

# DINAMICHE DI OSCILLAZIONE PERSISTENTE DELLA MAGNETIZZAZIONE IN FUNZIONE DELL'ANGOLO DEL CAMPO MAGNETICO APPLICATO

*Alessandro Prattella, Giovanni Finocchio, Alessia Bramanti, Andrea Calisto,  
Anna Giordano, Vito Puliafito, Bruno Azzerboni*

Dipartimento di Fisica della Materia e Ingegneria Elettronica  
Università di Messina, V.le F. Stagno D'Alcontres 31, I-98166 Messina, Italy

Una delle attività di ricerca svolte dal nostro gruppo riguarda la caratterizzazione del comportamento di oscillatori spintronici in funzione dell'angolo del campo magnetico esterno mediante l'ausilio di simulazioni micromagnetiche. In particolare ci siamo concentrati sullo studio dello stesso sistema presentato nell'esperimento in Ref[1].

Per angolo di campo applicato vicino all'hard-axis, il modo eccitato è uniforme e il punto di biforcazione a  $J_C$  è una biforcazione di Hopf super-critica. Per angolo di campo applicato vicino all'easy-axis dell'ellisse, il modo eccitato è localizzato (non uniforme) e il punto di biforcazione a  $J_C$  è una biforcazione di Hopf sub-critica. In quest'ultima condizione, si è anche osservato un comportamento isteretico. Analogamente a quanto osservato in geometrie point-contact, si è scoperta l'esistenza di un range di valori dell'angolo di applicazione del campo magnetico esterno, in cui modi uniformi e non uniformi sono entrambi eccitati e sono non-stazionari nel tempo.

Si è inoltre dimostrato numericamente per la prima volta che la frequenza di oscillazione alla corrente critica coincide con la frequenza di risonanza ferromagnetica del ferromagnete quando il comportamento dell'oscillatore diventa quasi lineare, come predetto analiticamente.

Fig. 1(a)-(c) mostrano gli spettri di potenza calcolati a  $J_{ON}$  mediante la tecnica di mappatura spettrale micromagnetica, per diversi valori di angolo di campo: (a)  $\beta=45^\circ$ , (b)  $\beta=60^\circ$ , e (c)  $\beta=87.5^\circ$ . Le proprietà dinamiche della magnetizzazione sono state caratterizzate mediante mappa micromagnetica dello spettro. Analogamente a precedenti simulazioni micromagnetiche, e mediante calcoli analitici basati sull'equazione di Ginzburg-Landau, anche i nostri risultati mostrano che l'angolo di campo  $\beta$  incrementa la distribuzione spaziale delle dinamiche dei modi eccitati, passando dallo stato non-uniforme a quello uniforme (inserto di fig. 1 (a) comparato all'inserto di fig. 1 (c)). Tale transizione, in funzione dell'angolo del campo applicato, non avviene in modo "brusco"; vi è, infatti, un ristretto intervallo di angoli in cui modo non-uniforme ed uniforme coesistono entrambi. Questo è visibile in fig.1(b), in cui si è andato a graficare lo spettro di potenza a  $J_{on}$  per  $\beta=60^\circ$ . Fig.1(d) mostra la frequenza di oscillazione del modo a maggiore potenza a  $J_{on}$  e  $J_{off}$ , in funzione dell'angolo di campo applicato. Il differente comportamento qualitativo delle dinamiche di magnetizzazione a  $45^\circ$  e  $87,5^\circ$  può essere attribuito a differente biforcazione di Hopf in funzione di  $J_{on}$ . In particolare, si identifica come sub-critica la biforcazione di Hopf per la transizione da S a D, quando il modo eccitato non è uniforme; mentre identifichiamo come biforcazione di Hopf super-critica quella che si ottiene durante la transizione dallo stato S allo stato D, per valori di angolo del campo applicato prossimi all'hard-axis.

Inoltre, in fig. 1 (d) si confrontano la frequenza di oscillazione calcolata a  $J_{on}$  ( $f_{ON}$ ) e  $J_{off}$  ( $f_{OFF}$ ) e la frequenza di risonanza ferromagnetica ( $f_{FMR}$ ). I nostri risultati numerici dimostrano che esiste una regione di angolo di campo entro la quale la frequenza di oscillazione coincide (o è molto vicina) alla frequenza di risonanza ferromagnetica ( $f_{FMR}$ ) calcolata a  $J=0$ . Questo è

in accordo con la teoria analitica basata sul modello universale degli oscillatori non- lineari, in cui si realizza la condizione  $N \approx 0$  e si riscontra un minimo della larghezza di banda degli oscillatori. Per un fissato valore dell'ampiezza del campo magnetico applicato, i nostri risultati indicano che la non-linearità di un STO si riduce fortemente in prossimità del valore minimo della frequenza FMR (quest'ultima calcolata in funzione dell'angolo del campo, quando la corrente di polarizzazione è pari a zero).

