

Simulation, development and characterization of piezoelectric nanowires

IMEP-LaHC / LMGP/ MINATEC / Grenoble-France

Keywords:

Nanotechnologies, Nanowires, Piezoelectricity, Semiconductor physics, Characterization, FEM simulation.

Training:

Very recently, the scientific community gets interested in nanowire (NW) based devices, thanks to their unique electrical and mechanical properties due to their 1D structure. These properties could be exploited advantageously for several kinds of applications, such as sensors, actuators and energy harvesting devices [1-4].

One aspect that has been very little explored is the effect of electromechanical non-linearities which can greatly affect the energy conversion efficiency.

The training will mostly concentrate on the **mechanical to electrical transduction using ZnO NWs**.

The objective of this training is to grow ZnO NWs with controlled dimensions and doping (Fig. 1a), then integrate them in different test structures allowing their mechanical, electrical or electromechanical characterization (Fig. 1b) The NWs will be characterized using SEM, XRD between others to control their structural quality, then they will be characterized with advanced AFM modes (Atomic Force Microscopy) available in the laboratory [5, 6] or other with other techniques by partners at national level (i.e. Synchrotron).

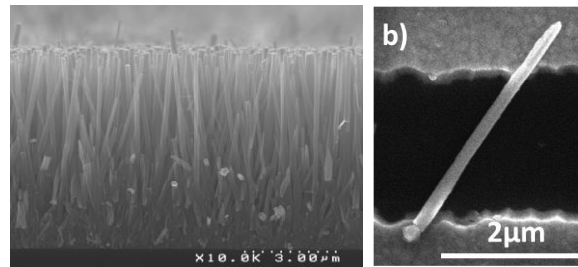


Fig. 1: (a) SEM image of vertically grown ZnO NWs, (b) example of a test structure: ZnO NW suspended over two electrodes.

The training has four different and correlated goals:

- Participate to the growth of NWs by hydrothermal synthesis and the control of their doping.
- Participate to the fabrication of NWs into different test structures.
- Participate to the electrical and/or electromechanical characterization and/or the measurements analysis, for example using AFM.
- Eventually, the student could participate to the modeling of the test structures integrating NWs using the Finite Element Method (FEM) approach.

The achievement of these goals will allow us to better understand the underlying physics and linear /non-linear phenomena involved and to develop optimization guidelines for different applications, for example energy harvesting or sensing.

The student will benefit from an established collaboration framework between LMGP and IMEP-LaHC laboratories (project ANR LATINO 2022-2025 including also IM2NP in Marseille and SOLEIL in Saclay).

References :

- [1] S. Lee, R. Hinchet, Y. Lee, Y. Yang, Z.-H. Lin, G. Ardila, L. Montes, M. Mouis, Z. L. Wang, "Ultrathin Nanogenerators as Self-powered/Active Skin Sensors for Tracking Eye Ball Motion", *Adv. Funct. Mater.*, 24 (2014) p. 1163-1168.
- [2] R. Tao, M. Mouis, G. Ardila, "Unveiling the Influence of Surface Fermi Level Pinning on the Piezoelectric Response of Semiconducting Nanowires", *Adv. Electron. Mater.*, 4(1), (2018) p. 1700299.
- [3] R. Tao, G. Ardila L. Montes and M. Mouis, "Modeling of semiconducting piezoelectric nanowires for energy harvesting and sensing" *Nano energy*, 14 (2015) p.62-76.
- [4] R. Tao, M. Parmar, G. Ardila, P. Oliveira, D. Marques, L. Montès, M. Mouis, "Performance of ZnO based piezo-generators under controlled compression", *Semiconductor Science and Technology*, 32(6) (2017) p. 064003.
- [5] A. J. Lopez Garcia, G. Sico, M. Montanino, V. Defoor, M. Pusty, X. Mescot, F. Loffredo, F. Villani, G. Nenna and G. Ardila, "Low-Temperature Growth of ZnO Nanowires from Gravure-Printed ZnO Nanoparticle Seed Layers for Flexible Piezoelectric Devices". *Nanomaterials*, vol. 11(6), p.1430 2021.

Period: first semester 2022

[6] Y.S. Zhou, R. Hinchet, Y. Yang, G. Ardila, R. Songmuang, F. Zhang, Y. Zhang, W. Han, K. Pradel, et al., "Nano-newton transverse force sensor using a vertical GaN nanowire based on the piezotronic effect", Adv. Mater., 25, p. 883 2013.

Competences:

Applicants must have a Master 1 degree within 3 years of the application deadline in a related field of materials science, microelectronic technologies and semiconductor physics. Modeling skills are welcome. Please address these skills directly in your application.

Cross-functional skills such as teamwork, open-mindedness and fluency in spoken and written English are essential.

