



Université Claude Bernard



DIPLÔME NATIONAL DE DOCTORAT

(Arrêté du 25 mai 2016)

Date de la soutenance : **09 décembre 2021**

Nom de famille et prénom de l'auteur : **Madame BENRABAH Sabria**

Titre de la thèse : « *Passivation des matériaux III-N de type GaN* »

Résumé



Pour répondre à des demandes de développement de nouveaux produits dans les domaines des voitures électriques, des panneaux solaires, des éoliennes ainsi que des nouvelles technologies d'éclairage à base de LEDs ou des composants RF, la recherche s'est intéressée aux matériaux à grand gap, dont le nitrure de Gallium (GaN). Ce matériau est très prometteur en terme de performances tels que le courant de fuite ou la tenue en température. Cependant le développement de matériaux III-N présente encore un manque de maturité, en particulier au niveau du contrôle de la qualité des diverses interfaces au sein des composants. La présence d'une forte densité d'états d'interface peut être la cause de dysfonctionnements des dispositifs. La désoxydation ainsi que la passivation de la surface du GaN constitue donc un réel enjeu pour de possibles futures intégrations industrielles. Aujourd'hui aucune préparation de surface standard du GaN adaptée et réellement efficace n'est encore proposée. Afin de répondre à cette problématique, ce projet de thèse s'est déroulé en collaboration entre le CEA-LETI (Grenoble), le LTM et le laboratoire CP2M (Catalyse, Polymérisation, Procédés et Matériaux, Lyon), dont l'objectif principal est dans un premier temps, de comprendre la chimie de surface à la suite des diverses préparations de surface, puis dans un second temps de maîtriser la configuration des liaisons surfaciques. Par conséquent, ce projet de thèse s'est concentré sur la préparation et la caractérisation de l'extrême surface du GaN après différents traitements. De ce fait, l'étude de la chimie de surface s'est faite *via* des analyses par spectroscopie de photoélectron induits par rayons X à angle résolu parallèle (XPS). L'étude de la morphologie de surface a été réalisée grâce à la microscopie à force atomique (AFM). De plus, les traitements les plus prometteurs ont été évalués par mesures des performances électriques sur des structures simplifiées.

Dans un premier temps, une étude systématique des traitements humides classiquement rencontrés dans l'industrie de la microélectronique a été réalisée sur wafers de GaN et sur poudres de GaN commerciales. L'étude sur poudre de GaN a permis de s'affranchir des difficultés de caractérisation liées au matériau hétéroépitaxié, mais également de travailler sous atmosphère inerte (Ar) afin de

mieux comprendre les mécanismes entrant en jeu lors des traitements humides. L'étude a notamment permis d'identifier des désoxydants sur wafer (tel que HCl, $(\text{NH}_4)_2\text{S}$, NH_4OH), l'impact de la température sur la chimie de surface, notamment avec H_3PO_4 , mais également de mettre en lumière le rôle des chimies soufrées sur le taux de carbone détecté par XPS. Cependant, la présence de soufre pour une éventuelle passivation de la surface n'a pas été détecté par XPS. En effet, c'est l'analyse par analyses FTIR sur poudre de GaN (Infrarouge à transformé de Fourier) qui a permis de mettre en évidence la possible adsorption de soufre sur du GaN sous certaines conditions.

Afin d'aller plus loin, une étude sur des traitements humides réalisée à très haute température a été menée. Des modifications importantes de la chimie de surface, ainsi que la morphologie des surfaces de GaN ont été mis en évidence. Par ailleurs, une étude comparative entre une surface GaN en sortie d'épitaxie (as epi) et gravée a été menée afin de se rapprocher des précédés de fabrication des transistors de puissance.

Dans une optique de « digital etching », une étude des recuits LASER et par procédé de recuit thermique rapide (RTP) a été réalisé. Le « digital etching » est une technique en deux étapes consistant à oxyder puis à dé-oxyder la surface d'un matériau et pour contrôler l'épaisseur de gravure. Dans notre cas, cette technique nous permettrait d'obtenir une surface atomiquement propre, et idéalement passivée, *via* la formation de liaisons de surface Ga-Soufre (ou un autre atome).