

Etude multi-échelle des propriétés électriques de couches minces nanocomposites pour des applications en microélectronique

Contexte du projet

L'amélioration des performances des matériaux diélectriques pour les applications en microélectronique, et plus particulièrement pour les capacités Métal-Isolant-Métal (MIM), passe par le développement de nouveaux matériaux, ayant une permittivité diélectrique plus élevée que les matériaux actuels, tout en maintenant un courant de fuite relativement faible. Pour ce faire, les matériaux nanostructurés 2D et 3D présentent un fort potentiel. En effet, il est possible de concevoir des matériaux nanostructurés, en faisant varier le type de nanoparticules ou leur pourcentage dans la matrice par exemple, ou par un empilement adéquat de couches minces de différents matériaux, afin d'obtenir des propriétés finales spécifiques. Le projet ANR ADN « *Advanced Dielectric Nanocomposite thin films processed by hybrid aerosol / low pressure plasma for microelectronic capacitor applications* » vise justement à la conception et à l'optimisation de ce type de matériaux nanostructurés. Ce projet repose sur la collaboration entre l'Institut des Matériaux de Nantes (IMN), qui a une expertise reconnue dans l'élaboration de couches minces (<50nm) nanocomposites ou multicouches, et le Laboratoire Plasma et Conversion d'Energie (Laplace), spécialiste dans la caractérisation des propriétés diélectriques des matériaux isolants et les procédés plasma.

Un des objectifs est ainsi la compréhension et la modélisation de l'impact de la nanostructuration (nanocomposites, multicouches) sur les propriétés électriques finales, dans le but d'être capable de proposer de nouveaux matériaux utilisables en microélectronique par 'reverse engineering'.

Objectif de la thèse

Les couches minces nanocomposites seront élaborées et caractérisées structuralement à l'IMN. L'objectif des travaux de thèse est d'étudier les propriétés électriques de ces couches et plus particulièrement l'influence de la nanostructuration du matériau nanocomposite (nanoparticules, propriétés interfaces, dispersion des nanoparticules...) sur les propriétés diélectriques.

Pour cela, les structures nanocomposites et/ou multicouches seront caractérisées et modélisées. Les travaux de thèse porteront principalement sur trois aspects :

- La caractérisation à l'échelle nanométrique des propriétés électriques par microscopie à force atomique (AFM) : mesure de courant par conductive AFM (A-AFM), mesure de permittivité par Electrostatic Force Microscopy (EFM) et mesure de charges par Kelvin Probe Force Microscopy (KPFM)
- La caractérisation à l'échelle macroscopique des propriétés électriques par des mesures courant/tension, capacité/tension et de spectroscopie diélectrique.
- La modélisation par éléments finis des propriétés électriques des couches minces nanocomposites et des multicouches, dans le but d'améliorer la compréhension des effets de la nanostructuration (nanoparticules versus couches) et des interfaces sur les propriétés macroscopiques du matériau.

Encadrement de la thèse

Christina Villeneuve-Faure : christina.villeneuve@laplace.univ-tlse.fr

Séverine Le Roy : severine.leroy@laplace.univ-tlse.fr

Laurent Boudou : laurent.boudou@laplace.univ-tlse.fr

Financement / conditions de travail

Financement : projet ANR ADN (début mars 2025)

Début de la thèse : septembre 2025

Lieu de la thèse : laboratoire LAPLACE – site Université de Toulouse

Profil

Etudiant titulaire d'un master 2 ou d'un diplôme d'ingénieur ayant des compétences en matériaux, en technique de caractérisation en électronique et/ou en modélisation. Le candidat devra démontrer un intérêt pour le travail en équipe, l'expérimentation et la modélisation.

Multiscale investigation of nanocomposite thin films electrical properties for microelectronics applications

Context

According to the state of the art, the improvement of the dielectric materials performances for microelectronics applications and more particularly for Metal-Insulator-Metal (MIM) capacitors requires the development of nanostructured materials with increasing values of their dielectric permittivity and their breakdown field, while maintaining a low leakage current. To reach this goal 2D and 3D nanostructured materials appear promising. Indeed, the tuning of nanocomposite characteristics (nanoparticles type, shape, density...) or structuration (i.e. multilayers structure) allows to control dielectric performances. In this context, the objective of the ADN project « *Advanced Dielectric Nanocomposite thin films processed by hybrid aerosol / low pressure plasma for microelectronic capacitor applications* » is to design and optimize a nanostructured material (nanocomposites and / or multilayers), based on SiO₂ and TiO₂, to achieve the specific performances required for microelectronic applications. This project will be conducted in the framework of the ADN ANR project and is based on a collaboration between *l'Institut des Matériaux de Nantes* (IMN), having an expertise in the domain of nanocomposite thin films elaboration (thickness < 50 nm), and the *Laboratoire Plasma et Conversion d'Énergie* (Laplace), having an expertise on characterization of the dielectric properties of insulating materials and on plasma physics.

One of the objectives of the project is consequently to understand and to model the impact of the nanostructuration of the materials on the overall dielectric properties, in order to propose new nanostructured materials for microelectronics applications, using reverse engineering.

PhD's objectives

Nanocomposite thin films will be elaborated and structurally characterized at IMN. The main objectives of the PhD work is to identify the influence of nanostructuration (nanoparticles, interfaces properties, nanoparticles dispersion...) on dielectric properties of nanocomposite/nanostructured thin dielectric layers.

To reach this goal nanocomposites and multilayers samples will be characterized and modelled. The main objectives of the Phd are the following:

- Nanoscale electrical characterization of the different materials elaborated at IMN, by atomic force microscopy (AFM): current by conductive AFM (CAFM), dielectric permittivity by Electrostatic Force Microscopy (EFM) and charges by Kelvin Probe Force Microscopy (KPFM)
- Macroscale electrical characterization by current and capacitance versus voltage characteristics and dielectric spectroscopy
- Finite element modelling of electrical properties of nanocomposites and multilayers thin film to understand the influence of nanostructuration (nanoparticles vs layer) and interfaces on the overall macroscopic properties

PhD supervisors

- Christina Villeneuve-Faure : christina.villeneuve@laplace.univ-tlse.fr
- Séverine Le Roy : severine.leroy@laplace.univ-tlse.fr
- Laurent Boudou : laurent.boudou@laplace.univ-tlse.fr

Funding

- Funding: National Research Agency (ANR) project (beginning March 2025)
- PhD starting time : september 2025
- Localisation : LAPLACE laboratory (Toulouse University)

Student profile

Master degree or engineer degree in materials, electronics, microelectronic with skills in electrical characterization and/or modeling. Strong interest in experiment and modelling.