More info:

Duration: 4 to 6 months (first semester 2022)

Level: Master 2 / Engineering School

Location: IMEP-LaHC /LMGP/ Minatec / Grenoble, France

Advisors: Gustavo ARDILA (ardilarg@minatec.grenoble-inp.fr)

Céline TERNON (celine.ternon@grenoble-inp.fr)

Application Instructions

A complete application consists of:

- **CV:** Academic and professional background, detailing relevant experience, particularly research. Include the name and contact information of at least one academic or professional reference who can attest to your professional skills and ability to work in a team.
- **Relevance of the application:** short motivation and emphasis on the fit between the internship topic and his/her own skills. The applicant must include a clear description of how his/her academic background and expertise is applicable and can add value to the project described above.

Our team welcomes candidates with diverse backgrounds and experiences. We view equal gender representation and diversity as a strength and asset to our team.

A continuation in a PhD thesis is possible and we are looking for candidates with the intention to continue in thesis.

About the laboratories:

IMEP-LAHC / MINATEC / Grenoble (<http://www.imep-lahc.grenoble-inp.fr>)

IMEP-LAHC is located in the Innovation Center Minatec in Grenoble. The main research areas concern Microelectronic devices (CMOS, SOI, ...), Nanotechnologies, Photonic and RF devices. It works in close partnership with several industrial groups such as ST-Microelectronics, IBM, ... and platforms such as LETI, LITEN, IMEC, Tyndall. The training will be within the group working on MicroNanoElectronic Devices / Nanostructures & Nanosystems. The trainee will have access to several technological (clean room) and characterization platforms.

LMGP / MINATEC / Grenoble (<http://www.lmgp.grenoble-inp.fr>)

LMGP is located in the Innovation Center Minatec in Grenoble and cover activities in (nano)-materials science including their synthesis by chemical deposition and their structural characterization. The training will be within the team FunSurf.

Contacts:

Gustavo ARDILA	ardilarg@minatec.grenoble-inp.fr	+33 (0)4.56.52.95.32
Céline TERNON	celine.ternon@grenoble-inp.fr	+33 (0)4.56.52.93.66

Simulation, fabrication et caractérisation de nanofils piézoélectriques

IMEP-LaHC / LMGP/ MINATEC / Grenoble - France

Mots clefs :

Nanotechnologies, Nanofils, Piézoélectricité, Physique du semiconducteur, Caractérisation, Simulation FEM.

Description du projet :

Ces dernières années, un intérêt croissant s'est manifesté au sein de la communauté scientifique internationale pour l'étude des nanofils (NFs), dont le caractère unidimensionnel (1D) leur confère des propriétés (électriques, mécaniques...) uniques. Ces propriétés peuvent être exploitées avantageusement pour différentes applications de type capteurs, actionneurs ou systèmes de récupération d'énergie [1-4]. **Un aspect encore très peu exploré est l'effet des non-linéarités électromécaniques** qui peut affecter énormément l'efficacité de conversion d'énergie.

Le sujet de ce stage se focalise sur la **transduction mécanique à électrique dans les NFs de ZnO**.

L'objectif du stage est de croître des NFs de ZnO avec des dimensions et niveau de dopage contrôlés (Fig.1a), puis de les intégrer dans différentes structures de test qui permettront leur caractérisation mécanique, électrique ou électromécanique (Fig. 1b). Les NFs seront caractérisés par MEB, DRX entre autres pour contrôler leur qualité structurale, puis ils seront caractérisés par des modes avancés de l'AFM (Microscopie à Force Atomique) disponible dans l'équipe [5, 6] ou par d'autres techniques via des partenaires au niveau national (i.e. Synchrotron).

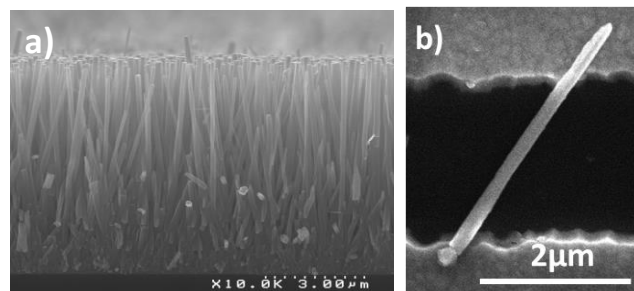


Fig. 1: (a) Image MEB de NFs de ZnO, (b) exemple d'une structure de test: NF de ZnO suspendu sur deux électrodes.

La.le candidat-e travaillera donc sur 4 objectifs différents mais corrélés :

- Participer à la croissance de NFs par synthèse hydrothermale et le contrôle de leur dopage
- Participer à l'intégration de NFs sur différentes structures de test.
- Participer à la caractérisation électrique et/ou électromécanique et/ou à l'analyse de ses mesures, par exemple via AFM.
- Eventuellement l'étudiant-e pourra participer à la modélisation de NFs intégrés dans les différentes structures de test en utilisant un logiciel commercial de calcul d'éléments finis (FEM).

La réalisation de ces objectifs nous permettra une meilleure compréhension des phénomènes linéaires et non-linéaires mis en jeu et permettra de dégager des pistes d'optimisation pour différentes applications, par exemple de type capteur ou récupération d'énergie.

La.le candidat-e bénéficiera d'un cadre de collaboration déjà établi entre les laboratoires LMGP et IMEP-LaHC (projet ANR LATINO 2022-2025 incluant aussi IM2NP à Marseille et SOLEIL à Saclay).

