

熱揺らぎを考慮した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

山田啓介、仲谷栄伸

電気通信大学 情報理工学研究所

Effect of the Gilbert damping constant on the switching current in the spin-transfer switching with the thermal fluctuation interaction

Keisuke Yamada, and Yoshinobu Nakatani,

Graduate School of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications,

はじめに

近年、スピン注入磁化反転を利用した不揮発性磁気メモリの研究開発が盛んに行われている[1-5]。デバイスへの実用化に向けて、スピン注入磁化反転における反転電流(I_{sw})の低減が求められている。これまで反転電流の低減には、損失定数(α)の低減が有効であると考えられてきたが、以前我々は、マクロスピンモデルを用いてスピントルク注入磁化反転シミュレーションを行い、数 ns のパルス幅を持つパルス電流においては、損失定数がある閾値以下では、反転電流が低下しなくなることを示した[6]。この報告では、磁化反転が温度によって影響を受ける効果である“磁化の熱揺らぎ効果”を考慮した計算は行っていなかった。スピン注入磁化反転を利用した現実のデバイスは、有限温度で動作させるために、熱揺らぎの考慮が必要である。今回我々は、室温における熱揺らぎを考慮した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について、マクロスピンモデルにより調べた。さらに、それぞれの損失定数における反転電流に対する磁化反転確率の変化を調べ、熱揺らぎ効果による反転中の磁化の挙動について調べた。

実験方法

本計算では、マクロスピンモデルを用い、LLG 方程式の実効磁界に熱揺らぎ項($T = 300$ K)を加えて計算した[7]。反転シミュレーションで用いた磁化の初期磁化状態は、熱平衡状態の計算より求めた。反転確率を求める計算では、各点で 10 万回の計算を行い、確率を求めた。計算条件と材料定数は、[6]と同様にした。

実験結果

図 1 に、各パルス幅($t_p = 1, 10, 100$ ns)における反転電流の損失定数依存性について、 $T = 0$ K(点線)と 300 K(実線：反転確率=0.5 の電流値)の結果を示す。 $T = 300$ K の計算においても $T = 0$ K の計算と同様に、数または数十 ns のパルス幅を持つパルス電流において、反転電流の低減がある損失定数の閾値より起こらなくなることが明らかになった。また熱揺らぎにより、 $T = 0$ K の計算より一割ほど反転電流が小さくなることわかった。

図 2 に、各損失定数における反転電流に対する磁化反転確率の変化を示す($t_p = 1$ ns & $T = 300$ K)。図 2 では、反転電流(I/I_{sw})は、反転確率=0.5 の反転電流値(I_{sw})で規格化した値を用いた。図 2 より、 $I/I_{sw} > 1$ では反転確率の変化は損失定数にあまり依存しないが、 $I/I_{sw} < 1$ では損失定数に依存して反転確率が変化することがわかった。 $\alpha \leq 0.1$ の場合、損失定数の減少に伴い、反転確率が急激に変化することがわかった。この結果は、損失定数が小さいほど、熱揺らぎ効果による磁化反転中における磁化振動が減少することを示している。

本研究は NEDO により助成を受けて行われた。

参考文献

[1] J. Z. Sun, *Phys. Rev. B*, **62**, 570 (2000). [2] J. A. Katine, *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **84**, 3149 (2000). [3] J. Miltat, *et al.*, *J. Appl. Phys.*, **89**, 6982 (2001). [4] S. Mangin, *et al.*, *Nature Mater.* **5**, 210 (2006). [5] H. Tomita, *et al.*, *IEEE. Trans. Magn.*, **47**, 6, 1599-1602 (2011). [6] K. Yamada, *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **106**, 042402 (2015). [7] Y. Nakatani, *et al.*, *J. Magn. Mater.* **168**, 347 (1996).

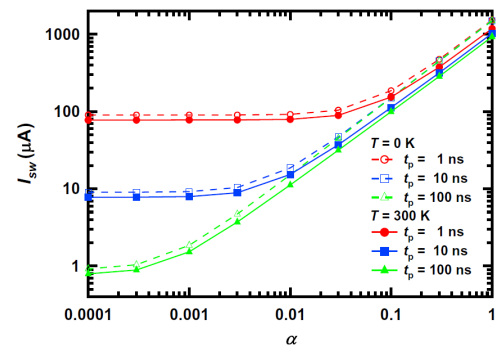


Fig.1 Effects of α and t_p on I_{sw} at $T=0, 300$ K.

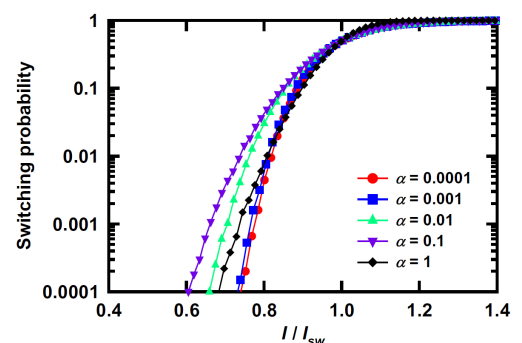


Fig.2 Effects of I/I_{sw} on the switching probability at $t_p = 1$ ns and $T = 300$ K.