



PhD candidate for: Caractérisation par microscopie électronique en transmission à balayage de batteries à l'état solide à haute densité d'énergie pour les technologies quantiques intégrées

Workplace: NANTES;
Contract Period: 36 months;
Salary: 2135 euros gross monthly

Proportion of work: Full time
Starting date: October, 1st, 2024

Objectifs:

L'un des principaux atouts des technologies quantiques pourrait être leur moindre besoin en énergie électrique par rapport aux technologies actuelles. Bien qu'il s'agisse d'une perspective très controversée, les technologies futures pourraient fonctionner avec des sources d'énergie plus petites et leur miniaturisation pourrait s'avérer utile. Les microbatteries pourraient également être très utiles à l'ère de l'internet des objets (IoT). La collaboration "Q-batt" entre l'IMN-CNRS de Nantes et l'Université de Chicago propose de cibler des systèmes innovants à haute densité énergétique et de les caractériser au niveau nanométrique afin de les optimiser pour les défis à venir en matière de modération énergétique.

Certaines configurations de microbatteries utilisant un électrolyte solide bien connu (un oxynitride amorphe) présentent déjà des performances raisonnables, mais elles peuvent être entravées dans diverses conditions (par exemple à une température modérément élevée). En outre, la capacité principalement régie par la chimie de l'électrode positive (phase spinelle) est inférieure à celle fournie par des compositions découvertes plus récemment (comme les oxydes riches en Ni), ce qui pourrait contribuer à augmenter la densité énergétique de ces systèmes. Enfin, de nouveaux électrolytes à base d'halogénures pourraient fournir une capacité supplémentaire ou une stabilité d'utilisation à haute tension afin d'augmenter encore les performances des microbatteries.

Toutes ces améliorations potentielles reposent sur une connaissance et une maîtrise parfaites des structures, des chimies et des interfaces créées dans l'ensemble de la microbatterie, afin qu'elles puissent être corrigées en conséquence pour obtenir de meilleures performances. Ces informations ne peuvent être obtenues qu'avec une résolution spatiale adéquate par l'utilisation de techniques de microscopie électronique et l'objectif de cette étude de doctorat est de développer, d'exploiter et de traiter ces techniques à cette fin. En raison de la réactivité de tous les composants et de leur sensibilité à l'humidité de l'air, les mesures précises sont assez difficiles à réaliser (probablement à faire à une température cryogénique), mais la plate-forme de l'IMN-CNRS dispose de tous les instruments de haut niveau nécessaires et de l'expertise pour faire des avancées importantes dans ce domaine.

Job description / Activities:

Le(la) candidat(e) au doctorat retenu(e) se concentrera sur la caractérisation des couches minces jusqu'au niveau du nanomètre grâce à des techniques avancées de microscopie électronique et de spectroscopie. Trois dispositifs différents seront étudiés en détail et comparés, notamment en ce qui concerne la qualité/nature des interfaces existantes/créées au sein de la microbatterie. Ces analyses seront effectuées à la fois sur les batteries initiales et sur les batteries après cyclage (quelques cycles et après cyclage prolongé). En raison de la complexité de ces analyses et de l'expérience antérieure du groupe de la Professeur Meng à l'Université de Chicago, une première microbatterie bien connue sera utilisée pour définir et optimiser les protocoles dans l'installation de la microscopie électronique à l'IMN. En particulier, l'utilité d'une température cryogénique sera explorée pour obtenir des données représentatives. Ensuite, la chimie de l'électrode positive sera modifiée pour un oxyde de nickel-manganèse-cobalt plus difficile à mettre en œuvre et dont la capacité pourrait être pertinente. Enfin, l'électrolyte sera également remplacé par un électrolyte à base d'halogénure, dont la collaboration IMN-Université de Chicago a récemment montré qu'il avait un comportement électrochimique particulier et innovant.



Pour réaliser toutes ces études de haut niveau et mieux comprendre ces dispositifs innovants au niveau du nanomètre, le(la) candidat(e) au doctorat aura accès aux capacités uniques d'imagerie et de microscopie électronique analytique de l'IMN (<https://plassmat.cnrs-immn.fr/en/>). L'imagerie et l'analyse spectroscopique seront réalisées en utilisant la microscopie électronique en transmission à balayage (STEM) et la spectroscopie de perte d'énergie des électrons (EELS) grâce au Nant'Themis (S)TEM (Thermo Fisher Scientific Themis Z G3). Ce microscope à sonde corrigée est équipé de portes-objets spécialisés pour les mesures *operando*, avec un mode de travail « faible dose » et des détecteurs très sensibles (iDPC, détection directe d'électrons). Plus important encore, des supports d'échantillons nécessaires à la manipulation d'échantillons sensibles à l'air et au faisceau sont disponibles. En particulier, un porte-échantillon unique (jusqu'à présent en France) permettant le transfert à basse température (cryogénique) et sous vide associé à des capacités de double rotation sera largement utilisé.

