

異なる磁化容易軸を有する $L1_0$ -FePt 粒子集団分布と合成磁化曲線形状の相関検討Correlation between easy-axis distribution of $L1_0$ -FePt grains and their statistic magnetization curve○鴫優一¹, 三吉啓介¹, 塚本新²*Yuichi Toki¹, Keisuke Miyoshi, Arata Tsukamoto²

Abstract: In order to improve the areal density of the magnetic recording media, we pay our attention to bit patterned media (BPM). For realization of BPM, $L1_0$ -FePt is a material having a large perpendicular magnetic anisotropy K_u and attracts attention as a material excellent in thermal stability for long-term record keeping at room temperature. $L1_0$ -FePt is characterized by high coercivity due to c-axis orientation. The magnetization curve shape obtained by actual measurement is a combination of magnetization curves of isolated nano particles having various magnetic properties. In this study, we researched analysis of the synthetic magnetization curve of $L1_0$ -FePt having various easy axis directions was analyzed by computer simulation.

1. はじめに

近年の情報化社会では磁気記録媒体はデータ保存において重要な役割を担っており、現行媒体の記録密度を大幅に超えるためには、記録ビット面積を微細化すること、及び室温下における長期間記録保持のために熱安定性に優れた材料が求められる。熱安定性の向上には高い垂直磁気異方性 K_u を持つ材料である $L1_0$ -FePt が注目されている。この材料は超常磁性臨界経が小さく微細化に適しており、1つの磁性粒子毎に 1 bit として情報を記録するビットパターンドメディア (Bit Patterned Media: BPM) へ用いることで、記録密度の飛躍的上昇が期待されている。熱酸化 Si 基板に Fe/Pt 薄膜を成膜し急速昇降温熱処理 (Rapid Thermal Annealing: RTA, Rapid Cooling Process: RCP) を行うことで $L1_0$ -FePt 規則合金及び孤立微粒子群が形成可能であることを我々は報告している^{[1][2]}。RTA 法を施すことにより $L1_0$ 孤立微粒子化及び膜面垂直方向 $\langle 001 \rangle$ 優先配向化する傾向があるが、熱処理条件や組成によって、磁化容易軸に様々な分布を持った微粒子群が確認される^[3]。特に媒体を構成する全ての磁性微粒子が膜面垂直方向へ高い保磁力 H_c を発現するためには $L1_0$ -FePt の磁化容易軸である $\langle 001 \rangle$ 配向化が重要になり、その評価法が極めて重要である。実際の磁化特性計測により得られる磁化曲線形状は、様々な磁気特性を有する独立した微粒子集団の磁化曲線を合成したものであり、測定結果から各粒子の磁化容易軸分散を推定することは困難である。本研究はナノサイズの微小な粒子に対する解析法として計算機シミュレーションが有用であると考え、 $L1_0$ -FePt における①単一粒子内の磁化容易軸における磁化特性評価 ②微粒子集団内に複数方向の成分が混在した場合の合成磁化特性の検討を行ったので報告する。

2. 磁化反転シミュレーション条件及び合成磁化曲線計算法

単一磁性微粒子の磁化反転境界を計算機実験により求めるため、マイクロマグネティクスシミュレーションで用いた $L1_0$ -FePt 粒子モデルを Fig. 1 に示す。計算領域中心に RTA 法で作製された球体磁性粒子を想定し、その直径を 10 nm とした。ボクセルサイズを $1 \times 1 \times 1$ nm とし、中心領域に粒子を配置した。また、粒子によって生じる静磁場を考慮し粒子四方に 10 nm の真空領域を設定した。印加磁界 H は $\pm Z$ 軸方向に 400 kOe, $\pm Y$ 軸方向に 100 Oe とした。 $L1_0$ -FePt の媒体定数は、結晶磁気異方性エネルギー $K_u = 7.0 \times 10^7$ erg/cm³, 飽和磁化 $M_s = 1140$ emu/cm³, 交換スティフネス定数 $A = 1.13 \times 10^6$ erg/cm と設定した^{[4][5]}。①単一粒子における磁化特性検討には Model 1 と Model 2 を使用した。磁化容易軸は Model 1 においては $\langle 001 \rangle$ 方向と $\langle 111 \rangle$ 方向を、Model 2 は上半分を $\langle 001 \rangle$ 方向, 下半分を $\langle 111 \rangle$ 方向を設定した。②複数方向成分が混在した合成磁化特性の検討には Model 1 を使用し、磁化容易軸は $\langle 001 \rangle$ 方向, $\langle 111 \rangle$ 方向, $\langle 110 \rangle$ 方向とし、計算結果の磁化成分を合計 10 割になるよう割合計算することで、独立する粒子の磁化容易軸分布に対応した合成磁化特性を求めた。

