

## DIPLÔME NATIONAL DE DOCTORAT

(Arrêté du 25 mai 2016)

Date de la soutenance : **05 avril 2024**

Nom de famille et prénom de l'auteur : **Monsieur HOSSAIN Ali**

Titre de la thèse : « *Synthèse et caractérisation d'hétérostructures de van der Waals unidimensionnelles* »



### Résumé

Le travail présenté dans ce manuscrit a été réalisé dans le cadre d'une étude doctorale sur la "Synthèse et la caractérisation des hétérostructures unidimensionnelles (1D) de van der Waals (VdW)". Il vise à la synthèse contrôlée d'hétérostructures 1D de VdW composées de nitrure de bore (BN) et de nanotubes de carbone (CNT) à partir de la technique de dépôt de couches atomiques (ALD – atomic layer deposition) ainsi qu'à la caractérisation des matériaux obtenus. Pour cela, le procédé ALD en deux étapes, développé par notre groupe, pour le dépôt de BN, à partir de la trichloroborazine et de l'hexaméthylsilazane, a tout d'abord été optimisé. Lors de la première étape, un revêtement uniforme de pré-céramique, la polyborazine, est déposé par ALD sur des substrats plans de Si. Le caractère auto-limitant des réactions gaz-surface a été vérifié. Au cours de la deuxième étape du procédé, la couche de polyborazine est ensuite convertie en BN dense puis cristallin par traitement thermique sous atmosphère contrôlée. Une fois optimisé, le procédé ALD en deux étapes a été utilisé pour le dépôt de BN sur des nanotubes de carbone (CNTs). La croissance de couches uniformes de BN bien cristallisé a été réalisée avec succès sur les parois extérieures de CNTs multi-parois (MWCNTs), sans fonctionnalisation préalable de la surface de carbone. Le caractère autolimité des réactions ALD sur les MWCNTs a été vérifié. La croissance de BN sur les parois internes des MWCNTs a également été démontrée. Enfin, la synthèse de BN sur des nanotubes de carbone à paroi unique (SWCNTs) a été réalisée. L'influence des paramètres ALD et du traitement thermique, ainsi que du degré de graphitisation, sur la

croissance, la structure et la morphologie du film de BN a été étudiée. Une attention particulière a été accordée à la fabrication de quelques couches de BN bien cristallisé sur des SWCNTs individuels et suspendus.

Ce travail a été réalisé à l'Université de Lyon en collaboration avec le CEA Grenoble et a bénéficié des partenaires du consortium du projet ANR HeteroBN-C. Ce travail de doctorat a été financé par l'Agence Nationale de la Recherche (projet n° ANR-20-CE09-0014-01).

**Mots-clés :** Hétérostructures de van der Waals, Nanotubes, Dépôt par Couche Atomique, Nitrure de Bore, Couches Minces, Nanotubes de Carbone Mono et Multi parois, HRTEM.