

CARATTERIZZAZIONE MICROMAGNETICA DEI MODI DI ONDE DI SPIN ECCITATI IN NANOSTRUTTURE MAGNETICHE CON GEOMETRIA POINT-CONTACT

G. Consolo, B. Azzerboni, A. Calisto, G. Finocchio, V. Puliafito, A. Romeo

Dipartimento di Fisica della Materia e Tecnologie Fisiche Avanzate
Università di Messina
Salita Sperone 31, 98166 Messina

La relativamente recente scoperta dell'effetto GMR (Giant Magnetoresistance) e del suo duale STT (Spin-Transfer Torque) ha avviato una cospicua attività di ricerca nel settore della spintronica, con particolare riferimento alla progettazione e caratterizzazione delle dinamiche di magnetizzazione innescate da correnti spin-polarizzate in nanodispositivi quali memorie magnetiche ed oscillatori [1].

La nostra attività di ricerca si è focalizzata maggiormente all'interno di questa ultima classe di dispositivi con l'obiettivo di descrivere le grandezze macroscopiche rilevate sperimentalmente mediante l'ausilio di tool di micromagnetismo sviluppato dal nostro gruppo di ricerca che consente di analizzare le proprietà fisiche dei modi di onde di spin eccitati in tali nano strutture.

In dettaglio, una delle geometrie più frequentemente utilizzate allo scopo di innescare delle dinamiche processionali persistenti (e quindi realizzare un nano oscillatore magnetico) alle frequenze delle microonde è quella cosiddetta "point-contact" o "nano-contact", in cui un trilayer magnete-nonmagnete-magnete è attraversato da una corrente continua che interessa una regione ridotta (contatto) del piano della struttura e i cui bordi fisici sono generalmente posti ad una distanza talmente elevata dalla regione di eccitazione (decina di micron) che il dispositivo è generalmente trattato come se fosse "non-confinato" nel piano. In tal modo, l'eccitazione ha sempre origine al centro della struttura e la lontananza dai bordi esterni consente di ridurre l'effetto di impurità e di edge-defects, incrementandone il fattore di qualità dei segnali di uscita.

Alcuni eccellenti esperimenti del gruppo del NIST [2] hanno messo in luce che le principali proprietà macroscopiche di tali oscillatori (andamento della frequenza e della linewidth in funzione della corrente, corrente di soglia di eccitazione, ecc.) dipendono fortemente dall'angolo di inclinazione di un campo magnetico esterno che agisce sul dispositivo.

Sebbene le dinamiche di magnetizzazione interessate in tali configurazioni siano state predette qualitativamente mediante modelli analitici semplificati [1],[3], la consistenza di tali teorie necessita una validazione numerica (ciò anche alla luce del fatto che i primi tentativi numerici fallirono nel tentativo di riprodurre, persino qualitativamente, le dinamiche osservate sperimentalmente [4]).

Questo è stato l'obiettivo principale del nostro gruppo di ricerca, il quale ha sviluppato un modello micromagnetico ad-hoc per dispositivi "point-contact" [5] in grado di riprodurre, talvolta persino quantitativamente, le dinamiche osservate sperimentalmente e con il quale è stato possibile discriminare la natura dei modi di onde di spin innescati nelle varie configurazioni circuitali.

In dettaglio, si è potuto verificare che la natura dei modi di onde di spin è del tipo "propagativo" quando l'inclinazione del campo esterno è vicina alla normale al piano [6],

mentre è del tipo “evanescente, fortemente localizzata e subcritica” quando l’inclinazione del campo esterno è vicina al piano della struttura [7]. Pertanto è stata evidenziata l’esistenza di un angolo critico in corrispondenza del quale si verifica un brusco cambiamento della natura e delle proprietà dei modi eccitati [8]. Infatti, modi propagativi sono generalmente associati a frequenze innescate maggiori della frequenza di risonanza ferromagnetica (FMR) del materiale in esame e la cui dipendenza dalla corrente applicata esibisce un blue-shift (frequenza cresce al crescere della corrente). D’altro canto, modi evanescenti (denominati “bullet” per la loro localizzazione spaziale) presentano frequenze inferiori alla frequenza FMR ed un red-frequency-shift in corrente, con correnti di soglia di eccitazione minori di quelle associate ai modi propagativi (a causa della mancanza delle perdite per radiazione) [9]. Ciò implica che, in corrispondenza dell’angolo critico, si assisterà ad un brusco salto in frequenza associato alla drastica variazione delle proprietà dei modi eccitati, mentre la curva che rappresenta l’andamento della corrente di soglia in funzione dell’angolo del campo esterno è una funzione continua con una piega in prossimità del suddetto angolo critico. E’ stato altresì rilevato che, nonostante i nostri risultati numerici siano in sostanziale accordo con le principali conclusioni dei lavori precedenti teorici, la teoria sviluppata in Ref. 7 sovrastima l’entità dell’angolo critico.

Bibliografia

- [1] J. C. Slonczewski, J. Magn. Magn. Mater. 195, L261 (1999).
- [2] W. H. Rippard, M. R. Pufall, S. Kaka, S. E. Russek, and T. J. Silva, Phys. Rev. Lett. 92, 027201 (2004); W. H. Rippard, M. R. Pufall, S. Kaka, T. J. Silva, and S. E. Russek, Phys. Rev. B 70, 100406(R) (2004).
- [3] A. Slavin and V. Tiberkevich, Phys. Rev. Lett. 95, 237201 (2005); G. Gerhart, E. Bankowski, G. A. Melkov, V. S. Tiberkevich, A. N. Slavin, Phys. Rev. B 76, 024437 (2007).
- [4] D. V. Berkov and N. L. Gorn, J. Appl. Phys. 99, 08Q701 (2006).
- [5] G. Consolo, B. Azzerboni, G. Finocchio, L. Lopez-Diaz, L. Torres, J. Appl. Phys. 101, 09C108 (2007); G. Consolo, L. Torres, L. Lopez-Diaz, and B. Azzerboni, IEEE Trans. Magn. 43, 2827 (2007); G. Consolo, L. Lopez-Diaz, L. Torres, and B. Azzerboni, IEEE Trans. Magn. 43, 2974 (2007).
- [6] G. Consolo, L. Lopez-Diaz, L. Torres, and B. Azzerboni, Phys. Rev. B 75, 214428 (2007).
- [7] G. Consolo, B. Azzerboni, G. Gerhart, G. A. Melkov, V. Tiberkevich, A. N. Slavin, Phys. Rev. B 76, 144410 (2007);
- [8] G. Consolo, B. Azzerboni, L. Lopez-Diaz, G. Gerhart, E. Bankowski, V. Tiberkevich, A. N. Slavin, Phys. Rev. B (sottomesso).
- [9] G. Consolo, Physica Status Solidi (C) (2008) (in stampa).