

Les nano-oscillateurs à transfert de spin à base de vortex fabriqués par électrodéposition dans des membranes en alumine nanoporeuse

Flavio Abreu Araujo¹, Loïk Gence¹, Vlad Antohe¹, Vincent Cros², Luc Piraux¹

flavio.abreuaraujo@uclouvain.be

¹ Institut de la Matière Condensée et des Nanosciences, UCL, Croix du Sud 1, Louvain-la-Neuve, Belgique

² Unité Mixte de Physique CNRS/Thales et Université Paris Sud 11, Palaiseau, France

Les nanofils multicouches électrodéposés présentent des propriétés physiques intéressantes qui découlent de leur géométrie spécifique et de leurs dimensions submicroniques. Ils offrent des perspectives nouvelles pour certaines applications, notamment dans le domaine des dispositifs hyperfréquences dont les nano-oscillateurs à transfert de spin (STNOs) font partie.

L'élaboration de ces nanofils par dépôt électrochimique à l'intérieur de pores de taille nanométrique dans une membrane en alumine [1,2], présente de nombreux avantages par rapport aux méthodes de lithographies conventionnelles, comme la rapidité de fabrication, le faible coût engendré, ainsi que la souplesse de création des dispositifs. Concrètement, cette méthode dite des « templates » permet de réaliser au sein de ces réseaux ordonnés de nanofils des assemblées denses de nano-oscillateurs disposés en série et/ou en parallèle, propices à promouvoir des effets de synchronisation et à augmenter ainsi la puissance d'émission des nano-oscillateurs à transfert de spin.

Récemment, nous avons observé dans ces nanofils multicouches des émissions hyperfréquences induites par transfert de spin et associées à la dynamique de l'état magnétique de vortex [3,4]. L'étude présentée ici s'inscrit dans la continuité de ces observations et sera prochainement publiée [7]. Le système que nous étudions est une vanne de spin métallique Co(22nm)/Cu(12nm)/Co(6nm) obtenue par voie électrochimique et contactée par lithographie électronique (voir figure 1).

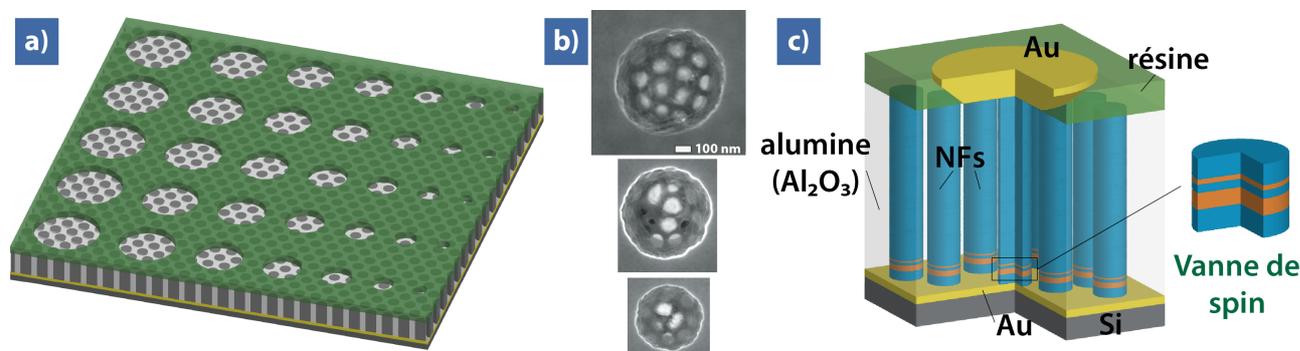


Figure 1. a) Illustration schématique d'une membrane en alumine dont les pores sont remplis par électrodéposition et recouverte d'une résine dans laquelle un gradient d'ouvertures a été réalisé dans le but de faire des contacts ohmiques avec un nombre bien défini de nanofils. b) Images au microscope électronique de trois ouvertures de diamètres différents. c) Illustration schématique du réseau de nanofils obtenu après le dépôt des contacts en or. Chaque nanofil contient une seule vanne de spin localisée au pied du nanopillier.

Nous avons observé des émissions hyperfréquences cohérentes pour des courants positifs sur certaines plages du champ magnétique appliqué (voir figure 2b). Lors des mesures par injection de courants positifs, nous avons pu extraire des signaux avec une puissance d'émission allant jusqu'à 100 fW/mA² pour des largeurs de raie pouvant descendre jusqu'à 1.8 MHz. Ces mesures sont comparables à celles réalisées précédemment [3,4]. Par ailleurs, l'état magnétique à deux vortex (voir plus loin) a permis d'améliorer la qualité spectrale de nos signaux tandis qu'il a été possible d'obtenir des émissions à champ nul. En outre, la puissance maximale d'émission a été augmentée alors que la largeur de raie a été réduite donnant ainsi une bien meilleure qualité spectrale aux signaux émis.

