

# Contrôle du signe de la magnétorésistance tunnel dans des vanne de spin épitaxiées à base de graphène

**Godel F.<sup>1</sup>, Doudin B.<sup>1</sup>, Henry Y.<sup>1</sup>, Halley D.<sup>1</sup>, Dayen J.-F.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Institut de Physique et Chimie des Matériaux de Strasbourg (IPCMS), UMR 7504 CNRS-UdS, 23 rue du Loess, 67034 Strasbourg, France

florian.godel@ipcms.unistra.fr

L'effet de filtrage en spin prédit à l'interface hybridée graphène/Nickel(111) [1] a récemment conduit au développement et à la caractérisation de vanne de spin de type courant perpendiculaire au plan (CPP) à base de graphène sur Nickel [2,3]. De ces études, il a été mis en évidence que le Nickel, recouvert de graphène par voie chimique en phase vapeur (CVD), est préservé de toute oxydation, conservant ainsi ses propriétés ferromagnétiques [3]. Ce type de dispositif a montré des magnétorésistances tunnel (TMR) négatives dont le signe est directement relié à une polarisation négative de l'interface Ni/graphène [4], confirmant la prédiction du filtrage en spin des porteurs majoritaires à cette interface.

Toutefois, l'injection à travers une barrière tunnel dans le graphène étant dominé par des processus assistés par phonons au point K [5] et sachant que leur énergie de création est modifiée dans le cas du graphène hybridé sur Nickel [6,7], il nous ait apparu nécessaire de réaliser une étude en tension de la TMR. A l'aide de notre savoir-faire en matière de croissance épitaxiée de barrière tunnel de MgO sur graphène [8], nous avons fait croître par épitaxie par jets moléculaires (EJM) une barrière de 2.6 nm de MgO sur un substrat de graphène/Nickel. L'analyse par spectrométrie photoélectronique X confirme que le Nickel est inoxydé: aucun pic relatif aux liaisons Ni-O n'est présent (figure 1.a). Le spectre par diffractométrie de rayons X confirme la bonne qualité ainsi que l'orientation suivant la direction [111] du MgO et du Nickel (figure 1.b). Nous avons finalisé notre vanne de spin en surmontant le MgO d'une électrode de Cobalt déposée par EJM, orientée suivant l'axe [111].

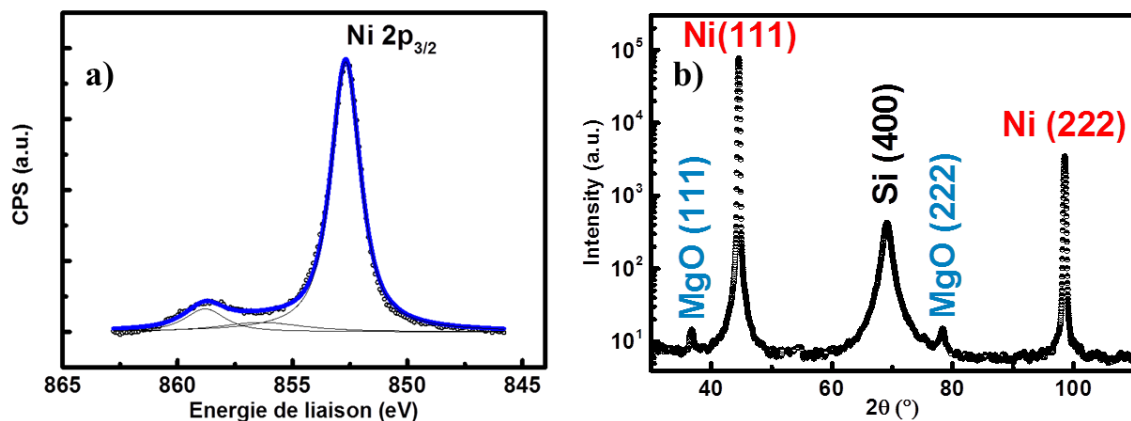


Figure 1 : a) Spectre du Ni/graphène obtenu par spectrométrie photoélectronique X. b) Spectre de diffractométrie de rayons X de la croissance du MgO sur graphène/Ni.

Les caractérisations électriques ont confirmé la bonne qualité de nos barrières de MgO(111) montrant un produit résistance-surface de l'ordre de 100MΩ.μm<sup>2</sup>. Nous avons pu

observer dans nos dispositifs une dépendance en tension du signe de la *TMR* [9] (figure 2.a). Ce comportement reproductible a été constaté sur plusieurs jonctions de taille allant de 1 à 1000  $\mu\text{m}^2$ . Les variations du signe de la *TMR* peuvent être directement relié à la particularité de la structure de bande de l'interface graphène/Nickel(111) [10] et s'expliquent par l'ouverture de canaux de conduction assistés par phonons au point M et au point K [6] (figure 2.b).

