IRAMIS : Institut Rayonnement Matlère de Saclay

Saclay

SPEC/LNO

Imagerie sub-micronique des ordres multiferroiques

Spécialité Physique de la matière condensée

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil SPEC/LNO

Candidature avant le 30/04/2021

Durée 4 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact CHAULEAU Jean-Yves
+33 1 69 08 72 17
jean-yves.chauleau@cea.fr

Résumé

L'idée du stage est de développer une technique d'imagerie combinant le champ proche et la génération de seconde harmonique afin d'imager les matériaux multiferroiques avec une résolution largement sub-micrométrique.

Sujet détaillé

Les antiferromagnétiques (AF) sont actuellement sous les feux de la rampe grâce à des percées récentes démontrant l'effet efficace des courants de spin pour interagir avec le paramètre d'ordre AF [1,2]. Jusqu'à présent, en raison du manque de magnétisation nette, le contrôle des distributions AF a été plutôt difficile. Le contrôle AF induit par le courant ouvre également de nouvelles perspectives dans la dynamique de l'aimantation térahertz. Côté matériaux, les antiferromagnétiques représentent la grande majorité des matériaux magnétiques et certains d'entre eux présentent plusieurs phases ordonnées simultanées en couplage. Ils sont communément appelés "multiferroïques".

En particulier, lorsque l'ordre AF est couplé à une polarisation nette, il peut être commandé en appliquant une tension. 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 richesse de la physique fondamentale, issue du couplage de divers paramètres d'ordre. Parmi tous les multiferroïques, le BiFeO3 (BFO) est un matériau de choix car ses deux températures d'ordre (FE ferroélectrique et AF) sont bien supérieures à la température ambiante. De plus, un couplage magnétoélectrique important a été mis en évidence dans des monocristaux ainsi que dans des films minces. L'un des inconvénients des multiferroïques est que ces textures FE / AF peuvent être assez difficiles à mesurer. La génération de seconde harmonique, une approche d'optique non linéaire, s'est avérée être un moyen puissant et élégant d'imaginer des textures multiferroïques complexes et de démêler les différentes contributions en jeu [4].

Au CEA / SPEC, nous sommes expérimentés dans l'évaluation des distributions ferroélectriques et antiferromagnétiques avec une résolution submicronique [5]. Cependant, pour la plupart des systèmes, une telle résolution n'est pas suffisante car les domaines AF sont plutôt de l'ordre de 200 nm. Nous développons actuellement une nouvelle technique basée sur la microscopie optique à balayage en champ proche pour optimiser notre résolution spatiale. Les premiers résultats sont très encourageants car une résolution de 20 nm a pu être atteinte et il a été

possible d'obtenir un premier signal de seconde harmonique.

Au cours du stage, l'étudiant sera formé à l'optique laser et réalisera des expériences d'optique non linéaire en champ proche. Idéalement, le stage se poursuivrait par un doctorat, car le sujet proposé fait partie d'un effort à long terme 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. Spalding and M. Fiebig, Science, 309, 391 (2005) [4] M. Fiebig & al., Nature, 419, 818, (2002) [5] J.-Y. Chauleau & al., Nature Materials, 16, 803, (2017)

Mots clés

Compétences

Microscopie optique, lasers ultra-rapides, dépôts de couches d'oxydes

Logiciels

Sub-micron imaging of the different orders in multiferroics

Summary

The idea of the internship is to develop an imaging technique combining near field and second harmonic generation in order to image multiferroic materials with a largely sub-micrometric resolution.

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. Current-induced AF control also opens new perspectives in Terahertz magnetization dynamics. On the materials side, antiferromagnets represent the large majority of magnetic materials and some of them show several simultaneous coupled ordered phases. They are commonly called ‘multiferroics’. As a result, when the AF order is coupled to a net polarization, it may be controlled by applying a voltage. 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 in 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 coupling has been demonstrated in single crystals as well as in thin films. One downside of multiferroics is that these FE/AF textures can be rather challenging to assess. Second harmonic generation, a non-linear optical approach, has proven to be a powerful and elegant way to image complex multiferroïc textures and to untangle the different contributions at play [4]. In CEA/SPEC, we are experienced in assessing ferroelectric and antiferromagnetic distributions with sub-micron resolution [5]. However, for most systems, such a resolution is not enough as AF domains are rather in the 200nm range.

We are now developing a new technique based on Scanning Near-field Optical Microscopy to optimize our spatial resolution. Our first results are very encouraging as we are reaching 20nm resolution and we just obtained our first second harmonic signal.

During this internship, the student will be trained in laser optics and will perform near-field non-linear optics experiments. 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. Spalding and M. Fiebig, Science, 309, 391 (2005) [4] M. Fiebig & al., Nature, 419, 818, (2002) [5] J.-Y. Chauleau & al., Nature Materials, 16, 803, (2017)

Keywords

Skills

Optical microscopy, ultra-fast lasers, oxide deposition

Softwares