

**Nanonets semiconducteurs à base de nanofils de ZnO pour
l'électronique flexible et transparente**

Le travail proposé avec ce sujet s'intègre au sein d'un projet plus large dont l'objectif est de répondre au besoin de développer des dispositifs électroniques fonctionnels, reproductibles, dont le comportement repose sur les propriétés nanométriques et qui peuvent être utiles pour de nombreuses applications, de l'énergie à la biotechnologie. Un objectif important est le développement de technologies à basse température, à faible consommation et soucieuses de l'environnement. Les dispositifs développés, basés sur des réseaux de nanofils aléatoirement orientés, appelés nanonets, sont simples à relier aux objets macroscopiques. Ainsi, le projet s'intéresse aux solutions techniques innovantes pour la prochaine génération d'électronique grand public, dont l'objectif est la réalisation de systèmes intégrés contenant de nombreuses fonctionnalités et exigeant transparence et flexibilité. Sur la base de nos récents résultats, nous pouvons affirmer que la technologie des transistors à nanonets présente les avantages respectifs du poly-Si, du Si amorphe, des oxydes semiconducteurs ou des matériaux organiques, sans leurs inconvénients respectifs : le poly-Si nécessite des coûts intermédiaires, une température élevée pour sa fabrication et n'est pas flexible, tandis que le Si amorphe n'est pas très flexible et nécessite une fabrication à température intermédiaire et tous deux souffrent de problèmes de recyclabilité; les matériaux organiques sont très sensibles à l'oxygène, à l'humidité et aux UV. En outre, la technologie envisagée dans le cadre de ce travail, éco-efficace et à grande échelle, flexible et transparente est un atout important de ce projet par rapport aux technologies actuelles en couche mince.

Ainsi l'objectif de ce travail est de briser les limites actuelles de l'intégration des nanomatériaux au sein de dispositifs électroniques et de la rendre possible à grande échelle, à faible budget thermique avec une technologie aussi éco-efficace que possible tout en augmentant la reproductibilité entre dispositifs. Plus particulièrement, les trois objectifs spécifiques de ce sujet sont :

- développer la technologie adaptée à la production dispositifs flexibles et transparents à base de nanonets de ZnO,
- d'étudier en profondeur leurs propriétés physiques et de développer ainsi de nouvelles connaissances dans le domaine de la percolation
- développer un démonstrateur de laboratoire basé sur différentes technologies, qui tirent parti des composants nanométriques et de la réactivité de surface. En fonction des résultats expérimentaux obtenus, l'un des domaines d'application suivant sera ciblé : optique (détection UV), électronique flexible ou détection de gaz.

Chacun de ces objectifs présente des défis spécifiques à leur discipline, soulignant ainsi le caractère interdisciplinaire de ce travail :

- (1) Le **premier défi** concerne la maîtrise du matériau et le développement de technologies qui permettent aux NFs de conserver leurs propriétés **nanométriques**, réactivité, sensibilité de surface et effets de taille, tout en étant manipulés au moyen d'une technologie adaptée à **l'échelle micro**.
- (2) Le **deuxième défi** concerne le développement de nouvelles connaissances qui permettront d'évaluer l'impact et le potentiel associés à ces matériaux. Pour cela, il est essentiel de combiner des observations expérimentales fiables et reproductibles avec des simulations basées sur la physique et aux hypothèses initiales minimales.
- (3) Le **troisième défi** est lié à la nature interdisciplinaire du projet, qui requiert de nombreuses compétences très différentes.
- (4) Enfin, le **quatrième défi** sera relevé si le démonstrateur, réalisé à partir d'une technologie peu coûteuse, est fonctionnel et trouve son origine dans les propriétés à l'échelle nanométrique de ses composants de base.

L'étudiant.e recruté.e aura en charge la synthèse des nanofils de ZnO par dépôt sol-gel et croissance hydrothermale, leur assemblage en nanonets par voie liquide et le développement de la filière technologique pour l'intégration sur substrats flexibles. Puis au moyen de caractérisations morphologique, structurale, électrique et optique, les propriétés des nanonets de ZnO seront étudiées en lien avec la densité en nanofils et le type de nanofils (longueur, diamètre, dopage...). Des caractérisations multifonctionnelles avancées permettront d'étudier le lien entre comportement mécanique et propriétés électriques. Enfin, un dispositif avancé sera sélectionné, fabriqué et étudié sur la base de données statistiques.

