

Ecole Doctorale des Sciences Fondamentales

SUJET DE THESE

Titre de la thèse :

Croissance de nanofils semi-conducteurs III-V et étude de leur passivation à l'azote

Directrices de thèse :

Y. André, MCF HDR IP, Equipe Croissance cristalline

C. Robert Goumet, MDC HDR IP, Equipe Surfaces et Interfaces

Unité de rattachement :

Institut Pascal, UMR 6602 CNRS/ Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand

Equipes : équipe « Croissance Cristalline » et équipe « Surfaces et Interfaces »

Thème MINAMAT, l'axe PHOTON

Etablissement de rattachement : Université Blaise Pascal

Courriel et téléphone :

Yamina.ANDRE@univ-bpclermont.fr (0473407587)

Christine.robert-goumet@univ-bpclermont.fr (0473405161)

Co-encadrant éventuel :

Unité de rattachement :

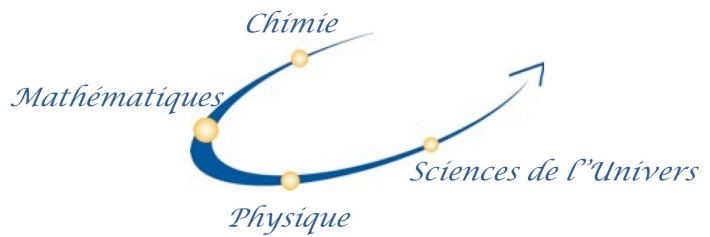
Etablissement de rattachement :

Résumé :

Ce travail se déroulera au sein du thème MINAMAT Microsystèmes et Nano-Matériaux de l'axe PHOTON de l'institut Pascal. Ce thème Microsystèmes et Nano-MATériaux (MINAMAT) rassemble les expertises de synthèse, d'élaboration et de caractérisation de nanostructures fonctionnelles à base de composés inorganiques tels que les semi-conducteurs III-V incluant les nitrures, mais aussi organiques ou hybrides.

Sujet de thèse

La communauté scientifique exprime actuellement un fort intérêt pour les nanofils de semi-conducteurs pour des applications en spintronique, en photonique quantique, ou encore pour des capteurs chimiques ou biologiques où la valeur élevée du rapport surface/volume de ces objets ainsi que la sensibilité de leurs propriétés optiques ou de transport aux effets de surface en font des candidats à fort potentiel. Ils sont également très prometteurs pour l'intégration des matériaux semi-conducteurs III-V sur substrat silicium.



Ecole Doctorale des Sciences Fondamentales

Parmi les différents procédés de croissance utilisés dans la filière des semiconducteurs III-V tels que l'Épitaxie par jets moléculaires (EJM) et l'Épitaxie en Phase Vapeur aux Organométalliques (MOVPE), les nanofils semiconducteurs peuvent être élaborés par croissance cristalline par la méthode aux hydrures (HVPE). L'Institut Pascal a démontré ces dernières années que ce procédé HVPE couplé à un processus VLS (vapeur-liquide-solide) via l'utilisation de catalyseurs métalliques préalablement déposés sur la surface du substrat avant la croissance permettait la synthèse de nanofils de GaAs ultra- longs (50 μm - 100 μm) en des temps de procédé courts (15 min), de diamètre nanométrique constant (<50 nm) et de structure cristallographique cubique exempte de défauts cristallins⁽¹⁻³⁾. Ces nanofils ultra- longs présentent une géométrie unique et idéale (figure 1) pour des études approfondies de diffusion de spin (*projet ANR PauliNano déposé de 2015, porteur D. Paget PMC Ecole Polytechnique*). Cependant, le contrôle de la qualité de la surface via le procédé de passivation reste un vrai verrou à lever car les défauts de surface détériorent considérablement les propriétés électroniques de ces structures nanofils à 1 dimension. La méthode de caractérisation LEED (figure 2), équipement qui sera mis en place durant ce doctorat permettra de mener des études fines et approfondies de la passivation des nanofils III-V.

