

DIPLÔME NATIONAL DE DOCTORAT

(Arrêté du 25 mai 2016)

Date de la soutenance : **20 janvier 2025**

Nom de famille et prénom de l'auteur. e : **Monsieur Thomas SOUVIGNET**

Titre de la thèse : Croissance de nitrure de bore amorphe et caractérisation structurale : de l'étude fondamentale à l'intégration au dispositif électronique

Résumé



Les matériaux bidimensionnels (2D) apparaissent comme d'excellents candidats pour les futurs dispositifs électroniques. Parmi eux, le nitrure de bore hexagonal (hBN) s'avère un matériau clé pour les futurs dispositifs optoélectroniques à base de graphène, en raison de ses propriétés d'isolation électrique une isostructure au graphène. Il est considéré comme un substrat de choix pour le graphène, dont il restitue les propriétés intrinsèques. Récemment, il a été démontré que le contrôle du degré de cristallinité du nitrure de bore (BN) a un impact significatif sur ses propriétés intrinsèques. Notamment, le nitrure de bore amorphe (aBN) présente une constante diélectrique (k) ultra-faible de 1,16, tandis qu'une valeur de 4,0 est observée pour le hBN à 1 MHz. La faisabilité d'un film ultra-mince et à très faible constante diélectrique de aBN ($k=2$ pour une couche de 3 nm d'épaisseur) en tant que nouvelle couche protectrice pour des interconnexions en cuivre a été démontrée. Par conséquent, l'ajustement fin de la structure du BN et donc de ses propriétés permettrait d'élargir ses domaines d'application, de l'isolation des interconnexions aux dispositifs électroniques de haute performance en optoélectronique en passant par la spintronique. Ce travail se focalise sur le dépôt et la caractérisation de films minces de BN par Dépôt de Couches Atomiques (Atomic Layer Deposition – ALD) et Dépôt Chimique en Phase Vapeur (Chemical Vapor Deposition – CVD). La voie de synthèse par ALD, à partir de la voie des Céramiques Dérivées de Polymères (Polymer Derived Ceramic – PDC), s'avère également très efficace pour la formation de films minces de BN en utilisant de la trichloroborazine (TCB) réagissant avec de l'hexaméthylsilazane (HMDS). Ce procédé ALD en deux étapes permet une croissance précise de films minces d'un polymère précéramique avec une excellente uniformité sur divers substrats. Puis, un traitement thermique contrôlé convertit les films de polyborazine en BN, permettant la transition entre des phases amorphes et cristallines, en fonction de la température et du substrat. Par CVD, des films de BN, avec différents degrés de cristallinité, sont synthétisés à partir de borazine ($B_3N_3H_6$) utilisée comme précurseur unique. La température de dépôt joue un rôle crucial, bien que la nature du gaz porteur influence fortement la réactivité de la borazine et donc la structure finale du BN. Entre 800 et 1000 °C, des films de BN stables et uniformes sont obtenus en utilisant un mélange Ar/H₂ sur Si(100). Les

films déposés à 800 °C sont amorphes, tandis que ceux déposés à des températures plus élevées montrent la présence de cristallites de hBN au sein d'une matrice de aBN. Le contrôle de la cristallinité des films de BN peut ainsi être réalisé en ajustant la température de dépôt, permettant la formation de films présentant une cristallinité allant du aBN au hBN. Afin d'explorer les propriétés électroniques et thermiques du BN en fonction de sa cristallinité, des caractérisations approfondies sont réalisées par les partenaires du projet européen « MINERVA » ainsi que dans le cadre d'une collaboration avec l'Université Sungkyunkwan en Corée du sud. Ces collaborations ont permis notamment de mesurer la conductivité thermique et de déterminer la constante diélectrique des films de aBN ainsi que de fabriquer des dispositifs memristor à base de aBN. Cette thèse a été réalisée à l'Université de Lyon et financée par l'Agence Nationale de la Recherche dans le cadre du projet européen FLAG-ERA « MINERVA » (ANR-21-GRF1-0002). Ce travail a également reçu le soutien du ministère de l'Europe et des Affaires étrangères (MEAE) et du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (MESR) à travers le projet de partenariat Hubert Curien franco-coréen « AMBITION » (PHC STAR 50135YG).

Nitride de bore amorphe,CVD,ALD,couches minces