

傾斜電界による磁壁移動のシミュレーション解析

村山 創、山田 啓介、仲谷 栄伸
電気通信大学、情報理工学研究科

Analysis of the domain wall motion induced by the slope electric field

Soh Murayama, Keisuke Yamada, and Yoshinobu Nakatani

Graduate school of Informatics and Engineering, University of Electro-Communications

はじめに

現在、磁壁駆動型デバイスは、省電力化を担う磁気記録装置として注目されている[1]。磁壁駆動型デバイスでは、磁壁の制御に外部磁界を用いる手法やスピン偏極電流を注入する手法が用いられている。しかしながらこれらの手法は、磁壁駆動のための閾電力が多く、その低減が課題となっている。近年、閾電力を低減する新たな手法として、電界による磁壁駆動方式が提唱されている[2, 3]。しかし、これらの研究では、電界だけではなく磁界も加えて磁壁の駆動を行っている。昨年我々は、傾斜電界により、電界のみで磁壁を移動させる手法を提案した[4]。この手法では、傾斜電界により磁性細線中の異方性磁界が場所ごとに変化するため [5, 6]、場所による磁壁エネルギーの差が生じ、この磁壁エネルギーの差から磁壁移動が起きると考えられる[7]。本研究では、この現象を理解するため、傾斜電界の解析モデルを作成し、シミュレーション結果との比較を行った。

実験結果

解析モデルは、外部磁界(H_e)と、ある位置(r)における磁壁エネルギーの変化($\partial\sigma/\partial r$)より磁壁に加わる圧力の式 [7] : $F(r) = 2M_s H_e - \partial\sigma/\partial r$ を用いた (M_s : 飽和磁化、 σ : 磁壁エネルギー、 $\sigma = 4\sqrt{AK_u}$ 、 A : 交換ステイフネス定数、 K_u : 磁気異方性)。外部磁界と磁壁エネルギーの変化が等しいと仮定し求めた実効磁界は、 $H_e = (\partial\sigma/\partial r)/2M_s$ で表される。本モデルにおいて、 $\partial\sigma/\partial r$ は傾斜電界より変化した磁壁エネルギーを用いる。また、シミュレーションで用いている磁性細線の膜厚は有限(3.9 nm)のため、反磁界(H^D)の影響を考慮した実効磁気異方性(K_u^{EFF})を用いた ($K_u^{EFF} = K_u - H^D M_s/2$)。反磁界 H^D は数値的に導出した値を使用した。これら全てを用いて、傾斜電界を磁界換算する解析式を式(1)に示す。

$$H_e = \frac{2\sqrt{A}}{M_s} \left(\frac{\sqrt{K_u - H^D M_s/2} - \sqrt{(K_u - \Delta K_u + r) - H^D M_s/2}}{r} \right), \quad (1)$$

この傾斜電界の磁界換算による磁壁移動速度を $V_{ext} = \gamma \Delta H_e / \alpha$ より算出した(ここで、 γ : 磁気回転比、 Δ : 磁壁幅パラメータ、 α : 損失定数)。図1の V_E と V_H は、シミュレーションで求めた傾斜電界と外部磁界 (H_{ext}) による磁壁移動速度の変化を表す。 V_{est} と V_E の比較より、計算結果と解析式がよく一致していることが確認された。また、傾斜電界 $\Delta K_u = 1.7 \text{ Gerg/cm}^4$ での速度は、磁界の磁壁移動速度での1.8 Oe相当であった。 V_{est} と V_H の比較より、磁壁の移動度が、それぞれ一致していることが分かった。しかし、傾斜電界から求め換算した磁界(=1.8 Oe)とシミュレーションから求めた磁界(=2.5 Oe)では、それぞれのWalker fieldが一致しないことも分かった。この不一致は今後の研究課題である。

参考文献

- [1] S. S. P. Parkin, et. al., Science 320, 190 (2008).
 [2] A. J. schellekens, et. al., Nat. Commun. 3, 848 (2011).
 [3] D. Chiba, et. al., Nat. Commun. 3, 888 (2012).
 [4] 村山 創、仲谷栄伸他、日本磁気学会第38回学術講演会
 [5] M. Weisheit, et. al., Science 315, 349 (2007).
 [6] D. Chiba, et. al., Appl. Phys. Lett. 96, 192506 (2010).
 [7] T. Shiraori, et. al., J. Magn. Soc. Jpn 22, pp.47-50 (1998).

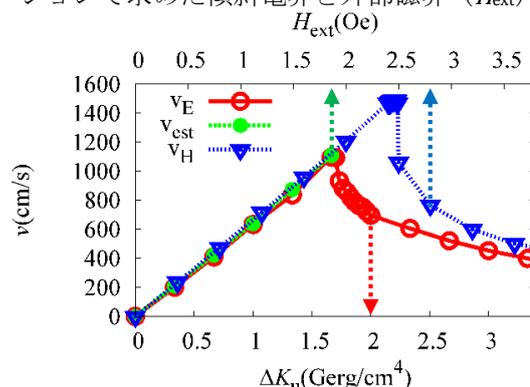


Fig 1 Comparison with analysis (V_{est}), the simulation results by the slope electric field (V_E) and by the magnetic field (V_H)