



**Soutenance d'une thèse de doctorat  
de l'INSA LYON, membre de l'Université de Lyon**  
La soutenance a lieu Publiquement

<b>Candidat</b>	M. RICHERT Damien
<b>Fonction</b>	Doctorant
<b>Laboratoire INSA</b>	INL
<b>Ecole Doctorale</b>	ED160 : EEA (Electronique, Electrotechnique, Automatique)
<b>Titre de la thèse</b>	« Métrologie des techniques de microscopie à sonde locale micro-onde appliquées aux mesures de transport dans le domaine des semiconducteurs »
<b>Date et heure de soutenance</b>	08/07/2024 à 10h30
<b>Lieu de soutenance</b>	Salle Amphi du LNE, 1, rue Gaston Boissier (Paris)

### Composition du Jury

Civilité	Nom	Prénom	Grade / Qualité	Rôle
M.	GAUTIER	Brice	Professeur des Universités	Directeur de thèse
M.	PIQUEMAL	François	Docteur HDR	Co-directeur de thèse
M.	BOURILLOT	Eric	Professeur des Universités	Rapporteur
Mme	COQ GERMANICUS	Rosine	Professeur des Universités	Rapporteur
M.	KLAPETEK	Petr	Docteur	Examineur
M.	THERON	Didier	Directeur de Recherche	Examineur

### Résumé

Cette thèse se focalise sur l'établissement d'une métrologie des mesures de propriétés électrique à l'échelle submicrométrique. Le Scanning Microwave Microscopy (SMM), qui permet d'accéder aux propriétés électriques d'un échantillon (impédance, permittivité électrique, tangente d'angle de perte et concentration de dopant), répond à ces critères. Il s'agit d'un microscope à force atomique interfacé à un analyseur de réseaux vectoriel (VNA). Si la métrologie de la mesure électrique utilisant un VNA est bien établie, ce n'est pas le cas pour les configurations SMM. Un VNA permet, s'il est calibré, d'extraire des propriétés électriques à partir de la mesure du paramètre de réflexion. Pour une configuration SMM, la méthode la plus commune est dérivée de la calibration Short-Open-Load utilisant trois impédances connues sur un échantillon de référence. L'un des résultats clé de cette thèse est l'établissement du bilan d'incertitude associé à la mesure d'impédance par SMM. Pour ce faire, une caractérisation de l'échantillon de référence démontra que l'incertitude associée aux valeurs des impédances présentes (0.3; 9.8 fF) est inférieure à 2.8 %. Fort de ce bilan d'incertitude, un second échantillon de référence fut proposé et caractérisé avec une incertitude associée inférieure à 1.9 %. L'incertitude sur la mesure des capacités de référence par le SMM calibré est inférieure à 3 %. Un cas d'application est l'extraction de la permittivité d'échantillons piézoélectriques avec une incertitude inférieure à 10.6 %. L'incertitude due à l'humidité relative (RH) sur la calibration du SMM fut étudiée empiriquement et par simulation numérique. Le RH impacte la calibration à hauteur de 0.4 % pour les capacités de 0.3 fF et devient négligeable pour les capacités au-dessus de 4 fF. Enfin, des courbes  $dC/dz$  furent acquise par microscopie à force électrostatique (EFM) sur un diélectrique connu afin d'assurer la traçabilité de la mesure de constante de raideur de la sonde employé.