

Titre Thèse Title	Development and study of transistor based on InSe 2D material, for high frequency applications	
(Co)-Directeur	Sylvain Bollaert	E-mail : sylvain.bollaert@univ-lille.fr
(Co)-Directeur	Xavier Wallart	E-mail : xavier.wallart@univ-lille.fr
(Co)-Encadrant (s)	Nicolas Wichmann	E-mail : nicolas.wichmann@univ-lille.fr
Laboratoire(s)	IEMN	Web : https://www.iemn.fr
Groupe(s)	ANODE-EPIPHY	Web :
Financement acquis ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input checked="" type="checkbox"/>
Financement demandé	Contrat Doctoral <input checked="" type="checkbox"/>	Etablissement porteur : Univ. Lille <input checked="" type="checkbox"/> Centrale Lille <input type="checkbox"/> JUNIA <input type="checkbox"/>
	Région <input type="checkbox"/>	Co-financement acquis : Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Préciser son origine (qu'il soit acquis ou non) :
	Autre : en lien avec cluster du HUB4 de l'ISITE	

L'étude des matériaux 2D (2DMs) a connu un intérêt grandissant depuis la découverte du graphène en 2004 [1], primée par un prix Nobel en 2010. Les 2DMs offrent des propriétés uniques principalement liées à leur structure cristallographique composée de couches faiblement couplées constituées de quelques plans atomiques (1 à 4) dans lesquels les atomes sont liés de manière covalente. L'InSe fait partie de ces matériaux. En monocouche, il présente une bande interdite indirecte de 2.2eV qui devient directe à partir de quelques monocouches et tend vers une valeur de 1.26eV en volume [2,3]. Cette bande interdite directe offre des possibilités d'applications optoélectroniques dans la gamme du visible à l'infrarouge, avec une meilleure photo réponse que le Graphène ou le MoS₂. InSe peut également s'avérer prometteur pour les dispositifs THz [4], la fabrication de Memristor [5], la thermoélectricité [6]. Pour les applications électroniques, une mobilité de 2000cm²/V.s a été mesurée [7] et un rapport I_{ON}/I_{OFF} de 10³ a été atteint sur un transistor à effet de champ [2], ce qui en fait un candidat intéressant pour la fabrication de transistors [2,8]. Néanmoins, jusqu'à présent, la plupart des dispositifs ont été réalisés à partir de flocons exfoliés et aucune caractérisation des performances en fréquence n'a été reportée à ce jour.

L'objectif de cette thèse est d'explorer les potentialités du matériau InSe pour des applications électroniques. Il vise la croissance et la réalisation technologique par des techniques de fabrication à l'échelle du wafer d'un transistor de type MOS à canal InSe avec une caractérisation électrique complète en DC et haute fréquence. Il comportera 2 axes de travail principaux : l'épitaxie d'un matériau InSe de qualité et le développement des procédés technologiques de fabrication d'un transistor.

La croissance sera réalisée par épitaxie par jets moléculaires dans le réacteur dédié au chalcogénures récemment installé à l'IEMN. Ce système est déjà équipé de cellules Ga, In et Se et est complètement opérationnel pour le projet proposé. Ce matériau sera ensuite comparé au matériau issu d'une technique d'exfoliation, le matériau bulk provenant de l'université de Nottingham (Groupe du Pr Amalia PATANE) et de l'université de PennState (Pr Joshua A. Robinson) dans le cadre de collaboration du projet flagship graphene.

Le développement des procédés technologiques commencera par la réalisation des contacts ohmiques de source et de drain : choix du métal, préparation de surface, recuit et caractérisation. Au terme de cette étape, de nouvelles mesures de la mobilité électronique et de la densité d'électrons seront réalisées et fourniront un indicateur objectif de la qualité du matériau et de la croissance épitaxiale. La seconde étape visera la réalisation du contact de grille dont l'élément principal est l'oxyde.

Finalement, les transistors seront complètement caractérisés en DC et en hyperfréquence afin d'établir l'ensemble de leurs caractéristiques électriques statiques et dynamiques et ainsi d'évaluer les potentialités du matériau 2D InSe.

Ce sujet est en lien avec la thématique du cluster DYDICO – Dynamics for disruptive communications and connectivity du hub Monde numérique au service de l’humain et du programme gradué IKS-Information and Knowledge Society.

- Bibliographie :

- [1] K. S. Novoselov *et al.*, *Science* 2004 **306**, 666
- [2] Zhibin Yang *et al.*, *ACS Nano* 2017 **11** (4) 4225
- [3] M.J Hamer *et al.*, *ACS Nano* 2019 **13** 2136
- [4] Miriam Serena Vitiello, *J. Phys. Mater.* 2020 **3** 014008
- [5] Qianyuan Li *et al.*, *Int. J. Extrem. Manuf.* 2021 **3** 045103
- [6] Shi H. *et al.*, *Aggregate* **2021**;2:e92. <https://doi.org/10.1002/agt2.92>
- [7] Denis A. Bandurin *et al.*, *Nature Technology* 2017 **12** 223
- [8] Sukrit Sucharitakul *et al.*, *Nano Letters* 2015 **15** (6) 3815