

# Modification par implantation ionique du couplage d'échange dans des jonctions tunnel magnétiques épitaxiales Fe/MgO/Fe

E. Snoeck<sup>1T\*</sup>, P. Baules<sup>1</sup>, G. Benassayag<sup>1</sup>, C. Tuisan<sup>2</sup>, F. Greullet<sup>2</sup>, M. Hehn<sup>2</sup>, A. Schuhl<sup>3</sup>

<sup>1</sup> CEMES-CNRS, 29 rue J. Marvig, BP4347, 31055 Toulouse, France

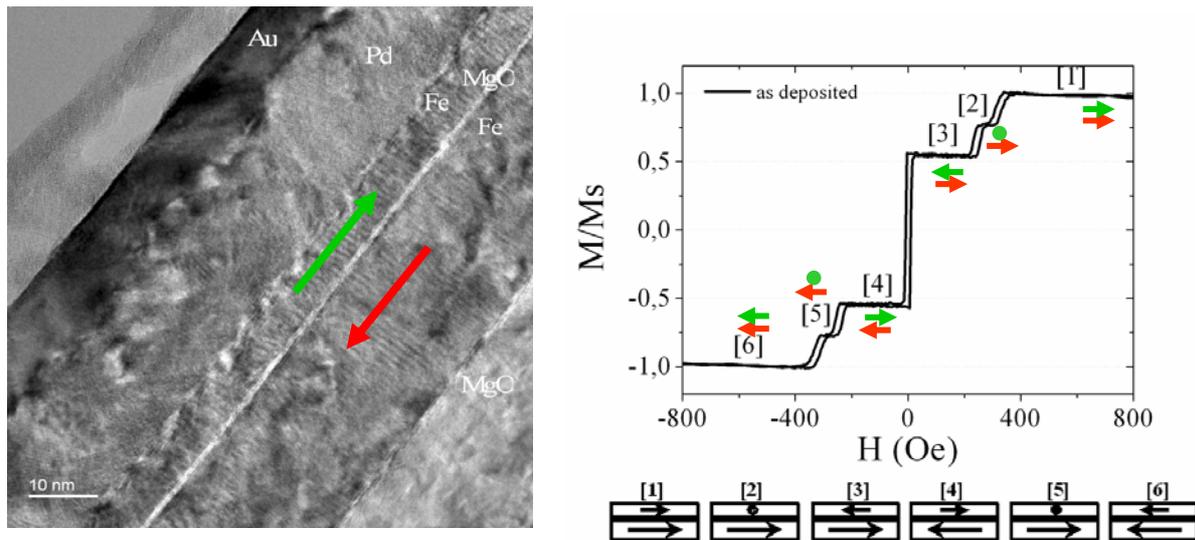
<sup>2</sup> Laboratoire de Physique des Matériaux - CNRS Université H. Poincaré - B.P. 239 - 54506 Vandoeuvre Les Nancy, France

<sup>3</sup> Laboratoire SPINTEC, URA 2512, Avenue des Martyrs, 38054, Grenoble, France

**Résumé** – Des jonctions tunnel magnétiques épitaxiales Fe/MgO/Fe présentant un couplage AF entre les couches de fer ont été irradiées aux ions N<sup>+</sup> à 150 keV. Nous avons étudié par MEHR et réflectivité des rayons X les modifications structurales induites par l'irradiation et les modifications du couplage par holographie électronique et par des mesures VSM. Nos résultats indiquent que l'irradiation ionique induit un changement du couplage AF vers un couplage F due à l'augmentation de la rugosité des interfaces.

## 1. Introduction

Un couplage antiferromagnétique (AF) entre deux couches ferromagnétiques (F) séparées par une barrière isolante a été mis en évidence par Faure-Vincent et al. [1] dans des jonctions tunnel magnétiques (MTJs) épitaxiales de Fe/MgO/Fe/MgO (Figure 1). Les auteurs ont montré que pour des épaisseurs de barrière supérieures à 1 nm, le couplage devient ferromagnétique. Ceci résulte de la compétition entre le couplage d'échange via les électrons tunnels qui favorise un alignement antiparallèle des aimantations pour des faibles épaisseurs de barrière et un couplage magnétostatique dû à la rugosité des interfaces (couplage de Néel ou peau d'orange) favorisant un alignement parallèle des aimantations. Ces mesures expérimentales sont en bon accord avec les prédictions théoriques de Slonczewski concernant la possibilité d'un couplage d'échange via le transport tunnel d'électrons polarisés entre deux couches de fer [2].

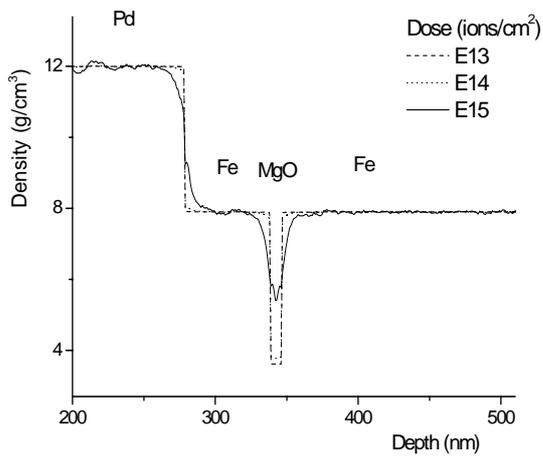


**Figure 1** – Image MET d'une jonction tunnel magnétique Au/Pd/Fe (7 nm)/MgO (0.6 nm)/Fe (21 nm)/MgO(001) et le cycle d'hystérésis correspondant mesuré par VSM

