



CEA – Saclay, 91191 Gif-sur-Yvette Cedex

Service de Physique de l'Etat Condensé - UMR 3680

SOUTENANCE DE THESE

Mardi 17 décembre 2019 à 14h

Orme des Merisiers SPEC, Amphi Claude Bloch, Bât.771

Théophile CHIRAC

SPEC/LNO

“New spintronic components based on antiferromagnetic materials”

Abstracts

Current magnetic memory devices are reaching their physical limits in terms of stability, speed and power consumption as the race to miniaturization intensifies.

The emergent research field of spintronics studies the collective behavior of spins in matter and their interplay at interfaces, to find new avenues in terms of materials, architectures and stimulation sources. A particularly promising group of materials are the antiferromagnets. These abundant magnetically ordered materials are naturally stable, robust, ultra-fast and compatible with insulator electronics. Indeed, most transition metal oxide compounds are antiferromagnetic insulators, have resonance in the terahertz range and flop fields of tens of teslas. They can also be semi-metals, metals, semiconductors, superconductors or multiferroics.

This thesis focuses on two antiferromagnets: nickel oxide (NiO) and bismuth ferrite (BiFeO₃). NiO is the archetypical antiferromagnet at ambient temperature with a simple crystalline structure. Using dynamical atomistic simulations, I show that this compound can be the elemental brick of a three state memory device controlled by currently available pulses of spin currents, with a picosecond response time. The simulations also explain the formation of chiral structures in BiFeO₃, a ferroelectric antiferromagnet with magnetoelectric coupling between the two orders.

In a second part, antiferromagnetic domains in BiFeO₃ are experimentally observed using second harmonic generation of light, with a sub-micron spatial resolution. Antiferromagnetic domains of BiFeO₃ are then excited by an intense femtosecond laser pulse, and the dynamics of the two coupled orders (antiferromagnetism and ferroelectricity) is studied with a sub-picosecond time resolution.

Finally, the injection of spin current in an antiferromagnet such as BiFeO₃ or NiO is envisioned by characterizing the spin bursts generated by ultrafast laser-induced demagnetization of adjacent ferromagnetic layers.



CEA – Saclay, 91191 Gif-sur-Yvette Cedex

Service de Physique de l'Etat Condensé - UMR 3680

SOUTENANCE DE THESE

Mardi 17 décembre 2019 à 14h

Orme des Merisiers SPEC, Amphi Claude Bloch, Bât.771

Soutenance en langue anglaise

Théophile CHIRAC

SPEC/LNO

Nouveaux composants spintroniques à base de matériaux antiferromagnétiques

Les mémoires magnétiques actuelles commencent à atteindre leurs limites physiques en terme de stabilité, vitesse et consommation énergétique, alors que la course à la miniaturisation s'intensifie. Le champ émergent de la spintronique étudie le comportement collectif des spins dans la matière ainsi que leurs interactions aux interfaces, afin de trouver une solution en termes de matériaux, architectures et sources excitatrices. En particulier, les matériaux antiferromagnétiques sont particulièrement prometteurs. Ces matériaux ordonnés sont abondants, naturellement stables, robustes, ultra rapides et compatibles avec l'électronique des isolants. En effet, la plupart des oxydes à base de métaux de transition sont des isolants antiferromagnétiques ayant leur fréquence de résonance dans le terahertz et un champ de flop de quelques dizaines de teslas. Ils peuvent aussi être semi-métalliques, métalliques, semi-conducteurs, supraconducteurs ou multiferroïques.

Cette thèse s'intéresse aux deux antiferromagnétiques: oxyde de nickel (NiO) et ferrite de bismuth (BiFeO₃). NiO est un antiferromagnétique type à température ambiante, avec une structure cristalline simple. Une étude basée sur des simulations dynamiques atomiques montre que des courants de spin atteignables peuvent réaliser une mémoire à trois états avec ce composé, avec un temps de réponse de l'ordre de la picoseconde.

La simulation explique aussi la formation de structures chirales dans BiFeO₃, un antiferromagnétique également ferroélectrique, présentant un couplage magnétoélectrique entre ses deux ordres.

Dans une deuxième partie, les domaines antiferromagnétiques dans BiFeO₃ sont observés expérimentalement par génération de seconde harmonique optique, avec une résolution spatiale de un micron.

Les domaines antiferromagnétiques de BiFeO₃ sont ensuite excités par une impulsion laser intense, et la dynamique des deux ordres couplés (antiferromagnétisme et ferroélectricité) est étudiée dans le régime picoseconde. Enfin, l'injection d'impulsions de spins dans un antiferromagnétique, tel que BiFeO₃ ou NiO est envisagée en utilisant la génération de courant de spin induite par la désaimantation ultrarapide de couches adjacentes magnétiques par des impulsions laser.