



Compréhension du (ou des) mécanisme(s) impliqué(s) dans la rupture diélectrique des matériaux céramiques utilisés dans les substrats de l'électronique de puissance

Offre pour 36 mois

(Traduit de l'anglais)

Historique

L'utilisation de l'énergie électrique depuis sa production jusqu'à son utilisation finale nécessite de l'adapter (tension et/ou courant) tout au long de son parcours. Traditionnellement, cette conversion d'énergie nécessite des installations complexes et de grande taille, notamment dans les applications de forte puissance. Ces dernières années, l'électronique de puissance (EP), qui utilise des dispositifs à l'état solide, a permis de transformer et d'adapter l'énergie électrique avec un volume moindre et un rendement supérieur par rapport aux systèmes traditionnels. Cette évolution a été possible grâce aux progrès réalisés dans les dispositifs semi-conducteurs de puissance et dans le conditionnement des modules dans lesquels ces semi-conducteurs sont intégrés. Cette évolution vers le PE a été cruciale pour l'adoption d'un plus grand nombre de systèmes électriques pour des utilisations embarquées, comme dans les applications ferroviaires, aériennes et automobiles.

Néanmoins, les dispositifs à semi-conducteurs présentent toujours des pertes thermiques, lesquelles peuvent être très importantes lorsque la puissance convertie se situe dans la partie haute de leurs limites de tension et de courant. La chaleur générée par le semi-conducteur impose des exigences de dissipation thermique extrêmes aux matériaux qui l'entourent. Dans la partie haute puissance des systèmes PE (haute tension et courant élevé), les exigences en matière de dissipation thermique et d'isolation électrique imposent l'utilisation de matériaux thermoconducteurs et isolants électriques. Parmi les différents types de matériaux, les céramiques présentent le meilleur compromis entre les propriétés thermiques et électriques pour ces applications.

Ainsi, dans les modules de puissance actuels, les semi-conducteurs sont placés et interconnectés sur des substrats céramiques isolants. Les propriétés thermiques des céramiques (20 à 200 W/m.K) sont bien plus performantes que celles d'autres matériaux, tels que les polymères (0,1 à 2 W/m.K). Cependant, les propriétés d'isolation, en particulier la rigidité diélectrique, restent limitées par rapport aux polymères (un ordre de grandeur inférieur). Trois modèles différents décrivent le claquage diélectrique des matériaux solides :

- i) le claquage électronique, où la limite du champ électrique est liée à la capacité des électrons

à entrer en avalanche complète à l'intérieur du matériau en surmontant la bande interdite de conduction ; ii) un claquage thermique, lorsqu'un déséquilibre est atteint entre la chaleur générée par le courant passant par le matériau et sa capacité à la dissiper, et iii) un claquage électromécanique, souvent décrit comme un "défaut" mécanique qui se déclenche et se propage lorsque le claquage électrique se produit. Ce dernier modèle reste à son stade de description le plus élémentaire et est souvent utilisé pour décrire la rupture diélectrique des matériaux céramiques.

La plupart des travaux entrepris pour comprendre le phénomène de claquage diélectrique dans les céramiques convergent vers une description du claquage avec un modèle analogue aux critères de Griffith pour une fracture mécanique. Le modèle suppose qu'une fissure ou un défaut préexistant dans le matériau céramique est lié à l'initiation et à la propagation du claquage diélectrique, ce qui conduit à l'hypothèse d'un claquage d'origine électromécanique. Ce modèle, bien que suffisant pour comprendre les phénomènes de rupture de base, manque encore d'une description complète en prenant en compte les propriétés diélectriques et mécaniques, la microstructure du matériau, le type de défaut et leurs dimensions critiques, afin d'être utilisé pour élaborer des règles de conception pour prédire la résistance à la rupture diélectrique des céramiques utilisées dans les applications PE.

Travail à effectuer :

L'objectif de ce sujet de thèse est de revoir, compléter et/ou proposer un modèle pour le claquage diélectrique dans les céramiques polycristallines. Le modèle proposé devra prendre en compte les énergies électrostatiques et les phénomènes mécaniques et électromécaniques avant et pendant le claquage diélectrique des céramiques utilisées dans les applications de l'électronique de puissance (i.e. : Al_2O_3 , AlN).

Les travaux entrepris nécessiteront d'améliorer et de co-développer un banc de mesure couplant l'application d'une force mécanique et d'un champ électrique sur un échantillon représentatif de céramique.

Des caractérisations mécaniques, électriques et physico-chimiques des céramiques utilisées seront nécessaires pour corrélérer les résultats avec les mesures de champ de claquage afin de proposer un modèle prenant en compte les paramètres appropriés. Spécifiquement, les mesures et le modèle devront être capables de décrire et de prédire comment un défaut préexistant (fissure) se propage mécaniquement en présence d'un champ électrique qui lui est appliqué. In fine, une simulation numérique des phénomènes sera entreprise.

Une collaboration stricte avec d'autres groupes de recherche (français et/ou internationaux) est attendue pour compléter et améliorer les méthodes et l'analyse des données générées par les expériences.

