

微細素子における AFC 構造効果のシミュレーション

木村大貴、仲谷栄伸

電気通信大学、情報理工学研究科

Computer simulation of AFC effect for small MTJ

Hiroki Kimura, Yoshinobu Nakatani

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

はじめに

スピントルクにより磁化反転 [1] を行う STT-MRAM[2] は、高密度化のために記録素子の微細化、及び反転電流密度の低減が必要とされている。近年、自由層の膜厚を厚くすることで体積の増加、及び形状異方性を利用して、熱安定性を確保しながらも素子を微細化可能であることが示された [3]。しかし、この手法では高速動作に向けて反転電流密度の低減が課題となっている。以前我々は、直径 $d = 30$ nm、膜厚 $h = 2$ nm の自由層に対し、反強磁性交換結合 (AFC) 構造を用いることにより、反転電流密度を低減可能であることを示した [4]。本研究では、以前の研究で用いた形状よりも自由層の直径を小さくし、膜厚を様々に変化させた形状を考え、AFC 構造による反転電流密度の低減効果の有無を調査した。

計算条件

材料定数は CoFeB の値を用い、飽和磁化 $M_s = 600$ emu/cm³、交換スティッフネス定数 $A = 1.0 \times 10^{-6}$ erg/cm、スピン分極率 $P = 1.0$ 、磁気回転比 $\gamma = 1.76 \times 10^7$ rad/(Oe·s) とした。また、スピン電流のパルス幅 $t_p = 1.0$ ns、直径 $d = 10$ nm、上層の膜厚 h_1 は 2 ~ 16 nm と変化させ、下層の膜厚 h_2 は上層との比率より定めた。今回は $h_2/h_1 = 0$ (単層構造: SL), $1/4$ となる形状を考えた。またこのとき、異方性定数 K_u は熱安定性指数 $\Delta = 60$ となるように定めた。以上の条件より、磁化反転シミュレーションを行い、反転電流密度 j_{sw} を調べた。

結果

まず、直径 $d = 10$ nm における各膜厚による熱安定性指数 $\Delta = 60$ となる異方性定数 K_u を図 1 に示す。以前の計算で用いた形状における熱安定性指数 $\Delta = 60$ となる異方性定数は 3.48 Merg/cm³ であった。そのため、 $d = 10$ nm, $h_1 \geq 10$ nm においては、以前の計算で用いた形状よりも小さい異方性定数で良いことが確認できた。次に、得られた異方性定数を用いて、シミュレーションにより反転電流密度 j_{sw} を求めた。結果を図 2 に示す。図より、膜厚 h_1 が大きくなると体積が増えるため、反転電流密度 j_{sw} が大きくなることが確認できた。ただし、損失定数 α を小さくすることにより、AFC 構造によって反転電流密度 j_{sw} を低減可能であることがわかった。また、以前の研究において示された程度の反転電流密度の低減率が得られていることも確認できた。よって、微細素子に対しても AFC 構造による反転電流密度の低減効果を得られることがわかった。

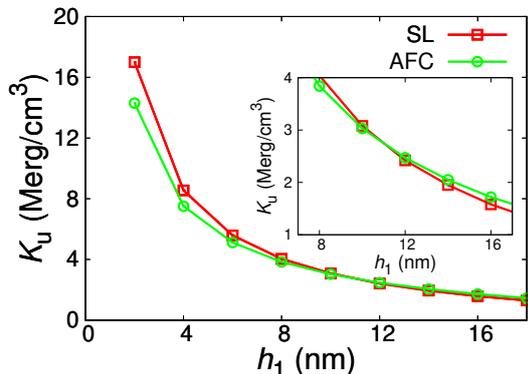


Fig. 1 Effect of h_1 on K_u for $\Delta = 60$

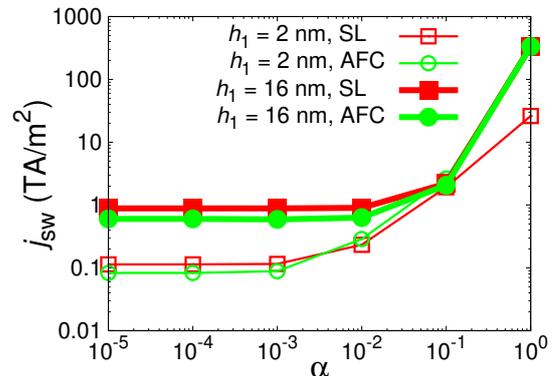


Fig. 2 Effect of α on j_{sw}

参考文献

- [1] J. C. Slonczewski, *J. of Magn. Magn. Mater.*, **159**, 1 (1996).
- [2] L. Thomas, *et al.*, IEEE International Electron Device Meeting pp. 27.3, 1-4 (2018).
- [3] K. Watanabe, *et al.*, Nat. Commun., **9**, pp. 5–10, (2018).
- [4] K. Yamada, *et al.*, J. Appl. Phys., **127**, 133906 (2020).