Pour cela l'étudiant.e recruté.e aura des compétences et connaissances dans tout ou partie des domaines suivants : matériaux (synthèse et caractérisation), technologies de la microélectronique, physique des semiconducteurs, nanoscience, caractérisation électrique de transistors, fonctionnalisation de surface

Laboratoire: LMGP <https://lmgp.grenoble-inp.fr/>

Directrice: Céline Ternon celine.ternon@grenoble-inp.fr (+33 456 529 366)

<http://www.grenoble-inp.fr/annuaire/celine-ternon-703939.kjsp>

Date limite de candidature: **29 juillet 2020** pour un débit de thèse au 01/10/2020 (financement assuré)

Pièces à fournir : CV, résultats M1 et M2 avec classement si possible, lettres de recommandation

Semiconductor nanonets based on ZnO nanowires for flexible electronics

The proposed work with this PhD thesis is part of a larger project whose objective is to address the need to develop functional, reproducible electronic devices whose behaviour is based on nanometric properties and which can be useful for many applications, from energy to biotechnology. An important objective is the development of low-temperature, low-power and environmentally friendly technologies. The devices developed, based on networks of randomly oriented nanowires, called nanonets, are simple to connect to macroscopic objects.

More particularly, the project focuses on innovative technical solutions for the future of smart green electronics by developing a technology able to produce systems that co-host several functionalities. The proposed technology, based on the integration of random NW networks, gives access to numerous capabilities and functionalities, while being applicable at low temperature, on a large scale and producing high-performance, reproducible, flexible and transparent devices and systems. Based on our recent achievements, we strongly believe that the NN-based thin-film transistor (TFT) - technology has the respective advantages of poly-Si, amorphous-Si, oxide or organic material, without their particular drawbacks: poly-Si requires intermediate costs and high temperature for manufacturing and is not flexible while amorphous-Si is not very flexible and requires intermediate temperature manufacturing and both suffer from recyclability issues; organic materials are highly sensitive to oxygen, humidity and UV. Moreover, low-cost, large scale, flexible and transparent technology is an important asset of this NN-based technology.

The overall aim of this work is to break the current limitations of nanomaterial integration into electronic devices and systems, to lay the foundation of a green technology leading to transparent, flexible and efficient systems, compatible with paper substrate and to make it possible at large scale, low cost and low thermal budget along with increasing the reproducibility from one device to another. More specifically, the three specific objectives of this work are:

- to develop the appropriate technology for the production of flexible and transparent devices based on ZnO nanonets,
- to study in depth their physical properties and thus develop new knowledge in the field of percolation
- to develop a functional lab-level demonstrator that takes advantage of nanoscale components and of surface reactivity, along with simple integration on flexible substrates. Depending on the experimental results obtained, one of the following application areas will be targeted: optics (UV detection), flexible electronics or gas detection.

Each of these objectives presents challenges specific to their discipline, thus highlighting the interdisciplinary nature of this work:

- (1) The **first challenge** concerns the mastery of the material and the development of technologies that result in NWs keeping their particular nanoscale properties -reactivity, surface sensitivity and size effects- while being manipulated by means of technology addressing the microscale.
- (2) The **second challenge** is in the development of new knowledge leading to the associated impact and potential. For this, it is essential to combine reliable and reproducible experimental observations with physics based simulations containing minimal initial assumptions.
- (3) The **third challenge** relates to the interdisciplinary nature of the project, which requires many very different skills.
- (4) Finally, the **fourth challenge** will be raised if the demonstrator, made from low-cost technology, is functional and finds its origin in the nanoscale properties of its basic components

The student recruited will be in charge of the synthesis of ZnO nanowires by sol-gel deposition and hydrothermal growth, their assembly into nanonets by liquid means and the development of the technological process for integration on flexible substrates. Then by means of morphological, structural, electrical and optical characterizations, the properties of ZnO nanonets will be studied in relation to the density of nanowires and the type of nanowires (length, diameter, doping, etc.). Advanced multifunctional characterizations will be used to study the link between mechanical behavior and electrical properties. Finally, an advanced device will be selected, manufactured and studied on the basis of statistical data.

To this end, the student recruited will have skills and knowledge in all or part of the following fields: materials (synthesis and characterization), microelectronic technologies, semiconductor physics, nanoscience, electrical characterization of transistors, surface functionalization.

Laboratory : LMGP <https://lmgp.grenoble-inp.fr/>

Supervisor : Céline Ternon celine.ternon@grenoble-inp.fr (+33 456 529 366)

<http://www.grenoble-inp.fr/annuaire/celine-ternon-703939.kjsp>

Deadline for application: **29/07/2020** for PhD start on 01/10/2020 (funding secured)

Documents to provide: CV, results M1 and M2 with ranking if possible, letters of recommendation