

# マイクロマグネティックモデルによる 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 Micromagnetic 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

前の報告<sup>1</sup>では、マクロスピン(MS)モデルを用いて各パルス幅( $t_p$ )の損失定数( $\alpha$ )に対する反転電流( $I_{sw}$ )の変化を調べた。しかしながら、この結果が現実的なモデルであるマイクロマグネティック(MM)モデルにより成り立つかは明らかではない。本研究では、MMモデルを用いてスピン注入磁化反転シミュレーションを行い、初めにMMモデルにおいても各パルス幅( $t_p$ )の $\alpha$ に対する反転電流の変化は同様に成り立つかを調べた。次に、磁化構造の変化による反転電流の変化を調べるため、計算対象である SpinRAM の記録層の直径( $D$ )を変えて、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、MMモデルを用いた。SpinRAMの記録層は、直径30~480 nm、膜厚2 nm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  $M_s = 600 \text{ emu/cm}^3$ 、交換スティッフネス定数  $A = 1.0 \times 10^{-6} \text{ erg/cm}^3$  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、 $D = 30 \text{ nm}$ ,  $t_p = 1 \sim 5 \text{ ns}$  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。MMモデルを用いた場合でも、各パルス幅の  $\alpha$  に対する反転電流は、MSモデルと同様の振る舞いを示した。前の報告で示した式(1)における保磁力( $H_c$ )を反転磁界( $H_{sw}$ )に変更した式を Fig.1 に曲線で示す。この曲線は、各パルス幅の実験値とよく一致した。ただし、 $H_{sw}$  は  $t_p = 2.5 \text{ ns}$  の外部磁界磁化反転シミュレーションより得られた実験値  $5741 \text{ Oe}$  を用いている。

Fig.2 に、 $t_p = 1 \text{ ns}$ ,  $\alpha = 1 \times 10^{-5}$  における直径に対する反転電流のシミュレーション結果を示す。 $D = 30 \text{ nm}$  と  $D = 480 \text{ nm}$  では、 $I_{sw}$  が最大で約 30% 上がることがわかった。また、 $D \leq 60 \text{ nm}$  では磁化構造がほぼ一様に反転し、 $D > 60 \text{ nm}$  では磁化構造が非一様な状態で反転することをシミュレーションより確認した。直径を大きくすると、磁化構造の変化を伴って反転が起こるため、反転電流が増加することがわかった。この効果を表すために、磁化構造のばらつき具合を示すものとして、初期角度( $\theta_0$ )から反転基準角度( $\theta'$ )に向くまでの平均の磁化の大きさを  $\langle |m| \rangle$  と定義した。シミュレーションより得られた  $\langle |m| \rangle$  の項を加えた  $I_{sw}$  の式(1)'を下に示す。なお、 $C2 = 5.5$  である。

$$I_{sw} = e \cdot 2S / (g \cdot \hbar) [\alpha(-\gamma)(H_{ext} + H_{sw}) + (C1 + C2(1 - \langle |m| \rangle)) / t_p]$$

$$C1 = \ln |\tan(\theta' / 2) / \tan(\theta_0 / 2)| \cdots (1)'$$

Fig.2 の実線に示すように、式(1)'は実験値とよく一致した。

## 参考文献

1) 中村慧、佐藤知徳、山田啓介、仲谷栄伸：第38回日本磁気学会学術講演 (2014).

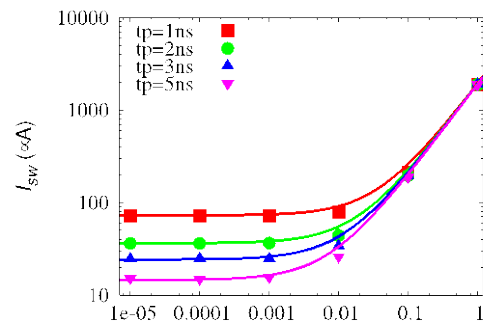


Fig.1 Effects of  $\alpha$  and  $t_p$  on  $I_{sw}$  at  $D = 30$

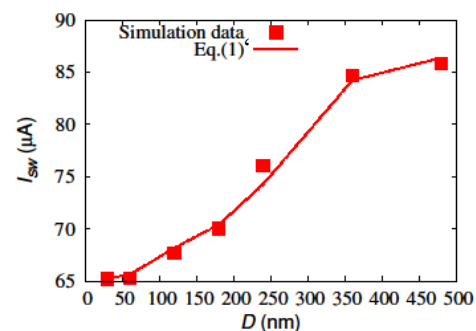


Fig.2 Effect of  $D$  on  $I_{sw}$  at  $t_p = 1 \text{ ns}$  and  $\alpha = 1 \times 10^{-5}$ .