

SUJET DE THESE

Métrologie des techniques de microscopie à sonde locale électrique appliquées aux mesures de transport dans le domaine des semiconducteurs

CONTEXTE :

La microscopie en champ proche adaptée aux mesures locales de grandeurs électriques à l'échelle nanométrique, communément appelée microscopie à sonde locale électrique, est largement utilisée en recherche et développement et en qualification (test de défaillance) pour les nano-circuits et nano-composants électroniques. Cependant, en dépit des progrès considérables sur les deux dernières décennies, la microscopie à sonde locale électrique, n'est pas encore comprise comme une véritable technique expérimentale quantitative par manque d'outils métrologiques adaptés. Une attention particulière devrait être portée sur la traçabilité des mesures d'impédance et de courant qui devient critique pour un certain nombre de domaines industriels tels que celui de la micro et nanoélectronique mais aussi ceux qui relèvent de l'énergie, de la santé et de la sécurité. C'est pourquoi le LNE s'est engagé dans le développement d'une plateforme dédiée à la nanométrie électrique.

La thèse proposée ici par le LNE en collaboration avec l'Institut des Nanotechnologies de Lyon (INL) porte sur le développement d'une chaîne métrologique pour assurer la traçabilité au système international d'unités (SI) des mesures locales d'impédance à l'échelle nanométrique dans un domaine de fréquence couvrant le courant continu et les hautes fréquences (6 GHz). Les travaux concernent essentiellement les techniques de microscopie champ proche de type Résiscope et SMM (scanning Microwave Microscope). Ils s'intègrent particulièrement dans la contribution du LNE à deux projets de recherche européens qui sont en cours : SolCell (juillet 2014 – juin 2017) et 3DStack (juillet 2015 – juin 2018).

Le premier projet (SolCell) traite des différents développements actuels des cellules solaires à haute efficacité à base de matériaux III-V. Il répond aux deux besoins immédiats de l'industrie photovoltaïque, à savoir développer la métrologie des matériaux pour les hétérostructures III-V et des étalons primaires pour mesurer l'efficacité de conversion des cellules solaires multi-jonctions avec les meilleures incertitudes. Pour le LNE, cela comprend en particulier des mesures électriques locales robustes (étalonnage, validation de méthodes) exploitant les techniques SMM, SKPM et Résiscope.

Le second projet (3D Stack) répond aux besoins de l'électronique dans les technologies innovantes d'intégration hétérogène à trois dimensions orientées sur l'empilement 3D des circuits intégrés (3D-SIC). Le JRP a comme objectif le développement d'une infrastructure métrologique pour la caractérisation thermique et électrique de matériaux, la détection et l'inspection des défauts dans les TSV (Through silicon via) ainsi que pour le collage et l'amincissement des wafers/puce. Dans ce projet, le LNE s'intéresse essentiellement aux propriétés de transport électrique et l'étude des défauts dans les TSV en cuivre en utilisant les techniques SMM, C-AFM et Résiscope.

TRAVAIL DE THESE :

De façon générale, il s'agira de développer des étalons de référence électriques, de mettre en œuvre des méthodes de mesure et d'étalonnage et d'établir un bilan d'incertitudes pour les mesures fondées sur l'utilisation du Résiscope et du SMM. Cela comprend l'étude des paramètres clés affectant l'exactitude des mesures: préparation de l'échantillon, conditions environnementales, propriétés des pointes, effets parasites et de proximité des artefacts, contamination de surface, possibles modifications de surface à l'échelle nano dues à des phénomènes thermiques ou électrochimiques.

Les outils métrologiques que le doctorant développera seront mis en application dans le cadre des deux projets.

SolCell :

- Conception d'étalons de profils de dopants en marche d'escalier ;
- Développement de méthodes pour la mesure de la résistivité des couches avec le Résiscope (résolution latérale cible de 5 nm);
- Développement d'un procédé utilisant le SMM pour obtenir des mesures étalonnées de la densité de porteurs de semi-conducteurs (sans la nécessité d'utiliser des structures de test de densité de porteurs connus). La traçabilité de la mesure d'impédance effectuée en utilisant le SMM sera établie en utilisant les étalons développés. La résolution latérale cible est de 50 nm avec une incertitude de 10% sur la densité relative des porteurs de charge.
- Réalisation des mesures à l'échelle nanométrique des profils de dopant en utilisant le SMM et le Résiscope. L'utilisation du SSRM et sous ultravide sera également investiguée à l'INL.

3DStack :

- Définition des caractéristiques des échantillons de TSV remplis (ou non) de cuivre qui seront à fabriquer pour développer les techniques de mesures traçables ;
- Investigation sur l'utilisation du SMM pour la détection des lacunes à l'intérieur des TSV ;
- Exploitation du Résiscope associé au SMM ou à l'AFM SCI pour les mesures de propriétés locales de transport électrique comme la résistivité, la conductivité et l'intensité de courant, effectuées sur des échantillons TSV remplis de cuivre avec une exactitude cible de 10% et une résolution latérale de 50 nm.
- Investigation sur la traçabilité de la mesure de courant au travers des grains Cu par l'exploitation d'un amplificateur transimpédance étalon (ULCA) à la place du Résiscope.

APTITUDES ET CONNAISSANCES PARTICULIÈRES :

De bonnes connaissances en physique des surfaces et mesures électriques (en continu et alternatif). Une première formation à l'AFM est fortement recommandée.

De bonnes connaissances en modélisation et simulation informatique.

Le goût de la mesure et de l'instrumentation.

Aptitude au travail en équipe, rigueur, imagination et dynamisme sont des qualités nécessaires. Une bonne maîtrise de l'anglais ainsi qu'une aisance à la rédaction de rapport sont requises.

CONTACTS :

François Piquemal : francois.piquemal@lne.fr - 01 30 69 21 73

Brice Gautier : brice.gautier@insa-lyon.fr - 04 72 43 70 03