

Cristaux photoniques en diamant pour la réalisation de bio-capteurs innovants

DIRECTEURS DE THÈSE ET ENCADRANT IEF : **Xavier Checoury** – xavier.checoury@ief.u-psud.fr

ENCADRANT CEA : Hugues Girard - hugues.girard@cea.fr

ÉQUIPES D'ACCUEIL : - Institut d'Électronique Fondamentale, UMR 8622, Bât. 220, Université Paris-Sud 91405 Orsay. <http://pages.ief.u-psud.fr/QDgroup>
- CEA LIST, Diamond Sensors Laboratory, Bât. 451 - Centre d'Etudes de Saclay 91191 Gif-sur-Yvette. <http://www-list.cea.fr/>

Date de début souhaitée : octobre 2015 - Financement de thèse acquis.

DESCRIPTIF ET APPORT DU TRAVAIL DE THÈSE :

- Contexte de la recherche:

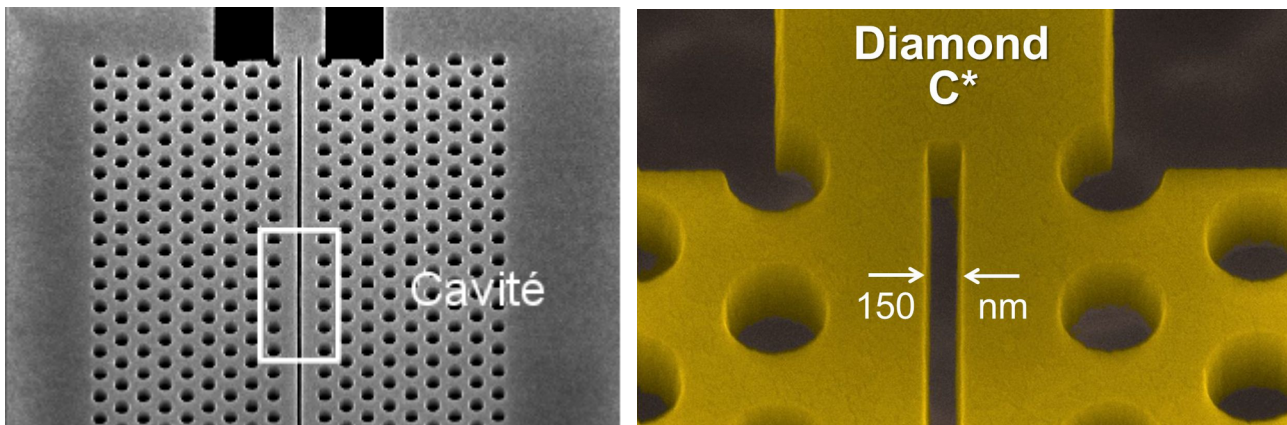
Le diamant est le matériau de tous les superlatifs et se révèle très attractif pour l'optique et la photonique grâce à des propriétés nombreuses et variées [1]. Le diamant est transparent, quasiment de l'ultraviolet au lointain infrarouge. Il possède une grande variété de centres colorés optiquement actif qui peuvent être utilisés comme source de photons uniques à température ambiante [2]. Les surfaces du diamant peuvent être fonctionnalisées notamment par liaison covalente, pour fabriquer des interfaces biologiques extrêmement stables et sélectives, une propriété qui est particulièrement souhaitable pour la réalisation de bio-capteurs à lecture optique.

Notre récente maîtrise, à l'état de l'art mondial, de la fabrication de micro et nano-structures optiques permet d'imaginer de nouvelles expériences en nano-photonique qui tirent parti des propriétés extra-ordinaires du diamant mais qui n'étaient pas envisageables auparavant du fait des difficultés de structuration. Par exemple, nous avons réalisé des cristaux photoniques, qui sont des structures périodiques capables de fortement confiner la lumière et qui sont ainsi très sensibles à des variations d'indice optique à proximité de leur surface. La structure représentée sur la figure ci-dessous nous a déjà permis de détecter la modification de l'état de surface du diamant lorsque celle-ci passe d'un état hydrogéné à un état oxygéné du fait du faible changement de l'indice optique de surface[3-5].

