

SEGNALI CODIFICATI IN AMBITO SPINTRONICO: UTILIZZO DI SEGNALI A LARGA BANDA PER LA CARATTERIZZAZIONE E LA MANIPOLAZIONE DELL'EFFETTO SPIN-TRANSFER-TORQUE IN DISPOSITIVI MICROMAGNETICI

Pietro Burrascano¹, Marco Ricci¹, Mario Carpentieri², Giovanni Finocchio³

¹Dip Ingegneria, Polo Scientifico Didattico di Terni –Univ. degli Studi di Perugia - Strada di Pentima 4, Terni 05100

²Dip di Ingegneria Elettrica ed Informatica, Politecnico of Bari, via E. Orabona 4, I-70125 Bari

³Dip Electronic Engineering, Industrial Chemistry and Engineering, Univ of Messina, Messina

Parole chiave: RAM MagnetoResistive, Spin-Transfer-Torque, Broadband Spreading Sequences

Le memorie RAM MagnetoResistive (MRAM) sono uno dei candidati più promettenti per ottenere una memoria universale [1]. Una delle difficoltà maggiori dal punto di vista tecnologico è la possibilità di realizzare una MRAM basata sullo Spin-Transfer-Torque (STT-MRAM) che sia stabile termicamente, e caratterizzata dall'avere densità di corrente di scrittura compatibile con la tecnologia CMOS.

Per ridurre la corrente critica sono state avanzate in letteratura diverse proposte, basate su diverse strategie che coinvolgono strutture complesse [2], o architetture di memoria basate su switching risonanti [3], [4]. Il gruppo di Ricerca inter Ateneo, forte della collaborazione fra l'Unità di Perugia e la sede di Bari, l'Unità di Messina e l'Università di Salamanca, mediante analisi numerica “full-micromagnetic”, ha esteso lo studio della commutazione risonante al caso di segnali di eccitazione a banda larga quali sequenze di tipo noise-like (Broadband Spreading Sequences, BSS) o segnali RF modulati in ampiezza.

L'uso di tali segnali BSS mira a superare alcuni dei punti critici che si evidenziano nella tradizionale commutazione assistita tramite segnali a microonde, e che ostacolano l'utilizzo pratico delle STT-MRAM. L'efficienza di commutazione risonante è infatti basata sull'applicazione di un segnale alla frequenza di commutazione di risonanza: l'individuazione di tale valore appare critica così come la fase relativa tra fine della eccitazione RF e l'inizio dell'impulso DC di corrente. Inoltre le diverse celle di memoria, a causa della variabilità insita nel processo seguito per la loro realizzazione tecnologica, possiedono frequenze fra loro differenti, il che richiederebbe, per ciascuna cella, il pilotaggio con una diversa frequenza.

Queste limitazioni possono essere superate applicando un segnale a banda larga per il pilotaggio della commutazione, in quanto tale segnale, che possiede contenuti armonici significativi in un'ampia gamma di frequenze nell'intorno di quella nominale, è in grado di eccitare il modo principale delle diverse celle. Il vantaggio fondamentale associato all'utilizzo di tali eccitazioni è quindi nella possibilità di utilizzare lo stesso segnale per tutte le celle di memoria in una matrice, anche se i loro parametri fisici e geometrici presentano le piccole variazioni rispetto ai valori nominali, dovute al grado finito di controllo del processo tecnologico.

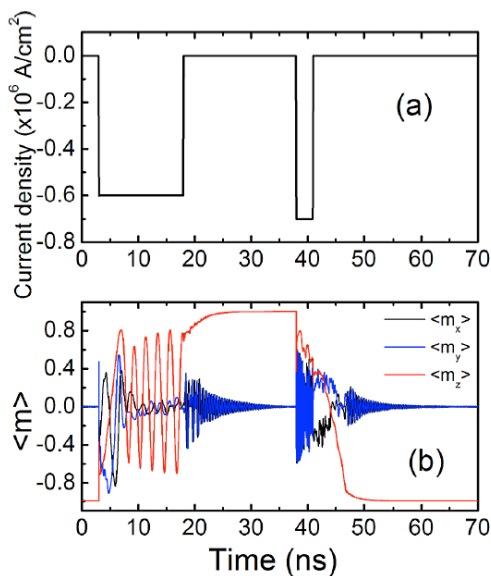


FIG. 1 (a) Applied current pulse. (b) Temporal evolution of the three components of the magnetization during a full switching process from P to AP and vice-versa when a magnetic field of 5.5 mT is applied along the positive z-direction.

La possibilità di controllare il processo di commutazione, per tutte le celle della matrice, per mezzo dello stesso segnale è una caratteristica fondamentale per un ampio sviluppo di questa classe di dispositivi.

