

Offre de thèse

à partir du 1^{er} Septembre 2023 (démarrage possible au 1^{er} Octobre)

Développement et caractérisation de composants d'optique non-linéaire intégrés par structuration laser de matériaux.

La structuration par laser est une méthode bien établie pour élaborer des composants photoniques par modification locale de l'indice de réfraction d'un matériau optique [1]. Des guides d'ondes, des résonateurs, des réseaux de Bragg et des structures plus complexes ont ainsi été réalisées par ce procédé depuis de nombreuses années. De telles structures sont des briques de base essentielles pour la mise en œuvre d'architectures photoniques intégrées tels que : (i) des micro-lasers intégrés ; (ii) des coupleurs directionnels entre deux guides réseaux pour des applications de multiplexage ; (iii) des réseaux de nombreux guides couplés en cascade pour la réalisation d'isolants topologiques ; (iv) des structures interférométriques servant de capteurs de traction, de température ou d'indice. De telles architectures en optique intégrée peuvent être également être mises à profit dans le régime quantique, avec la manipulation de photons uniques ou intriqués.

Afin d'être plus vaste dans le champ applicatif de ces systèmes photoniques intégrés, de nouvelles fonctions basées sur la non-linéarité des matériaux doivent être développées. Ces nouvelles fonctionnalités permettront de convertir, mélanger, détecter et plus généralement manipuler les signaux optiques comme par exemple pour générer efficacement des longueurs d'ondes aux extrêmes du spectre visible (ultraviolet ou infrarouge proche et moyen) ou encore des peignes de fréquence optiques pour des applications en spectroscopie ou dans les télécommunications. L'accès à des longueurs d'ondes dites exotiques aussi bien que l'intégration des dispositifs capables de générer ces gammes de fréquence sont des enjeux clés. L'agilité dans la génération de spectres optiques intenses permet notamment (i) d'adresser les problématiques de détection de polluants soit en propagation libre en LIDAR ou en cellule fermée résonante (*cavity ring-down spectroscopy*), ou (ii) d'adresser la production optimisée à haut flux de paires de photons intriqués pour la maturation de technologies quantiques. Ces problématiques de développement de sources intégrées cohérentes dans l'infrarouge moyen sont au cœur de l'axe de recherche « Downsize Optics » du GPR LIGHT (Grand Programme de Recherche) qui finance les travaux de recherche de cette thèse.

Dans ce contexte, nous proposons ainsi une approche originale de structuration périodique par laser (SPL) des propriétés non-linéaires d'ordre 3 de guides d'onde à base de matériaux isotropes et vitreux (silice ou compositions d'oxydes de phosphate ou de métaux lourds tels que Ge, Ga, ...). L'interaction laser/verre en régime femtoseconde permet d'accéder à une modification locale de la réponse optique du matériau, et notamment de sa susceptibilité non-linéaire [2, 3]. La structuration laser permet en particulier de réaliser des architectures photoniques favorables à la réalisation de conditions optimales dites de quasi-accord de phase (quasi-phase matching, QPM) [4-6]. De plus, l'utilisation d'un guide permet quant à elle d'exalter les processus non-linéaires par effet cumulatif du confinement optique et de la propagation sur des grandes distances.

Votre projet

Au cours de cette thèse, il s'agira donc :

- De concevoir, réaliser et caractériser des SPL présentant du QPM du troisième ordre sur des matériaux usuels (e.g. silice, verres à base d'oxydes et non-oxydes),
- De rechercher des matériaux de compositions existantes ou de nouvelles compositions adaptées à la réalisation de structures de plus en plus performantes.

Pour répondre notamment aux questions ouvertes qui sous-tendront aussi le travail de thèse :

- Quelle(s) forme(s) de guide et/ou quel profil de structure (pas nécessairement périodique) permet d'optimiser les rendement et caractéristiques des processus non-linéaires ?
- Existe-t-il des compositions ou des processus photoinduits qui permettent de modifier indépendamment l'indice de réfraction et la réponse non-linéaire ?

Les travaux de recherche seront conduits au sein du groupe *Optique et Lasers Femtosecondes* du CELIA (conception, caractérisation) conjointement avec le groupe *Chimie et Photonique des Matériaux Oxydes et Fluorés* de l'ICMBC (réalisation, caractérisation). La personne recrutée sera amenée à interagir au sein d'un environnement pluridisciplinaire, auprès de chercheurs / enseignants-chercheurs spécialistes de l'optique ultra-rapide, de l'optique non linéaire, de l'optique guidée, des architectures photoniques linéaires/non-linéaires, des matériaux vitreux massifs et/ou fibrés, ou de spectroscopie. La complémentarité des laboratoires CELIA et ICMBC constitue une opportunité pour travailler au sein d'un environnement stimulant et de bénéficier de l'expertise de différents partenaires mais aussi de compétences acquises. Les expertises complémentaires de fabrication (structuration laser, connectivité et intégration) de matériaux

massifs/fibrés architecturés seront mises à profit, ainsi que les méthodes de métrologie optique non linéaire et de modélisation analytique/numérique pour les processus de génération de 3^{ème} harmonique ou de mélange à 4 ondes.