Au cours de ce travail, l'étudiant développera le procédé VLS assistée de catalyseur or pour la croissance de semiconducteurs III-V de type (Ga,In)-(As,P). Un nouveau procédé de croissance basé sur la croissance auto-catalysée sera également développé. Pour ce procédé, c'est le gallium qui sera utilisé comme catalyseur pour ne plus recourir à des catalyseurs métalliques incompatibles avec l'intégration sur substrats silicium. Deux procédures de dépôts de gallium pré-croissance seront étudiées : pour la première, le gallium sera déposé par HVPE in-situ à partir de précurseurs GaCl. La deuxième procédure consiste à déposer le gallium ex-situ dans un bâti ultra- vide (UHV). En maîtrisant la quantité de gallium (à la monocouche atomique près) déposée sur la surface de départ, il est possible de contrôler la densité et le diamètre des nanofils synthétisés. La préparation de la surface est donc primordiale, et sera suivie par spectroscopies électroniques de type XPS, AES et EPES. Ce travail expérimental sera également couplé à des modélisations thermodynamiques (*en collaboration avec le Pr Dubrovski, IOFFE Saint Petersburg*).

Les synthétisés III-V, seront ensuite passivés à l'aide d'une cellule plasma d'azote sous ultra- vide. Une épaisseur de GaN contrôlée à la résolution de la monocouche à la surface des nanofils permettra de protéger leur surface vis-à-vis de la contamination due à l'air ambiant⁽⁴⁾. Ce processus de passivation permettra par conséquent de diminuer les défauts de surface et ainsi améliorer les propriétés « électroniques » des nanofils. La cristallinité de la surface des nanofils III-V, sera étudiée à l'aide de la méthode de caractérisation LEED. Cette méthode de caractérisation sera implantée dans le bâti ultra- vide et sera associée aux autres techniques de caractérisation spectroscopiques.

Ecole Doctorale des Sciences Fondamentales

Cette méthode est la seule capable de donner des informations cristallographiques de surface des nanofils passivés. Le doctorant aura pour mission d'optimiser les paramètres de mesure dans un premier temps. Cette étape sera suivie par spectroscopies électroniques (XPS) et par diffraction LEED. Le doctorant s'attachera à étudier le recuit de ces structures passivées par la méthode LEED en temps réel. Le procédé de passivation des nanofils sera ensuite validé par des mesures en spectroscopie optique en imagerie au PMC de l'école Polytechnique Palaiseau.

[1] E. Gil, V.G. Dubrovskii, G. Avit, Y. André, C. Leroux, K. Lekhal, J. Grecenkov, A. Trassoudaine, D. Castelluci, G. Monier, R. M. Ramdani, C. Robert-Goumet, L. Bideux, J. C. Harmand, F. Glas

Nano Letters 2014, 14, 3938–3944

[2] Y. André, K. Lekhal, P. Hoggan, G. Avit, F. Cadiz, A. Rowe, D. Paget, E. Petit, C. Leroux, A. Trassoudaine, M. R. Ramdani, G. Monier, D. Colas, R. Ajib, D. Castelluci, E. Gil.

The Journal of Chemical Physics 2014, 140, 194706

[3] M. R. Ramdani, E. Gil, Ch. Leroux, Y. André, A. Trassoudaine, D. Castelluci, L. Bideux, G. Monier et al.

Nano Letters 2010, 10, 1836-1841

[4] G. Monier, L. Bideux, C. Robert-Goumet, B. Gruzza, M. Petit, J. Labar, M. Menyhard, **Surface Science**, 606, 1093, (2012).

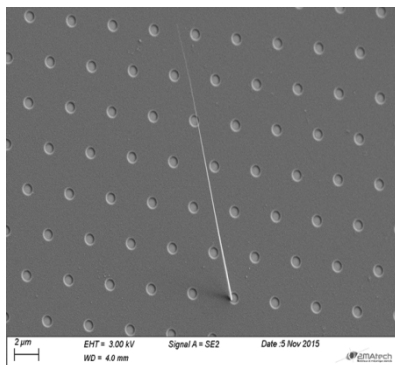


Figure 1 : Nanofil GaAs ultra-long obtenu par croissance auto-catalysée sur substrat silicium

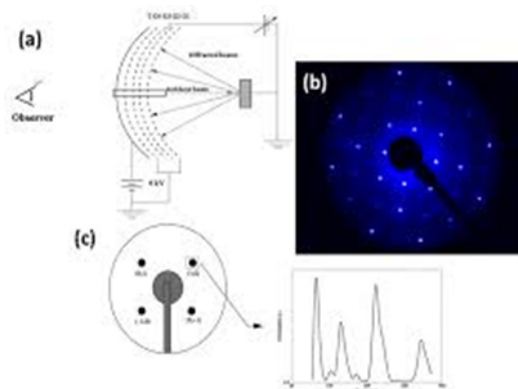


Figure 2 : Méthode de caractérisation par diffraction d'électrons (LEED) :
Suivi de la cristallinité des structures réalisées