



Vendredi 03/10/2014, 14h00

Amphi Bloch, Bât.774, Orme des Merisiers

## Abbass Hamadeh

SPEC - Laboratoire Nano-Magnétisme et Oxydes

### Synchronization of spin transfer nano-oscillators

#### Abstract

Spin transfer nano-oscillators (STNOs) are nanoscale devices capable of generating high frequency microwave signals through spin momentum transfer. Although they offer decisive advantages compared to existing technology (spectral agility, integrability, etc.), their emitted power and spectral purity are quite poor. In view of their applications, a promising strategy to improve the coherence and increase the emitted microwave power of these devices is to mutually synchronize several of them. A first step is to understand the synchronization of a single STNO to an external source. For this, we have studied a circular nanopillar of diameter 200-nm patterned from a Cu60|Py15|Cu10|Py4|Au25 stack, where thicknesses are in nm. In the saturated state (bias magnetic field  $> 0.8$  T), we have identified the auto-oscillating mode and its coupling to an external source by using a magnetic resonance force microscope (MRFM). Only the uniform microwave field applied perpendicularly to the bias field is efficient to synchronize the STNO because it shares the spatial symmetry of the auto-oscillation mode, in contrast to the microwave current passing through the device. The same sample was then studied under low perpendicular magnetic field, with the two magnetic layers in the vortex state. In this case, it is possible to excite a highly coherent mode ( $F > 15000$ ) with a linewidth below 100 kHz. By analyzing the harmonic content of the spectrum, we have determined that the non-linear amplitude-phase coupling of the excited mode is almost vanishing, which explains the high spectral purity observed. Moreover, the oscillation frequency can still be widely tuned thanks to the Oersted field created by the dc current. We have also shown that the synchronization of this mode to a microwave field source is very robust, the generation linewidth decreasing by more than five orders of magnitude compared to the autonomous regime. From these findings we conclude that the magneto-dipolar interaction is promising to achieve mutual coupling of vortex based STNOs, the dipolar field from a neighboring oscillator playing the role of the microwave source. We have thus experimentally measured a system composed of two STNOs laterally separated by 100 nm. By varying the different configurations of vortex polarities, we have observed the mutual synchronization of these two oscillators.

#### Résumé

Les nano-oscillateurs à transfert de spin (STNOs) sont des dispositifs capables d'émettre une onde hyperfréquence lorsqu'ils sont pompés par un courant polarisé grâce au couple de transfert de spin. Bien qu'ils offrent de nombreux avantages (agilité spectrale, intégrabilité, etc.) pour les applications, leur puissance d'émission et leur pureté spectrale sont en général faibles. Une stratégie pour améliorer ces propriétés est de synchroniser plusieurs oscillateurs entre eux. Une première étape est de comprendre la synchronisation d'un STNO unique à une source externe. Pour cela, nous avons étudié une vanne de spin Cu60|NiFe15|Cu10|NiFe4| Au25 (épaisseurs en nm) de section circulaire de 200 nm. Dans

l'état saturé perpendiculaire (champ appliqué  $> 0.8$  T), nous avons déterminé la nature du mode qui auto-oscille et son couplage à une source externe grâce à un microscope de force par résonance magnétique (MRFM). Seul un champ micro-onde uniforme permet de synchroniser le mode oscillant de la couche fine car il possède la bonne symétrie spatiale, au contraire du courant micro-onde traversant l'échantillon. Ce même échantillon a ensuite été étudié sous faible champ perpendiculaire, les deux couches magnétiques étant alors dans l'état vortex. Dans ce cas, il est possible d'exciter un mode de grande cohérence ( $F/F > 15000$ ) avec une largeur de raie inférieure à 100 kHz. En analysant le contenu harmonique du spectre, nous avons déterminé que le couplage non-linéaire amplitude-phase du mode excité est quasi nul, ce qui explique la grande pureté spectrale observée, et qu'en parallèle, la fréquence d'oscillation reste ajustable sur une grande gamme grâce au champ d'Oersted créé par le courant injecté. De plus, la synchronisation de ce mode à une source de champ micro-onde est très robuste, la largeur de raie mesurée diminuant de plus de cinq ordres de grandeur par rapport au régime autonome. Nous concluons de cette étude que le couplage magnéto-dipolaire entre STNOs à base de vortex est très prometteur pour obtenir une synchronisation mutuelle, le champ dipolaire rayonné par un STNO sur ses voisins jouant alors le rôle de la source micro-onde. Nous sommes donc passés à l'étape suivante, à savoir la mesure expérimentale de deux STNOs similaires séparés latéralement de 100 nm. En jouant sur les différentes configurations de polarités des vortex, nous avons réussi à observer la synchronisation mutuelle de ces deux oscillateurs.