Le ou la candidat.e pourra ainsi capitaliser de nombreuses compétences tant sur le plan méthodologique et expérimental que numérique et conceptuel. Il/Elle développera également de solides connaissances, hautement recherchées en Photonique, sur les matériaux optiques (élaboration, caractérisation) et leur structuration laser pour la réalisation de composants photoniques linéaires/non-linéaires, les guides d'ondes intégrés et fibres optiques spéciales, les lasers et l'optique non-linéaires. Les résultats obtenus seront communiqués dans des revues et conférences internationales.

Compétences requises

- Titulaire d'un master (ou équivalent) en photonique, ou physique/physique-chimie depuis moins de deux ans.
- Motivé.e et talentueux.se, faisant preuve de dynamisme au sein d'une équipe et de curiosité scientifique, avec une bonne capacité d'organisation et de communication (orale et écrite) en français et/ou anglais (B2/C1).
- Connaissance préalable souhaitée de l'optique physique, de l'optique non-linéaire et des lasers ultra-brefs.
- Réelle affinité pour les travaux expérimentaux, l'intérêt pour la modélisation étant un bonus apprécié.

Contrat

Ce contrat doctoral d'une durée de 3 ans (36 mois) est à pourvoir à partir du 1^{er} septembre 2023. Le salaire mensuel est typiquement de 2044,12 € brut (en 2023, puis le salaire évoluera en fonction des arrêtés ministériels). Le contrat inclut la réalisation de 100 h de formation au sein de l'École Doctorale Sciences et Physique de l'Ingénieur (ED-SPI), 50 jours de congés annuels, et la possibilité (sous-conditions) d'effectuer une mission complémentaire (par exemple en enseignement).

Candidature et modalités d'admission

Les candidatures devront comporter :

- un Curriculum Vitae détaillé,
- un relevé des notes de Master ou équivalent,
- une Lettre décrivant votre motivation et vos expérience et qualifications pour les travaux proposés.

Les candidat.e.s sont également invité.e.s à proposer au moins deux contacts ou à fournir deux lettres de recommandation. Les éléments demandés devront être adressés par mail à :

jean-christophe.delagnes@u-bordeaux.fr

et

yannick.petit@u-bordeaux.fr

Les meilleurs dossiers se verront proposer un entretien. La candidature retenue sera soumise au comité d'expertise du GPR pour validation/refus du recrutement sur critères d'excellence du dossier du ou de la postulante, ainsi qu'à l'accord des FSD (Fonctionnaire Sécurité Défense) référents pour l'accès aux laboratoires et infrastructures de recherche impliquées (ZRR Zone à Régime Restrictif). L'offre sera ouverte jusqu'à début juillet 2023 pour un début de contrat souhaité au 1^{er} septembre 2023 avec un démarrage possible jusqu'au 1^{er} octobre.

Références Bibliographiques

- [1] "Review of femtosecond laser direct writing fiber-optic structures based on refractive index modification and their applications," J. Zhao, Y. Zhao, Y. Peng, R-q. Lv, Q. Zhao, *Optics & Laser Technology* 146, 107473 (2022)
- [2] "Non-collinear generation of third harmonic of IR ultrashort laser pulses by PTR glass volume Bragg gratings," L. A. Siiman, J. Lumeau, L. Canioni, et al., *Opt. Express* 17, 3564 (2009)
- [3] "Nonlinear refractive index of optical crystals," R. Adair, L. L. Chase, and S. A. Payne, *Phys. Rev. B* 39 (5) 3337 (1989)
- [4] "Development and experimental demonstration of negative first-order quasi-phase matching in a periodically poled Rb-doped KTiOPO₄ crystal," Y. Petit, A. Peña, P. Segonds, J. Debray, S. Joly, A. Zukauskas, F. Laurell, V. Pasiskevicius, C. Canalias, and B. Boulanger, *Opt. Letters* 45 (21) 6026 (2020)
- [5] "Quasi-phase-matched $\chi^{(3)}$ -parametric interactions in sinusoidally tapered waveguides," Mohammed F. Saleh, *Phys. Rev. A* 97 (1) 013850 (2018)
- [6] "Third harmonic generation in periodically poled crystals," J.C. Delagnes, L. Canioni, *Proc. SPIE* 7917, Nonlinear Frequency Generation and Conversion: Materials, Devices, and Applications X, 79171C (21 February 2011); <https://doi.org/10.1117/12.874045>