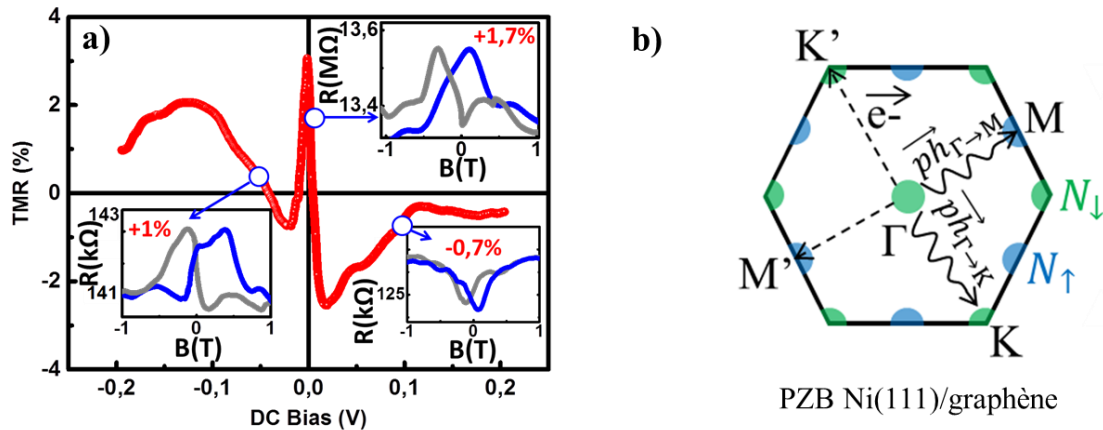


Figure 2 : a) Tracé de la *TMR* en fonction de la tension à 1.4K pour une jonction de  $100\mu\text{m}^2$ , en insert : mesure de la *TMR* en fonction du champ magnétique à tension fixe pour -50mV, +10mV, +100mV. b) Principe schématique du transport assisté par phonons au niveau de la première zone de Brillouin (PZB) de l'interface graphène/Nickel où  $N_{\uparrow(\downarrow)}$  représente la densité d'état des porteurs majoritaires (minoritaires).

En conclusion, notre travail confirme l'utilité d'effectuer une étude systématique de la *TMR* en fonction de la tension afin d'améliorer la compréhension des processus impliqués dans le transport en spin à l'interface Ni(111)/graphène. Plus généralement, notre travail ouvre la voie vers de nouveaux dispositifs d'électronique de spin où il est possible de contrôler le signe de la polarisation en spin des interfaces ferromagnétiques/graphène en modulant la tension appliquée.

- [1] V. Karpan *et al.*, "Graphite and Graphene as Perfect Spin Filters," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 99, no. 17, p. 176602, Oct. 2007.
- [2] E. Cobas *et al.*, "Graphene as a tunnel barrier: graphene-based magnetic tunnel junctions.," *Nano Lett.*, vol. 12, no. 6, pp. 3000–4, Jun. 2012.
- [3] B. Dlubak *et al.*, "Graphene-passivated nickel as an oxidation-resistant electrode for spintronics.," *ACS Nano*, vol. 6, no. 12, pp. 10930–4, Dec. 2012.
- [4] M. Martin *et al.*, "Sub-nanometer atomic layer deposition for spintronics in magnetic tunnel junctions based on graphene spin-filtering membranes," *ACS ...*, no. 8, pp. 7890–7895, 2014.
- [5] Y. Zhang *et al.*, "Giant phonon-induced conductance in scanning tunnelling spectroscopy of gate-tunable graphene," *Nat. Phys.*, vol. 4, no. 8, pp. 627–630, Jul. 2008.
- [6] A. Allard *et al.*, "Graphene on metallic substrates: suppression of the Kohn Anomalies in the phonon dispersion.," *Nano Lett.*, vol. 10, no. 11, pp. 4335–40, Nov. 2010.
- [7] J. Maassen *et al.*, "Graphene spintronics: the role of ferromagnetic electrodes.," *Nano Lett.*, vol. 11, no. 1, p. 5, 2010.
- [8] F. Godel *et al.*, "Epitaxy of MgO magnetic tunnel barriers on epitaxial graphene," *Nanotechnology*, vol. 24, no. 47, p. 475708, Nov. 2013.
- [9] F. Godel *et al.*, "Voltage-controlled inversion of tunnel magnetoresistance in epitaxial nickel/graphene/MgO/cobalt junctions," *Appl. Phys. ...*, vol. 152407, 2014.
- [10] V. M. Karpan *et al.*, "Theoretical prediction of perfect spin filtering at interfaces between close-packed surfaces of Ni or Co and graphite or graphene," *Phys. Rev. B*, vol. 78, no. 19, p. 195419, Nov. 2008.