Proposition de Stage 2027

Stage destiné aux étudiants de :

☐ M1 E-Mat/ENR x Master 2 E-Mat/ENR

Intitulé du stage : Electrodes de nitrure de vanadium déposées par pulvérisation magnétron en régime d'impulsions de haute puissance (HiPIMS) pour les micro-supercondensateurs 3D.

Structure d'accueil :

Intitulé : Institut des Matériaux de Nantes Jean Rouxel

Nom du responsable : Florent Boucher

Responsables du stage :

Nom : Jérémy Barbé e-mail : jeremy.barbe@cnrs-imn.fr Tél. :

Description du stage :

Contexte

Les micro-supercondensateurs (MSC) sont des systèmes électrochimiques miniaturisés qui peuvent être utilisés dans l'unité de stockage d'énergie des appareils pour l'Internet des Objets. Les MSC offrent une densité de puissance élevée (> 10 mW cm^{-2}) mais une densité d'énergie plus faible (< 0,01 mW h cm^{-2}) que les micro-batteries. Afin d'améliorer la densité énergétique de ces électrodes tout en maintenant un encombrement réduit, des électrodes 3D présentant un rapport surface/volume élevé ont été proposées comme solution innovante [1]. Cela permet de promouvoir les échanges à l'interface avec l'électrolyte sur une surface étendue tout en maintenant une densité de puissance élevée.

Récemment, les nitrures de métaux de transition (TMN) tels que le RuN, VN ou TiN sont apparus comme des matériaux d'électrode prometteurs pour les supercondensateurs électrochimiques. Ces matériaux sont relativement peu coûteux lorsqu'ils sont déposés sous forme de films minces et présentent une capacité et une conductivité électronique élevées. En outre, ils peuvent être déposés par pulvérisation magnétron, une technique largement utilisée dans la fabrication des semi-conducteurs. Cette technique permet de produire des films ayant une bonne adhérence, une épaisseur, une composition et une morphologie contrôlées.

Cependant, la pulvérisation magnétron est généralement réalisée sur des substrats plats et n'est pas appropriée pour le dépôt de films minces sur des structures 3D (micro-piliers, micro-tranchées...). En effet, en pulvérisation conventionnelle, les atomes neutres se déposent préférentiellement au sommet des microstructures 3D, limitant l'accès à la base et aux parois latérales des microstructures, ce qui est connu sous le nom d'effet d'ombrage.

La pulvérisation magnétron à impulsion de haute puissance (HiPIMS) est un type particulier de pulvérisation où la décharge consiste en un plasma dominé par des ions métalliques (par opposition aux espèces neutres pour la pulvérisation conventionnelle). Comme ces espèces chargées sont influencées par les lignes de champ électrique, la distribution des ions métalliques est uniforme sur toutes les faces du substrat. La technique HiPIMS pourrait donc permettre de réaliser des revêtements conformes sur des structures 3D à haut rapport d'aspect.

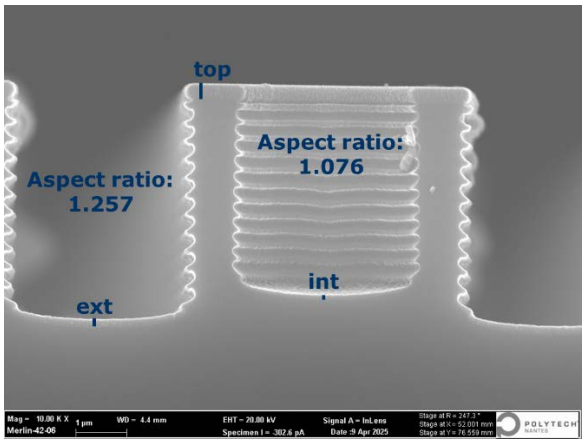

Figure 1 : Dépôt de couches minces sur microstructures 3D par HiPIMS.

Sujet du stage

L'objectif du stage est d'étudier le dépôt de couches minces nitrure de vanadium par HiPIMS. Le but est de mieux comprendre la phase gazeuse et la manière dont on peut utiliser l'HiPIMS pour privilégier la création d'ions métalliques de V et atteindre un haut degré d'ionisation du plasma. La première partie du stage comprendra l'élaboration de films minces par HiPIMS. Les films seront caractérisés par plusieurs techniques présentes à l'IMN telles que XRD, SEM, profilométrie et sonde quatre points. La seconde partie du stage s'intéressera à étudier les propriétés électrochimiques des films déposés, en utilisant notamment la voltampérométrie cyclique.

Le stage se déroulera dans l'équipe Plasma et Couches Minces à la Lombarderie et sera en collaboration avec l'équipe ST2E Supercondensateurs de la Chantrerie. Le stage se déroulera en grande partie à la Lombarderie mais l'étudiant.e sera amené.e à réaliser du travail expérimental sur le site de la Chantrerie.

Profil des candidats

Le stage s'adresse à un.e étudiant.e de Master 2 en science des matériaux, physique/chimie des matériaux, matériaux en couches minces ou dans un domaine connexe. Le stage comprend une grande partie de travail expérimental comprenant le dépôt de couches minces et leur caractérisation physico-chimique et électro-chimique. Nous recherchons un.e étudiant.e fortement motivé.e par le travail expérimental et capable de travailler avec rigueur et autonomie au sein d'une équipe pluridisciplinaire.

Superviseurs: Jérémy Barbé, Léo Seigneur

[1] C. Lethien, J. Le Bideau, and T. Brousse, "Challenges and prospects of 3D micro-supercapacitors for powering the internet of things," *Energy Environ. Sci.*, **12**, no. 1, pp. 96–115, 2019.