

Titre Thèse Title	Epitaxial growth and near-field characterization of InSb nanostructures for advanced electron devices	
(Co)-Directeur	Ludovic Desplanque	E-mail : ludovic.desplanque@univ-lille.fr
(Co)-Directeur	Bruno Grandidier	E-mail : bruno.grandidier@univ-lille.fr
(Co)-Encadrant (s)		E-mail :
Laboratoire(s)	IEMN	Web : https://www.iemn.fr/
Groupe(s)	EPIPHY / Physique	Web : https://www.iemn.fr/la-recherche/les-groupes/epiphy
Financement demandé	Contrat Doctoral Etablissement	ULille <input type="checkbox"/> Centrale Lille <input type="checkbox"/> Yncrea <input type="checkbox"/>
	Région – Autre <input type="checkbox"/> Préciser :	Co-financement acquis Oui / non <input type="checkbox"/> Préciser :
Financement acquis ? <input checked="" type="checkbox"/> Financement partiellement acquis ? <input type="checkbox"/>	Contrats de Recherche <input checked="" type="checkbox"/> Préciser : ANR PRC Inspiring	Autre <input type="checkbox"/> Préciser :

Résumé :

L'antimoniure d'Indium (InSb) est un semiconducteur III-V aux propriétés de transport électronique exceptionnelles [1]. Maîtriser sa forme à l'échelle nanométrique pourrait être essentielle pour la fabrication des futurs composants électroniques dans le domaine de la spintronique ou de l'informatique quantique. Jusqu'à présent, les démonstrations de composants électroniques utilisant ce matériau sont essentiellement basées sur la croissance de nanofils verticaux à partir d'un catalyseur métallique. Cette configuration nécessite un transfert des nanofils sur un substrat hôte pour la fabrication de composants et empêche l'obtention de structures complexes de type réseaux de nanofils ou nano-résonateurs. La croissance sélective de nanostructures planaires, consistant à épitaxier le semiconducteur dans les ouvertures d'un masque diélectrique, permet de répondre à ces défis et suscite l'intérêt d'un certain nombre de laboratoires académiques ou industriels [2-6]. Cette technique de croissance a été développée à l'IEMN depuis quelques années et récemment étendue à la croissance de nanostructures d'InSb [7]. Néanmoins, la qualité cristalline des nanostructures obtenues reste impactée par le désaccord de paramètre de maille avec les substrats semiconducteurs III-V semi-isolants (InP ou GaAs).

Dans le cadre du projet ANR collaboratif *Inspiring*, démarré en janvier 2022 et regroupant trois laboratoires académiques français (IEMN, CEA LETI et Institut Néel), l'un des objectifs est d'utiliser un substrat d'une autre famille de semiconducteurs (CdTe) pour l'épitaxie sélective d'InSb. Il présente l'avantage d'être adapté en maille mais nécessite une optimisation précise des conditions de croissance pour éviter les problèmes d'inter-diffusion des éléments tout en conservant une bonne sélectivité de croissance. Après cette première étape, le travail de thèse se poursuivra par l'analyse des propriétés (de surfaces et électroniques) des nanostructures en utilisant des techniques de microscopie champ proche et par la fabrication de nano-dispositifs élémentaires. L'objectif ultime sera de mettre en évidence un transport d'électrons balistiques dans ces nanostructures, condition nécessaire pour la réalisation de dispositifs quantiques.

Le travail de thèse sera réalisé dans les centrales de Micro et NanoFabrication et caractérisations multi-physiques de l'IEMN. Plus particulièrement, le candidat aura accès à différentes ressources technologiques et expérimentales telles que l'épitaxie par jets moléculaires, la lithographie électronique, la gravure assistée par plasma, la microscopie électronique à balayage, à force atomique ou à effet tunnel et sera supervisé par L.Desplanque et B.Grandidier. Ces travaux seront également complétés par les études menées par les laboratoires partenaires du projet ANR *Inspiring*. Le financement de la thèse est d'ores et déjà complètement acquis pour trois ans dans le cadre de ce projet.

Abstract:

Indium antimonide (InSb) is a III-V semiconductor with exceptional electron transport properties [1]. Operating this material at the nanoscale could be essential for the next generation of electron devices

for spintronics and quantum computing. Up to now, demonstrated devices essentially rely on the growth of vertical nanowires using a metal droplet as a catalyst. This method requires a transfer of the nanowire to a host substrate for device processing and prevent any complex structure achievement such as nanowire networks or nanorings. Since it allows a transfer free process, selective area growth of in-plane nanostructures, consisting in growing the semiconductor inside the nanoscale openings of a dielectric mask deposited on a substrate has recently gained much interest in academic but also industrial labs. Since a few years, this selective area growth technique has been developed at IEMN and recently extended to InSb [7]. However, the crystal quality of the grown nanostructures suffers from the large lattice mismatch with the semi-insulating III-V host substrate (InP or GaAs).

In the frame of the ANR PRC Inspiring project, gathering three French academic labs (IEMN, CEA LETI and Neel Institute) and starting in January 2022, one of the objectives is the use of a II-VI CdTe substrate to address the lattice mismatch issue for the growth on in-plane InSb nanostructures.

This work will first require a careful optimisation of the growth conditions to limit inter-diffusion phenomena at the interface between CdTe and InSb without degrading the growth selectivity. In a second step, the surface and electronic properties of the nanostructures will be investigated using near-field microscopy as well as fabricating basic nanodevices. The ultimate goal is to evidence ballistic electron transport inside the semiconductor.

The work will be performed in the micro and nano fabrication facility and in the multi physics characterization platform of IEMN. More precisely, experimental techniques such as Molecular Beam Epitaxy, e-beam lithography, reactive ion etching, scanning electron microscopy and near field microscopy will be used for this task under the supervision of L.Desplanque and B.Grandidier. Complementary investigations will be led by the other partners of the ANR *Inspiring* project. In this frame, a 3-year-financial-support for the PhD thesis is already secured.

[1] Gazibegovic et al, *Nature* 548, 434 (2017).

[2] Op het Veld et al, *Commun Phys* 3, 59 (2020).

[3] Krizek, F. et al, *Phys. Rev. Mat.* 2, 093401 (2018).

[4] Friedl et al., *Nano Lett.* 18, 2666 (2018)

[5] Schmid et al., *Appl. Phys. Lett.* 106, 233101 (2015)

[6] Aseev et al, *Nano Lett.* 19, 9102-9111 (2019).

[7] L.Desplanque et al, *Nanotechnology* 29, 305705 (2018).