Lo studio si è focalizzato fra l'altro su dispositivi con giunzioni a effetto tunnel magnetico (MTJ) con uno

strato ferromagnetico libero e un distanziale isolante realizzato da CoFeB e MgO, rispettivamente, che hanno caratteristiche ottime per realizzare Memorie Magnetiche Random Access basate sulla Torque Transfer Spin (STTMRAM). L'anisotropia perpendicolare interfacciale, derivante all'interfaccia tra lo strato libero CoFeB e quello MgO, ha permesso di ottenere notevoli proprietà di commutazione, quali la riduzione della densità di corrente di commutazione fino a 106 A/cm^2 . Tuttavia, le densità di corrente di inversione sono ancora troppo elevate; è quindi necessario considerare altri meccanismi di commutazione.

Molti studi sperimentali sono rivolti alla *magnetization reversal* assistita dalla anisotropia magnetocristallina controllata in tensione (VCMA) e, tra questi, uno studio molto interessante è stato quello di Wang et al. [18]. Tramite l'applicazione di un campo magnetico di polarizzazione H esterno, impulsi di tensione elettrica unipolari manipolano il campo coercitivo e l'anisotropia perpendicolare di uno strato libero MTJ, raggiungendo la magnetizzazione di commutazione attraverso una piccola densità di corrente (105 A/cm^2). Il primo impulso di tensione diminuisce l'anisotropia perpendicolare, favorendo l'inversione parallela (P) e antiparallela (AP) tramite STT. Il secondo induce una anisotropia perpendicolare molto debole, portando ad uno strato libero magnetizzazione nel piano; ma, la presenza di H esterno permette l'inversione AP – P.

Il comportamento di commutazione è caratterizzato da una configurazione di magnetizzazione fortemente non uniforme e, per questo motivo, non è possibile descriverla utilizzando un modello di tipo "macrospin". Di conseguenza, la commutazione assistita da un campo elettrico, studiato sperimentalmente, è stata descritta tramite un modello micromagnetico. Inoltre, rispetto al caso sperimentale, è stato dimostrato come l'intero processo di inversione della magnetizzazione può essere eseguito in un tempo di circa 50 ns, e, se si considera anche l'effetto termico a temperatura ambiente, in circa 100 ns (molto meno che nelle prove sperimentali). In questa prospettiva, i risultati ottenuti indicano che il meccanismo di commutazione assistito tramite campo elettrico può essere molto utile per le finalità generali e realizzabile da un punto di vista tecnologico.

Pubblicazioni

1. M. Ricci, P. Burrascano, M. Carpentieri, R. Tomasello, G. Finocchio: "Chirp spectroscopy applied to the characterization of Ferromagnetic resonance in Magnetic Tunnel Junctions," IEEE Trans. On Magnetics, 10.1109/TMAG.2014.2323269, in press (INTERMAG 2014)
2. M. Carpentieri, R. Tomasello, M. Ricci, P. Burrascano, G. Finocchio, "Micromagnetic study of electrical-field-assisted magnetization switching in MTJ devices", IEEE Trans. On Magnetics, 10.1109/TMAG.2014.2323269, in press (INTERMAG 2014)
3. M. Carpentieri, M. Ricci, P. Burrascano, L. Torres, G. Finocchio, "Noise-Like Sequences to Resonant Excite the Writing of a Universal Memory Based on Spin-Transfer-Torque MRAM", IEEE Transactions On Magnetics, Vol. 48 (9), pp. 2407-2414 (2012).
4. M. Carpentieri, M. Ricci, P. Burrascano, L. Torres, G. Finocchio, "Wideband microwave signal to trigger fast switching processes in magnetic tunnel junctions", J. Appl. Phys. 111, 07C909 (2012)
5. M. Carpentieri, M. Ricci, P. Burrascano, and L. Torres. "Spreading sequences for fast switching process in spin-valve nanopillars." Applied Physics Letters 98 (12), 122504 (2011).

Bibliografia

1. J. Akerman, "Toward a Universal Memory", Science vol. 308, p. 508 (2005).
2. G. Finocchio, O. Ozatay, L. Torres, M. Carpentieri, G. Consolo, B. Azzerboni, "Micromagnetic Modeling of Magnetization Reversal in Nano-Scale Point Contact Devices," IEEE Trans. Magn., vol. 43, pp. 2938-2940, 2007.
3. G. Finocchio, I. Krivorotov, M. Carpentieri, G. Consolo, B. Azzerboni, L. Torres, E. Martinez, L. Lopez-Diaz, "Magnetization dynamics driven by the combined action of ac magnetic field and dc spin-polarized current," J. Appl. Phys., vol. 99, pp. 08G507, 2006.
4. M. Carpentieri, G. Finocchio, B. Azzerboni, L. Torres, "Spin-transfer torque resonant switching and injection locking in the presence of a weak external microwave field for spin valves with perpendicular materials," Phys. Rev. B, vol. 82, pp. 094434, 2010.