

Renversement de l'aimantation par une impulsion laser femtoseconde

Le contrôle du renversement de l'aimantation sans champ magnétique ou avec un champ faible est un domaine de recherche très actif actuellement qui pourrait déboucher sur des applications dans des dispositifs de stockage de l'information magnétique. Dans ce contexte, des chercheurs de l'INSPI (équipe Croissance et propriétés de systèmes hybrides en couches minces), associés à des chercheurs d'ELETTRA et du Synchrotron SOLEIL, ont relevé deux défis : ils ont démontré le renversement induit thermiquement de l'aimantation d'une couche mince de fer en contrôlant le champ dipolaire de surface d'une microstructure de MnAs/GaAs [1] et obtenu le renversement local de l'aimantation de la couche de fer par une impulsion laser ultra-brève [2]. La dynamique de renversement de la couche de Fe a pu être corrélée avec les modulations structurales induites par le laser dans MnAs/GaAs. Ces études structurales et magnétiques reposent sur l'exploitation de techniques de diffusion des rayons X mous utilisant les sources synchrotron [1] et laser à électrons libres [2] les plus avancées.

Le système épitaxié MnAs/GaAs(001) possède des propriétés magnéto-structurales particulières autour de la température ambiante où la coexistence de deux phases de MnAs, α et β , mène à une auto-organisation en bandes parallèles avec période micrométrique (Fig. 1). La phase α étant ferromagnétique et la phase β ne l'étant pas, des champs dipolaires sont générés à la surface du film de MnAs. Il est alors possible d'exploiter ces champs pour manipuler l'ordre magnétique d'une couche nanométrique de fer déposée sur MnAs/GaAs(001) sans champ magnétique externe en jouant sur la température (Fig. 1). Ceci a été démontré par des expériences sur le renversement de l'aimantation induit thermiquement (TIMS, thermally induced magnetization switching) par diffusion résonante de rayons X mous polarisés émis par une source synchrotron [1], ce qui permet de bénéficier d'une sélectivité chimique combinée à la sensibilité à l'aimantation.

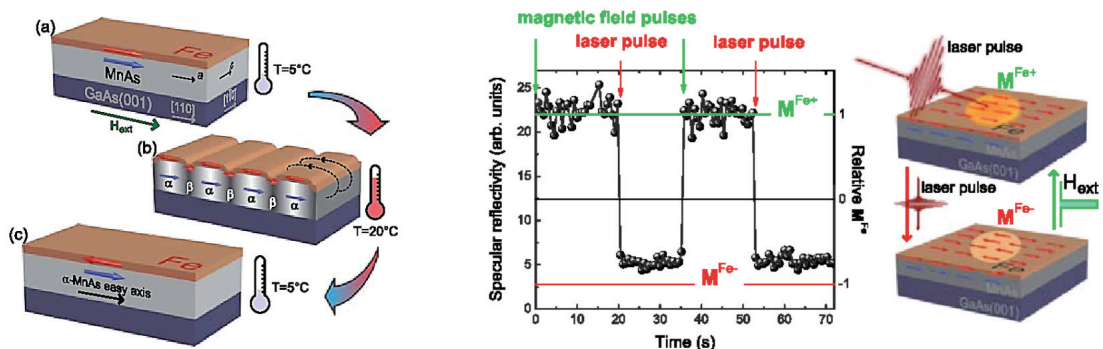


Figure 1

Renversement de l'aimantation de Fe contrôlé thermiquement (gauche). À 5°C, seule la phase ferromagnétique α -MnAs existe (a); les aimantations de Fe et MnAs sont alignées par une impulsion de champ magnétique, Hext. Dans la plage de coexistence de phases (12 – 40 °C), la microstructure auto-organisée en bandes alterne phase ferromagnétique α et paramagnétique β (b); le champ dipolaire à la surface renverse l'aimantation de Fe localement. En refroidissant, MnAs recouvre sa configuration initiale alors que l'aimantation de la couche de Fe a tourné (c). Renversement de l'aimantation de Fe contrôlé par impulsion laser (droite). Réflectivité spéculaire, sensible à l'aimantation, des rayons X du FEL en polarisation p à la résonance Fe-3p. Une impulsion magnétique sature l'aimantation du Fe dans l'état de haute réflectivité (MFe+). Une impulsion optique unique (F=10 mJ cm⁻², durée 100 fs) change la réflectivité à la valeur MFe- qui correspond à la direction opposée de l'aimantation du Fe.

