

ED SMAER

Sujet de thèses 2014

Laboratoire : Laboratoire de Physique et d'Étude des Matériaux (UMR 8213)

Établissement de rattachement : UPMC / ESPCI / CNRS

Directeur de thèse et section CNU ou CNRS : Stéphane Holé, Professeur 63e section

Codirection et section CNU ou CNRS : pas de codirection

Titre de la thèse : Mesure des distributions de charge d'espace à haute résolution spatiale dans les isolants par couplage élasto-élastique

Collaborations dans le cadre de la thèse : pas de collaboration formelle

Rattachement à un programme : pas de programme

Le sujet peut être publié sur le site web de l'ED SMAER : OUI / ~~NON~~
(rayer la mention inutile)

Résumé du sujet :

Les matériaux isolants devraient empêcher les charges électriques de circuler. Cependant ces matériaux ne sont pas parfaits, des charges y pénètrent et s'y piègent durablement. Le champ électrique produit par ces charges s'ajoute au champ électrique appliqué. Cela peut conduire à des claquages et à la défaillance du système dans lequel le matériau est inclus.

Les différentes méthodes de mesure des distributions de charges offrent des résolutions spatiales de l'ordre de quelques micromètres ce qui est insuffisant pour les dispositifs de puissance intégrés du futur qui permettront d'optimiser la gestion de l'énergie à l'échelle continentale, voire intercontinentale. Il est donc primordial d'adapter les méthodes de mesure existantes pour en augmenter la résolution spatiale. L'augmentation de la résolution spatiale de 10 μm à 100 nm nécessite cependant de franchir des barrières technologiques importantes. L'objet de cette thèse est de franchir ces barrières technologiques tant pour la génération d'ondes ultrasonores à très haute fréquence que pour la mesure micro-ondes sur une bande passante de 10 GHz.

Le travail demandé comporte une étape de conception d'un porte échantillon spécifique, une étape d'optimisation pour maximiser les transferts de puissance et une étape de validation expérimentale sur des échantillons tests.

Le candidat recherché doit être attiré par l'instrumentation et la physique expérimentale et notamment par l'électrostatique, les micro-ondes, les ultrasons et la physique des matériaux. De par son cursus d'études supérieures, il doit avoir de bonnes connaissances en micro-ondes. Il doit par ailleurs avoir montré de réelles capacités de rigueur, d'initiative, d'autonomie et d'efficacité lors de son stage de fin d'étude, qualités qui devront être attestées par une lettre de recommandation de la part de son responsable de stage.

Sujet développé

Le comportement électrique des matériaux est intimement lié à la façon dont ses charges se comportent. Par exemple, les matériaux isolants devraient empêcher les charges de circuler. Cependant ces matériaux ne sont pas parfaits, des charges y pénètrent et s'y piègent souvent très durablement. Le champ électrique produit par ces charges piégées s'ajoute donc au champ électrique appliqué au matériau isolant. Si ce matériau isolant fait partie d'un composant électronique, par exemple la grille d'un transistor à effet de champ, la présence de charges modifie les seuils de fonctionnement du composant ce qui perturbe le bon fonctionnement du circuit dans lequel il est inclus. Dans des cas plus sévères concernant plutôt l'isolation électrique, le champ total peut dépasser le champ de rupture diélectrique et provoquer une décharge électrique pouvant conduire à la destruction de l'isolant et donc à l'éventuelle défaillance du système qui l'utilise.

La mesure de la distribution des charges dans les isolants est une façon très précise de les tester. Il existe plusieurs méthodes de mesure directe et non-destructives, par exemple la méthode de l'onde de pression inventée au Laboratoire de Physique et d'Étude des Matériaux (LPEM). Elle consiste à transmettre une impulsion de pression au matériau testé. Au cours de sa propagation, l'impulsion de pression déplace tour à tour les charges rencontrées. Les charges déplacées à la position de l'impulsion de pression à un instant donnée produisent un courant mesurable à partir d'un circuit externe. Ainsi il y a une correspondance directe entre l'évolution temporelle du signal et la distribution spatiale de charges, le temps et position étant simplement reliés par la vitesse du son. Un des avantages de la méthode de l'onde de pression est son très bon rapport signal sur bruit puisqu'il est possible de détecter un électron excédentaire sur plus de 30 000 milliards d'atomes.

Les différentes méthodes de mesure, dont la méthode de l'onde de pression, offrent actuellement des résolutions spatiales de l'ordre de quelques micromètres. Cela est bien adapté pour tester les isolants épais utilisés dans les dispositifs de puissance classiques, mais très insuffisant pour les dispositifs de puissance intégrés du futur qui permettront d'optimiser la gestion de l'énergie à l'échelle continentale, voire intercontinentale. Il est donc primordial d'adapter les méthodes de mesure existantes pour en augmenter la résolution spatiale et ainsi garantir la durabilité des dispositifs intégrés.

