

ENGLISH FOLLOWS

FARZAM ZOUESHTIAGH, PROFESSEUR
UNIVERSITE DE LILLE, LABORATOIRE IEMN
E: FARZAM.ZOUESHTIAGH@UNIV-LILLE.FR

Stage de Master : Instabilité de l'électrodéposition

Les substrats texturés jouent un rôle crucial dans les réacteurs et séparateurs microfluidiques, notamment pour la manipulation et la détection de biomolécules telles que l'ADN et les virus. Ils favorisent la concentration d'espèces et améliorent la sensibilité des capteurs. Au-delà du domaine biomédical, ces surfaces sont également essentielles pour la détection de menaces chimiques, un enjeu majeur de sécurité nationale et internationale.

La texturation des parois dans les dispositifs microfluidiques modifie les profils d'écoulement, renforce le mélange local et crée des zones de piégeage favorables à la séparation d'espèces. Parmi les différentes méthodes de fabrication disponibles, l'électrodéposition se distingue par sa simplicité et sa compatibilité avec des procédés à bas coût. Cependant, cette technique conduit souvent à la formation de structures dendritiques (Figure 1), résultant d'une instabilité de surface où plusieurs longueurs d'onde de croissance se développent simultanément, menant à une morphologie désordonnée.



Figure 1 : dendrites formées sur la cathode lors d'un séquence d'électrodéposition

Pour contrôler la croissance et obtenir des motifs ordonnés, il a été démontré que l'espacement entre les électrodes doit être inférieur à 50 μm , une distance optimale d'environ 20 μm permettant de sélectionner des longueurs d'onde spécifiques et de stabiliser le front de croissance. Ainsi, les motifs issus de l'électrodéposition sont directement liés à la physique de l'instabilité interfaciale. Le projet vise à concevoir, fabriquer et caractériser des motifs ordonnés obtenus par électrodéposition contrôlée à l'aide de substrats masqués et de techniques de photolithographie. Une cellule microfluidique sur mesure sera développée pour étudier et caractériser les écoulements autour des motifs durant le processus de dépôt. Les objectifs scientifiques principaux sont :

- de prédire la morphologie des motifs à partir de l'analyse de l'instabilité ;
- de valider ces prédictions expérimentalement ;
- et de contrôler la croissance de structures ordonnées à l'échelle micrométrique.

La maîtrise de ces processus d'électrodéposition ouvrirait la voie à la fabrication de surfaces fonctionnelles innovantes, adaptées à de nombreuses applications : réacteurs microfluidiques, échangeurs de chaleur microscopiques, capteurs, ou encore convertisseurs catalytiques. Le travail théorique sur les instabilités sera réalisé en collaboration avec l'Université de Floride, tandis que les études expérimentales portant sur les motifs masqués, la microfabrication des gabarits et leur caractérisation seront conduites à l'IEMN (Lille).

L'étudiant(e) bénéficiera ainsi d'un environnement interdisciplinaire et international, alliant modélisation physique, microfabrication et analyse expérimentale, dans le cadre d'une collaboration théorique, expérimentale et culturelle entre les deux institutions.

References

1. Pinar Eribol, Sarathy Gopalakrishnan, Diwakar S. Venkatesan, Ranga Narayanan, Farzam Zoueshtiagh, Kirk J. Ziegler (2023), *Electrochimica Acta* 462 (2023): 142616.

FARZAM ZOUESHTIAGH, PROFESSEUR
UNIVERSITE DE LILLE, LABORATOIRE IEMN
E: FARZAM.ZOUESHTIAGH@UNIV-LILLE.FR

Master internship: instability of electrodeposition

Summary:

Patterned substrates are critically important in microfluidic reactors and separators used for DNA and virus detection. They play a key role in species concentration for detection and are particularly valuable for chemical threat detection in national and international security contexts. The presence of patterned walls alters velocity profiles, enhances mixing, and provides ideal locations for species entrapment during separations.

One method of creating these patterned substrates is through electrodeposition. However, electrodeposits can easily become dendritic, losing their ordered features. Dendrite formation (figure 1) arises from an instability at the electrode surface, where multiple wavelengths compete for growth at similar rates. To control this growth, it has been established that electrode spacing must be minimal—ideally less than 50 microns, with 20-micron spacing being optimal for selecting specific wavelengths.



Figure 1: Dendrites formed on the cathode during an electrodeposition sequence.

The project aims to design, fabricate, and characterize ordered patterns obtained through controlled electrodeposition using masked substrates and photolithography techniques. A custom microfluidic cell will be developed to study and characterize flow behavior around the patterns during the deposition process. The main scientific objectives are:

- To predict the morphology of the patterns based on instability analysis;
- To validate these predictions experimentally;
- and to control the growth of ordered structures at the microscale.

Mastering these electrodeposition processes would pave the way for the fabrication of innovative functional surfaces, suitable for a wide range of applications, including microfluidic reactors, microscale heat exchangers, sensors, and catalytic converters.

The theoretical work on instabilities will be carried out in collaboration with the University of Florida, while the experimental studies on masked patterns, microfabrication of templates, and structural characterization will be conducted at IEMN (Lille).

The student will thus benefit from an interdisciplinary and international environment, combining physical modeling, microfabrication, and experimental analysis, within the framework of a theoretical, experimental, and cultural collaboration between the two institutions.

References

1. Pinar Eribol, Sarathy Gopalakrishnan, Diwakar S. Venkatesan, Ranga Narayanan, Farzam Zoueshtiagh, Kirk J. Ziegler (2023), *Electrochimica Acta* 462 (2023): 142616.