L'utilisation d'une impulsion laser ultra-brève est une méthode alternative pour déclencher des variations de température. Les chercheurs de l'INSP ont donc étudié la dynamique structurale et magnétique du système Fe/MnAs/GaAs(001) en utilisant les impulsions X ultra-brèves délivrées par le laser à électrons libres (FEL) de la source FERMI : une sonde accordée à la résonance Fe 3p (impulsions de 100 fs) délivrée par le FEL a été couplée à un laser optique de pompe (impulsions de 100 fs également) [2]. En sondant la diffusion résonante, les chercheurs ont pu démontrer que l'absorption d'une unique impulsion optique suffit à induire un renversement localisé de l'aimantation du fer (Fig. 1). Ce processus a pu être corrélé avec la dynamique de la microstructure de MnAs suivie par diffraction résolue en temps (Fig. 2).

Dans la région de coexistence des phases α et β (16<T<34°C), on observe une modification structurale rapide (1-20 ps), liée aux processus d'échange d'énergie entre les électrons, les spins et le réseau, qui entraîne la formation d'une couche de surface homogène de MnAs β . Il s'en suit un processus de diffusion de la chaleur plus lent. La figure 2 récapitule le mécanisme proposé, expliquant la corrélation entre la dynamique de la microstructure de MnAs et le renversement de l'aimantation du fer induit par l'impulsion laser.

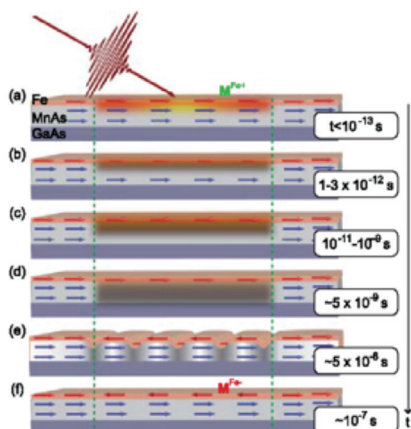


Figure 2

Représentation schématisée du mécanisme de renversement de l'aimantation du Fe induit par impulsion laser. L'impulsion laser excite les électrons (a), l'énergie est transférée au réseau en quelques ps (b), provoquant la transition MnAs $\alpha \rightarrow \beta$ dans le volume d'interaction. La transformation progresse par diffusion thermique (c, d). L'aimantation du Fe se retourne quand le système traverse la région de coexistence de phase pendant le refroidissement (e), et reste ensuite antiparallèle à celle de MnAs à l'équilibre (f).

Parmi les perspectives ouvertes par ces résultats, les chercheurs de l'INSP travaillent actuellement à l'adaptation de ces mécanismes de renversement assistés par le champ dipolaire à d'autres matériaux comme l'alliage ordonné FeRh, antiferromagnétique à l'ambiante et ferromagnétique au-delà de ~90°C. La nanostructuration du système Co/FeRh, par exemple, offre des perspectives intéressantes pour le renversement de l'aimantation de la couche de Co par cycle thermique, possiblement activé par impulsion laser.

Références

- [1] "Thermally induced magnetization switching in Fe/MnAs/GaAs(001): selectable magnetic configurations by temperature and field control"
C. Spezzani, F. Vidal, R. Delaunay, M. Eddrief, M. Marangolo, V. Etgens, H. Popescu, M. Sacchi
Scientific Reports 5, 8120 (2015).
- [2] "Magnetization and microstructure dynamics in Fe/MnAs/GaAs(001): Fe magnetization reversal by a femtosecond laser pulse"
C. Spezzani, E. Ferrari, E. Allaria, F. Vidal, A. Ciavardini, R. Delaunay, F. Capotondi, E. Pedersoli, M. Coreno, C. Svetina, L. Raimondi, M. Zangrando, R. Ivanov, I. Nikolov, A. Demidovich, M. B. Danailov, H. Popescu, M. Eddrief, G. De Ninno, M. Kiskinova, M. Sacchi
Physical Review Letters 113, 247202 (2014).

Contact

maurizio.sacchi@insp.jussieu.fr ; maurizio.sacchi@synchrotron-soleil.fr