L'augmentation de la résolution spatiale n'est cependant pas une chose facile car il est nécessaire de franchir des barrières technologiques importantes. En effet, si le temps et la position sont reliés par la vitesse du son, une résolution spatiale de 10 μm dans un polymère nécessite une bande passante de l'ordre de 100 MHz. Des matériaux et de appareils ordinaires peuvent alors être utilisés pour engendrer les impulsions de pression et pour mesurer les signaux. Passer à une résolution spatiale de 100 nm nécessite une bande passante de 10 GHz. À de telles fréquences, chaque connexion électrique est très délicate, et tout défaut mécanique de plus de 10 nm risque d'altérer la propagation des impulsions de pression par dispersion ou par réflexion.

Le Laboratoire de Physique et d'Étude des Matériaux (LPEM, UMR8213), unité mixte du CNRS, de l'Université Pierre et Marie Curie et de l'École supérieure de physique et de Chimie Industrielles, est depuis longtemps leader dans le domaine de la mesure des distributions de charges et de leur analyse. En effet, en plus d'avoir inventé la méthode de l'onde de pression, il est le seul à avoir une expertise très précise des phénomènes mis en jeu lors des mesures. Cela lui a permis d'innover dans l'analyse des situations complexes comme par exemple

l'analyse des matériaux hétérogènes ou soumis à des champs électriques divergents. Cela lui a également permis d'analyser finement les limitations de chaque méthode de mesure et les façons d'améliorer leur résolution spatiale.

À travers ce sujet de thèse, le LPEM propose une nouvelle approche pour effectuer les mesures de distribution de charges et ainsi apporter une amélioration de la résolution spatiale de presque un facteur 100. Cela consiste dans un premier temps à coupler le matériau testé à un cristal afin de minimiser les pertes ultrasonores par diffusion. Cela peut être un cristal d'aluminium couplé par dépôt sous vide à un transducteur piézoélectrique à haute fréquence par exemple, ou encore directement un cristal piézoélectrique de niobate de lithium faisant office à la fois de guide pour les ondes élastiques et de transducteur piézoélectrique. Cela consiste dans un second temps à passer du mode impulsionnel (temporel) au mode fréquentiel. En mode impulsionnel, la puissance instantanée nécessaire pour réaliser la mesure est trop importante à haute fréquence. En revanche, le mode fréquentiel permet d'adapter le couplage électrique pour maximiser les transferts de puissance et donc de rapport signal sur bruit. On reconstruit ensuite la mesure impulsionnelle à partir de plusieurs mesures fréquentielles.

Le travail demandé comporte plusieurs étapes d'étude et de réalisation.

La première étape est principalement une phase de conception. Elle consistera en l'étude d'un porte échantillon spécifique permettant à la fois un bon couplage électrique et élastique. Le couplage élastique sera réalisé avec un cristal d'aluminium ou un cristal de niobate de lithium. Le couplage élastique sera testé par l'utilisation de deux matériaux piézoélectriques couplés de part et d'autre d'un cristal d'aluminium. Le couplage électrique sera testé avec un analyseur de réseau sur une bande passante d'au moins 10 GHz.

La seconde étape est une phase d'optimisation. L'optimisation des couplages électriques par l'adaptation des impédances du générateur piézoélectrique et de l'échantillon servira à maximiser les transferts de puissance et donc à maximiser aussi bien les ondes élastiques générées que le rapport signal sur bruit de la mesure. Cette adaptation devra être variable dans une gamme de fréquences allant de 100 MHz à 10 GHz pour reconstruire correctement le signal temporel à partir du spectre.

Enfin, la troisième étape consistera à effectuer des mesures de validation. Les échantillons choisis seront de différents types, des polymères d'épaisseur inférieure au micron en contact sec avec le cristal, des échantillons déposés sous vide sur le cristal ou encore des échantillons minéraux. Ces derniers ont des atténuations moins fortes mais des vitesses du son plus grandes.

Pour effectuer ce travail, nous recherchons un candidat qui soit attiré par l'instrumentation et la physique expérimentale et notamment par l'électrostatique, les micro-ondes, les ultrasons et la physique des matériaux. Le candidat, de par son cursus d'études supérieures, doit avoir de bonnes connaissances en micro-ondes. Des connaissances en physique ou en instrumentation seront appréciées. Il doit par ailleurs avoir montré de réelles capacités de rigueur, d'initiative, d'autonomie et d'efficacité lors de son stage de fin d'étude, qualités qui devront être attestées par une lettre de recommandation de la part de son responsable de stage.

Pour toute candidature envoyer vos références à stephane.hole@espci.fr (CV, lettre de motivation, notes M1 et M2, coordonnées du responsable pédagogique du M2 et du

responsable du stage). Seuls les candidatures avec une note supérieure à 13.5/20 au premier semestre du M2 seront prises en considération.