Questo risultato, che può essere utilizzato come strumento sistematico di pre-elaborazione per individuare il punto di lavoro di un oscillatore spintronico. I risultati ottenuti sono in accordo con i dati sperimentali pubblicati nella Ref[2].

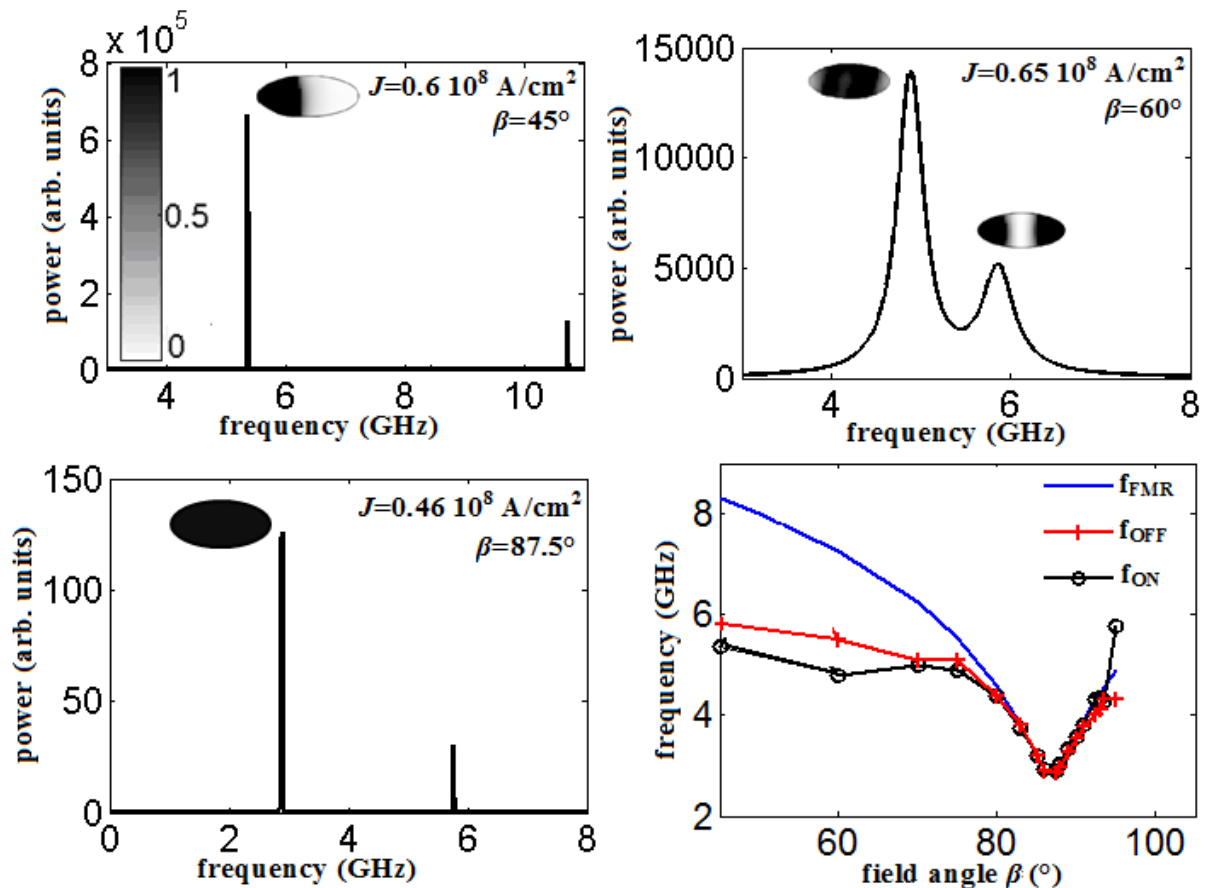


Fig. 1

## BIBLIOGRAFIA

- [1] K. V. Thadani, G. Finocchio, Z.-P. Li, O. Ozatay, J. C. Sankey, I. N. Krivorotov, Y.-T. Cui, R. A. Buhrman, and D. C. Ralph. *Phys. Rev. B* 78, 024409 (2008).
- [2] G. Finocchio, A. Prattella, G. Consolo, E. Martinez, A. Giordano, B. Azzaroni, *Phys. Rev. B*, submitted.