

## Offre de Thèse

# Développement et mise en œuvre de méthodes de caractérisation hyperfréquence des résines de moulages destinées au packaging de circuits intégrés 3D

### Contexte et objectif :

Dans le cadre d'un projet IPCEI (Projets Importants d'Intérêt Européen Commun) en collaboration avec la société STMicroelectronics, nous nous intéressons à la caractérisation diélectrique hautes fréquences (jusque 100 GHz) de résines de moulage. Ces dernières sont nécessaires à la réalisation des boîtiers d'encapsulation (packaging) des circuits intégrés 3D. Le rôle des boîtiers est d'assurer une isolation électrique et une protection mécanique des circuits intégrés.

La caractérisation consiste à déterminer les propriétés électriques des résines, notamment la permittivité complexe (appelée aussi « fonction diélectrique » ou paramètres diélectriques), sur une large bande de fréquence (1 GHz – 100 GHz). Elle requiert deux étapes : une étape de mesure hyperfréquence et une étape d'extraction de la fonction diélectrique à partir des paramètres mesurés.

La connaissance des propriétés électriques des résines est essentielle pour évaluer et prédire les performances des circuits intégrés (C.I.). Le cas échéant, les performances des C.I. pourront être optimisées en choisissant les résines ayant les meilleures propriétés pour une application donnée.

### Description de travaux à réaliser :

L'originalité de ce travail de thèse consiste à mettre en œuvre différentes techniques micro-ondes ou hyperfréquence de caractérisation afin d'extraire les paramètres diélectriques des résines de moulage sur un large spectre de fréquence.

Les techniques à développer pourront dans un premier temps s'appuyer sur des méthodes classiques et connues, si les contraintes liées à leurs mises en œuvre restent limitées. Il s'agit en particulier des techniques de caractérisation suivantes :

- En lignes de transmission, en guides d'ondes. Techniques large bande de fréquence dites guidées.
- En cavités résonantes, résonateurs en ligne de transmission ou en anneau. Techniques à fréquences discrètes dites résonantes.

L'intérêt de mettre en œuvre les différentes techniques exposées ci-avant réside dans la possibilité de réaliser des comparaisons croisées des résultats obtenus. Ceci permettra aussi de pouvoir valider des techniques récemment développées ou inédites dans leur mise en œuvre, potentiellement bien mieux adaptées à notre problématique. Ces techniques sont décrites ci-après, leurs développements figurent aussi au programme de ces travaux de thèse.

Dans une seconde étape, il sera demandé d'apporter une contribution conséquente sur :

- Le perfectionnement d'une méthode de caractérisation [1] [2] ne demandant pas de concevoir des dispositifs ou cellules de test spécifiques : le matériau (la résine de moulage) est analysé tel qu'il se présente. Il s'agit d'une méthode dite par « posé de pointes » que le laboratoire a commencé à développer et qui a fait l'objet de deux publications. Cette méthode demande néanmoins des améliorations sur les aspects suivants :
  - \* La précision des pertes diélectriques extraites (rappels : les pertes diélectriques sont associées à la partie imaginaire de la permittivité complexe d'un matériau).
  - \* Le fait de pouvoir s'affranchir de la mesure d'un second matériau de référence pour pouvoir extraire la permittivité complexe des résines de moulage, le premier matériau de référence étant l'air. Des réflexions sont actuellement menées pour s'affranchir de cette mesure étant donné qu'elle conduit à faire une hypothèse forte sur le processus de caractérisation.
- Le développement d'une méthode de caractérisation en espace libre. Ce travail est encore inédit pour le laboratoire, notamment au regard des fréquences visées et des contraintes engendrées par la faible maturité technologique (l'échantillon de test ne peut pas prendre toutes les formes et dimensions à souhait) des résines de moulage. L'échantillon de résine de moulage sera placé entre deux antennes [3]. L'analyse pourra s'effectuer au moyen :
  - d'une mesure différentielle en transmission de l'échantillon.
  - d'une routine d'extraction des paramètres diélectriques. Cette routine sera à développer.

Dans cette technique, les antennes étant forcément opérationnelles sur une plage de fréquences donnée, la mesure n'est plus dite large bande. Ainsi, il est envisagé d'utiliser plusieurs jeux d'antennes pour couvrir un spectre de fréquence plus large.

