Sujet de thèse

Étude des propriétés de l'interphase dans les nanocomposites à base de matrice polymère – Effet des nanocharges et de la température

Direction de thèse : Nadine Lahoud Dignat
Laboratoire Plasma et Conversion de l'Energie (LAPLACE)

De nos jours, les polymères nanocomposites (NC) sont probablement les matériaux les plus polyvalents dans le domaine de l'isolation électrique, du fait de leur utilisation dans de nombreuses applications telles que les câbles haute tension courant continu (HTCC), les machines tournantes ou l'électronique de puissance. Ils peuvent être définis comme un mélange de deux ou plusieurs matériaux, où la matrice est un polymère et la phase dispersée a au moins une dimension inférieure à 100 nm. Au cours des dernières décennies, il a été observé que l'addition de faibles concentrations de ces nanocharges dans les polymères peut conduire à une amélioration nette de leurs propriétés, en particulier des propriétés diélectriques, sans affecter leur mise en œuvre. Cette amélioration est attribuée à plusieurs facteurs, tels que les propriétés de la matrice polymère et de la nanocharge (nature, type, forme, taille, fonctionnalisation) et surtout la présence d'une grande zone interfaciale entre les constituants, appelée interphase. Cette interphase a été identifiée comme un facteur clé déterminant les propriétés macroscopiques des NC et doit être considérée comme un constituant à part entière. Une caractérisation fine de l'interphase (ayant une dimension d'une dizaine de nm) est essentielle pour comprendre son influence sur les propriétés macroscopiques des polymères NC permettant la conception de nouveaux matériaux à interphases contrôlées pour répondre aux besoins énergétiques futurs.

Une étude récente au sein du LAPLACE, a permis de mettre en place une méthodologie de caractérisation de l'interphase à l'échelle locale en utilisant des modes dérivés de la microscopie à forces atomiques (AFM) [1]. Les propriétés morphologiques et mécaniques de l'interphase ont été mesurées en utilisant le mode Peak Force Quantitative Nanomechanical (PF-QNM). De plus, les modes Electrostatic Force Microscopy (EFM) et Kelvin Probe Force Microscopy (KPFM) ont permis de sonder, respectivement, la permittivité et le profil de potentiel de surface à l'interphase. Cette étude effectuée sur un NC à matrice polyimide (PI) chargée de nanoparticules de Si_3N_4 a montré une bonne corrélation entre les différentes propriétés (morphologiques, mécaniques et électriques) de l'interphase (nano) d'une part et du NC (macro) d'autre part [2-3].

Ce sujet de thèse vise d'abord à identifier les paramètres impactant les propriétés de l'interphase dans une matrice polymère (polyimide, époxy, polyéthylène,…) nanochargée. Ceci sera réalisé grâce à une approche expérimentale où différentes concentrations et différentes tailles de nanoparticules de différentes natures (Si_3N_4, SiO_2, BN, TiO_2,…) seront envisagées. Le traitement de surface de ces nanoparticules pourrait être effectué pour améliorer leur dispersion. Finalement, toutes les mesures locales utilisées pour caractériser l'interphase seront effectuées en variant la température pour intégrer l'effet de la température sur l'interphase. Le deuxième objectif de cette thèse est de comprendre l'influence de l'interphase sur les propriétés du NC à l'échelle macroscopique. Pour cela, des méthodes de mesure physico-chimiques (DSC, FTIR), mécanique (DMA), de spectroscopie diélectrique, de

claquage diélectrique et d'apparition de décharges partielles seront aussi réalisées en variant la température.

Les travaux de recherche obtenus à l'issue de cette thèse devraient permettre de comprendre la corrélation entre les propriétés locales de l'interphase et les propriétés finales des NC afin de designer et concevoir des matériaux performants aux propriétés physiques contrôlées et maîtrisées.

Références bibliographiques :

[1] M. Houssat; C. Villeneuve-Faure; N. Lahoud Dignat; J-P. Cambronne, "Nanoscale mechanical and electrical characterization of the interphase in polyimide/silicon nitride nanocomposites," Nanotechnology, 32(42), 425703, 2021. (https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6528/ac13ea)

[2] M. Houssat; C. Villeneuve-Faure; N. Lahoud Dignat; M-L. Locatelli, J-P. Cambronne, "Temperature Influence on PI/Si3N4 Nanocomposite Dielectric Properties: A Multiscale Approach," Polymers, 13(12), 1936, 2021. (https://doi.org/10.3390/polym13121936)

[3] C. Villeneuve-Faure; N. Lahoud Dignat; B. Lantin; R. Arinero; M. Ramonda; M. Semsarilar; M. Bechelany; S. Le Roy; J. Castellon, "Impact of fabrication process of polyethylene / boron-nitride nanocomposite on morphology and dielectric properties," 2022 IEEE 4th International Conference on Dielectrics (ICD), Palermo, Italy, 03-07 July 2022. (DOI: 10.1109/ICD53806.2022.9863479)

Début de la thèse et financement

Les travaux de thèse débuteront le 01 octobre 2023.
Le financement est lié à un contrat doctoral de droit public. La rémunération est à la hauteur de 2044 € brut/mois approximativement.
https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/fr/le-financement-doctoral-46472
Il est aussi possible d'effectuer des enseignements à l'Université.

Lieu : La thèse se déroulera dans le Laboratoire Plasma et Conversion de l'Energie (LAPLACE) à Toulouse au sein de l'équipe Matériaux Diélectriques pour la Conversion de l'Energie (MDCE). Des collaborations avec l'équipe Diélectriques Solides et Fiabilité (DSF) du LAPLACE et d'autres laboratoires de recherche français pourraient avoir lieu selon l'avancement des travaux.

Profil de la candidate ou du candidat : Master 2 ou Master of Science dans l'un ou les domaines suivants : Sciences des Matériaux (matériaux polymères), Caractérisation en champ proche (AFM), Mise en œuvre et caractérisation des matériaux, Nanocomposites à matrice polymères (nanodiélectriques). Un très bon niveau en anglais seraient fortement apprécié.

Pour candidater :

CV, lettre de motivation, relevés des notes du Master 1 et Master 2 et autres documents jugés importants par le candidat à envoyer à l'adresse mail suivante :
nadine.lahoud@laplace.univ-tlse.fr