

Développement de métrologies 2D et 3D pour la cartographie des dopants dans les nanostructures de semi-conducteurs

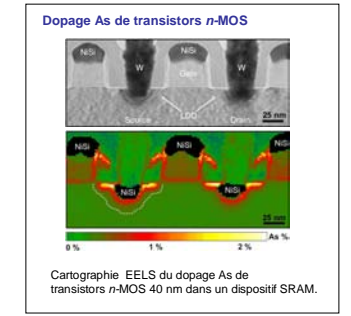
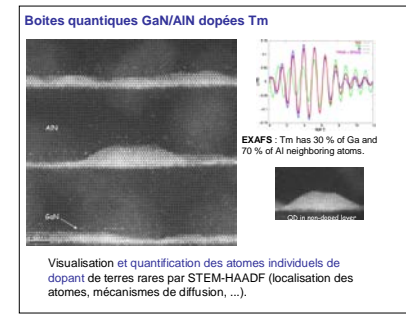
Info et publications disponibles sur <http://www.cartodop.fr>

Objectifs

- Développer des techniques pour la **mesure quantitative des dopants à l'échelle atomique** (sensibilité de 10^{16} à 10^{20} , cartographies 2D et 3D, agrégation en clusters, interactions avec les défauts cristallins, fluctuations statistiques ...)
- Les valider sur différents types d'échantillons (couches Si pleine-plaque avec profils de dopage, transistors, nanofils, ...)
- Optimiser la préparation des échantillons (usinage ionique FIB, ...)

Microscopie électronique HR-STEM (HAADF / EELS / EDX)

L'imagerie STEM-HAADF fournit un **contraste en Z à l'échelle atomique** dont il faut préciser les conditions de quantification. Dans un microscope équipé d'un correcteur d'aberrations Cs, il est possible de **visualiser directement la présence d'atomes lourds uniques** dans un cristal, et de coupler ces images avec les spectroscopies EDX ou EELS.



G. Servanton, R. Pantel, M. Juhel, and F. Bertin
Two-dimensional quantitative mapping of arsenic in nanometer-scale silicon devices using STEM EELS-EDX spectroscopy
Micron 40 (2009) 543-551

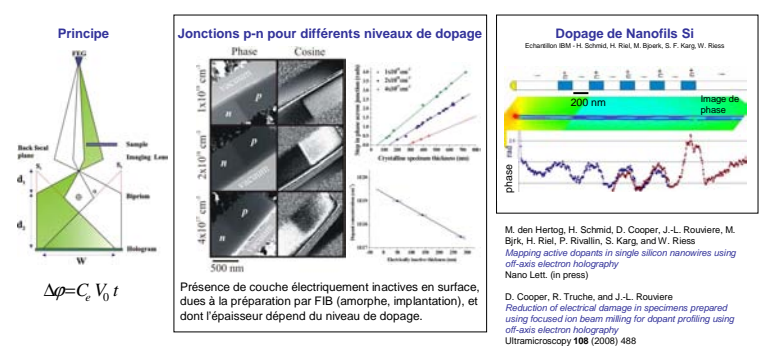
G. Servanton, and R. Pantel
Arsenic dopant mapping in state-of-the-art semiconductor devices using electron energy loss spectroscopy
Micron (in press)

CEA Grenoble – INAC / LEMMA
Hanako Okuno, Jean-Luc Rouvière, Pierre-Henri Jouneau, Martien Den Hertog, Pascale Bayle-Guillemaud

STMicroelectronics
Germain Servanton, Roland Pantel, Laurent Clément

Holographie électronique

L'holographie permet la **mesure directe du potentiel électrostatique** dans le microscope électronique avec une résolution nanométrique. Malgré les progrès de l'instrumentation (émission FEG, préparation par FIB), des problèmes demeurent : effets de charges, génération des porteurs, dégradation des surfaces, ...



leti CEA Grenoble – LETI / SCPIO
Robert Truche, David Cooper, Cyril Ailliot, François Bertin, Denis Mariolle, Amal Chabli, Pierrette Rivallin

Microscopies en champ proche (SCM, SSRM)

Scanning Capacitance Microscopy (SCM) et Scanning Spreading Resistance Microscopy (SSRM) sont les techniques les plus prometteuses. Les aspects expérimentaux (préparation, points, contacts) et l'interprétation doivent être améliorés pour obtenir des résultats quantitatifs.

