**. Sa fonction est d'imprimer un sens de parcours dans un système optique en laissant passer la lumière dans un sens et la bloquant dans l'autre (fig.1). L'approche la plus couramment utilisée pour sa réalisation repose sur l'association d'un rotateur de polarisation réciproque de 45° et d'un rotateur magnéto-optique (MO) non réciproque de 45°, le **rotateur Faraday l'élément clef du dispositif**. Son comportement non-réciproque permet de protéger les sources laser des réflexions parasites, évitant ainsi la perturbation des modes de cavités et garantissant la stabilité de l'émission en longueur d'onde. Ce composant est notamment indispensable au sein des LIDAR (Light Detection And Ranging) embarqués, dispositifs de mesure de vitesse pour les avions et aujourd'hui identifiés clairement pour remplacer les sondes «Pitot» utilisés sur l'ensemble de la flotte aéronautique en raison de leur capacité à baisser les coûts énergétiques, réduire la taille et augmenter la précision et la fiabilité de la mesure optique de vitesses par l'analyse du faisceau optique rétrodiffusé. Néanmoins, l'isolateur optique, est aujourd'hui un composant d'espace libre de taille importante et qui oblige à faire transiter le signal par des fibres optiques. Cela réduit notablement la miniaturisation du dispositif complet et provoque une sensibilité aux alignements et/ou vibrations. Au-delà de l'exemple des LIDAR, dans les réseaux de télécommunications optiques par fibre, l'isolateur optique est également le seul composant à n'avoir pas pu être intégré sur les plateformes classiques : verre, polymère, SOI ou semiconducteur.

Son intégration complète est un challenge technologique qui perdure depuis la première démonstration, il y a plus de 30 ans, par Castéra et al [1]. Cette démonstration très prometteuse, basée sur l'utilisation de grenat d'Yttrium et de Fer (YIG $Y_3Fe_5O_{12}$) fût sans lendemain car ce matériau nécessite un traitement thermique à plus de 700°C, ce qui est évidemment incompatible avec une intégration au sein de puces optiques présentant d'autres fonctions. De plus, tous les matériaux MO développés depuis [2] n'ont pas permis de réaliser un isolateur optique intégré ayant des performances comparables aux isolateurs d'espace libre.

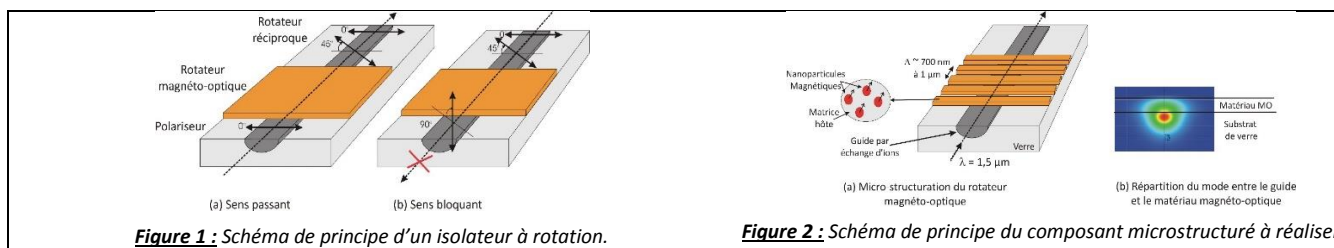


Figure 1 : Schéma de principe d'un isolateur à rotation.

