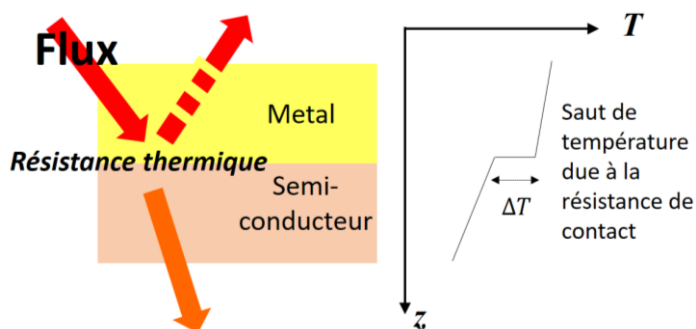


Offre de thèse de doctorat / PhD thesis offer (english version below)

## Etude expérimentale des résistances thermiques de contact par voie électrothermique et microscopie thermique à sonde locale

### Description du sujet de thèse

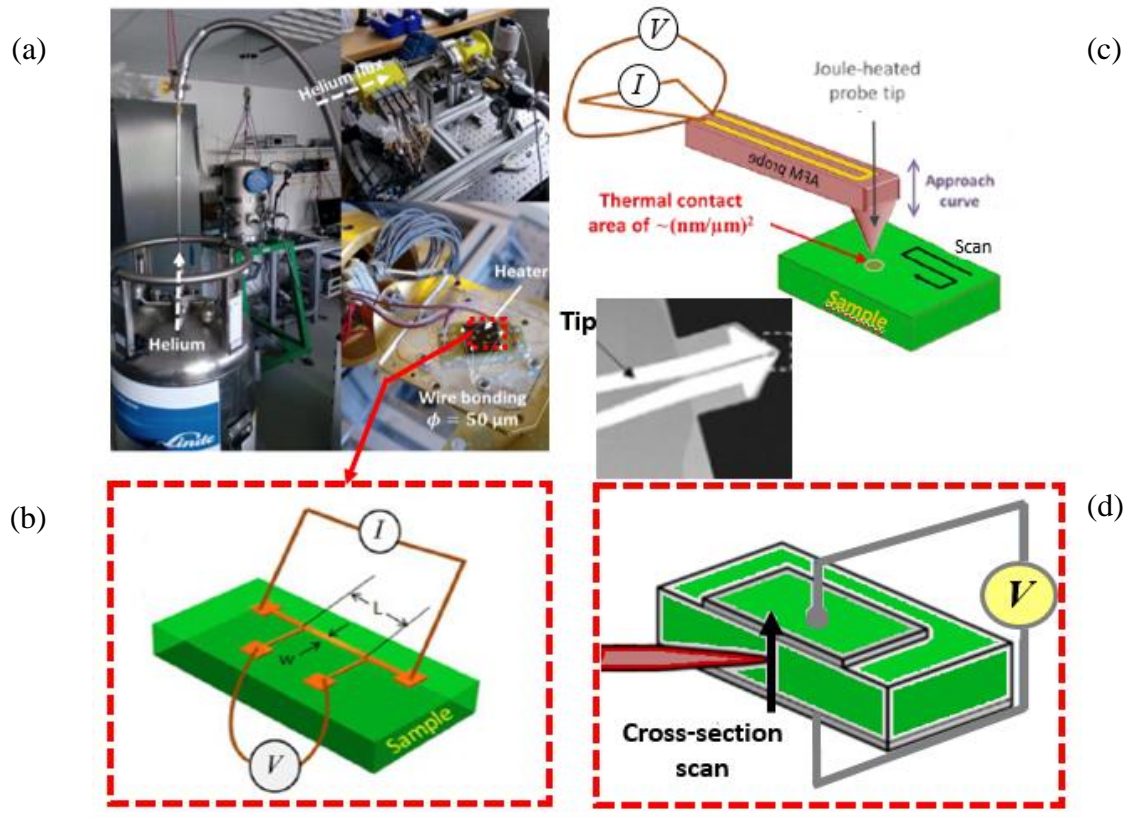
Le contrôle de la température est un point clé dans de nombreux domaines. Elle régit les processus biologiques ou l'efficacité des réactions chimiques, et impacte également la fiabilité des matériaux, la stabilité des structures mécaniques ou la durée de vie des dispositifs électroniques. Pour éviter les échauffements, la gestion de la dissipation de chaleur est donc primordiale. Elle nécessite d'analyser finement les phénomènes qui limitent l'évacuation du flux thermique, notamment près des sources de chaleur. Parmi ceux-ci, les résistances thermiques de contact, présentes à l'interface entre matériaux, ont été identifiées comme particulièrement problématiques. Le transfert du flux thermique à travers un contact entre deux matériaux différents, même lorsque l'adhésion est idéale, n'est en effet jamais total (voir Fig. 1). Or, il est très souvent nécessaire d'assembler des matériaux différents pour obtenir une application technologique particulière.



