

Soutenance de thèse de Andres Jenaro LOPEZ GARCIA

Contribution à l'étude des propriétés piézoélectriques de nanofils de ZnO et de nanocomposites associés en vue d'une application à la conversion d'énergie mécanique à électrique

Titre anglais : Contribution to the study of the piezoelectric properties of ZnO nanowires and associated nanocomposites for application to mechanical-electrical energy transduction

Ecole Doctorale : Electronique, Electrotechnique, Automatique, Traitement du Signal (EEATS)

Spécialité : NANO ELECTRONIQUE ET NANO TECHNOLOGIES

Etablissement : Université Grenoble Alpes

Unité de recherche : UMR 5130 - Institut de Microélectronique, Electromagnétisme et Photonique - Laboratoire d'hyperfréquences et de caractérisation

Cette soutenance aura lieu Vendredi 03 Juin 2022 à 14h00

Adresse de la soutenance : Phelma, 3 PARV Louis Neel, 38000 Grenoble - salle Salle M256

devant le jury composé de :

Mireille MOUIS	DIRECTEUR DE RECHERCHE	CNRS DELEGATION ALPES	Directeur de thèse
Oliver THOMAS	PROFESSEUR DES UNIVERSITES	Aix-Marseille Université	Rapporteur
Noëlle GOGNEAU	DIRECTEUR DE RECHERCHE	CNRS DELEGATION ILE-DE-FRANCE SUD	Rapporteur
Guylaine POULIN-VITTRANT	DIRECTEUR DE RECHERCHE	CNRS CENTRE LIMOUSIN POITOU-CHARENTES	Examineur
Alain SYLVESTRE	PROFESSEUR DES UNIVERSITES	GRENOBLE INP	Examineur
Gustavo ARDILA RODRIGUEZ	Maître de conférences HDR	Université Grenoble Alpes	CoDirecteur de thèse

Résumé de la thèse en français :

Avec le développement croissant de réseaux sans fil de capteurs de faible puissance pour ce que l'on appelle l'Internet des objets, il est nécessaire de trouver des moyens efficaces d'assurer l'autonomie énergétique des nœuds de détection. Parmi les différentes solutions de récupération d'énergie, la conversion en énergie électrique de l'abondante énergie mécanique présente dans l'environnement est très prometteuse. Dans ce domaine de recherche émergent, les nanofils (NFs) de ZnO ont été fortement étudiés au cours de ces deux dernières décennies, à la fois en tant que tels, et intégrés dans des nanocomposites. À l'échelle nanométrique, ils présentent des propriétés électromécaniques meilleures que le matériau massif, ainsi qu'une intégration facile sur des substrats rigides ou flexibles. Néanmoins, des divergences intrigantes entre les résultats expérimentaux et les simulations numériques disponibles au début de cette thèse ont mis en évidence la nécessité d'une meilleure compréhension du fonctionnement piézoélectrique des composites à base de NF, en particulier pour ce qui concerne deux aspects importants qui avaient été peu traités jusqu'alors: le couplage entre les propriétés piézoélectriques et semi-conductrices dans les simulations numériques et la dépendance des propriétés électromécaniques avec la méthode de croissance des NFs de ZnO ou avec l'influence de l'environnement des NFs dans les expériences.

Du point de vue théorique, cette thèse de doctorat étudie le couplage des propriétés piézoélectriques et semi-conductrices des NFs de ZnO et de leur nanocomposites et fournit des lignes directrices d'optimisation pour les applications de transduction électromécanique. Cette étude prend en compte l'influence du niveau de dopage, de la densité de porteurs libres, des pièges d'interface et des paramètres géométriques sur les paramètres électromécaniques. Des simulations numériques de nanocomposites à base de NF de ZnO sous compression mécanique ont été effectuées à l'aide de la méthode des éléments finis (FEM). Expérimentalement, plusieurs modes de microscopie à force atomique (AFM), tels que la microscopie à force piézoélectrique (PFM), la microscopie à force de sonde Kelvin (KPFM) et la microscopie à force atomique conductrice (C-AFM) ont été utilisés, afin de sonder localement les paramètres électriques et électromécaniques qui jouent un rôle clé dans l'efficacité de la réponse piézoélectrique des NFs de ZnO. Nos résultats ont montré que le niveau de dopage, les porteurs libres et les pièges d'interface, ainsi que la dynamique des pièges, doivent être pris en compte pour expliquer l'amplitude et l'asymétrie potentielle de la réponse électromécanique ou l'influence que la géométrie a sur elle. Ils montrent que les propriétés semi-conductrices doivent être prises en compte pour l'analyse des résultats expérimentaux et la conception correcte de dispositifs électromécaniques autonomes basés sur des NFs de ZnO et leurs nanocomposites.

Résumé de la thèse en anglais:

With the increasing development of wireless networks of low-power sensors for the so-called internet-of-things, there is a need for efficient ways to ensure the energetic autonomy of sensing nodes. Among the various energy harvesting solutions, converting the abundant mechanical energy present in the environment into electrical energy is very promising. In this emerging field of research, ZnO nanowires (NWs) have been strongly studied during these last two decades, both as such, and integrated into nanocomposite materials. At the nanoscale, they feature improved electromechanical properties compared to bulk, as well as easy integration and manufacturing, on both rigid and flexible substrates. However, some intriguing discrepancies between the experimental and simulation results available at the beginning of this PhD highlighted the need for a better understanding of the piezoelectric operation of NW-based composites, especially for what concerns two important aspects

which had been poorly addressed so far: the coupling between piezoelectric and semi-conducting properties in simulations, and the dependence of electromechanical properties with ZnO NW growth method or with NW surrounding environment in experiments. From the theoretical point of view, this Ph.D. thesis studies the coupling of piezoelectric and semiconducting properties in ZnO NWs and related nanocomposites and provides optimization guidelines for mechanical to electrical transducing applications. It investigates the influence of doping level, free carrier density, interface traps and geometrical parameters on electromechanical parameters. Simulations of ZnO NW-based nanocomposites under mechanical compression were performed using the Finite Element Method (FEM). Experimentally, several atomic force microscopy (AFM) modes, such as piezoelectric force microscopy (PFM), Kelvin probe force microscopy (KPFM), and conducting atomic force microscopy (C-AFM) were used, in order to probe locally electrical and electromechanical parameters which play a key role in the efficiency of the piezoelectric response of ZnO NWs. Our results showed that doping level, free carriers and surface traps, as well as traps dynamics, must be considered in order to explain the amplitude and the potential asymmetry of the electromechanical response, or the influence that geometry has on it. They demonstrate that semiconducting properties should be taken into account for the analysis of experimental results and for the correct design of electromechanical self-powered devices based on ZnO NWs and nanocomposites.

Mots clés en français : pièges de surface, dynamique des pièges, modélisation par éléments finis, capteur piézoélectrique, récupération d'énergie mécanique

Mots clés en anglais : surface traps, traps dynamics, finite element model, piezoelectric sensor, mechanical energy harvesting