

Proposition de sujet de master 2 2020/2021

C2N /dept Matériaux/ equipe SEEDS

Croissance épitaxiale de Germanium hexagonal-2H

Contexte du projet de recherche et motivations

L'équipe Seeds du C2N a une longue expérience sur la croissance par épitaxie ainsi que sur l'élaboration et l'étude des propriétés physiques des nanofils semiconducteurs du groupe IV. Nos préoccupations actuelles sont focalisées sur la synthèse de la phase allotrope 2H^[1] du Ge qui offre potentiellement un gap direct de 0,3 eV^[2]. Cette structure électronique pourrait permettre d'envisager l'intégration de fonctionnalités photoniques du Ge-2H sur des dispositifs silicium dans le domaine du moyen infrarouge (4 μm). Ce domaine est particulièrement intéressant en raison des fenêtres de transparence atmosphérique disponibles pour des applications laser telles que les télécommunications, la détection de gaz (CH₄, CO et NH présents dans cette gamme) ou polluants chimiques et la contre-mesure optronique (pour des applications militaires des lasers).

Très récemment, nous avons démontré la possibilité de synthétiser des structures cœur/coquille GaAs-w/Ge-2H. Alors que le GaAs massif n'existe que sous la forme zinc-blinde, la synthèse Vapeur-Liquide-Solide (VLS) de nanofils GaAs de structure wurtzite nous a offert une opportunité décisive pour obtenir par transfert d'épitaxie une structure Ge-2H sur le GaAs-w. La croissance de telles hétérostructures cœur/coquille a été observée in-situ en temps réel dans le microscope NANOMAX (outil unique de l'EQUIPEX TEMPOS dédié à l'étude des mécanismes de croissance de nanostructures - <http://www.tempos.fr/>). La synthèse in-situ d'une telle hétérostructure Ge-2H/GaAs-w constitue une première mondiale (en cours de publication^[3]). Les observations ont mis en évidence un mode de croissance step-flow favorable à l'obtention d'une couche Ge-2H sur des surfaces (1-100) si la diffusion de surface est suffisante. La destabilisation de ce mode de croissance entraîne la formation de fautes d'empilement de structure inédite I3 dont l'analyse doit être généralisée à d'autres systèmes polytypiques de type wurtzite GaAs, ZnS, GaN...

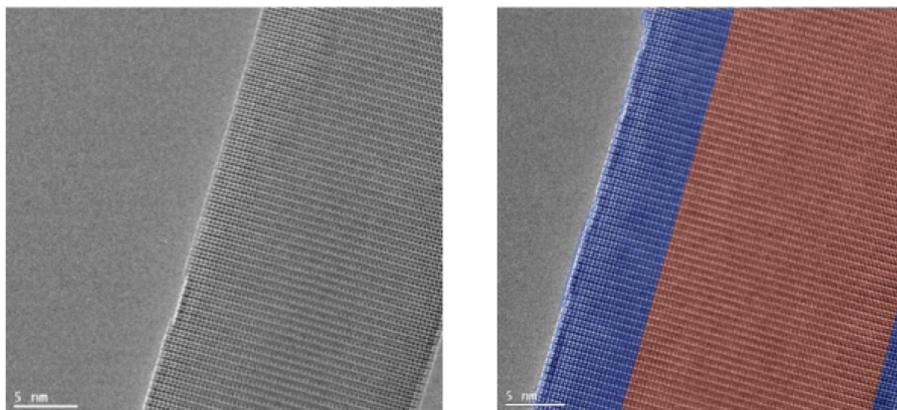


Figure 1 : gauche - micrographie d'un nanofil de GaAs de structure wurtzite (croissance selon l'axe c - $\langle 0001 \rangle$). Droite - Micrographie en fausse couleur d'une structure coeur/coquille GaAs-w/Ge-2H obtenue à partir du nanofil présenté sur la figure de gauche par croissance in-situ dans Nanomax. Cette image montre la faisabilité de la croissance Ge-2H sur des directions perpendiculaires à l'axe c - $\langle 0001 \rangle$.

Ces premiers résultats suggèrent de nouvelles opportunités pour la croissance épitaxiale de cette phase 2H-Ge. Il s'agit d'utiliser un substrat de structure hexagonale de surface non polaire $m=(1-100)$ ou $a=(-1-120)$ perpendiculaire à l'axe c et de paramètre de maille adapté. Nous devons donc maintenant trouver les conditions de synthèse de nanofils ou de couches 2D de Ge-2H par reprise épitaxiale sur un substrat adéquat. Plusieurs procédés sont en cours d'étude sur différents types de substrats : l'épitaxie sélective dans des ouvertures nanostructurées sur la surface, « remote epitaxy » à travers un matériau 2D tel que le graphène, croissance de nanofils catalysés, et reprise d'épitaxie sur nanofil polytypique obtenu par transformation de phase^[1].

Nous sommes à une étape préliminaire du projet qui consiste à tester et valider la faisabilité d'une ou plusieurs des méthodes proposées. Sur un aspect plus fondamental il est important d'étudier les mécanismes de croissance et de relaxation et la formation des défauts dans cette structure Ge-2H par des caractérisations systématiques.

Publications de l'équipe sur le sujet

[1] L. Vincent et al. Nanoletters 14 (2014) p.4828

[2] T. Kaewmaraya, L. Vincent and M. Amato, The journal of physical chemistry C121 -10 (2017) 5820

[3] L. Vincent : Formation mechanisms of type I3 basal stacking fault in epitaxially grown hexagonal Ge-2H En cours de soumission Disponible sur demande

Objectifs et descriptif du stage (3-4 mois)

L'objectif du stage est de participer à la mise en place d'un des procédés, donc d'étendre le procédé de reprise épitaxiale du Ge-2H sur d'autres « templates » que GaAs-w. Le plan de travail est le suivant :

- (1) étude succincte de la croissance sur différents substrats permettant une sélection d'un ou plusieurs substrat adéquats
- (2) optimisation des paramètres de croissance
- (3) étude structurale des relations d'orientation nanostructure/substrat et des défauts créés (DRX, EDX, Raman, TEM...)
- (4) caractérisation des propriétés des nanostructures Ge-2H obtenues (absorption optique, mesures électriques...) auxquelles participera éventuellement le (la) stagiaire(e).

Ce projet de recherche est essentiellement à caractère expérimental. Le (la) stagiaire(e) sera formé(e) aux principales étapes technologiques nécessaires à la réalisation et la caractérisation des nanofils et/ou des couches. L'étude est essentiellement basé sur la croissance épitaxiale par UHV-CVD et sur de nombreuses caractérisations systématiques structurales. L'étudiant bénéficiera d'un environnement plus élargi au sein du consortium de l'ANR HEXSIGE ayant également pour objectif l'étude des propriétés physiques des nanofils Si et Ge allotropiques 3C/2H.

Profil

Formation Ingénieur/Master recherche en science des matériaux ou nanoscience

Bases en cristallographie

Fort goût pour l'expérimentation et l'analyse microstructurale

Aptitude (pas de contre-indication) au travail en salle blanche

Laboratoire et équipe d'accueil

C2N, CNRS / Université Paris Saclay, 10 Boulevard Thomas Gobert, 91120 Palaiseau FRANCE

Département Matériaux / Equipe SEEDs

Contact : Laetitia VINCENT

Téléphone : 01 70 27 03 81/ E-mail : laetitia.vincent@c2n.upsaclay.fr