

DIPLÔME NATIONAL DE DOCTORAT

(Arrêté du 25 mai 2016)

Date de la soutenance : **27 novembre 2023**

Nom de famille et prénom de l'auteur : **Madame BENAMRA Yamina**

Titre de la thèse : « *Dépôt chimique en phase vapeur de B_xC sur 4H-SiC : de l'étude thermodynamique à l'hétéroépitaxie* »



Résumé

Le carbure de bore (B_xC), est une céramique semiconductrice aux propriétés électroniques (gap, mobilités des porteurs...) encore mal connues en raison des difficultés pour l'élaborer sous forme monocristalline (massive ou en couches minces). Pour investiguer sa croissance hétéroépitaxiale, prérequis à la caractérisation de ses propriétés électroniques fondamentales, nous avons sélectionné le 4H-SiC (0001) 4° off comme substrat pour sa compatibilité chimique et cristallographique avec B_xC . La croissance des couches de B_xC a été réalisée par dépôt chimique en phase vapeur (CVD), en utilisant le système chimique $BCl_3 + C_3H_8 + H_2$.

La croissance CVD directe de B_xC sur 4H-SiC a systématiquement conduit à l'obtention de dépôts polycristallins, quelle que soit la température. Le développement d'une procédure de croissance en deux étapes, consistant en une boruration de la surface de SiC à $1200^\circ C$ suivie d'une CVD à $1600^\circ C$, a permis pour la première fois l'obtention de couches hétéroépitaxiales de B_xC sur substrat 4H-SiC de polarité Si. Les relations d'épitaxie $B_xC(0001)//4H-SiC(0001)$ et $B_xC[10\bar{1}0]//4H-SiC[10\bar{1}0]$ ont ainsi été déterminées. L'étude fine des premiers instants de la croissance a mis en lumière l'apparition de phases transitoires (Si et siliciure de bore), en lien avec la réactivité du substrat et la diffusion d'espèces en phases solides, pendant la boruration et la montée en température jusqu'à $1600^\circ C$. Ces phases n'impactent pas la reprise de croissance ultérieure. Le mécanisme global identifié, bien que non conventionnel, s'est révélé très robuste et reproductible.

Cette étude expérimentale a été complétée par une approche thermodynamique dans le système ternaire B-Si-C. La base de données thermodynamiques de ce système, issue de données de la littérature, a été évaluée par des résultats expérimentaux obtenus à partir d'un couple de diffusion B-SiC traité à $1700^\circ C$ pendant 8 heures. La séquence réactionnelle identifiée avec ce couple est $SiC / B_xC / SiB_6 / SiB_n \dot{=} B_{ss}$, avec une solubilité de Si dans B_xC mesurée à 1,78-2,18 % at. de Si. La base de données thermodynamique, étendue à la phase gaz (système quinaire B-C-H-Cl-Ar), a permis la

détermination de diagrammes de dépôt lesquels ont été comparés aux résultats expérimentaux issus de la CVD.

Mots-clés : Carbure de bore – 4H-SiC – Hétéroépitaxie – CVD – Système B-C-Si – Diagramme de dépôt – Couple de diffusion.