

Techniques de mesures des propriétés piézoélectriques et flexoélectriques de matériaux par microscopie à sonde locale

Laboratoire de Physique des Nanomatériaux et Energie (LPNE)
Institut Matériaux
Université de Mons (UMONS)

Philippe LECLERE

philippe.leclere@umons.ac.be

Dans les technologies modernes qui visent à collecter et transformer l'énergie mécanique en énergie électrique, les matériaux piézoélectriques et flexoélectriques jouent un rôle essentiel.

En physique de la matière condensée, la **flexoélectricité** est la propriété d'un matériau diélectrique par laquelle un gradient de déformation induit une polarisation électrique. Mathématiquement, la flexoélectricité est représentée par un tenseur de rang 4. La polarisation créée par effet flexoélectrique peut ainsi s'écrire avec des notations usuelles:

$$P_i = \mu_{ijkl} \frac{\partial \epsilon_{jk}}{\partial x_l}$$

De la même manière qu'il existe les effets piézoélectriques *directs* et *inverses*, il existe également un effet flexoélectrique inverse qui relie la contrainte à un gradient de champ électrique :

$$T_i = \mu_{ijkl} \frac{\partial E_{jk}}{\partial x_l} \text{Le}$$

Contrairement à la piézoélectricité, la flexoélectricité est permise par symétrie dans tous les matériaux. Le tenseur flexoélectrique le plus simple est celui d'un cristal cubique car il ne contient trois coefficients indépendants (μ_{1111} , μ_{1122} , μ_{1212}).

Le stage proposé a pour but essentiel d'établir, au travers d'une étude bibliographique, un inventaire critique des techniques expérimentales qui visent à mesurer les propriétés piézo- et flexoélectriques à la nanoéchelle des matériaux comme la *Piezoresponse Force Microscopy* (PFM) disponible au laboratoire.

Référence :

[1] Thanh D. Nguyen, Sheng Mao, Yao-Wen Yeh, Prashant K. Purohit, and Michael C. McAlpine, *Nanoscale Flexoelectricity*, *Advanced Materials*, **25** (7) 2013, 946-974.

Analyse d'outils de *Deep Learning* pour traiter de la validité de courbes de force en microscopie à sonde locale

Laboratoire de Physique des Nanomatériaux et Energie (LPNE)
Institut Matériaux
Université de Mons (UMONS)

Philippe LECLERE
philippe.leclere@umons.ac.be

La connaissance des propriétés physiques et chimiques à la nanoéchelle des matériaux est essentielle afin de comprendre et d'ensuite prédire le comportement macroscopique de ceux-ci. Parmi les techniques de caractérisation expérimentale, les microscopies à sonde locale représentent une famille d'instruments de mesure de plus en plus pertinents. De manière à établir une cartographie quantitative de ces propriétés, il est important d'enregistrer, pour chaque pixel de l'image, l'évolution de la force en fonction de la distance séparant la pointe du microscope et l'échantillon analysé. Il s'agit des courbes de force.

Pour ce faire, nous avons recours à des techniques expérimentales récentes de microscopies à sonde locale (Peak Force Tapping, ImAFM, Nano Dynamic Mechanical Analysis, ...) pour générer un ensemble de courbes de force sur une série de matériaux choisis comme modèles (films polymères, nanocomposites, hydrogels, ...). Les propriétés mécaniques (comme le module de rigidité, l'adhésion, la déformation, l'indentation) ou viscoélastiques (module de stockage, module de perte) sont ensuite obtenues grâce à l'utilisation de modèles théoriques décrivant le contact mécanique entre la pointe et l'échantillon. Les modèles existants (souvent complexes) sont généralement adaptés pour un type de matériau donné (polymère, céramique, ...).

Préalablement à cette analyse détaillée, il est primordial de s'assurer que toutes ces courbes de force sont pertinentes. Au départ des données initiales, des algorithmes d'apprentissage (basé sur le *deep learning*) ont été récemment proposés [1], afin de minimiser l'intervention de l'utilisateur, en « triant » au préalable les courbes de force sur base de critères objectifs.

Le stage proposé a pour but essentiel d'analyser en détail la stratégie de ces algorithmes afin de proposer une approche pertinente à la problématique de l'analyse des courbes de force. Le/la candidat.e devra dès lors posséder de bonnes connaissances en programmation (Python). Il/elle devra également comprendre un ensemble de modules (existants au laboratoire). Pour ce faire, il/elle interagira fortement avec les chercheurs qui effectuent les mesures expérimentales (obtention des courbes de force) et qui serviront à la validation d'un futur code plus complet intégrant cet algorithme.

Référence

[1] Müller, P., Abuhattum, S., Möllmert, S. *et al.* nanite: using machine learning to assess the quality of atomic force microscopy-enabled nano-indentation data. *BMC Bioinformatics* **20**, 465 (2019). <https://doi.org/10.1186/s12859-019-3010-3>