

CROISSANCE DE MXENE PAR DEPOT EN PHASE VAPEUR

DIRECTEUR DE THESE : TRISTAN PETIT

IS2M, 15, RUE JEAN STARCKY, 68057 MULHOUSE

TEL : 03 89 60 87 44 / E-MAIL : TRISTAN.PETIT@UHA.FR

Les matériaux bidimensionnels (2D) à base de carbure et nitrure de métaux de transition, aussi appelé MXenes, sont une classe de matériaux 2D ayant eu un développement exceptionnel depuis leur découverte en 2011. Ils sont particulièrement prometteurs pour le stockage électrochimique de l'énergie. Malheureusement, leur synthèse n'est actuellement pas soutenable car elle requiert beaucoup d'énergie ainsi que l'utilisation de produits chimiques toxiques (e.g. HF). Dans ce projet, je propose de développer la synthèse de MXenes par dépôt chimique en phase vapeur (Chemical Vapor Deposition en anglais, CVD). La synthèse CVD de MXene (Figure 1), rapportée pour la première fois en 2023 [1], ouvre de toutes nouvelles perspectives pour cette classe de matériaux. En plus d'offrir une grande versatilité sur la chimie des matériaux synthétisés grâce à l'utilisation de différents précurseurs [2], la croissance CVD permet d'obtenir une chimie de surface halogénée uniforme et peut être effectuée directement sur un substrat métallique, et potentiellement carboné, qui est particulièrement adaptée pour le stockage électrochimique de l'énergie. Le contrôle des paramètres de croissance (e.g. précurseurs, température, temps de croissance) ainsi que la caractérisation des matériaux seront les enjeux principaux de ce projet.

Le projet portera essentiellement sur la synthèse de MXene de formule M_2CCl_2 dont nous contrôlerons la morphologie en termes de taille de feuillets, densité et structure. Plusieurs métaux de transition M (Ti, V ou Mo) seront étudiés. Les MXenes de type M_2CCl_2 promettent une meilleure densité d'énergie théorique que les MXenes $M_3C_2Cl_2$, comme le $Ti_3C_2Cl_2$ couramment utilisés pour le stockage électrochimique de l'énergie, mais la mauvaise stabilité chimique des Ti_2CCl_2 synthétisés par voie chimique

classique (gravure de phase MAX en milieu acide) ne permet pas d'obtenir de bonnes performances électrochimiques à cause de trop nombreux défaut structuraux. Leur application en tant qu'électrode négative pour les batteries sodium ion sera démontrée au cours de la thèse, en les combinant avec des matériaux de type carbone dur (HC). Ces derniers sont couramment utilisés dans les batteries Na-ion grâce à leur bonne capacité, mais ils présentent des limitations à haute vitesse de charge. La conductivité élevée des MXene permettra de surmonter cette limitation. Le carbone dur peut empêcher le réempilement des feuillets de MXene, ce qui améliorera la diffusion ionique et la stabilité lors du cyclage prolongé. Le stockage pseudocapacitif ou d'intercalation des MXene, combiné au stockage par adsorption/insertion du HC, devrait permettre d'obtenir un mécanisme hybride offrant des performances améliorées.

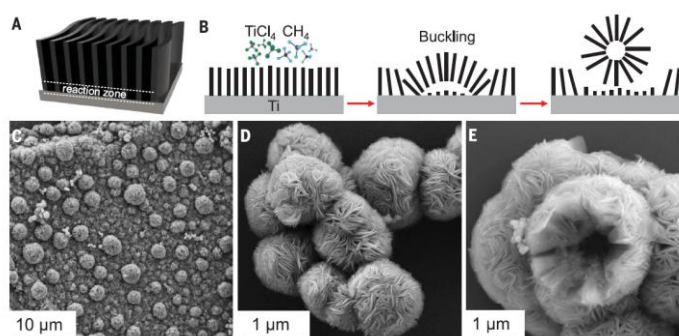


Figure 1 : (A-B) schéma du mécanisme de croissance CVD de MXene Ti_2CCl_2 . (C-E) Microscopie électronique de feuillets de MXenes après croissance CVD. D'après la référence [1].

- [1] D. Wang *et al.*, "Direct synthesis and chemical vapor deposition of 2D carbide and nitride MXenes," *Science*, vol. 379, no. 6638, pp. 1242–1247, 2023.
- [2] D. Wang *et al.*, "Molecular organohalides as general precursors for direct synthesis of two-dimensional transition metal carbide MXenes," *Nat. Synth.* 2025, pp. 1–9, 2025.