

Offre de Thèse :

Exaltation surfacique basée sur une nano plateforme en optique intégrée pour de la détection de polluants par diffusion Raman – « LASERS »

Une thèse d'une durée de 36 mois va démarrer à l'Institut Foton sur le développement de capteurs SERS dans le visible.

Début de thèse : Octobre 2024

Directeur de thèse : Joël CHARRIER **co-directeur de thèse :** Nathalie LORRAIN et Parastesh Pirastesh

Financement : Université de Rennes

Équipe : Systèmes Photoniques (groupe), localisée à l'ENSSAT-Lannion

Mots clefs : Optique intégrée, visible, Capteurs spectroscopiques

Sujet

L'objectif de ce sujet de thèse est de développer un dispositif photonique sensible et miniaturisé innovant dédié à la détection de polluants en solution aqueuse ou en milieu gazeux par la combinaison de l'optique intégrée, de spectroscopies vibrationnelles améliorées et de nanotechnologies afin de développer un capteur sur site basé sur l'effet SERS (Surface Enhanced Raman Scattering SERS). Ce projet consiste à développer de la détection spécifique dans un système complexe grâce à l'identification directe et sans marquage de l'analyte par la spectroscopie Raman. Les spectroscopies vibrationnelles (Raman) peuvent permettre une telle identification car le spectre vibrationnel est une véritable signature moléculaire. Pour fournir une détection très sensible et atteindre une limite de détection (LOD) très basse, le signal spectral peut être considérablement augmenté grâce à la diffusion Raman exaltée en surface (SERS). Cette technique de détection repose sur les propriétés optiques uniques des nanoparticules métalliques qui agissent comme une nano-antenne (NA). Par ailleurs, les analyses sur site ou en ligne nécessitent un appareil compact et miniaturisé. Nous proposons de réaliser une plateforme en optique intégrée sur substrat de silicium constituée de guides d'ondes (WG) à base de verres de chalcogénure (ChGs) et à la surface desquels seront déposées les NA (Fig.1). Les guides d'onde ruban sont utilisés pour propager le signal excitation des NA tandis que les NA agissent sur le dispositif pour la partie détection d'analytes déposés sur le guide d'onde. tandis que. L'utilisation de l'optique intégrée nous permettra d'augmenter l'efficacité du signal d'excitation afin de réduire la taille du dispositif en évitant l'utilisation d'un microscope optique pour les fonctions d'excitation. Cette plateforme de détection sera ensuite utilisée et intégrée dans un dispositif de détection complet (Fig. 2) incluant également des guides optiques intégrés pour la collection. Les échantillons à analyser seront injectés dans une cellule micro-fluidique placée sur la plateforme. Les signaux SERS issus des analytes se feront soit par une fibre optique, soit par un deuxième guide d'onde connecté à des fibres optiques puis analysés au moyen de spectromètres pour permettre l'identification et la quantification des analytes.

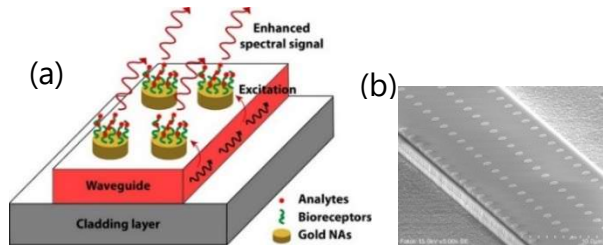


Fig. 1: (a) Concept du nano-capturer à base d'un guide d'onde à la surface duquel des plots d'or servant de nano-antennes ont été déposés. Les analytes à détecter sont disposés dans le superstrat du guide d'onde

(b) image MEB des NA à la surface du guide d'onde intégré à base de verres de chalcogénure

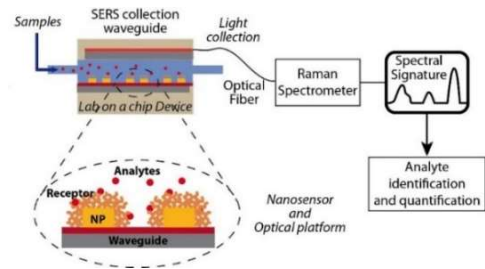


Fig. 2: Schéma de principe de la détection

Deux applications sont envisagées :

- détection de polluants en solution aqueuse
- la détection de composés organiques volatils COV dans le secteur de l'emballage alimentaire, l'industrie du recyclage

En effet, la détection de polluants en solution aqueuse, en accord avec la politique de réglementation, est d'une importance primordiale pour à la fois atteindre un bon état environnemental, pour ouvrir la voie à un traitement précoce de l'environnement et pour détecter la pollution/contamination à l'état de traces avant d'atteindre le seuil réglementaire et faire l'analyse directement sur place. Une telle détection reste un défi au niveau européen (projets européens Green deal, Starfish Mission 2030) en raison de la complexité des milieux à analyser, de la non-spécificité de la détection et de la sensibilité et de la non-portabilité des méthodes actuelles. (Collaboration avec Ifremer)