Figure 2 : Schéma de principe du composant microstructuré à réaliser

Pour y parvenir, une approche composite, consistant à intégrer à basse température une matrice d'oxyde métallique dopée préalablement par des nanoparticules magnétiques, permet de lever ce verrou d'intégration. Le **Laboratoire Hubert Curien** a récemment mis au point un matériau magnéto-optiques intégrable constitué d'une matrice d'oxyde métallique (SiO_2-ZrO_2) dopée par des nanoparticules de ferrite de Cobalt $CoFe_2O_4$ cristallisées [3]. La compatibilité de ce matériau et ses capacités magnéto-optiques ont été démontrées très clairement par la réalisation d'un rotateur non-réciproque intégré présentant des rotations atteignant 45° [4] et un facteur de mérite de 2°/dB (Rotation Faraday/Absorption) à 1550 nm. Mais pour atteindre les performances requises (45°/dB) sur ces dispositifs une étape de structuration 1D à des échelles submicrométriques est indispensable pour exalter les effets magnéto-optiques recherchés (rotation Faraday) par phénomène de résonance. Toutefois, bien que présentant de bonnes propriétés optiques, le matériau composite développé au LaHC n'offre pas de possibilité de microstructuration à des échelles submicrométriques simples.

En revanche, une telle structuration dans le matériau composite magnéto-optique est rendue possible par les capacités de photo-polymérisation de matrices sol-gel adaptées préparées à partir de précurseurs inorganiques (alcoxydes de Zr, Ti, Hf, Zn...) [6, 7] développés à l'IS2M et réticulables sous irradiation UV ou UV-profonds (DUV). Les

propriétés optiques et mécaniques de ces couches en font d'excellents candidats comme matrice pour y incorporer des nanoparticules magnétiques et ainsi proposer un matériau à propriétés magnéto-optiques.

Le projet de thèse proposé est fondé sur la collaboration, initiée il y a plusieurs années, entre deux équipes présentant des expertises parfaitement complémentaires pour sa réussite :

- L' **IS2M** qui développe des matériaux et des stratégies de micro-nanostructuration de matériaux fonctionnelles originales et dispose des outils de caractérisation optique et magnéto-optique Kerr-Faraday.
- Le **Laboratoire Hubert Curien (LaHC) // Télécom Saint Etienne** spécialisé dans la modélisation de structures diffractives et de leur caractérisation magnéto-optique.

L'objectif principal est l'augmentation du facteur de mérite du matériau magnéto-optiques servant de base au rotateur Faraday. Ceci sera réalisé grâce à une optimisation par voie chimique et par l'utilisation du phénomène de résonance dans les couches microstructurées. Le résultat attendu est l'augmentation du facteur de mérite du rotateur Faraday intégré de 2°/dB pour atteindre si possible 45°/dB. Ce résultat passe par :

- **Le développement d'un nouveau matériau nanocomposite à propriétés magnéto-optiques performantes basé sur un sol-gel dopé en nanoparticules magnétiques (NPM) (Fig.2) et de leur incorporation dans des matrices hôtes photostructurables** tout en assurant la stabilité des NPM et en empêchant toute forme d'agglomération pour rester dans un régime de dispersion aléatoire de nanoparticules individuelles
- **La structuration à l'échelle sub-micrométrique du sol-gel dopé par des moyens simples d'écriture laser directe ne nécessitant pas de post traitement thermique.**
- L'optimisation du matériau et du design du composant par rapport à ses propriétés optiques **afin de réaliser in fine des dispositifs magnéto-optique intégrés hautement attendus et à forte valeur ajoutée. L'objectif final du projet est de réaliser un prototype d'isolateur intégré présentant des performances meilleures que celles publiées jusqu'à aujourd'hui et pouvant rivaliser avec les isolateurs d'espace libre.**

Cette thèse sera pour le candidat l'opportunité d'acquérir un solide background en physico-chimie des matériaux, photochimie, micro et nano structuration, magnéto-optique et de développer des compétences en spectroscopie FTIR, ellipsométrie, microscopie (AFM-MEB), instrumentation et caractérisation magnéto-optique Kerr-Faraday.

Ce projet pluridisciplinaire, à la pointe de la recherche, basé sur une forte collaboration avec le LaHC et d'autres laboratoires¹ favorisera grandement l'intégration du futur docteur dans le monde industriel et/ou académique.

