

Analyse thermique de nano-objets déposés sur une membrane portée à haute température

Proposition de stage de M2

Localisation :

Laboratoires MATEIS (Matériaux, Ingénierie et Sciences) et CETHIL (Centre d'Énergétique et de Thermique de Lyon)

INSA de Lyon, Campus La Doua-Lyon Tech, 69100 Villeurbanne

Mots clés : Nanosciences, nanomatériaux, énergie, température, Microscopes à balayage

Sujet :

Contexte

Les propriétés structurales (mécanique, etc.) sont aujourd'hui étudiées à l'échelle du nanomètre de manière routinière à l'aide des microscopes électroniques en transmission (MET). Le développement des nanotechnologies et de nouveaux nanomatériaux pour l'énergie permet d'envisager le contrôle du transfert de chaleur dans les nanomatériaux et nanostructures à l'échelle du nanomètre [1]. Chauffer un échantillon *in situ* dans un MET permet de visualiser, à l'échelle nanométrique, de nombreux phénomènes physico-chimiques d'importance dans des domaines aussi variés que la métallurgie ou la catalyse par exemple (voir par exemple la fusion de nanofils sur la Figure 1). Cependant, la température exacte en différents points d'objets de taille nanométrique est encore difficile à déterminer, et elle est donc le plus souvent supposée égale à la température de l'environnement proche. Dans un MET, les échantillons peuvent être déposés sur un support tel qu'une membrane portée à haute température. La complexité du problème provient alors, en sus de la taille nanométrique des objets, des effets issus de la géométrie et de la qualité des contacts thermiques entre ces nano-objets et la membrane, généralement très compliqués à estimer précisément en l'absence d'observation directe de la géométrie du contact.

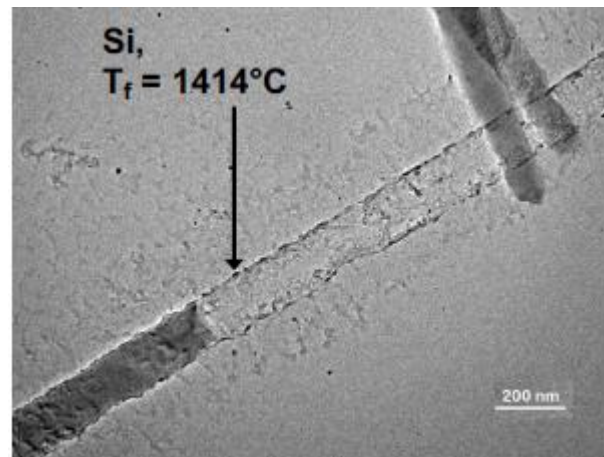


Figure 1. Exemple d'expérience réalisée par MET à haute température : fusion du cœur en germanium d'un nanofil dont l'écorce est en silicium.

Afin de mieux évaluer la température en différents points des nano-objets, il est possible d'utiliser la complémentarité d'observations expérimentales par MET et par microscopie thermique à sonde locale (d'acronyme anglais SThM [2]), une technique dérivée de la microscopie à force atomique (d'acronyme anglais AFM). Cette technique permet de scanner un échantillon pour réaliser une cartographie de température. De plus, la simulation des transferts thermiques à l'échelle nanométrique est possible à l'aide d'outils numériques. D'un point de vue général, l'approche proposée devrait permettre de :

- comprendre la nature et le rôle des échanges thermiques, conductifs et radiatifs, qui ont lieu entre le support chauffant et des nano-objets de géométrie simples (*e.g.* nano-cubes), sur la température de ces nano-objets en fonction du temps, dans le MET,
- estimer le temps de chauffage nécessaire pour atteindre une température de consigne à un endroit précis d'un nano-objet.

Objectifs de l'étude

Le stagiaire aura pour objectif de réaliser une étude à la fois expérimentale et théorique, qui permettra d'améliorer la connaissance des transferts thermiques à l'échelle du nanomètre dans des cas d'études de MET. Au niveau expérimental, il s'agira tout d'abord de caractériser le support chauffant par MET et par SThM. Des expériences sur des échantillons modèles de type nanocube de CeO_2 seront ensuite effectuées.

Dans un deuxième temps, le stagiaire reproduira la configuration étudiée sous forme numérique à l'aide de la méthode des éléments finis (logiciel COMSOL) et introduira les paramètres pertinents : conductance thermique de contact, flux perdu par rayonnement thermique par le support et les nanocubes de CeO_2 .

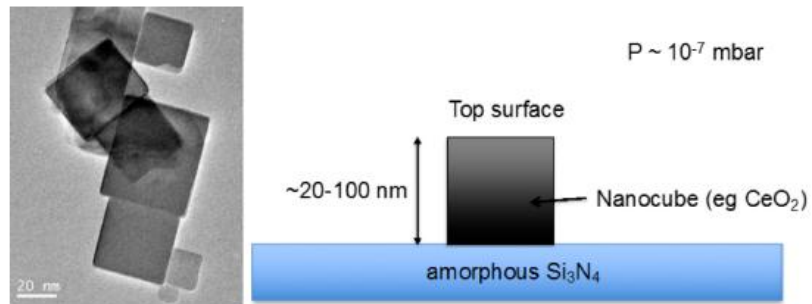


Figure 2. Nanocubes de CeO_2 , utilisés en catalyse, posés les uns sur les autres.

[1] M. Mecklenburg, *et al.*, *Nanoscale temperature mapping in operating microelectronic devices*, *Science*, **347**, 629-632 (2015)

[2] S. Gomes, *et al.*, *Scanning Thermal Microscopy: a review*, *Physica Status Solidi (a)* **212**, 477-494 (2015)

Prérequis : Le(la) candidat(e) sera étudiant(e) en M2 (ou diplôme équivalent d'une grande école) en physique ou en sciences pour l'ingénieur. Il(Elle) sera intéressé(e) par l'expérimentation, et l'utilisation de moyens numériques et la simulation.

Encadrement :

Matthieu BUGNET	Chargé de Recherche CNRS (matthieu.bugnet@insa-lyon.fr ; 04 72 43 82 23) Laboratoire MATEIS, Equipe SNMS (Structures, Nano et Micro Structures)
P-Olivier CHAPUIS	Chargé de Recherche CNRS (olivier.chapuis@insa-lyon.fr ; 04 72 43 63 85) Laboratoire CETHIL, Groupe MiNT (Micro et NanoThermique)

Procédure : Transmettre par e-mail votre CV, votre lettre de motivation, vos notes de master, ainsi que les noms de deux références qui pourront vous recommander.

(english version upon request)