

Sujet de stage Master 2 recherche / Ingénieur

Étude de la réponse diélectrique de nanorégions polaires (PNRs) dans des céramiques relaxeurs sans plomb

Mots-clés

Relaxeurs, céramiques, PNRs, spectroscopie d'impédance, mesures harmoniques.

Contexte

Les ferroélectriques relaxeurs (RFEs) sans plomb ont suscité beaucoup d'attention pour le développement de diverses applications liées à l'efficacité énergétique, telles que le stockage d'énergie, les actionneurs électrostrictifs, ainsi que les dispositifs électrocaloriques et pyroélectriques [1].

Les matériaux relaxeurs sont caractérisés par la présence de nanodomains polaires, appelés Polar Nanoregion (PNRs), dans lesquels les dipôles électriques locaux sont corrélés à l'échelle nanométrique et dont la polarisation est aléatoirement orientée en l'absence de champ électrique externe (Fig. 1). Ces PNRs contribuent de manière significative aux réponses diélectriques macroscopiques (Fig. 1) [2]. Pour développer des RFEs à haute performance, l'approche des oxydes à haute entropie (HEOs) est privilégiée en raison de leur structure particulière, de leur excellente stabilité thermique et de leurs propriétés électriques prometteuses. Cette stratégie consiste à incorporer cinq cations ou plus dans un site cristallographique équivalent, ce qui engendre une entropie de configuration élevée ($\geq 1.61R$). Une telle configuration favorise un fort désordre local ainsi qu'une distorsion significative du réseau cristallin, renforçant ainsi la dynamique des PNRs [3].

Les nanorégions polaires induisent une réponse diélectrique non-linéaire au champ électrique appliqué, liée aux corrélations entre elles, et aux fluctuations de leurs barrières énergétiques [4]. Pour comprendre cette dynamique complexe, il est essentiel d'étudier la spectroscopie d'impédance, qui permet de suivre l'évolution des propriétés diélectriques en fonction de la fréquence et de l'amplitude du champ appliqué [5]. Elle offre ainsi un outil puissant pour caractériser la dynamique et l'interaction des PNRs dans les relaxeurs.

Travail proposé

Ce travail de stage vise à synthétiser et caractériser des céramiques relaxeurs sans plomb destinées à la conception de condensateurs à haute densité d'énergie électrique. Il consiste à étudier la contribution des nanorégions polaires (PNRs) à la polarisation non-linéaire dans des céramiques relaxeurs à haute entropie, sur le site A et/ou B, à base de $\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{TiO}_3$ (BNT) à structure pérovskite. Des mesures telles que l'analyse de Rayleigh et l'angle de phase de la troisième harmonique, en fonction du champ appliqué et à différentes fréquences, seront réalisées afin de mieux comprendre la dynamique des PNRs et leur contribution sur les propriétés de stockage d'énergie.

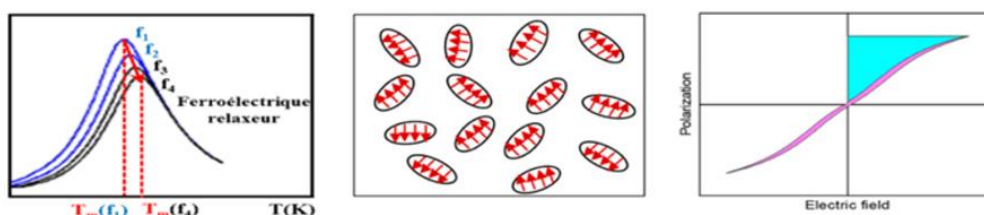


Figure 1 : Comportement relaxeur (a) Permittivité diélectrique en fonction de la température à différentes fréquences, (b) nanorégions polaires (PNRs) et (c) cycle d'hystérésis $P(E)$.

Durant ce stage, les principales étapes envisagées sont :

- Synthèse des céramiques par la méthode de la réaction à l'état solide, suivie du frittage.
- Caractérisation structurale par DRX et microstructurale par MEB-EDX.
- Mesures de spectroscopie d'impédance en fonction de la fréquence et du champ électrique.
- Evaluation de la densité d'énergie et l'efficacité énergétique.
- Etude de la contribution des PNRs aux propriétés de stockage d'énergie.

Références

- [1] Y. Sharma *et al.* High-entropy oxide relaxor ferroelectrics. ACS Appl. Mater. Interfaces. 14 (2022) 11962-11970.
- [2] K. Nadaud *et al.* History-dependent and frequency-dependent dielectric nonlinearities induced by polar nanoregions in a thin film of $0.5(\text{Ba}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{TiO}_3)$ - $0.5(\text{BaZr}_{0.2}\text{Ti}_{0.8}\text{O}_3)$. Physical Review B. 112 (2025) 014202.
- [3] S. Akrami *et al.* High-entropy ceramics : Review of principles, production and applications. Materials Science & Engineering R. 146 (2021) 100644.
- [4] A. A. Bokov *et al.* Recent progress in relaxor ferroelectrics with perovskite structure. Journal of Materials Science. 41 (2006) 31-52.
- [5] S. Miga *et al.* Non-linear Dielectric response of ferroelectric and relaxor materials. Ferroelectrics 367 (2008) 223.

Profil du candidat

Ce stage s'adresse à un(e) étudiant(e) de master 2 recherche ou d'école d'ingénieur, motivé(e) et curieux(se), ayant de bonnes connaissances en sciences des matériaux. Des compétences en spectroscopie d'impédance seront appréciées.

Lieu

Le stage se déroulera au laboratoire GREMAN (UMR CNRS 7347) entre l'IUT de Blois (Equipe Oxydes-pôle SDM) et Certem (Equipe Ecosym-pôle MTC) à Tours.

<http://greman.univ-tours.fr/>

Rémunération

En vigueur (environ 610 € net mensuel).

Période

Stage d'une durée de 6 ou 5 mois, à partir de février/mars 2026.

Encadrement et contacts

CV et lettre de motivation à envoyer à :

Hicham Ait Laasri, Maître de Conférences, Laboratoire GREMAN, IUT de Blois - Université de Tours.

hicham.aitlaasri@univ-tours.fr

Kevin Nadaud, Maître de Conférences (HDR), Laboratoire GREMAN, Certem - Université de Tours.

kevin.nadaud@univ-tours.fr