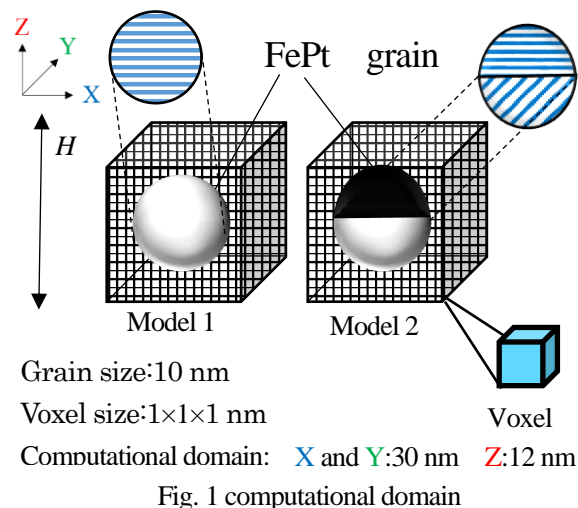


Fig. 1 computational domain

1: 日大理工・院 (前)・電子, 2: 日大理工・教員・電子

3. 単一粒子磁化反転特性の磁化容易軸依存性

<001>方向, <111>方向に完全配向した $L1_0$ -FePt ナノ磁性微粒子と, Model2 の上部が<001>方向, 下部が<111>方向に配向した粒子モデルの計算結果を Fig. 2 に示す. 完全<001>配向成分が高 H_c を発現し, 完全<111>配向することで H_c が半分程度まで減少した. <001>配向の粒子に<111>配向領域を付与すると, H_c は完全<111>配向の場合と同程度まで減少するが, 残留磁化比の減少が完全<111>配向時よりも低減されることが計算結果より考えられる.

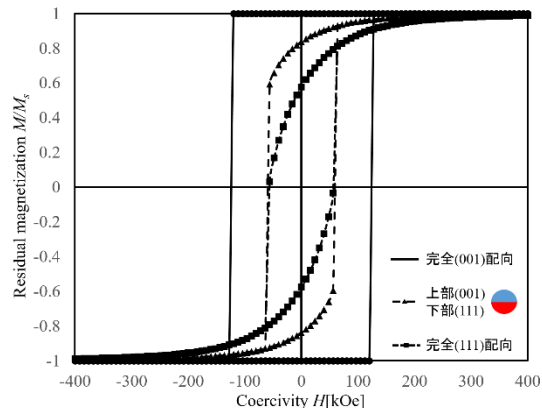


Fig. 2 Magnetization characteristics of $L1_0$ -FePt by various crystal orientations.

4. 磁化容易軸に分布を有する粒子集団の合成磁化特性の検討

$L1_0$ -FePt ナノ磁性微粒子における各方向成分の分布による, 合成磁化曲線の計算結果を Fig. 3 に示す. Fig. 3-A に示す特性では, 一斉に反転を行う<001>方向成分の反転と滑らかに反転を行う<111>方向成分の反転が行われており, 2 段階に別れて反転していることが確認でき, 磁化反転するためには, <001>方向成分由来の高磁界が必要であると考えられる. Fig. 3-B では, 滑らかな反転を行い 2 段階反転を行っていた<111>成分とは異なり, <110>成分に由来し, 磁場に対する直線的応答成分が確認された. Fig. 3-C では, <001>方向成分が存在しないため滑らかな磁化反転のみが行われ, H_c の開きが狭い磁化曲線形状となった. 以上の結果より $L1_0$ -FePt 粒子集団の合成磁化曲線形状は, 独立する粒子の磁化容易軸方向の分布割合により特徴的な形状変化が出現することを示した.