Références :

- [1] S. Lee, R. Hinchet, Y. Lee, Y. Yang, Z.-H. Lin, G. Ardila, L. Montes, M. Mouis, Z. L. Wang, "Ultrathin Nanogenerators as Self-powered/Active Skin Sensors for Tracking Eye Ball Motion", *Adv. Funct. Mater.*, 24 (2014) p. 1163-1168.
- [2] R. Tao, M. Mouis, G. Ardila, "Unveiling the Influence of Surface Fermi Level Pinning on the Piezoelectric Response of Semiconducting Nanowires", *Adv. Electron. Mater.*, 4(1), (2018) p. 1700299.
- [3] R. Tao, G. Ardila L. Montes and M. Mouis, "Modeling of semiconducting piezoelectric nanowires for energy harvesting and sensing" *Nano energy*, 14 (2015) p.62-76.
- [4] R. Tao, M. Parmar, G. Ardila, P. Oliveira, D. Marques, L. Montès, M. Mouis, "Performance of ZnO based piezo-generators under controlled compression", *Semiconductor Science and Technology*, 32(6) (2017) p. 064003.
- [5] A. J. Lopez Garcia, G. Sico, M. Montanino, V. Defoor, M. Pusty, X. Mescot, F. Loffredo, F. Villani, G. Nenna and G. Ardila,

Période : premier semestre 2022

"Low-Temperature Growth of ZnO Nanowires from Gravure-Printed ZnO Nanoparticle Seed Layers for Flexible Piezoelectric Devices". *Nanomaterials*, vol. 11(6), p.1430 2021.

[6] Y.S. Zhou, R. Hinchet, Y. Yang, G. Ardila, R. Songmuang, F. Zhang, Y. Zhang, W. Han, K. Pradel, et al., "Nano-newton transverse force sensor using a vertical GaN nanowire based on the piezotronic effect", *Adv. Mater.*, 25, p. 883-888 2013.

Compétences :

Les candidat-es doivent être titulaires d'un Master 1 datant de moins de 3 ans à la date limite de dépôt des candidatures dans un domaine connexe de la science des matériaux, des technologies microélectroniques et de la physique des semi-conducteurs. Des compétences en modélisation sont les bienvenues. Merci d'aborder ces compétences directement dans votre candidature.

Des compétences transverses telles que capacité à travailler en équipe, ouverture d'esprit et maîtrise de l'anglais parlé et écrit sont indispensables.

Détails :

Durée : de 4 à 6 mois (premier semestre 2022)

Niveau: PFE Ecole d'ingénieur, Master 2

Lieu : IMEP-LAHC / LMGP / Minatec / Grenoble

Encadrants : Gustavo ARDILA (ardilarg@minatec.grenoble-inp.fr)

Céline TERNON (celine.ternon@grenoble-inp.fr)

Instructions relatives à la candidature

Un dossier de candidature complet se compose de :

- **CV :** Parcours académique et professionnel, détaillant l'expérience pertinente, en particulier la recherche. Indiquez le nom et les coordonnées d'au moins une référence universitaires ou professionnelle qui peut témoigner de vos aptitudes professionnelles et de votre capacité à travailler en équipe.
- **Pertinence de la demande :** Courte motivation et mise en avant de l'adéquation entre le sujet de stage et ses propres compétences. La-Le candidat-e doit inclure une description claire de la manière dont ses antécédents et son expertise académiques sont applicables et peuvent apporter une valeur ajoutée au projet décrit ci-dessus.

Notre équipe accueille des candidat-es ayant des origines et des expériences diverses. Nous considérons l'égalité de représentation des genres et la diversité comme une force et un atout pour notre équipe.

Une poursuite en thèse de doctorat est possible et souhaitons des candidatures ayant pour projet de continuer en thèse.

Laboratoire de recherche:

IMEP-LAHC / MINATEC / Grenoble (<http://www.imep-lahc.grenoble-inp.fr>)

L'IMEP-LAHC est localisé dans le centre d'innovation de Minatec. Il collabore avec plusieurs grands industriels (ST-Microelectronics, SOITEC, etc.) et centres microélectroniques préindustriels (LETI, LITEN, IMEC, Tyndall). La-Le stagiaire travaillera au sein du groupe Composant MicroNanoElectronique / Nanostructures & Nanosystèmes Intégrés et aura accès aux plateformes technologiques (salle blanche) et de caractérisation du laboratoire.

LMGP / MINATEC / Grenoble (<http://www.lmgp.grenoble-inp.fr>)

Le LMGP est localisé dans le centre d'innovation de Minatec et regroupe des activités en physico-chimie des (nano)-matériaux incluant leur synthèse par dépôts chimiques et leur caractérisation structurale. La-Le stagiaire travaillera au sein de l'Equipe FunSurf

Contacts:

Gustavo ARDILA	ardilarg@minatec.grenoble-inp.fr	04.56.52.95.32
Céline TERNON	celine.ternon@grenoble-inp.fr	04.56.52.93.66