



## Avis de Soutenance

Madame Gaëlle ANTOUN

Physique

Soutiendra à huis clos ses travaux de thèse intitulés

*Cryo-gravure de couches atomiques par plasma: mécanismes et procédés*

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 **vendredi 18 décembre 2020** à 14h00

Lieu : Polytech Orléans École d'Ingénieurs - site Galilée 12 Rue de Blois, 45100 Orléans

Salle : Amphi Turing

### Composition du jury proposé

M. Rémi DUSSART	Université d'Orléans	Directeur de thèse
Mme Sophie BOUCHOULE	CNRS Paris-Saclay	Rapporteuse
M. Gottlieb OEHRLEIN	University of Maryland	Rapporteur
Mme Emilie DESPIAU-PUJO	Université Grenoble Alpes	Examinatrice
M. Pascal CHABERT	Université Paris-Saclay	Examineur
M. Christophe CARDINAUD	CNRS Nantes	Examineur
M. Thomas TILLOCHER	Université d'Orléans	Co-directeur de thèse
M. Jacques FAGUET	TEL technology Center, America, LLC	Invité
Mme Mingmei WANG	TEL technology Center, America, LLC	Invitée

**Mots-clés :** Gravure, Basse température, Echelle atomique,,

### Résumé :

Cette thèse a été réalisée au GREMI en collaboration avec Tokyo Electron Ltd, qui a également financé le projet. Le but de cette étude était de développer un nouveau procédé de gravure de couche atomique (ALE) à température cryogénique pour la gravure de matériaux à base de silicium. Le Cryo-ALE consiste à graver une ou quelques monocouches après avoir refroidi le substrat. La première étape de ce procédé est l'injection d'azote liquide pour refroidir le porte-substrat et refroidir la plaquette en injectant de l'hélium à l'arrière pour assurer la conductivité thermique. Une fois la température de la plaquette stabilisée, des espèces réactives sont injectées en phase gazeuse pour physisorber sur les surfaces refroidies. Les parois du réacteur étant maintenues à température ambiante, aucune adsorption ne se produit dessus. La troisième étape consiste à pomper ou purger la chambre par de l'argon afin d'éliminer tout le surplus de gaz réactif qui ne s'est pas physisorbé. Un plasma d'argon avec polarisation est alors démarré afin d'apporter suffisamment d'énergie par les ions pour modifier la surface de l'échantillon et graver une ou quelques monocouches du substrat. Cette étape est auto-limitante, car une fois que toute la surface modifiée est enlevée, il n'y a plus de gravure. Pour mener cette étude, un réacteur de recherche cryogénique ICP a été utilisé. Un ellipsomètre spectroscopique in-situ a été couplé pour enregistrer la variation d'épaisseur en temps réel, et un spectromètre de masse a été utilisé pour analyser les espèces présentes dans la chambre du réacteur pendant le procédé et en savoir plus sur les mécanismes. Des analyses par spectroscopie photoélectronique par rayons X quasi in-situ a également été réalisée au laboratoire IMN pour étudier l'évolution de la surface à basse température. Le principal avantage de ce procédé basé sur la physisorption d'espèces réactives, est qu'il permet de limiter la contamination des parois du réacteur et donc d'éviter des dérives au cours du procédé. En parallèle, un deuxième procédé a été développé à des températures cryogéniques mais où l'étape de modification a été réalisée en phase plasma. Ce second procédé a permis d'atteindre une sélectivité élevée entre Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> sur Si et SiO<sub>2</sub>.