

Sujet de thèse :

Dispositifs photoniques bio-inspirés et éco-responsables pour la santé et l'environnement

Domaine et contexte scientifiques :

De nombreuses applications photoniques pour la santé et l'environnement, comme la photocatalyse ou l'analyse moléculaire, requièrent le développement de dispositifs optiques aux propriétés relativement similaires. En particulier, ces systèmes doivent être de préférence multi-résonants, robustes, et ils doivent présenter une grande surface spécifique permettant de maximiser l'interaction entre la lumière et le milieu environnant. En outre, les applications pour la santé et l'environnement se doivent de prendre en compte le caractère éco-responsable des dispositifs, via l'ingénierie de structures photoniques compatibles avec des procédés et des matériaux bio-compatibles à faible impact environnemental. Pour atteindre une partie de ces objectifs, une stratégie possible consiste à s'inspirer de la nature. Beaucoup d'espèces animales ou végétales (plumes, ailes d'insectes, feuilles, pétales...) présentent en effet des propriétés optiques de transparence, de coloration ou encore d'iridescence exceptionnelles dans leur diversité et leurs performances, qui sont dues à une structuration tri-dimensionnelle de la matière à l'échelle submicronique [1]. De par leurs architectures souvent complexes (donc leurs grandes surfaces spécifiques) et leur grande robustesse aux imperfections, certaines structures photoniques naturelles présentant des résonances optiques sont des modèles de choix pour le design des dispositifs destinés aux applications de photocatalyse et d'analyse moléculaire. Cependant, reproduire ces nanostructures représente un challenge important du point de vue de la technologie et de l'ingénierie photonique associée [2], d'autant plus dans les limites d'une fabrication éco-responsable.

Objectifs de la thèse :

Ce travail vise à concevoir et réaliser des nanostructures photoniques inspirées d'architectures naturelles, qui soient à la fois adaptées aux applications pour la santé et l'environnement, et compatibles avec une fabrication utilisant les outils technologiques de l'INL. Dans ce but, l'ingénierie photonique et la réalisation technologique seront menées de pair, afin d'adapter les concepts issus de la nature aux spécificités de nos outils de fabrication. Le premier objectif sera d'identifier quelques nanostructures naturelles ayant les propriétés photoniques recherchées (multi-résonance et robustesse), puis de s'en inspirer pour concevoir des objets aux propriétés similaires, adaptées au domaine spectral visé par l'application, et compatibles avec les matériaux éco-responsables envisagés (sol-gels ou biopolymères). Les structures proposées devront également présenter des architectures pouvant être directement fabriquées via les technologies alternatives disponibles à l'INL, comme la lithographie interférentielle ou la lithographie par nanoimpression. Le second objectif sera ensuite de fabriquer des structures types et de les caractériser expérimentalement afin d'évaluer leur potentiel applicatif. Dans un troisième temps, on pourra s'intéresser à étendre l'étude à des architectures plus complexes afin d'optimiser les propriétés optiques et la surface spécifique, et d'obtenir ainsi des structures plus performantes pour les applications visées. L'aboutissement de la thèse sera la démonstration expérimentale d'un dispositif bio-inspiré pour une application de photocatalyse et/ou d'analyse moléculaire.

Verrous scientifiques :

Ce travail de thèse doit lever deux principaux verrous. D'une part il s'agira de concevoir des nanostructures présentant des propriétés photoniques performantes (contrôle spectral et angulaire, forte interaction avec le milieu environnant), dans des matériaux de bas indice tels que les oxydes métalliques obtenus par voie

sol-gel ou les polymères. D'autre part, les objets proposés, bien qu'inspirés de systèmes naturels tri-dimensionnels et souvent multi-échelle, devront être compatibles avec des techniques de fabrication « top-down » qui sont généralement mieux adaptées à la réalisation de structures bi-dimensionnelles. Ces verrous pourront être levés en combinant l'expertise de l'équipe i-Lum dans le domaine des concepts photoniques et de la simulation optique, avec le savoir-faire de la plateforme technologique Nanolyon sur les procédés technologiques à fort potentiel tels que la lithographie interférentielle ou la lithographie par nanoimpression.

Contributions originales attendues :

Si les propriétés optiques des nanostructures naturelles ont déjà été largement étudiées et sont bien comprises du point de vue des mécanismes d'interaction lumière-matière mis en jeu, leur réplique expérimentale est un réel enjeu qui requiert pour l'instant la mise en place de designs et de procédés technologiques très complexes pour obtenir les performances visées. Le développement de procédés alternatifs originaux permettant de simplifier cette réalisation technologique, tout en reproduisant les propriétés optiques exceptionnelles observées dans la nature, constituera une avancée majeure dans le domaine de la photonique bio-inspirée, qui pourrait à terme ouvrir de nouvelles voies pour la mise en œuvre de nombreuses applications bio-inspirées. En outre, la démonstration d'un tel développement technologique à base de matériaux durables sera un jalon crucial pour de futurs développements de dispositifs photoniques dans des filières écoresponsables.

Profil du candidat recherché :

Le/la candidat.e doit avoir des bases solides de science des matériaux, et/ou nanophotonique. Il/elle doit aussi avoir une expérience en micro-nanotechnologie, avec la motivation pour mener de front des travaux technologiques, expérimentaux, et de simulation.

Durée : 3 ans (10/2024 – 09/2027)

Lieux : INL, sites ECL et la Doua

Date limite de candidature : 07 mai 2024

Encadrement / Contact :

Xavier Letartre : xavier.letartre@ec-lyon.fr

Céline Chevalier : celine.chevalier@insa-lyon.fr

Cécile Jamois : cecile.jamois@insa-lyon.fr

Références bibliographiques :

[1] G. Jacucci, et al., Light Management with Natural Materials: From Whiteness to Transparency, Adv. Mater. 2021, 2001215

[2] H. Butt, et al., Morpho Butterfly-Inspired Nanostructures, Adv. Optical Mater. 2016, 497

