



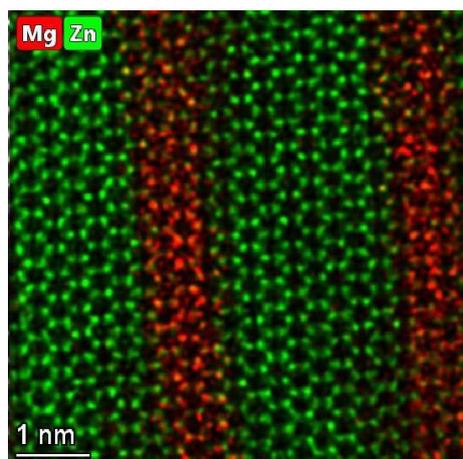
Détermination quantitative des compositions chimiques et des déformations à l'échelle nanométrique dans les hétérostructures semi-conductrices à base de Nitrures et d'Oxydes

Laboratoires: CRHEA-UPR10, Valbonne, France/ CEA-IRIG Grenoble

Responsable: Philippe Vennégues (CRHEA)

Le Centre de Recherche sur l'Hétéroépitaxie et ses Applications (CRHEA) est un laboratoire dédié à l'étude des semi-conducteurs à large bande interdite destinés à des applications en optoélectronique, électronique et photonique. Les matériaux étudiés vont des Nitrures d'éléments III (GaN, InN, AlN) aux oxydes (ZnO, MgO) en passant par les matériaux 2D (Graphène...). Parmi les réussites de ces familles de matériaux, on peut citer les diodes électroluminescentes qui ont révolutionnées le domaine de l'éclairage dans les dernières années. De nouvelles perspectives d'applications s'ouvrent dans le domaine de l'UV avec les matériaux à très large bande interdite (AlN, MgO) notamment pour la désinfection : une exposition aux rayons UV permet de détruire la plupart des virus dont celui du COVID.

Les dispositifs pour ces applications sont basés sur des architectures d'objets de taille nanométrique. Dans le cadre de l'infrastructure ACT-M (Advanced Characterization Method for Materials) le CRHEA vient de se doter d'un microscope électronique (MET) à l'état de l'art qui permet la caractérisation chimique et structurale de ce type d'objets jusqu'à l'échelle atomique, ce qui est indispensable pour la compréhension et le contrôle de leurs propriétés.



Cartographie chimique à l'échelle atomique d'un superréseau ZnO/ZnMgO

Alors que les déterminations qualitatives des compositions chimiques et des déformations sont aujourd'hui relativement simples, obtenir des informations vraiment quantitatives reste difficile. Le but de cette thèse sera de mettre au point des méthodologies quantitatives que ce soit au niveau expérimental qu'au niveau des procédures d'analyse des résultats.

La détermination des compositions chimiques se fera par spectroscopie des rayons X à dispersion d'énergie (EDX). Le MET nouvellement acquis par le CRHEA est équipé d'un système EDX avec 2 détecteurs pour un angle solide de détection de 1,8sr ce qui permet l'analyse des compositions avec une très haute sensibilité (voir figure). Le travail consistera à mettre au point le processus expérimental (préparation des échantillons, géométrie de détection) ainsi que le traitement des données avec une prise en compte des différents facteurs influant les résultats (absorption, fluorescence, courant de faisceau...).

La technique qui sera privilégiée pour la détermination des déformations est la nanodiffraction électronique. Elle est applicable de l'échelle micrométrique à l'échelle nanométrique. Elle est aujourd'hui largement utilisée pour les hétérostructures cubiques à base de Silicium. Elle est encore peu appliquée pour des hétérostructures hexagonales (Nitrures et Oxydes) ou mixtes cubiques et hexagonales (Nitrures déposés sur Si). Le but de la méthodologie à développer sera de pouvoir analyser toute hétérostructure, quel que soit les structures des objets la constituant.

Cette thèse se fera en collaboration entre le CNRS-CRHEA à Sophia Antipolis et le CEA-IRIG à Grenoble. Les matériaux à investiguer seront élaborés au CRHEA où se fera également l'acquisition des données expérimentales. Le CEA-IRIG a développé depuis de nombreuses années une expertise reconnue internationalement à la fois sur l'EDX quantitatif (E. Robin)¹ et la nanodiffraction électronique (J.L. Rouvière)². La complémentarité entre les 2 laboratoires est un gage de succès pour ce doctorat.

Les systèmes de matériaux étudiés seront, dans un premier temps, des systèmes classiques dont l'élaboration est maîtrisée au CRHEA (AlGaN/GaN et ZnMgO/ZnO) avant de s'attaquer à des systèmes plus originaux incluant du NbN, ScAlN, AlSiN et du ZnMgO/MgO....

