

LLG マイクロマグネティクスシミュレーションによる 単一 FeCuPt ナノ磁性微粒子における保磁力の温度依存性

Temperature dependence on coercivity in the single FeCuPt nano particle by LLG micromagnetics simulation

○川添英臣¹, 塚本新²Hideomi Kawazoe¹, Arata Tsukamoto²

Abstract: It is necessary for magnetic recording to increase recording density. Magnetic recording density can become higher by realizing Bit Patterned Media (BPM) for thermally assisted magnetic recording (TAMR). We have focused on BPM made of FeCuPt, which has high magnetic anisotropy. The particle size and temperature of BPM affect the coercivity H_c . The coercivity H_c greatly depends on the particle size and temperature of BPM. We study magnetization reversal of FeCuPt particles depending on the particle size and temperature with three-dimensional micromagnetic simulations by Landau-Lifshitz-Gilbert (LLG) equation.

1. 研究背景

現在, 半永久的な不揮発性メモリである磁気記録媒体に求められる記録容量が増加しており, より一層の高記録密度の磁気記録媒体が求められている. これまで我々は数 T bit / inch² を超える記録密度を実現する媒体構造として, 一粒子に 1bit を記録するビットパターンドメディア (BPM: bit patterned media) という新たな媒体構造に着目してきた. BPM は高い垂直磁気異方性 K_u を持つ孤立微粒子を作製, 規則配列させることで実現可能となる. しかし, BPM に用いるための数ナノメートルという極めて小さな直径の磁気記録微粒子を作製するためには, 長期間記録情報を保持するために必要な熱ゆらぎに対する検討を行う必要がある. 従来の磁気記録媒体においては高い磁気異方性を持つ FePt, FeCuPt といった高保磁力媒体を用いることでこの熱ゆらぎへの対策を講じてきた.

ただし, 保磁力の高い媒体の磁化を反転させるにはより高い磁場を必要とし, 現行の磁気ヘッドで発生可能な磁場は十分ではない. これに対し, 記録時に熱エネルギーを与えることで保磁力を小さくし, 磁場で記録を行う熱アシスト磁気記録 (TAMR: Thermally Assisted Magnetic Recording) が提案されている. TAMR を検討する際には, 大きさや構造の変化に応じた磁気異方性 K_u や保磁力 H_c といった磁化特性の変化を検討し, 同時に温度が媒体の持つ磁気的なエネルギーにどの程度の寄与を生じるのか解明しなければならない. 本研究では, 実験的には困難な基板の上に作製した一つのナノスケール磁性微粒子に対し, 磁化の運動方程式である LLG 方程式を用いた LLG Micromagnetics Simulator を用いて各粒子直径, 各温度での保磁力に対し検討を行った.

2. LLG シミュレーションを用いた粒子直径, 温度変化における保磁力検討

BPM 媒体に用いる磁性微粒子を想定し, 各粒子直径, 温度変化に応じた磁化特性への寄与についてシミュレーション実験により検討する. 計算領域のモデルを Fig.1 に示す. この計算領域の中心に FeCuPt 磁性粒子を配置, 周囲には静磁場の影響を考慮し, 10 [nm] 間隔で真空の領域を設定した. FeCuPt は $L1_0$ 構造かつ c 軸の面直配向を有することから, 高い磁気異方性 K_u を持ち, BPM 媒体に用いる磁性微粒子の候補材料として有力である.

Fig. 2 に 300 [K] における実測値より媒体定数として, 飽和磁化 M_s : 850 [emu / cm³] ^[1], 磁気異方性定数 K_u : 1.9×10^7 [erg / cm³] ^[2], 交換スティフネス A : 0.4 [μ erg / cm³] ^[3] を設定し, 近似曲線を算出した. また, キュリー温度 570 [K] と定義し, 各媒体定数が温度による変化率を持つとした. 印加磁場は磁化反転が確認できる最大 ±20 [T] まで Z 軸方向に印加する. 本検討では, これらの条件より磁性粒子 4~80 [nm] において保磁力 H_c について着目し比較, 検討を行う.

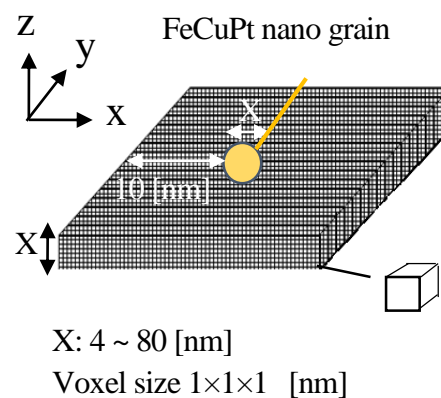


Fig. 1 computational domain.

1: 日大理工・院(前), 2: 日大理工・教員・電子

3. 粒子直径変化時における各温度の保磁力

Fig. 3 に FeCuPt 磁性微粒子における粒子直径, 種々の温度における保磁力 H_c を示す. 粒子直径を 4~80 [nm] の範囲において, 磁性粒子に与える温度を 300~540 [K] の範囲で実験を行った. この範囲における保磁力 H_c の変化を示す. いずれの温度領域においても粒子直径の減少に応じて保磁力が増大する傾向が確認された. 300, 400, 500 [K] における磁性粒子の保磁力は減少傾向であるものの, 540 [K] のキュリー温度付近における極めて高温の領域においては 20 [nm] 以下の粒子においては保磁力の増加がみられた.