Dans ce contexte, cette thèse propose la réalisation de puces à lecture optique, fonctionnant en temps-réel, in-vitro et aux longueurs d'onde du visible intégrant des cristaux photoniques en diamant fonctionnalisés. Elle s'appuie sur la maîtrise du CEA-LIST en matière de réalisation de couches en diamant, sur la grande expérience en matière de simulation et de fabrication de nanostructures optiques au sein de l'IEF ainsi que sur l'expertise de nos partenaires biologistes du CEA-SREIT en bio-fonctionnalisation avancée de capteurs.

- Bref descriptif scientifique

La thèse comportera un travail de simulation et d'expérimentation. Tout d'abord, des modélisations et simulations numériques (FDTD, ondes planes, éléments finis,...) permettront de déterminer les structures à cristal photonique les plus adaptées pour la détection de molécules et compatible avec les besoins et les contraintes fournis par des biologistes du SREIT. Les procédés de fabrication des structures devront aussi être optimisés pour permettre la réalisation de cristaux photoniques capables de travailler dans le bleu et jusqu'à $\lambda=400$ nm. La réalisation complète des puces comportera donc une phase de croissance de la couche de diamant, une étape de lithographie électronique, une étape de gravure par ICP (Inductively Coupled Plasma etching) et une étape de bio-fonctionnalisation. Des caractérisations optiques des structures fabriquées seront réalisées au moyen des différents bancs expérimentaux disponibles à l'IEF. Elles permettront de vérifier les propriétés optiques globales des structures ainsi que leurs propriétés de détection dans différents environnements (gaz et liquide) avec ou sans fonctionnalisation simple de surface qui sera effectuée au CEA-LIST. Les puces ainsi validées seront testées au CEA-SREIT où des fonctionnalisations avancées et des tests en conditions réelles seront effectués.



Cavité à cristal photonique fendu entièrement en diamant pour la détection de bio-molécules [5] par lecture optique à $\lambda=1,55 \mu\text{m}$. La tranchée mesure moins de 150nm. Ces structures sont fabriquées dans des films de diamant nanocristallin en utilisant les techniques de fabrication standard des semi-conducteurs.

- Compétences acquises lors du travail de thèse

Cette thèse comportera des tâches d'analyse et de conception (modélisation électromagnétique et simulation de cristaux photoniques en diamant), des tâches de fabrication des échantillons (à la fois au CEA-LIST et dans la salle blanche IEF-MINERVE), et des tâches de caractérisation optique au moyen des différents bancs expérimentaux disponibles. À la fin de sa thèse, le(la) doctorant(e) aura acquis des compétences dans le domaine de la modélisation et la simulation des principales structures de l'optique intégrée. De plus, il/elle aura acquis une expertise reconnue dans les techniques de nano-fabrication en salle blanche (fabrication de couches minces, lithographie électronique, gravure...) et aura su adapter ces compétences pour la fabrication de capteurs à finalité de détection biologique. Enfin, le candidat possèdera à la fin de sa thèse les compétences nécessaires aux caractérisations optiques de dispositifs de taille micro- et nano-métrique.

[1] I. Aharonovich, A. D. Greentree, and S. Prawer, *Nat. Photonics* **5**, 397 (2011).

[2] I. Aharonovich, S. Castelletto, D. A. Simpson, C. H. Su, A. D. Greentree, and S. Prawer, *Rep. Prog. Phys.* **74**, 076501 (2011).

[3] X. Checoury, D. Néel, P. Boucaud, C. Gesset, H. Girard, S. Saada, P. Bergonzo, "Nanocrystalline diamond photonics platform with high quality factor photonic crystal cavities", *Appl. Phys. Lett.* **101**, 171115 (2012).

[4] C. Blin, H. A. Girard, N. Cazier, C. Gesset, S. Saada, X. Checoury and P. Bergonzo, « Slotted cavities in diamond photonic crystals for chemical sensing », MRS Boston | November 27, 2012.

[5] C. Blin, X. Checoury, H. A. Girard, C. Gesset, S. Saada, P. Boucaud and P. Bergonzo, « Optical Analysis of p-Type Surface Conductivity in Diamond with Slotted Photonic Crystals », *Advanced Optical Materials*, 1: 963–970 (2013)