IRAMIS : Institut Rayonnement Matlère de Saclay

Saclay

SPEC/LNO

Simulation et imagerie de nanostructures d'antiferromagnétiques chiraux et magnéto-électriques

Spécialité Physique de la matière condensée

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil SPEC/LNO

Candidature avant le 29/03/2023

Durée 4 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact VIRET Michel
+33 1 69 08 71 60
michel.viret@cea.fr

Résumé

Ce stage comporte une première partie numérique avec l'exploitation d'un programme de simulation atomique antiferro-magnétique développé au laboratoire. La seconde partie expérimentale, consiste à imager des nanostructures de BiFeO3, magnéto-électrique à l'ambiante. La technique d'imagerie est basée sur la génération de seconde harmonique en champ proche.

Sujet détaillé

Les antiferromagnétiques (AF) sont actuellement à l'honneur grâce à des avancées récentes démontrant l'effet efficace des courants de spin dans l'interaction avec le paramètre d'ordre AF [1,2]. Jusqu'à présent, en raison du manque d'aimantation nette, le contrôle des distributions AF a été plutôt difficile. Côté matériaux, les antiferromagnétiques représentent la majorité des matériaux magnétiques et certains d'entre eux présentent plusieurs phases ordonnées couplées ensemble. Ils sont communément appelés « multiferroïques ». Les matériaux multiferroïques [3] font l'objet d'un intense effort de recherche en raison de l'intérêt technologique important des matériaux multifonctionnels ainsi que de la physique fondamentale riche issue du couplage entre différents paramètres d'ordre. Parmi tous les multiferroïques, BiFeO3 (BFO) est un matériau de choix car ses deux températures d'ordre (ferroélectrique FE et AF) sont bien supérieures à la température ambiante. De plus, un grand couplage magnétoélectrique (ME) a été démontré dans les monocristaux ainsi que dans les couches minces. Au-delà de la capacité de manipuler l'ordre AF à l'aide d'un champ électrique, l'interaction ME est l'ingrédient principal pour stabiliser les distributions magnétiques homochirales, faisant de BFO un hôte idéal pour les entités multiferroïques topologiques [4]. Cependant, un inconvénient des multiferroïques est que ces textures FE/AF peuvent être assez difficiles à sonder, en particulier avec une résolution spatiale requise inférieure à 100 nm. La génération de seconde harmonique, une approche optique non linéaire, s'est avérée être un moyen puissant et élégant d'imager des textures multiferroïques complexes et de démêler les différentes contributions en jeu [5]. Au CEA/SPEC, nous sommes expérimentés dans l'évaluation des distributions ferroélectriques et antiferromagnétiques avec une résolution submicronique [6].

Nous visons maintenant à étudier les nanostructures (quelques 100 nm) de ces matériaux. L'objet du stage proposé

est alors double : 1) à l'aide d'un code de simulation micromagnétique maison adapté au BFO, l'étudiant simulera quelques configurations magnétiques de base en fonction des domaines ferroélectriques. 2) Ces structures (réalisées au CNRS/Thales) seront imagées au laboratoire par microscopie de génération de seconde harmonique en champ proche.
Durant ce stage, l'étudiant sera formé à l'optique laser, à la microscopie optique en champ proche et devra utiliser le code de simulation développé en interne. Nous recherchons un candidat qui aime la dualité entre la simulation et l'expérience, avec une certaine maîtrise du codage informatique de base. Idéalement, le stage se poursuivrait en doctorat car le sujet proposé s'inscrit dans un travail de longue haleine sur ces matériaux.

[1] T. Jungwirth, X. Marti, P. Wadley and J. Wunderlich Nature Nanotech. 11, 231 (2016) [2] P. Wadley and al. Science 351, 587 (2016) [3] N. Spaldin and M. Fiebig, Science, 309, 391 (2005) [4] J.-Y. Chauleau & al., Nature Materials, 19, 386 (2020) [5] M. Fiebig & al., Nature, 419, 818 (2002) [6] J.-Y. Chauleau & al., Nature Materials, 16, 803 (2017)

Mots clés

Compétences

Code python, SNOM (scanning near-filed optical microscope)

Logiciels

Python

Simulating and imaging nanostructured magneto-electric chiral antiferromagnets

Summary

The idea here is to run a home made magnetic atomistic simulation code and attempt in parallel to image nanostructures of BiFeO3, a room-temperature magneto-electric. The imaging is based on Second Harmonic Generation in near-field mode.

Full description

Antiferromagnets (AF) are currently in the limelight thanks to recent breakthroughs demonstrating the efficient effect of spin currents in interacting with the AF order parameter [1,2]. So far, due to the lack of net magnetization, controlling AF distributions has been rather challenging. On the materials side, antiferromagnets represent the majority of magnetic materials and some of them show several simultaneous coupled ordered phases. They are commonly called ‘multiferroics’. Multiferroic materials [3] are the focus of an intense research effort due to the significant technological interest of multifunctional materials as well as the rich fundamental physics stemming from the coupling of various order parameters. Among all multiferroics, BiFeO3 (BFO) is a material of choice because its two ordering temperatures (ferroelectric FE and AF) are well above room temperature. In addition, a large magnetoelectric (ME) coupling has been demonstrated in single crystals as well as in thin films. Beyond the ability to manipulate the AF order using an electric field, the ME interaction is the main ingredient to stabilize homochiral magnetic distributions, promoting BFO as an ideal host for topological multiferroic entities [4]. However, one downside of multiferroics is that these FE/AF textures can be rather challenging to assess, in particular with a required spatial resolution below 100 nm. Second harmonic generation, a non-linear optical approach, has proven to be a powerful and elegant way to image complex multiferroic textures and to untangle the different contributions at play [5]. In CEA/SPEC, we are experienced in assessing ferroelectric and antiferromagnetic distributions with sub-micron resolution [6].

We are now aiming at studying nanostructures (near 100 nm) of these materials. The object of the proposed internship is then twofold: 1) using a home-made micromagnetic simulation code adapted to BFO, the student will simulate some basic magnetic configurations depending on ferroelectric domains. 2) These structures (made in CNRS/Thales) will be imaged in the laboratory using near-field second harmonic generation microscopy.

During this internship, the student will be trained in laser optics, near-field optical microscopy and will have to use the simulation code developed internally. We are looking for a candidate who likes the duality between simulation and experiments, with a certain degree of proficiency in basic computer coding. Ideally, the internship would continue in a PhD as the proposed subject is part of a long-term effort on these materials.

[1] T. Jungwirth, X. Marti, P. Wadley and J. Wunderlich Nature Nanotech. 11, 231 (2016) [2] P. Wadley and al. Science 351, 587 (2016) [3] N. Spaldin and M. Fiebig, Science, 309, 391 (2005) [4] J.-Y. Chauleau & al., Nature Materials, 19, 386 (2020) [5] M. Fiebig & al., Nature, 419, 818 (2002) [6] J.-Y. Chauleau & al., Nature Materials, 16, 803 (2017)

Keywords

Skills

Python code, SNOM (scanning near-filed optical microscope)

Softwares

Python