Une ouverture sur un travail conduisant au développement d'une technique de caractérisation qui permet l'extraction de la fonction magnétique, conjointement à celle diélectrique, est également envisagée. L'impact de la température et des procédés de fabrication microélectronique sur ces fonctions pourra également être étudié ainsi que les performances d'un composant typique (ligne de transmission par exemple) en présence de la résine de moulage.

Pour débiter les travaux sur des bases solides et des pistes pertinentes, il s'agira de réaliser préalablement une étude bibliographique des différentes techniques de caractérisation existantes et une analyse fine de l'état de l'art. Une synthèse de cette étude sera à produire.

#### Laboratoire d'accueil et lieux des travaux :

Le doctorant ou la doctorante sera accueilli et réalisera ses travaux dans les locaux du laboratoire CROMA, sur le site du Bourget du Lac (UMR CNRS 5130, Bâtiment Chablais, 21 rue du lac de la Thuile, 73376 Le Bourget du Lac). Il sera amené à se déplacer au sein de l'entreprise STMicroelectronics (12 Rue Horowitz, 38000 Grenoble) pour participer à l'élaboration (conception et fabrication) de dispositifs et échantillons de test. Dans le cadre de la collaboration avec STMicroelectronics, l'entreprise aura donc la charge de fournir tous les véhicules de test nécessaires à l'analyse des résines de moulage.

### Rayonnement scientifique :

Le doctorant ou la doctorante s'impliquera dans la valorisation des résultats obtenus en les présentant dans des congrès nationaux et internationaux.

### Formation du doctorant :

Le doctorant ou la doctorante suivra une formation sur la prise en main du logiciel de simulation électromagnétique Ansys HFSS, ainsi que celle qui traite des techniques de mesure hyperfréquence sur les équipements disponibles au laboratoire.

### Équipements expérimentaux utilisés :

Le site du Bourget du Lac est équipé d'une plateforme de mesure hyperfréquence qui inclut (entre autres) :

- Un analyseur vectoriel de réseaux Keysight PNA-X N5247A (4 ports jusque 67 GHz, avec extension 110 GHz sur 2 ports).
- Une station de mesure sous pointes Elite 300 pour mesure C. I. sur Wafer 200 et 300 mm
- Pour les besoins de rétro-simulations, un profilomètre KLA D500 est aussi à disposition pour obtenir les grandeurs géométriques réelles des dispositifs mesurés.

### Profil recherché :

- Niveau d'étude : Master 2R ou Ingénieur en électronique et Radiofréquence.
- Compétences :
  - Connaissances requises sur l'électromagnétisme, les circuits hautes fréquence.
  - Connaissances appréciées sur la physique des matériaux diélectriques et magnétiques, les logiciels de simulation électromagnétique (tels que HFSS, CST, ADS) et les appareils de mesure radiofréquence (tels que VNA : Vector Network Analyzer).
  - Une maîtrise de la langue anglaise sera appréciée
- Expériences : une expérience (stage, projet d'études, ...) dans le domaine RF sera appréciée.

### Pour candidater :

Envoyez-nous votre CV et lettre de motivation avant le 30/06/2024. La thèse peut démarrer au plus tard le 01/11/2024.

### Inscription et salaire :

Le doctorant ou la doctorante s'inscrira à l'école doctorale EEATS et recevra une rémunération mensuelle de 2300€ bruts durant ses 3 années de thèse.

### Publications en lien avec ce travail :

- [1] <https://doi.org/10.1016/j.mejo.2021.104990>
- [2] <https://doi.org/10.1109/SaPIW.2018.8401670>
- [3] <http://dx.doi.org/10.1109/TIM.2006.884283>

Contacts :

Gregory Houzet

[gregory.houzet@univ-smb.fr](mailto:gregory.houzet@univ-smb.fr)

04-79-75-81-59

Thierry Lacrevez

[thierry.lacrevez@univ-smb.fr](mailto:thierry.lacrevez@univ-smb.fr)

04-79-75-87-46

Université Savoie Mont Blanc  
Laboratoire CROMA, UMR CNRS 5130  
Bâtiment le Chablais  
21 rue du lac de la Thuile  
73376 Le Bourget du Lac Cedex FRANCE