

Avis de Soutenance

Madame Lamiae HAMRAOUI

Physique

Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés

Procédé de gravure de couches atomiques de GaN pour la conception de transistors HEMT

dirigés par Monsieur REMI DUSSART et Monsieur THOMAS TILLOCHER

Ecole doctorale : Energie, Matériaux, Sciences de la Terre et de l'Univers - EMSTU

Unité de recherche : GREMI - Groupe de Recherches sur l'Energie des Milieux Ionisés

Soutenance prévue le **mardi 28 novembre 2023** à 14h00

Lieu : 14 Rue d'Issoudun, 45067 Orléans

Salle : Laboratoire GREMI

Composition du jury proposé

M. REMI DUSSART	Laboratoire GREMI, Université d'Orléans/CNRS	Directeur de thèse
Mme Erwine PARGON	Laboratoire des technologies de la microélectronique (LTM)	Rapporteuse
M. Mihai LAZAR	Laboratoire Lumière, nanomatériaux et nanotechnologies – L2n, Université de Technologie de Troyes/CNRS	Rapporteur
M. Pascal CHABERT	Laboratoire de Physique des Plasmas (LPP), Ecole Polytechnique	Examineur
M. Thomas TILLOCHER	Laboratoire GREMI, Université d'Orléans/CNRS	Co-directeur de thèse
M. Cédric MANNEQUIN	Institut des Matériaux de Nantes Jean Rouxel (IMN), Université de Nantes/CNRS	Examineur
M. Mohamed BOUFNICHEL	STMicroelectronics	Invité
M. Christophe CARDINAUD	Institut des Matériaux de Nantes Jean Rouxel (IMN), Université de Nantes/CNRS	Invité

Mots-clés : Gravure,ALE,GaN,Plasma,HEMT,Microélectroniques

Résumé :

Cette thèse a été menée au laboratoire GREMI dans le cadre du projet européen Nano2022 – IPCEI, en collaboration avec STMicroelectronics. Le but de cette étude était de développer et d'optimiser un nouveau procédé de gravure de couche atomique (dit ALE pour Atomic Layer Etching) utilisant une chimie fluorée pour la gravure du GaN. Ce procédé de gravure représente une étape critique dans la production de composants électroniques de puissance, tels que les transistors HEMT. Le procédé ALE est composé de cycles comportant deux étapes principales. La première étape consiste à modifier la surface du GaN en exposant celle-ci à un plasma de SF₆, créant ainsi des espèces de GaF_x et NF_x. Cette approche vise à créer des espèces fluorées non volatiles (GaF_x), renforçant ainsi l'autolimitation du procédé ALE. La seconde étape implique le retrait par plasma d'argon sous une tension d'auto-polarisation, générant des ions Ar⁺ qui bombardent la surface et éliminent uniquement la couche modifiée. Ces étapes sont alternées avec des étapes de purge dans un cycle ALE. Ce procédé permet donc de graver le matériau couche par couche atomique, offrant ainsi un contrôle précis de l'épaisseur gravée, une réduction de la rugosité de la surface, ainsi qu'une diminution notable des dommages et des contaminations. Pour mener cette étude, un réacteur de gravure ICP a été utilisé. Ce réacteur, caractérisé par un porte-substrat mobile dans l'axe vertical, a permis d'explorer deux configurations différentes : une configuration à faible flux ionique et une configuration à fort flux ionique. L'épaisseur de gravure ainsi que la rugosité ont été principalement mesurées par la microscopie à force atomique. Des analyses ex-situ par spectroscopie photoélectronique à rayons X (XPS) et des analyses par spectrométrie de masse à ions secondaires à temps de vol ont été réalisées au laboratoire d'analyse Science et Surface à Lyon. Des analyses XPS in-situ ont également été menées au laboratoire IMN de Nantes pour étudier la composition de la surface après gravure et la diffusion du fluor. Le procédé ALE du GaN réalisé dans le cadre de cette thèse a permis d'atteindre l'autolimitation des deux étapes, ainsi que l'obtention d'une synergie élevée dans les conditions d'une configuration à fort flux d'ions, mettant en évidence l'intérêt de l'utilisation d'une chimie fluorée pour la gravure ALE du GaN.