

シンセティックフェリ MRAM 自由層における スピン注入磁化反転の計算機シミュレーション

沈杰*, 施敏捷*, 田中輝光*, 松山公秀*
(*九州大学大学院 システム情報科学府)

Numerical simulation on magnetization reversal in synthetic-ferrite MRAM free layer

J. Shen, M. Shi, T. Tanaka, K. Matsuyama

(Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University)

はじめに

微細加工したシンセティックフェリ膜(Sy-Ferri 膜)は、面直方向への磁性体堆積効果による記録磁化状態の熱安定性向上により、MRAM 自由層への応用に期待が持たれる¹⁾。また、漏洩磁界の少ない反平行磁化状態は、隣接記録セル間のクロストークの低減にも有効である。本研究では、Gbit 級スピントランスファートルク方式 MRAM(STT-MRAM)の記録ビットを想定した数 10nm サイズの Sy-Ferri 自由層のモデリングを行い、計算機シミュレーションにより磁化反転過程の詳細と、材料及び構造パラメータへの依存性について解析した。

シミュレーションモデル

Fig. 1(a)にシミュレーションで仮定した MRAM 記憶セルの構造を示す。記憶セルのパターン形状は長方形とし、各層の対角線方向を磁化容易軸とした ($K_u=4.3 \times 10^4 \text{ erg/cm}^3$)。薄膜パターンを 2 次元配列計算格子により要素分割し、スピントルク項、および有限温度計算のためランダム磁界項を導入した LLG 方程式の数値計算により、固定層(M)からのスピン注入による Sy-Ferri 自由層(M1, M2)の磁化反転過程についてシミュレーションを行った。

結果と考察

Fig. 1 (b) に示すように、M1 層と M2 層間の静磁気結合により磁化反転は反平行磁化状態を保持しつつ行われることが分かる。磁化反転に係わるスピントランスファートルクは、1) M1 層が受ける直接トルク、2) M2 層への透過トルク、M1 層への反射トルクである。透過トルクと反射トルクの効果は、相乗して磁化反転電流を 20%程度増大することが分かった。

種々の材料パラメータ、及び構造パラメータについてシミュレーションを行った結果、M2 層の磁化を M1 層より小さくすることにより効率的な磁化反転が実現できることが分かった。Fig.2 は、セル形状の面内アスペクト比を構造パラメータとして、20 回の試行に対する磁化反転確率の注入電流密度依存性を求めた結果である。自由層全体の磁気モーメントが補償するよう各層の磁化と膜厚を $M_{s,1}=1710 \text{ emu/sm}^3$, $d_1=1.25 \text{ nm}$, $M_{s,2}= 855 \text{ emu/sm}^3$, $d_2=2.5 \text{ nm}$ としている。Fig.3 に示されるように、磁化反転閾値電流 J_{th} は、温度上昇に伴い顕著に減少することから、スピン注入電流の昇温度を積極的に活用した書き込み電流低減の可能性が示唆される。

参考文献

1) K. Inomata et al., Appl. Phys. Lett., **81**, 312 (2002).

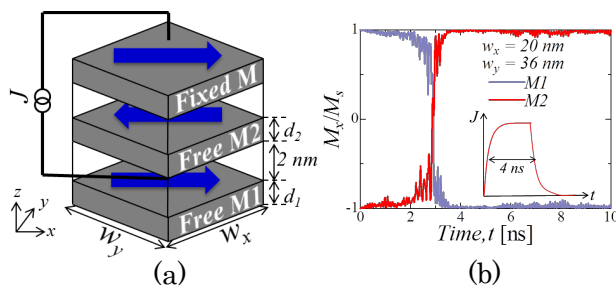


Fig.1. (a) Simulation model of synthetic-ferrite free layer, (b) Time transient of magnetization reversal process.

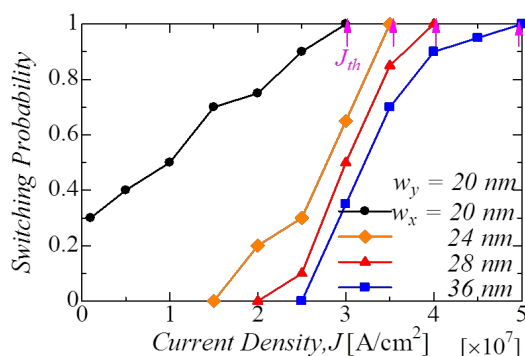


Fig. 2. Magnetization switching probability as a function of spin injection current density, taking the lateral aspect ratio as a parameter.

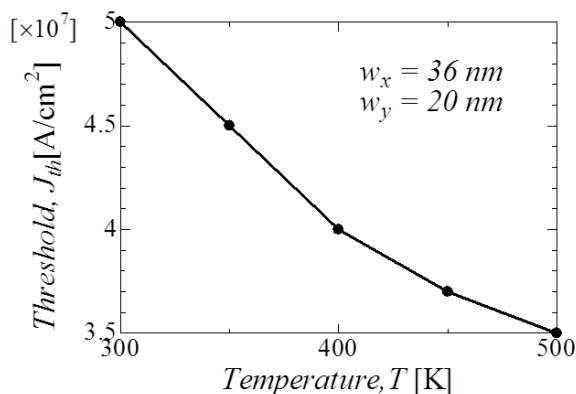


Fig. 3. Temperature dependence of the threshold current density for steady magnetization reversal.