

# マクロスピンモデルによる スピン注入磁化反転における反転電流の損失定数依存性

中村 慧、佐藤 知徳、山田 啓介、仲谷 栄伸  
(電気通信大学 情報理工学研究科)

Effect of the Gilbert Damping Constant on the Spin-Transfer Switching: a Macrospin Model Study  
S. Nakamura, T. Sato, K. Yamada, and Y. Nakatani  
(Graduate School of Informatics and Engineering, University of Electro-Communications)

## はじめに

スピン注入磁化反転を利用した不揮発性メモリ (SpinRAM) の実用化にあたり、現在、反転電流( $I_{sw}$ )の低減が求められている<sup>1</sup>。反転電流の低減には、損失定数( $\alpha$ )の低減が有効であると考えられている<sup>2</sup>。しかしながら、パルス幅( $t_p$ )と  $\alpha$  それぞれの変化に対して、反転電流の変化を調べた報告はない。本研究では、スピントルク磁化反転シミュレーションを行い、初めに  $\alpha$  とパルス幅( $t_p$ )に対する反転電流の変化について調べた。次に、パルス切断後の磁化の挙動による反転電流の変化を調べるため、パルス切断後の時間を放置時間( $t_e$ )と定義し、各放置時間における反転電流について調べた。

## 実験方法

本シミュレーションでは、マクロスピンモデルを用いた。SpinRAM の記録層は、直径 30 nm、膜厚 2 nm を想定し、体積  $V=11.22^3 \text{ nm}^3$  の垂直磁気異方性を持つ材料として計算した。材料定数は、飽和磁化  $M_s=600 \text{ emu/cm}^3$ 、垂直磁気異方性定数  $K_u=1.76 \times 10^6 \text{ erg/cm}^3$  を用いた。ここで  $K_u$  は、熱安定性指数  $\Delta=E/k_B T$  ( $T=300 \text{ K}$ )  $=60$  より求めた。また今回のシミュレーションでは、スピン分極率  $P=1.0$ 、外部磁界  $H_{ext}=0 \text{ Oe}$ 、初期角度  $\theta_0=0.182 \text{ rad}$ 、磁化反転基準角度  $\theta'=\pi - 0.43 \text{ rad}$  を用いた。

## 実験結果

Fig.1 に、 $t_e=0, t_p=1 \sim 1000 \text{ ns}$  における  $\alpha$  に対する反転電流のシミュレーション結果を示す。長いパルス幅の場合は、 $\alpha$  の減少に伴い反転電流が減少する。一方、短いパルス幅の場合は、ある  $\alpha$  から反転電流は変化しなくなる。この変化しなくなる反転電流は、パルス幅に反比例することがわかった。このパルス幅に反比例する項を今までに報告されている反転電流の式<sup>3</sup>に加えたものが式(1)である。

$$I_{sw} = e \cdot 2S / (g \cdot \hbar) [\alpha(-\gamma)(H_{ext} + H_c) + C1 / t_p] \quad (1)$$

$S$ : 記録層のスピン角運動量総和  
 $\gamma$ : 磁気回転比  $\hbar$ : ディラック定数  
 $g$ : spin transfer efficiency  
 $e$ : 電気素量  $H_c$ : 保磁力

Fig.1 に示すように、各パルス幅に対する式(1)の曲線は、実験値とよく一致した。

Fig.2 に、 $t_p=1 \text{ ns}, t_e=0, 5, 100 \text{ ns}$  における  $\alpha$  に対する反転電流のシミュレーション結果を示す。反転電流は、 $t_e$  を導入することで減少した。これは、パルス切断後では  $\theta'$  を満たしていない磁化が、 $t_e$  内で変化することで  $\theta'$  を満たすため、 $t_e=0$  の反転電流よりも小さい電流で磁化反転が起こるからである。Fig.2 に示した曲線は、 $t_e$  依存の項を反転電流の式に加えた式で、実験値とよく一致した。

## 参考文献

- 1) S. Mangin, *et al.*, Nature Mater., **5**, 210 (2006).
- 2) X. Zhu and J. -G. Zhu, IEEE. Trans. Magn., **43**, 6, 2349(2007).
- 3) H. Tomita, *et al.*, IEEE. Trans. Magn., **47**, 6, 1599-1602 (2011).

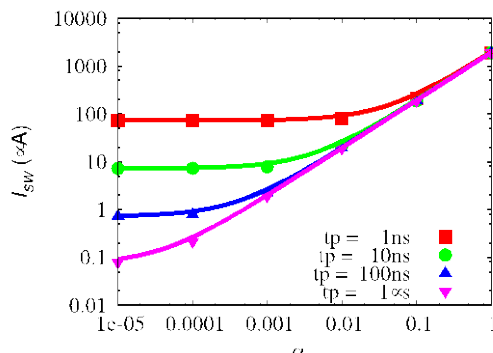


Fig.1 Effects of  $\alpha$  and  $t_p$  on  $I_{sw}$ .

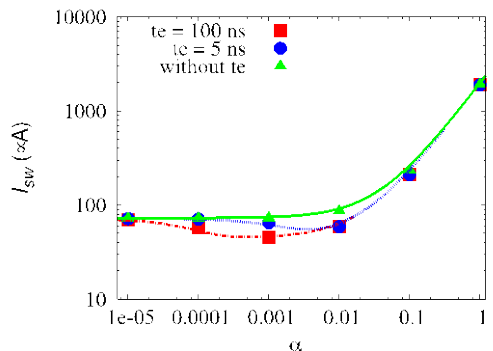


Fig.2 Effects of  $\alpha$  and  $t_e$  on  $I_{sw}$  at  $t_p=1 \text{ ns}$ .