**Figure 1.** Configuration à étudier et champ de température approché.

Contrôler le passage du flux thermique au contact pourrait permettre une gestion plus dynamique des échanges de chaleur. Ceci est possible pour les contacts métal-semiconducteur, appelés aussi contacts Schottky (c'est par exemple le cas d'une interface entre l'or et le silicium, exemple sur la Fig. 1) [1]. En effet, l'un des matériaux peut être polarisé par l'application d'une tension. Ceci doit modifier le diagramme énergétique autour du contact, et donc modifier la résistance thermique de contact apparente. Or cet effet n'a pas encore pu être étudié, car l'étude simultanée des propriétés électrique et thermique autour d'une interface n'est pas aisée. La compréhension des phénomènes n'est pas simple non plus puisque le transfert thermique implique différents porteurs d'énergie : les électrons et les phonons (ondes de vibration du cristal).

Cette thèse, qui s'inscrit dans le cadre d'un projet national impliquant plusieurs laboratoires, vise à caractériser ces interfaces métal-semiconducteur par deux méthodes de mesures thermiques basées sur la thermométrie résistive (mesure de la résistance électrique qui dépend de la température). La première est la méthode 3omega (voir Figure 2(ab)) [2], qui permet des mesures sur de grandes plages de température mais n'est pas résolue spatialement. Elle requiert l'utilisation de la cryogénie (Fig. 1a). La seconde méthode est basée sur la microscopie à force atomique (d'acronyme anglais AFM) : il s'agit de la microscopie thermique à sonde locale (d'acronyme anglais SThM, pour *scanning thermal microscopy*), qui permet d'étudier les propriétés thermiques avec une résolution spatiale de l'ordre de 100 nm, mais doit être effectuée



**Figure 2.** (a) Dispositif expérimental pour les mesures électriques  $3\omega$  en fonction de la température (cryostat) (b) Principe de la mesure  $3\omega$ . (c) Microscopie thermique à sonde locale (SThM) (d) Mesure SThM sur la section de l'échantillon.

à température ambiante (Fig. 2c) [3]. L'un des intérêts du projet réside dans la possibilité d'effectuer des mesures sur des tranches de dispositif (Fig. 2d).

Ces travaux nécessiteront des étapes de design de structures et de post-traitement à l'aide de logiciels sous forme d'« expérience virtuelle », où tous les éléments de l'expérience, y compris la technique de mesure, sont simulés en 3D [4]. Des calculs numériques à l'aide de l'équation de transport de Boltzmann, qui gouverne le transport dans les couches minces, pourront également être effectués.

[1] *Electronic contribution in heat transfer at metal-semiconductor and metal silicide-semiconductor interfaces*, G. Hamaoui, *et al.*, Scientific Reports 8, 11352 (2018).

[2] *Non-idealities in the  $3\omega$  method for thermal characterization in the low- and high-frequency regimes*, W. Jaber et P.-O. Chapuis, AIP Advances, 8, 045111 (2018)

[3] *Scanning Thermal Microscopy: a review*, S. Gomes, A. Assy, P.-O. Chapuis, Physica Status Solidi (a), 212, 477 (2015)

[4] *Graphics cards based topography artefacts simulations in Scanning Thermal Microscopy*, P. Klapetek *et al.*, International Journal of Heat and Mass Transfer 108, 841 (2017)

### Contexte de travail

La thèse sera réalisée dans l'équipe "Micro et NanoThermique" (MiNT) au Centre d'Energétique et de Thermique de Lyon (CETHIL), sur la campus La Doua-LyonTech à Villeurbanne. L'équipe MiNT, composée d'une quinzaine de personnes dont 5 chercheurs et enseignants-chercheurs, est notamment pionnière au niveaux européen et mondial pour la microscopie AFM thermique.

## Informations complémentaires

La thèse sera réalisée dans le cadre du projet ANR EFFICACE dédié au contrôle des résistances thermiques de contact. Le consortium implique des chercheurs de plusieurs laboratoires français experts en nanofabrication (IEMN), thermique expérimentale (ITHEMM et CETHIL), électronique (ITHEMM et IEMN) ou simulation (ILM) ; des séjours dans les laboratoires partenaires sont prévus.

**Lieu de travail** : Campus La Doua LyonTech

**Nom du responsable scientifique** : Séverine GOMES ([severine.gomes@insa-lyon.fr](mailto:severine.gomes@insa-lyon.fr), [web](#))

Autre contact : P-Olivier CHAPUIS ([olivier.chapuis@insa-lyon.fr](mailto:olivier.chapuis@insa-lyon.fr), [web](#))

**Type de contrat** : CDD Doctorant/Contrat doctoral (36 mois)

**Date de début de la thèse** : 1<sup>er</sup> novembre 2021. Possibilité de décaler en fonction de la disponibilité du candidat sélectionné.