4. 温度変化における各粒子直径時の保磁力

Fig. 4 に温度変化時における各粒子直径における保磁力変化を示す. 300~500 [K] 近傍までは温度上昇に伴い磁性粒子の保磁力は減少していることを同様に示している. また, 急峻に変化する領域が, 540 [K] 時のキュリー一点付近であり, 粒子直径が 20 [nm] 以下の微小なスケールにおける粒子の保磁力は著しく上昇した. 保磁力増大の要因として, キュリー一点近傍における高温域において磁性粒子のもつ飽和磁化 M_s , 磁気異方性 K_u , スティフネス A といったエネルギー量が大きく減少した領域に関して, それぞれの寄与率の変化によって考えられる. 一般的に, 保磁力は (1) 式のように議論され, 式より

$$H_c = \frac{2K_{eff}}{M_s} \quad (1)$$

K_{eff} の減少率よりも M_s の減少率が大きい領域では, H_c は増大すると考えられる. 今回さらに数値シミュレーション検討を必要とする反磁界の影響を顕著に示す粒子径依存性による寄与を考慮し検討を行った. 20 [nm] 以下の極めて微小な粒子媒体において, 高い温度によるエネルギーが与えられ, M_s , K_u のエネルギーの寄与が変化することで保磁力が増大する場合が生じる事を示している. これは熱アシスト磁気記録媒体といった磁性粒子の温度変化を利用する際に, 微小なナノスケールの粒子が持つ磁気的なエネルギー量の寄与の変化が磁化反転機構に関して重要な要因になり得ることが以上の結果から示唆される.

5. まとめ

ナノスケールの FeCuPt 磁性微粒子における, 粒子直径, 温度変化時の保磁力の変化についてシミュレーションを行った. 結果, 高温時に移行すると同時に全体的な保磁力は減少したが, 540 [K] のキュリー一点近傍の高温領域かつ粒子直径 20 [nm] 以下の記録微粒子においては保磁力が増大する場合が存在することを示した.

謝辞

本研究の一部は, 情報ストレージ研究推進機構の助成により行ったものである.

参考文献

- [1] J. Tsukioka, T. Ubana, A. Tsukamoto, and A. Itoh: *J. Magn. Soc. Jpn.*, 38, 143-146 (2014).
- [2] 緒方祐史, 今井康晴, 中川茂樹: 信学技報, vol. 109, no. 132, MR2009-13, pp. 1-5, 2009 年 7 月.
- [3] D.C. Berry, J. Kim, K. Barmak, K. Wierman, E.B. Svedberg, J.K. Howard: *Scripta Materialia* 53 (2005) 423-428

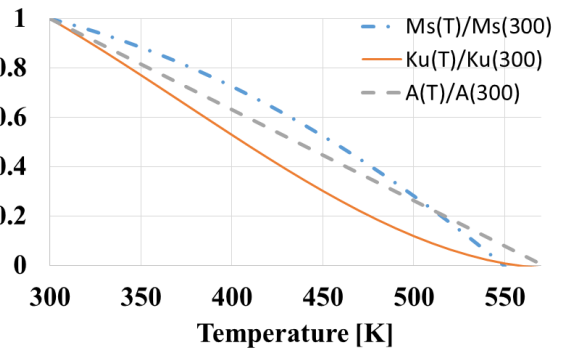


Fig. 2 Temperature dependence of FeCuPt's material parameter.

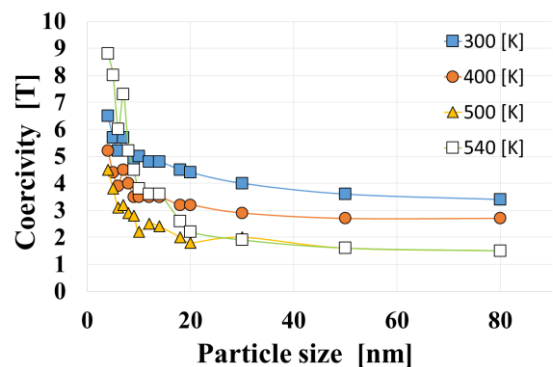


Fig. 3 Calculated result of Coercivity change with particle size.

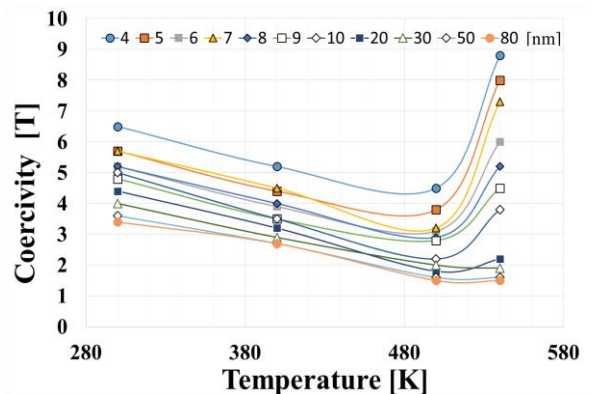


Fig. 4 Calculated result of coercivity change with temperature.