

Renversement d'aimantation : les ondes acoustiques se font entendre

Renverser l'aimantation de façon rapide, localisée, et sous un champ magnétique faible, voire nul, constitue l'un des enjeux majeurs de l'amélioration du stockage et de la manipulation de l'information codée magnétiquement. Une approche envisagée est l'utilisation de la magnétostriction inverse, c'est à dire la modification de la direction de l'aimantation induite par une déformation du matériau. Ce processus est très efficace lorsque la déformation est produite dynamiquement par une onde acoustique. C'est ce qu'a démontré un groupe de chercheurs de l'Institut des Nanosciences de Paris : dans un semiconducteur magnétique, des ondes acoustiques de surface couplées à l'aimantation dans 2 géométries différentes (approche résonante ou non-résonante), se sont révélées capables de renverser efficacement l'aimantation.

Dans un film magnétique possédant une direction privilégiée d'aimantation (on parle d' « axe facile »), cette dernière peut se renverser de deux façons suivant que le champ magnétique lui est appliqué parallèlement ou perpendiculairement. Nous avons revisité ces deux mécanismes en présence de magnétostriction [1], en considérant le cas d'une déformation par une onde acoustique de surface. Ces ondes élastiques font osciller les atomes à plusieurs centaines de MHz, justement le long des directions permettant un couplage optimal à l'aimantation. Le matériau étudié est une fine couche de 50 nm de (Ga,Mn)(As,P) aimantée perpendiculairement au plan. Ce semiconducteur magnétique de faible température de Curie (<100 K), présente une magnétostriction bien comprise et ajustable pendant la croissance épitaxiale. Nous avons au préalable démontré qu'il y avait bien couplage entre l'aimantation de ce matériau et une onde acoustique de surface [2].

Le premier mécanisme est dénommé « renversement précessionnel ». Le col d'énergie séparant les deux positions d'équilibre de l'aimantation (« haut »/ « bas ») est d'abord abaissé par un champ magnétique aligné selon l'axe difficile. Une petite impulsion d'un deuxième champ suffit alors à la mise hors d'équilibre. Dans certaines conditions, la mise en mouvement (« précession ») de l'aimantation qui en résulte est de suffisamment grande amplitude pour la faire passer dans l'autre vallée d'énergie. En coupant l'excitation au milieu d'un cycle, elle termine sa trajectoire à l'opposé de sa position de départ. La durée optimale de l'excitation dépend de façon très sensible du coefficient magnéto-strictif, et de l'amplitude de la déformation.

Dans cette géométrie, nous avons montré expérimentalement qu'une onde acoustique permettait en effet de renverser l'aimantation de (Ga,Mn)(As,P) [3]. C'est le couplage magnéto-strictif qui génère le petit champ effectif déclenchant sa précession (Fig. 1). Il est d'autant plus efficace que le champ magnétique est tel que la fréquence de précession de l'aimantation devient très proche de celle de l'onde acoustique (transducteurs à 549 MHz). À ce titre, l'utilisation de (Ga,Mn)(As,P) – à faible aimantation et basses fréquences de précession – rend la tâche particulièrement aisée.

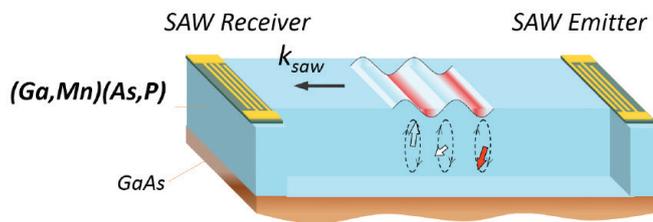


Figure 1

Une onde acoustique de surface (SAW) est émise par des transducteurs interdigités. L'axe facile magnétique est perpendiculaire au plan. Au cours de sa propagation, la SAW se couple à l'aimantation et peut la faire précesser si le champ est appliqué dans le plan (difficile d'aimantation).

Dans le deuxième mécanisme, un champ magnétique croissant est appliqué selon l'axe facile. De petits domaines d'aimantation opposée à l'aimantation initiale sont ainsi créés orientés le long du champ. Ils grossissent jusqu'au renversement complet de la couche au champ coercitif. Le coût de création de ces domaines dépend justement du terme magnétostrictif, et donc de la déformation ondulatoire subie par le matériau, tantôt positive, tantôt négative. La nucléation de domaines sera donc facilitée une demi-période sur deux. Dans cette géométrie-ci, nous avons observé que la propagation d'une onde acoustique pendant l'application du champ permettait une diminution de plus de moitié du champ coercitif [4] (Fig. 2).

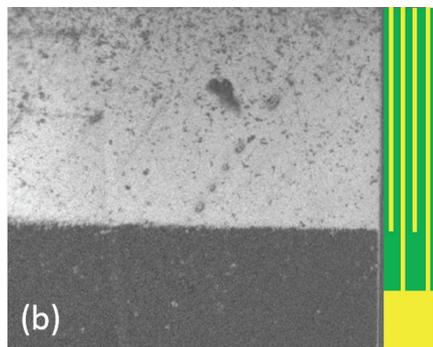


Figure 2

Image en microscopie Kerr ($690 \times 924 \mu\text{m}^2$) de l'aimantation renversée sur le trajet de l'onde acoustique ($T=30 \text{ K}$, $B=8 \text{ mT}$). L'onde acoustique n'est émise que dans les 2/3 supérieurs de l'image.

Ces résultats valident donc l'approche du renversement d'aimantation assisté acoustiquement. Renversement « ondulatoire », il ouvre la possibilité d'un contrôle spatial fin du bit magnétique en faisant par exemple interférer plusieurs ondes. Il s'agit maintenant d'étendre ces expériences à des matériaux fonctionnant à température ambiante (nickel, galfenol), mais où l'obtention d'un couplage résonant à des champs magnétiques raisonnables sera un réel défi.

Références

- [1] « Irreversible magnetization switching using surface acoustic waves », L. Thevenard, J.-Y. Duquesne, E. Peronne, H. J. von Bardeleben, H. Jaffres, S. Ruttala, J.-M. George, A. Lemaître, and C. Gourdon, *Physical Review B* 87, 144402 (2013)
<http://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevB.87.144402>
- [2] "Surface-acoustic-wave-driven ferromagnetic resonance in (Ga,Mn)(As,P) epilayers", L. Thevenard, C. Gourdon, J.Y. Prieur, H. J. von Bardeleben, S. Vincent, L. Becerra, L. Largeau, J.Y. Duquesne, *Physical Review B* 90, 094401 (2014)
<http://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevB.90.094401>
- [3] "Precessional magnetization switching by a surface acoustic wave", L. Thevenard, I. S. Camara, S. Majrab, M. Bernard, P. Rovillain, A. Lemaître, C. Gourdon, and J.-Y. Duquesne *Phys. Rev. B* 93, 134430 (2016)
<http://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevB.93.134430>
- [4] "Strong reduction of the coercivity by a surface acoustic wave in an out-of-plane magnetized epilayer", L. Thevenard, I. S. Camara, J.-Y. Prieur, P. Rovillain, A. Lemaître, C. Gourdon, and J.-Y. Duquesne, *Physical Review B* 93, 140405(R) (2016)
<http://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevB.93.140405>

Contact

Laura Thevenard : thevenard@insp.jussieu.fr
<http://www.insp.jussieu.fr/Semiconducteurs-magnetiques.html>