

電圧駆動 MRAM の反転電圧における 形状磁気異方性の効果に関する シミュレーション研究

SATテクノロジー・ショーケース2025

■ はじめに

現在製品開発されているMRAM (Magnetoresistive Random Access Memory) は電流制御によって情報の書き込みが行われるため、既存の揮発性メモリと比較して書き込み電力が大きいという問題を抱えている。この問題を克服するために、電圧制御で書き込みを行う電圧駆動MRAM (Voltage-controlled MRAM) が研究されている。VC-MRAMではパルス電圧印加によって記憶層の磁気異方性を小さくすることで磁化を反転させ情報の書き込みを行う。従来の研究では磁化反転が起こる有効磁気異方性ゼロの条件は、無限薄膜における結晶磁気異方性と形状磁気異方性の釣り合いから求められ、反転電圧は素子サイズに依存しないと仮定されてきた。しかし、素子の直径が小さくなると形状磁気異方性のサイズ依存性が重要になるのではないかと考えられる。本研究ではマクロスピンシミュレーションを用いて素子の直径(d)と異方性定数(K)の関係を調べたのでその結果について報告する。

■ 活動内容

1. マクロスピンシミュレーション

想定した素子は、記憶層を円板形状とし、膜厚を 2nm、飽和磁化 M_s を1 MA/m、ダンピング定数 α を0.01とし、外部磁場 H_{ext} 400 Oeを素子面内(y軸方向)に印加すると仮定した[1]。また、素子面直(z軸方向)に異方性磁場 $Km_z/\mu_0 M_s$ 、および x 、 y 、 z 方向に反磁場 $-M_s(N_x m_x, N_y m_y, N_z m_z)$ を考慮した。反磁場係数 N_x 、 N_y 、 N_z は素子サイズ(直径 d)に依存する[2]。電圧を印加していない場合は $K = 2 \text{ MJ/m}^3$ とした。

以上の条件でマクロスピンシミュレーションを行った。電圧が印加されたと想定して K の値を小さくして磁化ダイナミクスの計算をし、磁化反転が起こる最大の K (K_{max}^{sim})を求めた。 K を求める一連の流れを素子の直径を変更して行い、 K_{max}^{sim} の d 依存性を調べた。

2. エネルギー保存による反転電圧の見積もり

$d=40 \text{ nm}$ で $K = K_{max}^{sim}$ におけるエネルギーの等高線図と反転時の軌道を作成すると、Fig.1のようになった。磁化反転する際には、 $m_z = 1$ である初期磁化方向地点から $m_y = 1$ である鞍点を越える必要があり、それぞれの地点におけるエネルギーを E_0 、 E_1 とすると、 $E_0 > E_1$ でなければならない。

$$E_0 = \frac{1}{2} \mu_0 M_s^2 N_z m_z^2 \quad (1)$$

$$E_1 = K - \mu_0 M_s H_{ext} + \frac{1}{2} \mu_0 M_s^2 \frac{N_z - 1}{2} \quad (2)$$

であるため、この二式を用いて反転する K の上限 K_{max} を求めると、

$$K = \frac{1}{4} \mu_0 M_s^2 (3N_z - 1) + \mu_0 M_s H_{ext} \quad (3)$$

となる。この式より、 K_{max} の d 依存性について調べた。

3. 結果

K_{max}^{sim} および K_{max} の d 依存性の計算結果をFig.2に示す。素子の直径が小さくなるにつれて K の大きさは小さくなることがわかった。また、二つの結果はよく一致したため、シミュレーションの結果は式(3)により精度良く求めることができた。

■ 参考文献

- 1) R. Matsumoto, S. Yuasa, and H. Imamura, Phys. Rev. Appl. **18**, 054069 (2022).
- 2) M Beleggia, et al., J. Phys. D: Appl. Phys. **38**, 3333-3342 (2005)

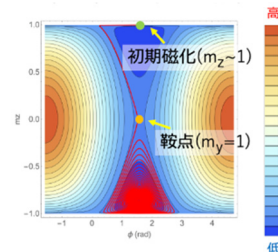


Fig.1 40 nm の時の反転軌道とエネルギー等高線。初期磁化方向から鞍点をとって反転する。

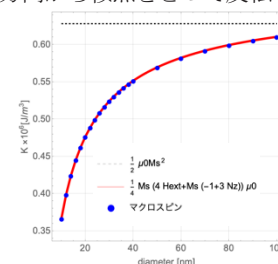


Fig.2 磁化反転する K の直接依存性

代表発表者 宮崎 柊弥(みやざき しゅうや)
所 属 千葉工業大学
産総研 新原理コンピューティング研究センター
問合せ先 〒305-8568 茨城県つくば市梅園 1-1-1
中央事業所 2 郡
TEL:029-861-5022

■キーワード: (1) MRAM
(2) シミュレーション
(3) 磁化ダイナミクス
■共同研究者: 荒井礼子, 産総研
今村裕志, 産総研
安川雪子, 千葉工業大学