



Laboratoire des Sciences des Procédés et des Matériaux – UPR 3407  
Institut des Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes (INSIS)



## **Interaction Dzyaloshinskii-Moriya, amortissement et anisotropie magnétique perpendiculaire d'interfaces dans les systèmes à base de Co et CoFeB : effets de champ et courant électriques**

**Directeur de thèse: Belmeguenai Mohamed ([belmeguenai.mohamed@univ-paris13.fr](mailto:belmeguenai.mohamed@univ-paris13.fr))**

**Tel: +33 (1) 49 40 34 84**

**Co-encadrant : Y. Roussigné : [yves.roussigne@univ-paris13.fr](mailto:yves.roussigne@univ-paris13.fr)**

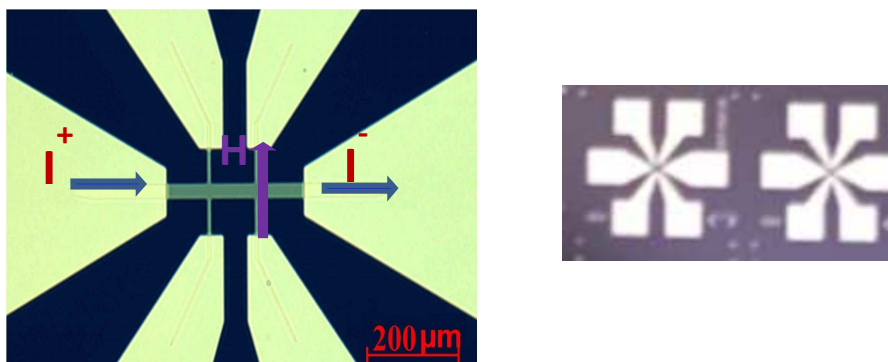
Les progrès récents dans les procédés de fabrication de couches minces ont conduit à la possibilité de la croissance de multicouches ultraminces avec des interfaces de haute qualité. En conséquence de cette réduction d'épaisseur, divers mécanismes et phénomènes nouveaux et intéressants, avec une ampleur qui peut également être très différente du matériau massif, pourraient apparaître dans ces multicouches, notamment à base de matériaux ferromagnétique/métal lourd. En fait, l'anisotropie magnétique d'interface, l'amortissement non local et l'interaction de Dzyaloshinskii-Moriya (DMI) sont les exemples les plus importants de ces effets d'interface. L'anisotropie magnétique d'interface est l'un des ingrédients les plus importants des matériaux magnétiques nécessaires à l'obtention de films minces à anisotropie magnétique perpendiculaire (PMA). Du point de vue technologique, la grande valeur de PMA produit des parois de domaine étroites, faisant de ces films de bons candidats pour les mémoires à parois de domaine à haute densité [1]. De plus, l'intégration des matériaux à forte PMA réduit les densités de courant critiques et améliore la stabilité thermique [2] dans les mémoires magnétiques à accès aléatoire à base de transfert de spin. D'autre part, la dynamique d'aimantation des couches magnétiques ultraminces présente un grand intérêt scientifique et technologique en raison de leur application en spintronique [3].

Le paramètre d'amortissement de Gilbert est donc un paramètre technologique important dans la mesure où il contrôle la rapidité avec laquelle l'aimantation se retourne. En fonction de l'application souhaitée, la valeur d'amortissement doit être fixée: un amortissement faible est essentiel pour la commutation de spin avec des faibles densités de courant et pour les oscillateurs de spin, tandis que des valeurs d'amortissement plus élevées sont nécessaires pour les supports d'enregistrement classiques tels que CoCrPt. La DMI est une interaction d'échange antisymétrique qui apparaît en l'absence de symétrie d'inversion spatiale et en présence d'une forte interaction spin-orbite. La DMI modifie les propriétés statiques et dynamiques des parois de domaine. Elle est également responsable de la non réciprocity de la propagation des ondes de spin et de l'apparition des structures chirales de spin telles que les skyrmions magnétiques (configurations de spin à l'échelle nanométrique). Ces derniers sont très prometteurs pour la spintronique et pour la technologie d'enregistrement magnétique très rapide à ultra-haute densité en raison de leurs propriétés uniques, telles que la propagation de parois de domaine magnétique sous l'application de très faibles densités de courant et la réécriture par des courants polarisés en spin. La présence de brisure de symétrie aux interfaces, qui résulte automatiquement de la structure multicouches de systèmes utilisant des matériaux ferromagnétiques/métaux lourds (FM/HM), constitue ainsi l'ingrédient de base de l'amortissement, de l'anisotropie des interfaces et de la DMI. Par conséquent, en faisant varier les épaisseurs des couches individuelles et en choisissant les

