

|                            |   |
|----------------------------|---|
| Titre du projet de thèse : | Synthèse de nitrure de bore hexagonal par microplasmas dans l'azote.  |
| Axe / OR :                 | Axe PPANAM / ORs IPS- $\mu$ plasmas et DMC  |
| Lieu de la thèse:          | Laboratoire des Sciences des Procédés et des Matériaux (LSPM), CNRS Université Paris 13, Villetaneuse, France.  |
| Date de début de thèse :   | Octobre ou novembre 2019  |
| Co-encadrants :            | Guillaume Lombardi (MCF HDR, IPS), directeur de thèse<br>Claudia Lazzaroni (MCF, IPS), co-encadrante<br>Vianney Mille (MCF, DMC), co-encadrant  |
| Contacts:                  | <a href="mailto:guillaume.lombardi@lspm.cnrs.fr">guillaume.lombardi@lspm.cnrs.fr</a> – 01 49 40 34 24<br><a href="mailto:claudia.lazzaroni@lspm.cnrs.fr">claudia.lazzaroni@lspm.cnrs.fr</a> – 01 49 40 34 39<br><a href="mailto:vianney.mille@lspm.cnrs.fr">vianney.mille@lspm.cnrs.fr</a> – 01 49 40 34 26 |

## 1. Contexte

Ce sujet de thèse s'inscrit dans le cadre d'une thématique de recherche récente (2015) au LSPM sur le dépôt de nitrure par microplasma. L'objectif est le développement et l'optimisation d'un réacteur innovant de dépôt de nitrure de bore hexagonal (h-BN) sur grandes surfaces (substrats de 5 cm de diamètre) par matrice de micro décharges à cathode creuse (MHCD) dans l'azote. h-BN est un matériau stratégique pour des applications à forte valeur ajoutée telles que la photonique et l'électronique. Ce projet de thèse s'inscrit dans la continuité de la thèse de Salima Kasri (soutenance le 14 mai 2019) et du post-doc de Hiba Kabbara dont le contrat se terminera en août 2019.

Les premiers dépôts réalisés depuis novembre 2018 ont permis de mettre en évidence la synthèse de h-BN par le nouveau procédé microplasmas que nous avons développé ces trois dernières années [1], comme illustré sur la figure 1. Nous avons ainsi pu démontrer la faisabilité de dépôt de h-BN sur de grandes surfaces à des températures plus faibles (800°C) que les procédés de dépôt conventionnels utilisés pour la synthèse de ce matériau. L'optimisation de ce procédé de dépôt est maintenant nécessaire pour améliorer la qualité cristalline et la stabilité des films obtenus.

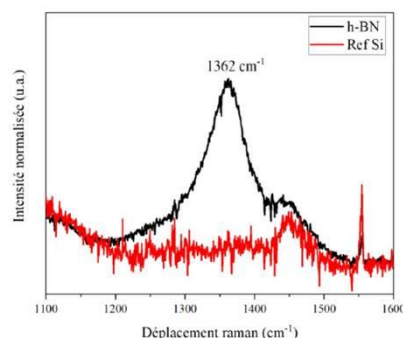


Figure 1: Spectre Raman d'un film déposé sur un substrat de silicium par le procédé microplasma (en noir) montrant la signature de h-BN à 1362 cm<sup>-1</sup> et spectre de référence du silicium (en rouge)

Cette thématique de recherche a été financée en 2016 par l'agence nationale de la recherche (ANR) pour une durée de quatre ans dans le cadre d'un projet JCJC porté par Claudia Lazzaroni (projet DESYNIB) et s'inscrit dans le cadre de plusieurs collaborations, 3 nationales (Synchrotron SOLEIL, Laboratoire Interdisciplinaire de Physique de Grenoble et Laboratoire de Physique des Gaz et des

Plasmas d'Orsay) et 1 internationale (Plasma Research Laboratory de l'Université ANU de Canberra, Australie).

## 2. Objectifs et description du sujet de thèse

L'objectif principal de ce projet de thèse est l'optimisation de ce nouveau procédé plasma de dépôt de nitrure de bore hexagonal. La première partie de la thèse sera dédiée à l'optimisation de la production d'azote atomique [2], espèce clé pour le dépôt de nitrure. La dissociation de l'azote sera mesurée par spectroscopie d'émission et la densité d'azote atomique sera mesurée par Fluorescence Induite par Laser à Deux Photons (TALIF), en partenariat avec le Service Procédés Physico-Chimiques (PPC) du laboratoire (X. Aubert). Ces mesures seront complémentaires des expériences de spectroscopie à transformée de Fourier dans le domaine VUV qui vont être réalisées en juin 2019 au synchrotron SOLEIL. Une étude paramétrique sera menée pour évaluer le rôle de la dissociation de l'azote dans la phase gazeuse sur les propriétés des films. La densité d'atomes de bore dans la chambre de dépôt sera également mesurée par LIF. Par ailleurs, un modèle fluide 2D va être développé pour étudier l'expansion de la décharge dans la chambre de dépôt et obtenir ainsi la répartition spatiale des différentes espèces réactives. Les données d'entrée nécessaires au modèle 2D seront extraites du modèle global 0D d'une MHCD en mélange  $N_2/Ar$  qui a été développé durant la thèse de Salima Kasri.

Du point de vue matériau, les films déposés par le réacteur microplasmas seront caractérisés au LSPM par diffraction des rayons X et spectroscopie Raman pour évaluer la qualité et la pureté de la phase, mais également par microscopie à balayage électronique et microscopie laser pour l'observation de la morphologie de surface, avec l'aide des services compétents du laboratoire (O. Brinza et T. Chauveau). Les conditions plasma et de dépôt seront optimisées en vue d'obtenir des films minces de h-BN de bonne qualité, avec une épaisseur maîtrisée, sur grandes surfaces, permettant ainsi de comprendre les mécanismes de dépôt. Plus particulièrement, des croissances sur substrats isolants tels que  $SiO_2/Silicium$  ou encore saphir seront réalisées, avec pour objectif la fabrication de substrats pour des hétérostructures de type Van der Waals. Outre une optimisation du procédé de croissance pour obtenir une croissance épitaxiale de bonne qualité du film sans partie délaminée ("wrinkle"), de grande cristallinité et dans un deuxième temps, de faible épaisseur (d'une ou de quelques couches atomiques), nous proposons de modifier la surface des échantillons par des traitements chimiques ou par structuration pour étudier les effets sur la nucléation du h-BN. A plus long terme, il s'agira de réaliser un dépôt de plots métalliques sur la couche de h-BN synthétisée pour réaliser des caractérisations électriques. Ce dernier point sera réalisé à l'aide des équipements technologiques de la Centrale de Proximité en Nanotechnologies de Paris Nord (CP2N) et de caractérisation de l'OR DMC.

## 4. Références

- [1] H. Kabbara *et al.*, "Hexagonal boron nitride thin films synthesis by micro hollow cathode discharges". 24th International Symposium on Plasma Chemistry (ISPC), Naples, Italie, 9-14 juin 2019
- [2] S. Kasri *et al.*, "Experimental characterization of a ns-pulsed 7-micro hollow cathode discharge array in  $Ar/N_2$  mixture", *Plasma Sources Sci. Technol.* **28** (2019) 035003