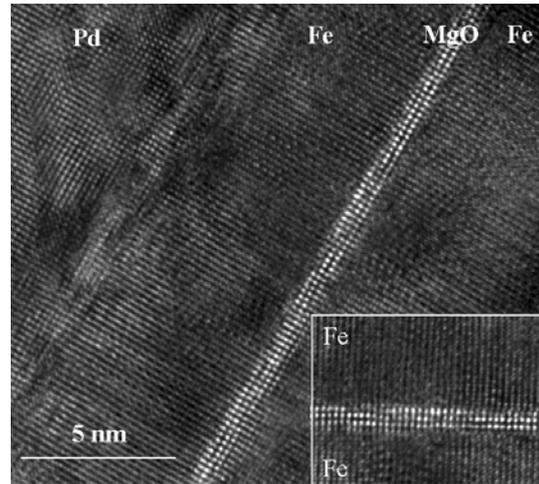
Afin d'étudier plus en détail l'influence de la microstructure sur ce couplage d'échange nous avons irradié une jonction épitaxiale du type Au/Pd/Fe/MgO/Fe/MgO(001) présentant un couplage AF avec des ions N<sup>+</sup> à 150 keV avec des doses allant de  $10^{13}$  à  $3.10^{16}$  ions/cm<sup>2</sup>. Les simulations de l'effet de l'irradiation indiquent que la majeure partie de l'énergie déposée est située aux interfaces « Pd/Fe » et « Fe-top/MgO », comme reporté sur les profils figure 2.

Les modifications structurales ont été étudiées par Microscopie Electronique à Haute Résolution (MEHR) et par Réflectivité des Rayons-X (RRX). Les études MEHR indiquent que la barrière tunnel reste continue même pour la dose maximale (figure 3). Les mesures de RRX montrent une augmentation de la rugosité des interfaces Fe/MgO et MgO/Fe, un mixing des couches supérieures Pd/Fe, et un dopage en Fe de la barrière de MgO.

\* Auteur à contacter : snoeck@cemes.fr – Tel : 05 62 25 78 91

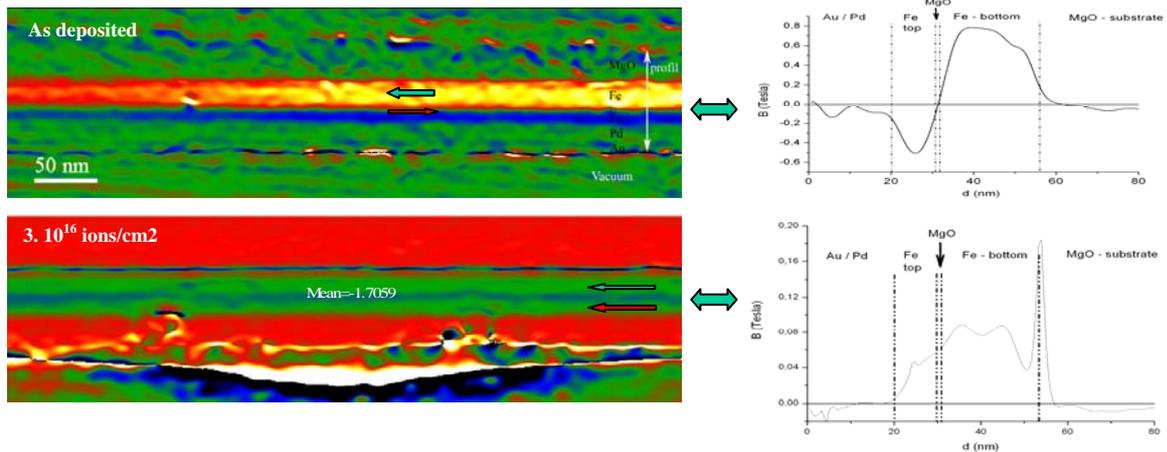


**Figure 2** – Profil simulé des variations de densité induites par  $H$  pour trois doses  $10^{13}$ ,  $10^{14}$  et  $10^{15}$  ions/cm $^2$



**Figure 3** – Image MEHR de la jonction irradiée à  $3 \cdot 10^{16}$  ions/cm $^2$

Les études par holographie électronique confirment le couplage AF des couches de fer dans la jonction as-deposited et un couplage F dans les jonctions irradiées à fortes doses ( $3 \cdot 10^{16}$  ions.cm $^{-2}$ ) (Figures 4). Les mesures VSM confirment ces résultats. Elles mettent en évidence une augmentation continue du couplage bilinéaire et quadratique avec la dose. Ce couplage bascule vers un couplage F pour les couches irradiées à des doses supérieures à  $10^{15}$  ions/cm $^2$ . Nous associons cette modification du couplage à une augmentation des rugosités des interfaces augmentant la contribution magnétostatique et à un dopage important de la barrière de MgO par Fe.



**Figure 4** - Holographie électronique : Image et profil de l'induction magnétique dans la jonction « as deposited » et irradiée à  $3 \cdot 10^{16}$  ions/cm $^2$ .

## 2. Références

- [1] J. Faure-vincent, C. Tiusan, C. Bellouard, E. Popova, M. Hehn, F. Montaigne and A. Schuhl, Phys. Rev. Lett., **89**, (2002) 107206
- [2] J.C. Slonczewski, Phys. Rev. B **39**, (1989) 6995