matériaux appropriés dans les systèmes incorporant un matériau FM/HM il semble possible de moduler l'anisotropie magnétique, l'amortissement et DMI.

Il a été récemment démontré que l'interaction DMI peut être considérée comme un décalage Doppler dû à un courant de spin intrinsèque résultant de l'interaction spin-orbite conjuguée à la brisure de la symétrie d'inversion. Par conséquent, l'intensité de l'interaction DMI, qui est proportionnelle à l'amplitude du courant de spin, peut être modulée en modifiant le courant de spin. Ce courant de spin peut être généré via l'effet spin Hall en faisant passer un courant de charge dans les métaux lourds en contact avec la couche ferromagnétique via l'interaction de couplage spin-orbite. Cela renforce l'intérêt du contrôle électrique de l'aimantation en tant que mécanisme important grâce auquel le mouvement de l'électron, contrôlé par des champs électriques, peut produire un champ magnétique effectif agissant sur les spins du fait de l'interaction de couplage spin-orbite. Par conséquent, le contrôle électrique de l'anisotropie perpendiculaire et de l'interaction DMI fera progresser de manière significative la spintronique à la fois en termes de recherche fondamentale que des perspectives appliquées. L'objectif de cette thèse est :

(i) d'étudier l'effet du courant électrique sur l'interaction DMI, l'amortissement et l'anisotropie magnétique perpendiculaire. Des couches de CoFeB(1.5 nm)/Ta(5 nm) et Co(1.5 nm)/Ta(5 nm) seront donc déposées par pulvérisation cathodique sur un substrat de Si thermiquement oxydé. La lithographie optique et la gravure ionique seront utilisées ensuite pour définir une piste de largeur variable (50, 100 et 500  $\mu\text{m}$ ) pour injecter un courant électrique et mesurer la DMI, amortissement et anisotropie perpendiculaire sous un champ magnétique appliqué dans le plan des couches et perpendiculairement au courant injecté (voir figure ci-dessous).



*Dispositifs utilisés pour étudier l'effet du courant électrique sur l'amortissement, l'anisotropie perpendiculaire et DMI par BLS. Le champ magnétique H et le courant électrique sont appliqués dans le plan et perpendiculairement entre eux pour avoir un effet maximal du courant.*

(ii) d'étudier (expérimentalement et théoriquement) l'effet du champ électrique sur l'amortissement et l'anisotropie d'interface dans les systèmes NM / FM / oxyde (où FM = CoFeB ou Co et oxyde = HfO<sub>2</sub> et MgO). Un intérêt particulier sera porté à la température de recuit, à l'épaisseur et aux effets d'irradiation ionique. Pour ces deux objectifs, la diffusion de la lumière de Brillouin et la résonance ferromagnétique seront utilisées.



Laboratoire des Sciences des Procédés et des Matériaux – UPR 3407  
Institut des Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes (INSIS)



**Profil de candidat:** de bonnes connaissances dans le domaine de la physique de la matière condensée, en particulier en magnétisme, et en micro-ondes sont requises pour le candidat. Ce dernier doit être capable d'effectuer des mesures expérimentales. Les concepts de base de la nanofabrication (nanostructuration) et du travail en salle blanche seront très utiles.

[1] S. S. P. Parkin, M. Hayashi and L. Thomas Eason, *Science* 320, 190 (2008).

[2] S. Mangin et al. *Nature Mater.* 5, 210 (2006).

[3] J-M. L. Beaujour et al. *Phys. Rev. B* 74, 214405 (2008).