Profil des Candidats :

Les candidats devront avoir une formation en physico-chimie, ou science des matériaux ou physique, avoir un goût certain pour les activités expérimentales et avoir de préférence des compétences et/ou des intérêts dans les domaines suivants : matériaux, chimie-physique, nanostructuration, microscopie, propriétés optiques. L'autonomie et la rigueur d'organisation dans le cadre d'un projet de recherche seront des critères importants et des qualités relationnelles et de communication sont jugées essentielles. Le(la) candidat(e) retenu(e) fera partie d'une équipe de plusieurs doctorants et post-doctorants et débutera sa thèse le 01/ 09/ 2015. Il(elle) sera amené(e) à se déplacer régulièrement principalement au Laboratoire Hubert Curien dans le cadre du projet de thèse.

Les candidatures comprenant un CV détaillé, 1 Lettre de recommandation et les copies des derniers relevés de notes Master 1^{ère} et 2^{ème} année sont à envoyer à l'adresse suivante : dominique.berling@uha.fr

Contact : Dr. Dominique BERLING, IS2M UMR 7361 CNRS, 15 rue Jean Starcky, BP 2488, 68057 Mulhouse cedex
Tél. 0389608733

Références :

- [1] J. Castera, G. Hepner, "Isolator in integrated optics using the Faraday and Cotton-mouton effects" *IEEE Trans. Magn.* 13(1977) 1583-1585
- [2] L. Bi, J. Hu, P. Jiang, D.H. Kim, G.F. Dionne, L.C. Kimmerling, C.A. Ross, "On-chip optical isolation in monolithically integrated non-reciprocal optical resonators", *Nature Photonics* 5 (2011) 758-762. - T. Mizumoto, R. Takei, Y. Shoji, "Waveguide Optical Isolators for Integrated Optics", *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 48 (2012) 252-260. - Y. Shoji, T. Mizumoto, H. Yokoi, I.W. Hsieh, R.M. Osgood, "Magneto-optical isolator with silicon waveguides fabricated by direct bonding" *Appl. Phys. Lett.*, 92 (2008) 071117
- [3] H. Amata, F. Royer, F. Choueikani, D. Jamon, F. Parsy, J.E. Broquin, S. Neveu, J.J. Rousseau, "Hybrid magneto-optical mode converter made with a magnetic nanoparticles-doped SiO₂/ZrO₂ layer coated on an ion-exchanged glass waveguide", *Applied Physics Letters* 99 (2011)251108.
- [4] J.-P. Garayt, F. Parsy, D. Jamon, S. Neveu, F. Royer, E. Ghibaudo, J.-E. Broquin, "Efficient magneto-optical mode converter on glass". *SPIE Proceedings*, 8988 (2014) 89880F
- [5] S. Kahl, A.M. Grishin, "Enhanced Faraday rotation in all-garnet magneto-optical photonic crystal", *Applied Physics Letters*, 84 (2004) 1438.
- [6] F. Stehlin, F. Wieder, A. Spangenberg, J.-M. Le Meins, O. Soppera, "Room-temperature preparation of metal-oxide nanostructures by DUV lithography from metal-oxo clusters". *Journal of Materials Chemistry C* 2014, 2, 277-285 - H.-C. Lin, F. Stehlin, O. Soppera, H.-W. Zan, C.-H. Li, F. Wieder, A. Ponche, D. Berling, B.O. Yeh, and K.-H Wang, "Deep ultraviolet laser direct write for patterning sol-gel InGaZnO semiconducting micro/nanowires and improving field-effect mobility" soumis à *Scientific Reports*

¹ - PHENIX UMR 8234 : Laboratoire Physicochimie des Electrolytes et Nanosystèmes Interfaciaux de l'Université Pierre et Marie Curie (Paris 6)

- IMEP-LAHC UMR 5130 : Institut de Microélectronique Electromagnétisme et Photonique et le Laboratoire d'Hyperfréquences et de Caractérisation de Grenoble