Profil attendu :

Les candidats doivent être issus d'un master scientifique ou d'une école d'ingénieurs équivalente. Ils doivent justifier d'une première expérience dans la recherche (ex. : stage ou thèse de master), dans un laboratoire académique ou dans le département Recherche et Développement d'une entreprise.

Compte tenu de l'approche multidisciplinaire du sujet de recherche, les candidats peuvent avoir des formations différentes, mais il serait préférable qu'ils soient issus d'un cursus comprenant, par ordre de priorité, la mécanique du solide, la mécanique de la rupture, la physique du solide, l'ingénierie électrique et la science des matériaux.

Références :

1. Whitehead S. Dielectric breakdown of solids, Clarendon Press Oxford, 1951.
2. Decup, M., Malec, D., & Bley, V. (2009). Impact of a surface laser treatment on the dielectric strength of α -alumina. Journal of Applied Physics, 106(9), 094103.
3. Malec, D., Bley, V., Talbi, F., & Lalam, F. (2010). Contribution to the understanding of the relationship between mechanical and dielectric strengths of Alumina. Journal of the European Ceramic Society, 30(15), 3117-3123.
4. Jouini, Z., Malec, D., & Valdez-Nava, Z. (2016, July). Effect of mechanical prestress on the dielectric strength of alumina. In 2016 IEEE International Conference on Dielectrics (ICD) (Vol. 2, pp. 1089-1092). IEEE.
5. Valdez-Nava, Z., Kenfaui, D., Locatelli, M. L., Laudebat, L., & Guillemet, S. (2019, April). Ceramic substrates for high voltage power electronics: past, present and future. In 2019 IEEE International Workshop on Integrated Power Packaging (IWIPP) (pp. 91-96). IEEE.

Date de début : 01/10/2021

Directeurs de thèse :

David MALEC, Professeur d'ingénierie électrique, Université Paul Sabatier – Toulouse III

Dr Zarel VALDEZ NAVA, chercheur CNRS

Contact :

Envoyer CV, lettre de motivation, résultats académiques et lettres de recommandations (faisant mention de vos expériences de recherche) à valdez@laplace.univ-tlse.fr .

L'objet du message doit obligatoirement mentionner la référence **CDUMDCE2021**.

Présentation des institutions et du laboratoire

Université Toulouse III – Paul Sabatier

Avec des racines remontant au XIII^e siècle, l'Université Toulouse III - Paul Sabatier a été officiellement fondée en 1969 suite à la fusion des facultés de médecine, de pharmacie et des sciences. La diversité de ses laboratoires et la qualité de ses formations dans les domaines des sciences, de la santé, du sport, des technologies et de l'ingénierie ont garanti son rayonnement scientifique au cours des cinquante dernières années et en ont fait l'une des meilleures universités au monde. En 2017, elle a été classée parmi les 300 meilleurs établissements pour ses performances scientifiques dans le classement international ARWU.

L'enseignement à l'université Toulouse III - Paul Sabatier en quelques chiffres clés :

- 31 723 étudiants (en 2016/2017)
- 13 disciplines de licence
- 44 licences professionnelles
- 22 DUT (Diplômes Universitaires Techniques)
- 29 disciplines de master
- 95,2% des diplômés sur le marché du travail sont en emploi 30 mois après l'obtention de leur Master.

À l'Université Toulouse III - Paul Sabatier, la recherche est organisée en cinq comités : Sciences des matériaux ; Mathématiques, Sciences et technologies de l'information et de l'ingénierie ; Univers, planètes, espace, environnement ; Biologie, agronomie, biotechnologie, santé ; Sciences humaines et sociales.

La recherche à l'Université Toulouse III - Paul Sabatier en quelques chiffres clés :

- 68 laboratoires et équipements mutualisés
- 11 écoles doctorales
- 1710 doctorants (en 2017-2018)
- 430 thèses soutenues (en 2016)
- 2509 enseignants ou enseignants-chercheurs.

Le laboratoire Laplace Plasmas et Conversion Énergie

Les recherches du laboratoire Laplace tissent un "continuum d'activités" englobant la production, le transport, la gestion, la conversion et l'utilisation de l'électricité en couvrant tous les aspects depuis l'étude des processus fondamentaux dans le solide et le gaz jusqu'au développement de procédés et de systèmes.

Dans ce vaste domaine, les thèmes majeurs concernent les décharges plasma ainsi que les applications plasma, l'étude des matériaux diélectriques (polymères, notamment) et leur intégration dans les systèmes, l'étude et la conception des systèmes électriques, l'optimisation du contrôle et des convertisseurs de puissance.

Les thèmes de recherche, par leur caractère pluridisciplinaire, s'appuient sur une base de sciences physiques désireuses d'étudier les phénomènes de base et d'introduire de nouveaux concepts émanant des sciences fondamentales mais évidemment, fortement motivées par les contraintes et les verrous technologiques ou environnementaux. Elles sont donc liées aux activités industrielles par diverses collaborations et participent au transfert de technologies, notamment dans le domaine aéronautique.

De par son potentiel humain, Laplace est la première concentration française de recherche dans le domaine du Génie Électrique et Plasma au niveau national avec 160 chercheurs à temps plein et un nombre équivalent de doctorants et postdocs.