

Sujet thèse / PhD subject 2026

Titre Thèse	Etude en Champ Proche des Limites de la Micro-fabrication Additive Electrochimiquement Assistée de Semi-Conducteurs Organiques sur Composants.	
PhD Title	Near-Field Studying the Limits for Electrochemically-Assisted Additive Microfabrication of Organic Semiconductors on Devices.	
(Co)-Directeur	Sébastien Pecqueur (CR-HDR)	E-mail : sebastien.pecqueur@iemn.fr
(Co)-Directeur	Stéphane Lenfant (DR)	E-mail : stephane.lenfant@iemn.fr
(Co)-Encadrant (s)	Imen Hnid (MdC)	E-mail : imen.hnid@iemn.fr
Laboratoire	IEMN	Web : https://www.iemn.fr/
Groupe(s)	NCM	Web : https://www.iemn.fr/la-recherche/les-groupes/groupe-ncm
Projet phare principal	Matériaux	
Financement acquis Oui ☐ Non ☒ Partiel ☐	Si acquis (total ou partiel), préciser : (contrat, organisme, Université étrangère...) :	
Financement demandé	Contrat Doctoral Etablissement ☐	ULille ☒ Centrale Lille ☐ JUNIA ☐
	Région ou Autre ☐ Préciser :	Co financement (Préciser l'origine, demande en cours, et si acquis ou pas) :

Résumé en français (english abstract on the next page)

La fabrication additive (impression 3D) est une innovation technologique qui révolutionne de nombreux secteurs par sa capacité à concevoir des structures à façon, en un minimum de temps et impliquant un minimum d'énergie et de ressources matérielles. La fabrication additive n'a pas son pareil en micro-fabrication électronique : les procédés permettant de structurer la matière sur des surfaces en silicium impliquent généralement des équipements de technologies pointes qui consomment beaucoup d'eau et d'énergie pour chauffer, refroidir, faire le vide, découper, implanter ou ioniser. Les techniques conventionnelles de la micro-fabrication électronique sont difficilement en phase avec le grand défi environnemental de demain, et contraignent le développement d'unités de productions de puces sur le territoire du Green Deal. En utilisant l'électrochimie dans la manufacture de microcomposants électroniques, il est possible de déposer des semi-conducteurs stratégiques sur des puces en silicium : quelques volts et microcoulombs par dispositif suffisent à co-intégrer des polymères conducteurs avec un rendement approchant les 100% dans des conditions ambiantes, ne générant presque pas de déchets et utilisant des solvants non-toxiques (Moustiez et al 2025)*. Les limites qu'offre cette technologie à ces échelles, le contrôle des propriétés électriques et morphologiques, sont cependant encore mal connues.

Ce projet doctoral vise à comprendre comment utiliser l'électrochimie sur des microélectrodes pour « faire pousser » des semiconducteurs sur des puces en silicium, en utilisant différentes techniques de microscopie en champ proche pour en caractériser différentes propriétés de ces microstructures. Différents monomères seront formulés en solution et électrochimiquement déposés sur des puces préalablement lithographiées de microélectrodes. Différentes formulations et conditions d'électro-dépôt permettront de faire pousser différentes structures conductrices ou semi-conductrices à petite échelle. Par l'utilisation de différentes techniques de microscopie en champ proche : microscope à force atomique (AFM) pour la mesure de la topographie, AFM à pointe conductrice (c-AFM) pour la cartographie de courant, microscopie à sonde de Kelvin (KPFM) pour la mesure du potentiel de surface et AFM électrochimique (EC-AFM) pour le suivi des réactions électrochimique, nous pourrions comprendre les phénomènes physicochimiques régissant la croissance de la matière à ces échelles. La compréhension des mécanismes régissant ces croissances doit nous amener à connaître les limites de ce mode de dépôt pour son utilisation comme procédé de fabrication à part entière, pour la micro-fabrication à la demande de composant linéaires (résistance, condensateurs), non linéaires (diodes, transistors) ou de capteurs sur wafer.

Ce sujet hautement expérimental se situe à l'interface entre les sciences physiques et l'électrochimie dans une équipe de recherche multi-disciplinaire. Le(la) candidat(e) au doctorat (niveau master ou diplômé ingénieur(e)) sera intégré(e) au groupe NCM de l'Institut d'Electronique, de Microélectronique et de Nanotechnologie (iemn.fr). Le(la) candidat(e) devra avoir un intérêt particulier pour les sciences interdisciplinaires et une curiosité à comprendre le contexte actuel et les enjeux sociétaux guidant la recherche de nouveaux matériaux pour la micro-électronique. Idéalement, un(e) scientifique avec une formation ou une expérience en microscopie champ proche et/ou en électrochimie sera requise pour mener à bien ces recherches.

* Moustiez et al. *ECS Sens. Plus* 4(4) 044401 (2025)

Additive manufacturing (3D printing) is a technological innovation which revolutionizes many sectors by its ability to build on demand, very rapidly and with minimal energy and material resources. However, there is no such equivalent for microelectronic fabrication : the conventional processes employed to structure matter on a silicon surface usually involve many cutting—edged equipments which consume a lot of water and energy to heat, cool, make vacuum, cut, implant or ionize. These conventional techniques are barely compatible with tomorrow's great societal challenge, and constrain the production of electronic chips in Europe with the Green Deal. By using electrochemistry to manufacture microelectronic devices, strategic semiconductors can be deposited on silicon chips : few volts and microcoulombs per device are enough to co-integrate conducting polymers in a near 100% yield with soft conditions, generating almost no waste and using non-toxic solvents (Moustiez et al 2025)*. The physical limits of this technology at such a small scale, its control in electrical and morphological properties, are however not very well understood yet.

This doctoral project aims at understanding how using electrochemistry on microelectrodes « to grow » semiconductors on a silicon chip, using different near-field microscope techniques to characterize the various properties of such microstructures. Diverse monomers will be formulated in solution and electrochemically deposited on lithographically patterned microelectrode chips. Different formulations and electrochemical parameters will promote different growths of semiconductors and conductors at small scale. By using different near-field microscope techniques : atomic force microscopy (AFM) to measure topography, conducting AFM (c-AFM) for conductance mapping, Kelvin probe microscopy (KPFM) for surface potential measurement and electrochemical AFM (EC-AFM) to monitor local electrochemical activities, we want to understand the many physical/chemical phenomena ruling material growth at such small scale. By understanding the nature of the mechanisms, we aim to identify the limits of this deposition technique to implement it as a fabrication process to microfabricate voltage linear devices (resistors, capacitors), non-linear devices (diodes, transistors), and sensors on a wafer.

This highly experimental topic lies at the interface between physics and electrochemistry in a multidisciplinary research team. A doctoral candidate (master level or graduated engineer) will integrate the NCM group at the Institute of Electronics, Microelectronics and Nanotechnology (iemn.fr). The candidate shall have a genuine interest for interdisciplinary sciences and curiosity to understand the current societal context driving material science researches for microelectronics manufacturing. Ideally, a scientist with a good training or experience in near-field microscopy and/or electrochemistry is required to carry out this research.

* Moustiez et al. [ECS Sens. Plus](#) 4(4) 044401 (2025)