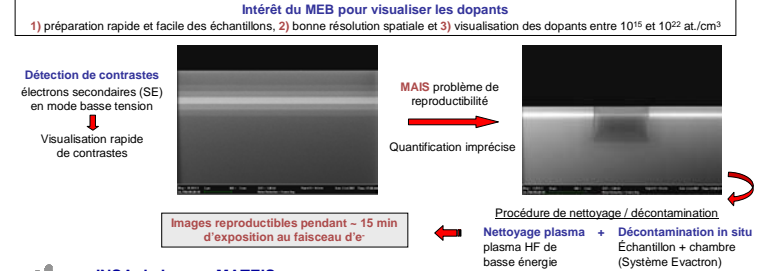


- Optimisation des paramètres expérimentaux pour améliorer la reproductibilité des mesures, le rapport S/B et la sensibilité aux faibles dopages ($<10^{17}$ at./cm³)
 - Influence du laser de l'AFM sur la création de paires électrons / trous : → Il faut éliminer le laser pour mesurer de faibles dopages et pour caractériser des oxydes minces obtenus sur substrats semi-conducteurs faiblement dopés.
 - Capacité parasite, type et qualité des points, contact pointe-échantillon
 - Choix de l'oxyde mince à utiliser pour la SCM (aucun oxyde optimal n'a encore été déterminé).
 - Cartographies de dopages sur des échantillons de référence
 - La SCM détecte les dopants dans la gamme 10^{15} à 5.10^{19} at./cm³ avec une résolution de ~ 20 nm, pouvant être augmentée à 12 nm par biseautage.
 - Inversion du signe du signal entre zones de dopage n et p des jonctions p-n.
- La SCM gagnerait à être opérée en environnement « propre », par exemple sous vide.

inl Institut des Nanotechnologies de Lyon – INSA de Lyon
Brice Gautier, Octavian Ligor

Microscopie à balayage (basse tension, pression variable)

Technique simple et rapide pour visualiser les dopants, mais les contrastes, liés aux variations des potentiels d'ionisation, sont encore mal compris, et la possibilité de les exploiter de façon quantitative n'est pas établie.



INSA de Lyon – MATEIS
Karine Masanello Varlot, Gilbert Thoilet

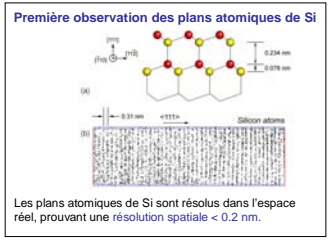
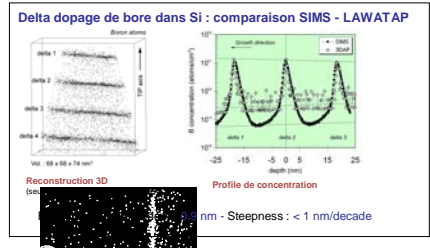
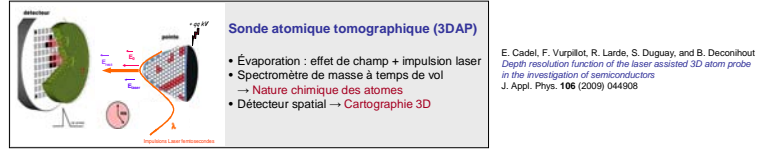
AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE
ANR

PNANO

NanoSciences

Sonde atomique tomographique (3DAP)

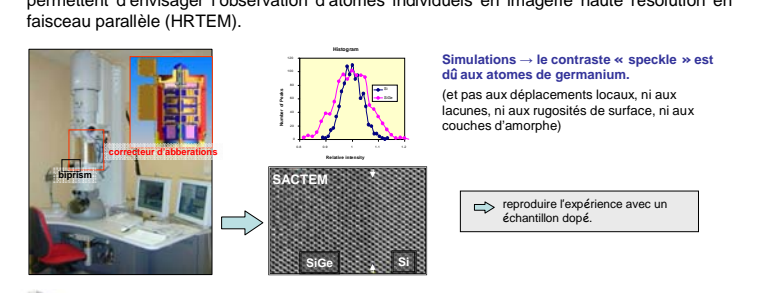
La sonde atomique permet de **reconstruire un petit volume en 3D avec une résolution sub-nanométrique**. L'utilisation d'impulsions laser ultra-brèves la rend applicable pour étudier les profils de dopage dans les semi-conducteurs.



GPM, Université de Rouen
Rodrigo Lardé, Emmanuel Cadet, Sébastien Duguay, Matthieu Gilbert, Bernard Deconihout

Microscopie électronique haute résolution HR-TEM

Les progrès de l'optique électronique (correction des aberrations de la lentille objectif) permettent d'envisager l'observation d'atomes individuels en imagerie haute résolution en faisceau parallèle (HRTEM).



CEMES Toulouse
Martin Hÿtch, Florent Houdellier, Craig Johnson, Marie-José Casanove, Nicolas Combe, Philippe Salles, Gerard Ben Assayag, Etienne Snoeck

DGA, cea, SP, CNRS, INSA TOULOUSE, Université Paul Sabatier TOULOUSE III, CNRS TOULOUSE