*Merci de postuler avec un CV détaillé, une lettre de motivation, le dossier académique des 3 dernières années (notes) et d'indiquer les noms de deux références (encadrant de stage ou responsable de parcours).*

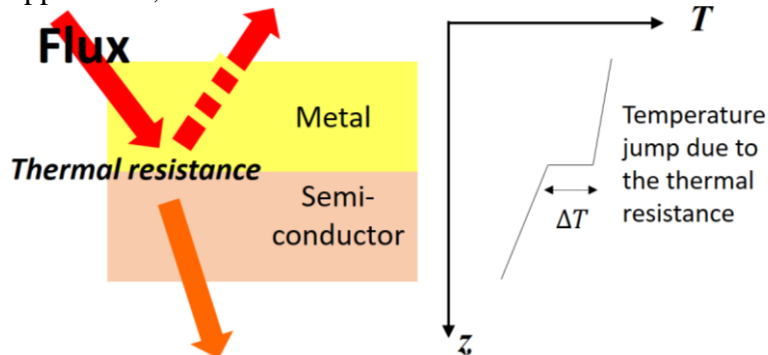
---

**PhD thesis offer** (french version above)

## **Experimental study of thermal boundary resistances by an electrothermal method and scanning thermal microscopy**

### Description of PhD thesis topic

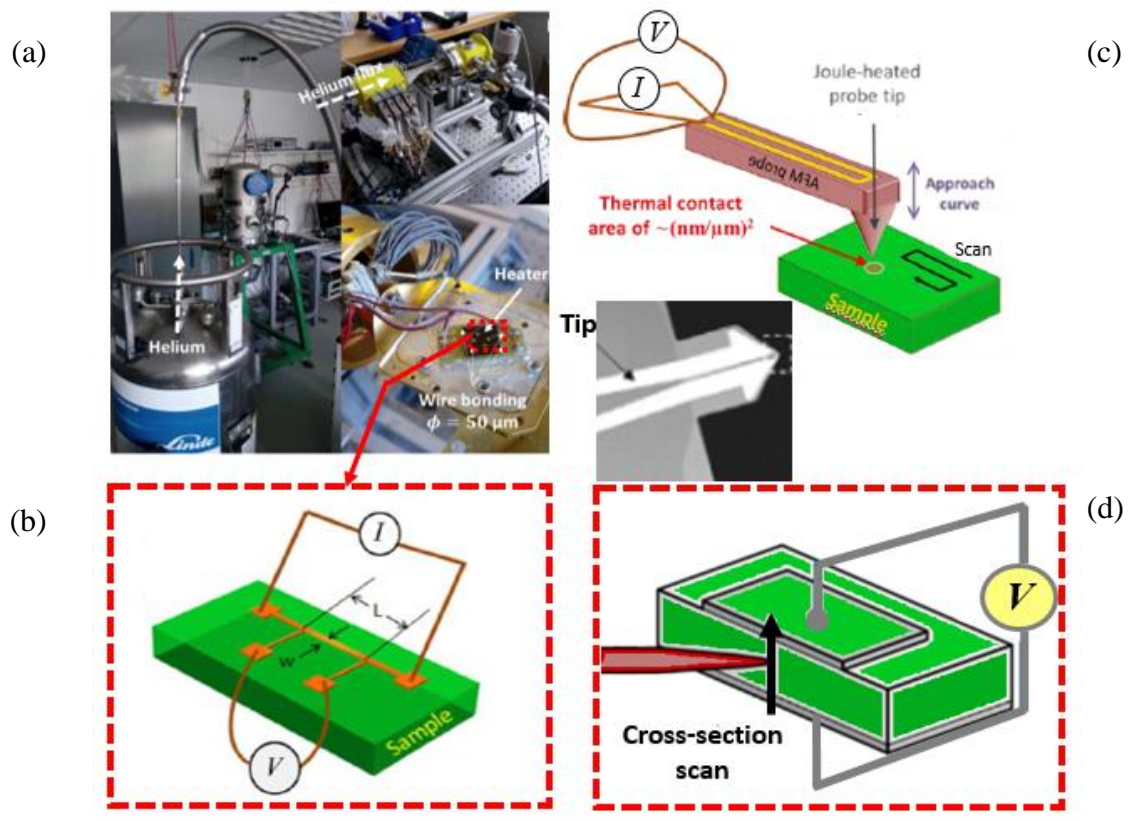
Controlling temperature is essential in many areas. Temperature governs biological processes or the efficiency of chemical reactions, and also impacts the reliability of materials, the stability of mechanical structures or the lifespan of electronic devices. To avoid overheating, it is therefore key to manage heat dissipation as best as possible. This requires a detailed analysis of the phenomena that limit the heat flow, especially near heat sources. Among these phenomena, thermal boundary resistances, present at the contact between materials, have been identified as particularly problematic. The transfer of heat through the contact between two different materials, even when adhesion is ideal, is indeed never perfect (see Fig. 1). Unfortunately, it is very often necessary to assemble different materials to obtain a particular technological application, so such resistance seems unavoidable at first sight.