Parallèlement aux mesures électriques réalisées sur les nanofils multicouches, nous avons étudié la structure « spin valve métallique » à l'aide de simulations micromagnétiques (LLG+ST) en vue de comprendre dans quel état magnétique et dynamique notre système expérimental évolue [4]. Cette étude fait apparaître des états à un vortex dans la couche magnétique épaisse pour des courants négatifs (voir phase A dans la figure 2 de la référence [4]) ainsi que des états à deux vortex, un dans chaque couche magnétique du STVO (Spin Torque Vortex Oscillator) pour des courants positifs (voir phase B dans la figure 2 de la référence [4]). Parmi ces états à deux vortex, il y a ceux pour lesquels la polarité des cœurs de vortex est opposée tout en possédant la même chiralité (dictée par le champ d'Oersted). Les simulations micromagnétiques ont montré que cet état magnétique à deux vortex est stable sur une large fenêtre de champ et possède la particularité de présenter une oscillation des cœurs de vortex par transfert de spin même à champ nul !

Tout porte à croire que les mesures de la figure 2b associées à des courants positifs correspondent à l'état à deux vortex même si la gamme en champ pour laquelle nous observons des émissions est inférieure à celle prédite par les simulations (voir figure 2a et référence [4]). Les propriétés remarquables montrées par la figure 2b sont également en très bon accord avec les mesures expérimentales de N. Locatelli *et al.* [5] et de de Loubens *et al.* [6] sur des nanopiliers fabriqués par voie lithographique.

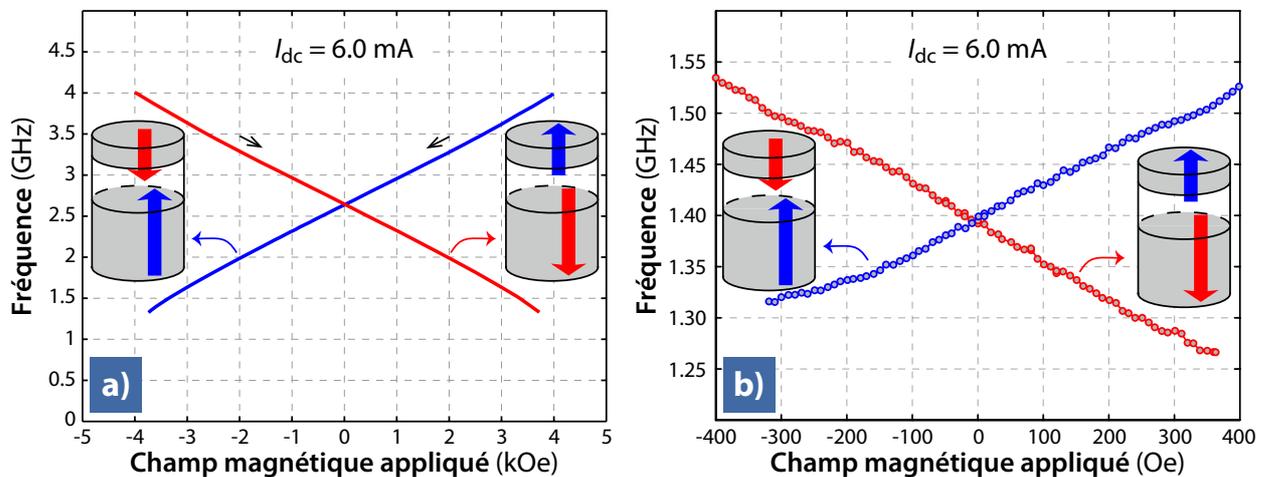


Figure 2. Evolution de la fréquence du cœur de vortex en fonction du champ magnétique appliqué (suivant l'axe z) pour un courant positif de 6 mA. a) Obtenu à l'aide de simulations micromagnétiques (phase B₁ dans la figure 2 de la référence [4]). b) Obtenue à partir des mesures expérimentales sur une vanne de spin métallique dans un nanofils.

Au cœur des recherches sur la synchronisation de plusieurs STVOs, les nanofils multicouches fournissent un cadre très fertile car il est possible d'en disposer un grand nombre en interaction les uns avec les autres. Même si, à l'heure actuelle, nous n'avons pas encore pu mettre en évidence d'effets de synchronisation entre plusieurs STVOs, la compréhension de ces nano-oscillateurs à l'aide de simulations micromagnétiques a d'ores et déjà permis de prédire les distances optimales qu'il faut introduire entre les oscillateurs en série comme en parallèle [8] pour favoriser leur interaction et potentiellement leur synchronisation.

-
- [1] T. Blon, L. Piraux, V. Cros *et al.*, *J. Appl. Phys.* **102** (2007), 103906
 - [2] L. Piraux, V. Antohe, V. Cros *et al.*, *Nano Letters* **7** (9) (2007), pp 2563-2567
 - [3] M. Darques, F. Abreu Araujo, V. Cros, L. Piraux *et al.*, *J. Phys. D : Appl. Phys.* **44** (2011), no. 10, 105003
 - [4] F. Abreu Araujo, K. A. Zvezdin, V. Cros, L. Piraux *et al.*, *Phys. Rev. B* **86** (2012), 064424
 - [5] N. Locatelli, V. Cros, A. Fert *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **98** (2011), 062501
 - [6] G. de Loubens, K. Y. Guslienko, A. N. Slavin, O. Klein *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **102** (2009), 177602
 - [7] F. Abreu Araujo, L. Piraux, V. A. Antohe, V. Cros, L. Gence, (va être soumis à *Appl. Phys. Lett.*)
 - [8] A.D. Belanovsky, F. Abreu Araujo, V. Cros *et al.*, *Phys. Rev. B* **85** (2012), 100409(R)