Le candidat / la candidate devra être issu(e) d'une formation M2 ou d'une école d'ingénieurs avec une formation à la physique du solide et si possible aux semi-conducteurs. Le travail s'effectuera principalement au CRHEA à Sophia Antipolis en forte interaction avec les membres de l'IRIG. Cette collaboration nécessitera des séjours à Grenoble.

Contact : P. Vennégues : philippe.vennegues@crhea.cnrs.fr

¹ Bonafant et al., Nanoscale Research Letters (2016) 11:461

² Rouvière et al., Appl. Phys. Lett. **103**, 241913 (2013)



Quantitative determination of chemical compositions and strains at the nanometer scale in Nitrides and Oxides-based semiconductor heterostructures

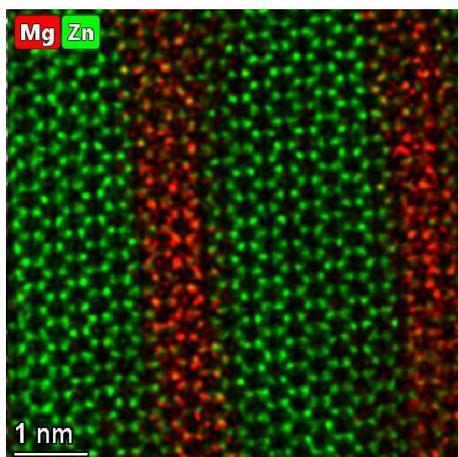
Laboratories: CRHEA-UPR10, Valbonne, France/ CEA-IRIG Grenoble

Person in charge: Philippe Vennéguès (CRHEA)

The Centre for Research on Heteroepitaxy and its Applications (CRHEA) is a laboratory dedicated to the study of wide band gap semiconductors for applications in optoelectronics, electronics and photonics. The studied materials range from elements III- Nitrides (GaN, InN, AlN) to oxides (ZnO, MgO) and 2D materials (Graphene...). Among the successes of these families of materials, we can cite light-emitting diodes that have revolutionized lighting in recent years. New application prospects are opening up in the UV field with very wide band gap materials (AlN, MgO), particularly for disinfection: exposure to UV can destroy most viruses, including COVID.

Devices for these applications are based on nano-object architectures. Within the framework of the ACT-M (Advanced Characterization Method for Materials) infrastructure, CRHEA has just acquired a state-of-the-art electron microscope (TEM) that allows the chemical and structural characterization of this type of objects down to atomic scale, which is essential for understanding and controlling their properties.

While qualitative determinations of chemical compositions and deformations are relatively simple today, obtaining truly quantitative information remains difficult. The aim of this thesis will be to develop quantitative methodologies both for experiments and for data analyzing.



Atomic scale chemical map of a ZnO/ZnMgO superlattice

The determination of chemical compositions will be done by energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX). The CRHEA newly acquired TEM is equipped with an EDX system with 2 detectors reaching a solid angle of detection of 1.8sr which allows composition analysis with very high sensitivity (see figure). The work will consist in developing the experimental process (sample preparation, detection

geometry) as well as the data processing taking into account the different factors influencing the results (absorption, fluorescence, beam current...).

The technique that will be preferred for the determination of deformations is electron nanodiffraction. It is applicable from micrometric to nanometric scale. It is now widely used for silicon-based cubic heterostructures. For hexagonal heterostructures (Nitrides and Oxides) or mixed cubic and hexagonal heterostructures (Nitrides deposited on Si) the application of this method is trickier. The aim of the methodology to be developed will be to be able to analyze any heterostructure, whatever the structures of the constituting objects.

This thesis will be done in collaboration between CNRS-CRHEA in Sophia Antipolis and CEA-IRIG in Grenoble. The materials to be investigated will be synthesized at CRHEA where the experimental TEM data acquisition will also be done. CEA-IRIG has developed for many years an internationally recognized expertise in both quantitative EDX (E. Robin)¹ and electron nanodiffraction (J.L. Rouvière)². The complementarity between the two laboratories is a guarantee of success for this PhD.

The material systems studied will initially be classical systems whose development is mastered at CRHEA (AlGaIn/GaN and ZnMgO/ZnO) before tackling more original systems including NbN, ScAlN, AlSiN and ZnMgO/MgO....

The candidate should have a master degree with a solid background in solid state physics and, if possible, semiconductors. The work will be carried out mainly at CRHEA in Sophia Antipolis on the French Riviera in strong interaction with the members of IRIG. This collaboration will require stays in Grenoble.

Contact: P. Vennéguès : philippe.vennegues@crhea.cnrs.fr

¹ Bonafant et al., *Nanoscale Research Letters* (2016) 11:461

² Rouvière et al., *Appl. Phys. Lett.* **103**, 241913 (2013)