De plus, la détection de composés organiques volatils COV est également d'une importance primordiale dans le secteur de l'emballage alimentaire et l'industrie du recyclage: chaque année, 4,8 millions de tonnes de plastiques sont utilisées en France, dont près de 46 % sont des emballages à usage unique. En raison de la multitude de matériaux et de procédés utilisés dans le secteur de l'emballage alimentaire, l'industrie du recyclage est confrontée à de nombreux défis pour atteindre les objectifs ambitieux de la stratégie nationale 3R2 (Réduction, Réutilisation et Recyclage), à savoir 100 % de recyclage des plastiques à usage unique d'ici 2025. La détection en ligne de production des composés organiques volatils COV lors du traitement des emballages par extrusion ou injection est un moyen qui peut permettre aux plasturgistes d'incorporer davantage de matières recyclées dans les emballages plastiques mais aussi de dynamiser le marché croissant des plastiques bio-sourcés tout en garantissant leur qualité, ainsi qu'une traçabilité et une réelle sécurité pour les consommateurs. Cette démarche s'ajoute également au rejet du plastique dans l'eau. (Collaboration avec IPC).

[1] <https://wwz.ifremer.fr/Espace-Presses/Communiqués-de-presses/Mission-Starfish-2030>

[2].LOI n° 2020-105 du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire

[3].I. Tijunelyte, et al., «Diazonium Salt-Based Surface-Enhanced Raman Spectroscopy Nanosensor: Detection and Quantitation of Aromatic Hydrocarbons in Water Samples», *Sensors*, 17(6), 1198, 2017

- [4].R. Gillibert, et al., «Surface enhanced Raman scattering sensor for highly sensitive and selective detection of ochratoxin A», Analyst, 143, 339, 2018
- [5] R. Rich et al., “Advances in surface plasmon resonance biosensor analysis», Curr. Opin. Biotech. 11, 54, 2000
- [6].J. Charrier, et al. «Evanescent wave optical micro-sensor based on chalcogenide glass », Sensors and Actuators B: Chemical, 468-476, 2012

Profil du candidat

Le sujet de thèse mettra en œuvre des compétences pluridisciplinaires en optique guidée, en optique intégrée, en physique des matériaux et dans le domaine des capteurs. Une formation de niveau Master 2 ou école d'ingénieur abordant une partie significative de ces domaines est nécessaire pour aborder ce sujet de thèse. Des compétences en simulation électromagnétique, en optique guidée, en réalisation technologique et/ou en caractérisations optiques seront fortement appréciées. Le (La) candidat(e) retenu(e) devra en outre avoir le goût de la technologie en optique intégrée, en caractérisations expérimentales et de bonnes aptitudes pour le travail en équipe et la communication de ses résultats (oral et écrit).

Partenariat

Collaborations envisagées :

- IMMM (M. Lamy-de-la-Chapelle et F. Lagarde),
- ISCR (V. Nazabal), Equipe Verres et Céramiques de l'ISCR
- Ifremer (E. Prado, M. El-Rakwe et R. Courson).
- IPC (T. Falher et A. Littner)

Laboratoire d'accueil : Equipe Systèmes photoniques de l'Institut Foton (CNRS, UMR6082) à Lannion

L'Institut Foton est une unité mixte de recherche associant le CNRS, l'Université de Rennes 1 (l'Enssat et l'IUT de Lannion), et l'INSA de Rennes. L'unité est structurée en six axes thématiques et trois équipes, réparties sur deux sites : deux équipes à Rennes, Opto-électronique, Hétéro-épitaxie et Matériaux (OHM, (INSA-Rennes) et (DOP, UR1) ; une équipe Systèmes Photoniques à Lannion (Enssat-Lannion).

Le/La doctorant(e) travaillera dans le groupe Optique Guidée et Capteurs de l'équipe Système photonique composée d'environ 25 personnes et situé à Lannion. Ce groupe a acquis une forte expérience dans le domaine des circuits intégrés photoniques et dispose des moyens de la plateforme technologique CCLO (salle blanche de 200 m², bâtis de dépôt de couches minces (pulvérisation cathodique, évaporation par canon à électrons), photolithographie sub-micronique, lithographie électronique, gravure sèche ICP-RIE, Microscope Electronique à Balayage, ...) et d'équipements et de bancs optiques adaptés aux caractérisations optiques de composants intégrés. Le/La doctorant(e) pourra ainsi bénéficier des compétences et moyens pour la réalisation technologique, mais également pour les aspects de modélisation, pour l'assemblage et les caractérisations de circuits intégrés optiques et de fibres optiques.

Information complémentaire - Contact

Des informations complémentaires peuvent être obtenues en contactant :

nathalie.lorrain@univ-rennes.fr,
parasteh.pirasteh@enssat.fr,
joel.charrier@univ-rennes.fr

Candidature

Toute candidature devra comporter les éléments suivants :

- Lettre de motivation
- CV détaillé
- Copie du diplôme de master ou équivalent
- Bulletins de notes
- Liste de publications s'il y a lieu
- Lettres de recommandation si possible