**Figure 1.** Configuration under study, and schematic of the associated temperature profile.

Controlling the heat flow through the interface could allow for more dynamic management of heat exchanges. This is possible for metal-semiconductor contacts, also called Schottky contacts

(this is for example the case of an interface between gold and silicon, see the example in Fig. 1) [1]. Indeed, one of the materials can be polarized by applying of a voltage. This should modify the energy diagram around the contact, and therefore modify the apparent contact thermal resistance. However, this effect has not been studied until now, because the simultaneous investigation of the electrical and thermal properties around an interface is not easy. Understanding the phenomena is also a challenge since heat transfer involves different energy carriers: electrons and phonons (waves in the crystal).



**Figure 2.** (a) *Experimental setup for the electrothermal measurements with the 3omega method (cryostat)* (b) *Principle of the 3omega method* (c) *Scanning thermal microscopy (SThM)* (d) *SThM measurement on the cross section of the sample.*

This PhD thesis work, which is part of a national project involving several laboratories, aims to characterize these metal-conductor interfaces by two thermal measurement techniques based on resistive thermometry. The first one is the 3omega method (see Fig. 2 (ab)) [2], which allows measurements over large temperature ranges but is not spatially resolved. It requires the use of cryogenics (Fig. 1a). The second technique, where the thermal sensor is located at the apex of a tip, is based on atomic force microscopy (AFM): it is termed scanning thermal microscopy (SThM). It allows to study the properties thermal with a spatial resolution of the order of 100 nm, but can be carried out only at ambient temperature (Fig. 2c) [3]. The interest of the project lies in the possibility of performing measurements on the cross section of the device (Fig. 2d).

This work requires some design work for the structures and post-processing steps using softwares in order to perform a "virtual experiment", where all elements of the experiment, including the measurement sensor, are simulated in 3D [4]. Numerical calculations using the Boltzmann transport equation, which governs electrical and thermal transport in thin films, may also be performed.



- [1] [Electronic contribution in heat transfer at metal-semiconductor and metal silicide-semiconductor interfaces](#), G. Hamaoui, *et al.*, Scientific Reports 8, 11352 (2018).
- [2] [Non-idealities in the  \$3\omega\$  method for thermal characterization in the low- and high-frequency regimes](#), W. Jaber and P.-O. Chapuis, AIP Advances, 8, 045111 (2018)
- [3] [Scanning Thermal Microscopy: a review](#), S. Gomes, A. Assy, P.-O. Chapuis, Physica Status Solidi (a), 212, 477 (2015)
- [4] [Graphics cards based topography artefacts simulations in Scanning Thermal Microscopy](#), P. Klapetek *et al.*, International Journal of Heat and Mass Transfer 108, 841 (2017)

### **Work context**

The PhD thesis will be carried out in the "Micro and Nanoscale Heat Transfer" (MiNT) team at the Centre for Energy and Thermal Science of Lyon (CETHIL), on the La Doua-LyonTech campus in Villeurbanne. The MiNT team, made up of around fifteen people including 5 permanent researchers and faculties, is a pioneer for thermal AFM microscopy at European and global levels.

### **Further information**

The PhD thesis work will be carried out within the framework of the ANR EFFICACE project dedicated to the control of thermal contact resistances. The consortium involves researchers from several French laboratories, experts in nanofabrication (IEMN), thermal metrology (ITHEMM and CETHIL), electronics (ITHEMM and IEMN) or simulations (ILM); exchanges and stays in partner laboratories are planned.

**Location:** National Institute for Applied Sciences (INSA), Campus La Doua LyonTech, Lyon (France)

**Supervisor:** Séverine GOMES ([severine.gomes@insa-lyon.fr](mailto:severine.gomes@insa-lyon.fr), [web](#))

Other contact person: P-Olivier CHAPUIS ([olivier.chapuis@insa-lyon.fr](mailto:olivier.chapuis@insa-lyon.fr), [web](#))

**Type of contract:** Fixed-term (CDD) PhD student contract (3 years)

**Starting date of the PhD thesis:** November 1, 2021, depending on the selected candidate's availability.

*Applications should include a detailed resume, a letter of motivation, the academic file (grades) of the 3 last years, and please provide also the names of two references (head of studies, previous advisor, ...).*