

STUDIO MICROMAGNETICO DELLE PROPRIETA' ESIBITE DA NANO-OSCILLATORI SPINTRONICI PILOTATI DA UNA CORRENTE SPIN-POLARIZZATA ED UN CAMPO DI ANISOTROPIA PERPENDICOLARE

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

E' stato dimostrato teoricamente [1] (e validato sperimentalmente e numericamente) che in nano strutture magnetiche multistrato ferromagnete-nonmagnete-ferromagnete soggette all'azione di correnti spin-polarizzate, la condizione di bilanciamento tra il damping naturale positivo (Gilbert) e il damping negativo indotto dalla corrente, favorisce l'innescarsi di dinamiche di magnetizzazione processionali persistenti. Ciò ha posto le basi per lo sviluppo di nano oscillatori spintronici a microonde.

In tali dispositivi, la frequenza dei segnali di uscita cresce al crescere dell'intensità del campo magnetico esterno. Dal punto di vista tecnologico, la necessità di dover ricorrere a magneti permanenti per la generazione di tali campi è uno svantaggio. Per questo motivo, l'attenzione del nostro gruppo si è focalizzata sulla ricerca di quella proprietà intrinseca dei materiali che possa, in un certo qual modo, sostituire il ruolo del campo magnetico esterno. Si è dunque pensato di introdurre materiali aventi un campo di anisotropia perpendicolare nello strato ferromagnetico più sottile della struttura (denominato generalmente "Free Layer"). La geometria adoperata è quella "point-contact", usualmente adoperata in nano oscillatori spintronici [2].

Lo studio è stato condotto mediante l'ausilio di un tool di simulazioni micromagnetiche sviluppato dal nostro gruppo di ricerca con il quale l'equazione del moto (equazione di Landau-Lifshitz-Gilbert-Slonczewski) è integrata numericamente mediante tecniche alla differenze finite nel dominio del tempo (FD-TD) [3].

Risultati di tali esperimenti numerici mettono in luce che, sotto l'influenza di un campo esterno perpendicolare al piano, la frequenza esibisce una dipendenza non lineare dal campo di anisotropia perpendicolare, per lo più originata dalla natura propagativa, dominata dalle interazioni di scambio ferromagnetiche, dei modi delle onde di spin eccitati in tale configurazione [2]. Tale affermazione deriva anche dal confronto con alcuni risultati teorici precedenti condotti su dispositivi pillar (laddove il contributo dovuto alla radiazione di onde di spin è assente), nei quali tale dipendenza è per lo più lineare [4]. Inoltre, ciò che rende tale indagine potenzialmente interessante dal punto di vista tecnologico, è l'aver ottenuto un incremento della frequenza dei segnali di uscita senza dover ricorrere all'impiego di forti campi esterni. Infatti, a parità di campo esterno applicato, è stata ottenuta una frequenza quattro volte maggiore adoperando un materiale avente costante di anisotropia perpendicolare pari a $0.33 \times 10^6 \text{ J/m}^3$. Ciò implica inoltre che è, in linea di principio, una stessa frequenza di uscita potrebbe essere ottenuta con una data intensità di campo magnetico esterno oppure con un campo di minore intensità agente su un materiale con anisotropia perpendicolare.

L'implementazione di un campo di anisotropia perpendicolare solamente nel Free Layer del dispositivo conferisce l'ulteriore vantaggio di non dover ricorrere all'introduzione di un ulteriore layer per la rilevazione delle variazioni di magnetoresistenza [4,5].

Il passo successivo della nostra analisi è stato quello di condurre uno studio di fattibilità di una configurazione circuitale che non richiedesse l'uso di alcun campo esterno [2],[6]. In questo caso, è stato possibile rilevare l'esistenza di dinamiche più complesse e di varia natura. Innanzitutto, si è potuto constatare che tale configurazione consente di supportare sia modi propagativi ad alta frequenza sia dinamiche di magnetizzazione a vortice, nella quale si assiste ad un moto girotropico del nucleo del vortice a frequenze inferiori al GHz. La selezione dei modi eccitati è effettuata in corrente e presenta un marcato carattere isteretico. E' importante sottolineare che i due modi eccitati differiscono strutturalmente nel dominio del tempo, dello spazio e della frequenza. Infatti, modi propagativi sono associati a segnali altamente sinusoidali, con simmetria cilindrica e con un contenuto spettrale essenzialmente singolo picco. D'altra parte, i modi a vortice si presentano altamente non sinusoidali, con una configurazione spaziale tipica di un vortice all'interno della quale il moto girotropico del nucleo si evolve attraverso una periodica inversione della polarizzazione e del senso di rotazione, e con un contributo spettrale denso di armoniche superiori. Uno studio più approfondito delle dinamiche osservate senza campo esterno mostra un comportamento non lineare della frequenza eccitata al variare dell'intensità del campo di anisotropia [6]. Anche in questo caso, la frequenza ottenuta in presenza di un campo di anisotropia perpendicolare è maggiore di quella ottenuta in assenza di anisotropia, sebbene presenti un comportamento non monotono.

Bibliografia

- [1] J. C. Slonczewski, *J. Magn. Magn. Mater.* 195, L261 (1999); A. Slavin and V. Tiberkevich, *Phys. Rev. Lett.* 95, 237201 (2005)
- [2] G. Consolo, L. Lopez-Diaz, L. Torres, G. Finocchio, A. Romeo, B. Azzerboni, *Appl. Phys. Lett.*, 91, 162506 (2007).
- [3] Romeo et al., *Physica B*, 403, 464 (2008).
- [4] X. Zhu and J.G. Zhu, *IEEE Trans. Magn.* , 42, 2670 (2006).
- [5] D. Houssameddine et al., *Nature Materials*, 6, 447 (2007).
- [6] V. Puliafito, B. Azzerboni, G. Consolo, G. Finocchio, L. Torres, L. Lopez-Diaz, *IEEE Trans. Magn.* (2008) (sottomesso).