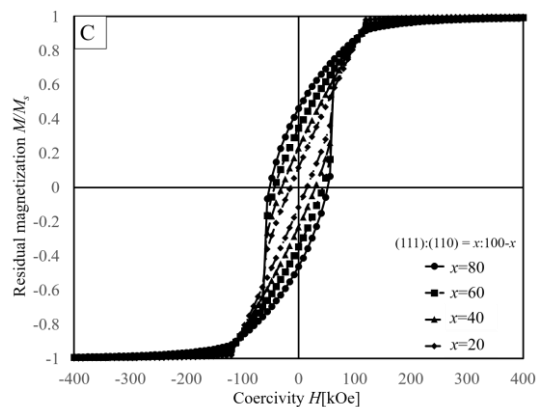
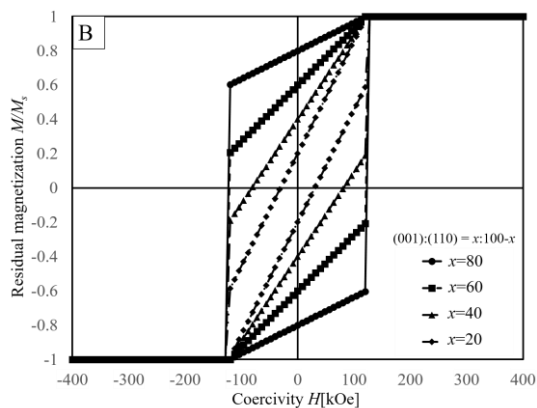
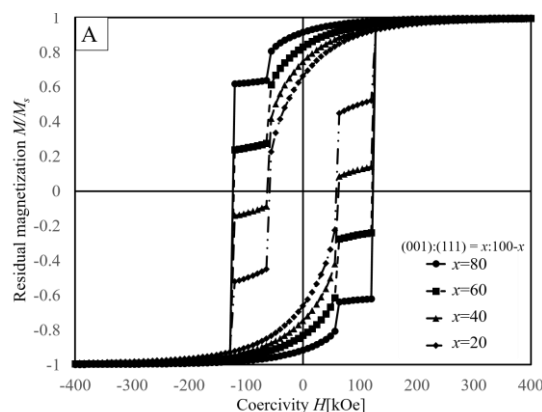


Fig. 3 Magnetization characteristics of $L1_0$ -FePt mixed with multiple crystal orientations.

5. まとめ

計算機シミュレーションにより, $L1_0$ -FePt における①磁化特性の結晶配向依存性の検討, ②複数方向の成分が混在した場合の磁化特性の検討を行った. ①について, 1 方向のみに全て配向している場合では, <001>方向成分が $L1_0$ -FePt の高 H_c へ大きく寄与していることが明らかになった. また, <111>方向成分の存在が H_c の減少に寄与すること, 配向が結合することで残留磁化に差異が生じることを示した. ②について, 合成磁化曲線形状は独立した粒子の磁化容易軸方向の分布割合によって特徴的な形状変化を生じることが明らかになった.

6. 謝辞

本研究の一部は情報ストレージ研究推進機構, 文部科学省私立大学戦略的研究基盤支援事業(S1311020)の助成により行った.

7. 参考文献

[1] A. Itoh, Y. Itoh, A. Tsukamoto, K. Nakagawa : IEICE technical report. Magnetic recording, 105 (167),13, (2005).
 [2] J. Tsukioka, T. Ubana, A. Tsukamoto, and A. Itoh : J. Magn. Soc. Jpn., 38, 143-146 (2014).
 [3] K.Miyoshi et al.,MORIS2018, New York, USA, Tu-P-12, (2018)
 [4] S. Okamoto, N. Kikuchi, O. Kitakami, T. Miyazaki, Y. Shimada, and K. Fukamichi : Phys. Rev. B, 66, 024413 (2002).
 [5] T. Suzuki, Doctoral thesis, Tohoku University Japan (1998).