En outre, les échantillons sous forme de films minces peuvent être mieux analysés lorsqu'ils sont préparés avec un faisceau d'ions focalisés pour préparer des lamelles minces appropriées pour le (S)TEM. Le(la) doctorant(e) devra donc également utiliser le Crossbeam 550L de l'IMN équipé de dispositifs de transfert et de possibilités de cryogénéisation adaptés à la préparation de lamelles MET.

Profile and requirements:

Vous êtes titulaire d'une maîtrise en physique, en science des matériaux, en ingénierie ou dans une discipline connexe.

Vous avez une certaine expérience de la caractérisation par des techniques de microscopie électronique et du traitement et de l'analyse d'images en relation avec ces techniques.

Vous avez une bonne compréhension des techniques spectroscopiques (telles que EELS, EDS) et une bonne connaissance de base des interactions entre les électrons et la matière.

Vos connaissances en chimie des matériaux sont suffisantes pour prendre en compte les spécificités apportées par les composés présents dans les batteries au lithium et les réactions qu'ils peuvent entraîner. Vous avez un goût particulier pour les expériences délicates, précises et difficiles et êtes donc très attentionné(e) et persévérant(e).

Vous pouvez interagir très facilement en anglais avec d'autres chercheurs afin que la collaboration avec le partenaire de l'Université de Chicago soit fluide et efficace.

Vous êtes orienté(e) vers la qualité, consciencieux(se), créatif(ve) et coopératif(ve), avec un goût pour la rigueur scientifique.

Vous êtes capable de communiquer avec différents publics.

Work Context / Scientific framework of the position:

Cette thèse est financée par le CNRS dans le cadre d'un programme de recherche commun avec l'Université de Chicago (dans le cadre des programmes "MITI" du CNRS (Mission pour les Initiatives Transversales et Interdisciplinaires)). La collaboration internationale est donc un aspect majeur de la thèse et le candidat retenu sera un atout majeur pour renforcer cette collaboration. Des séjours périodiques à l'Université de Chicago auront lieu pendant la durée de la thèse, en particulier dans le cadre de la synthèse des microbatteries.

La thèse se déroulera essentiellement à l'IMN et sera inscrite à l'école doctorale française de Nantes. Mais de nombreux séjours sont prévus à l'Université de Chicago. Le laboratoire d'accueil est l'Institut des Matériaux de Nantes Jean Rouxel (IMN, UMR 6502, <http://www.cnrs-immn.fr>). L'IMN est un centre de recherche commun au CNRS et à l'Université de Nantes, composé de plus de 200 personnes dont plus de 120 permanents (professeurs, chercheurs CNRS, ingénieurs) et environ 80 doctorants et post-doctorants. Le(la) doctorant(e) retenu(e) bénéficiera de l'interaction avec de nombreux collègues travaillant sur un certain nombre de domaines des sciences des matériaux par le biais d'expériences utilisant une myriade de techniques de caractérisation avancées et de simulations. Dans le cadre de ce projet, le(la) doctorant(e) fera partie d'un groupe renommé qui travaille sur le développement et la caractérisation des batteries Li-ion (silicium, oxydes à haute teneur en Ni, à base organique...). Le(la) doctorant(e) sera supervisé(e) à la fois par un professeur de ce groupe (Philippe Moreau) et par un directeur de recherche du CNRS (Joël Gaubicher) ayant une longue expérience dans les matériaux et



dispositifs de batteries au lithium. La professeure Ying Shirley Meng participera également au suivi régulier en raison de sa longue expertise dans le domaine des batteries à l'état solide et de la fabrication de couches minces. Le(la) doctorant(e) aura un accès direct et facile à l'installation de microscopie électronique de l'IMN, ce qui lui permettra de développer des expériences de pointe dans ce domaine.

Constraints and risks: Pas de contraintes ni de risques spécifiques

Geographic location: IMN: [map here](#)

Contact: Pour toute information complémentaire sur le projet et/ou le processus de recrutement, veuillez contacter le Prof. Philippe Moreau (philippe.moreau@cnrs-immn.fr) et Dr. Joël Gaubicher (joel.Gaubicher@cnrs-immn.fr). Toutes les candidatures (obligatoirement en anglais) doivent être envoyées via le portail emploi CNRS et doivent inclure un CV et une lettre de motivation.