

C-12

コアシェル型  $L1_0$ -FePt ナノ粒子における保磁力の被覆層規則化度及び粒子形状依存性  
 Covering layer order parameter and particle shape dependence of coercivity in core-shell type  $L1_0$ -FePt nanoparticle

○平賀俊光<sup>1</sup>, 塚本新<sup>2</sup>

Toshimitsu Hiraga<sup>1</sup>, Arata Tsukamoto<sup>2</sup>

Abstract: In order to improve the recording density of magnetic recording media, we have focused on Bit Patterned Media (BPM). In order to make BPM, we focus on  $L1_0$ -FePt with high thermal stability and high uniaxial magnetic anisotropy. However, in the produced particle, there may be a covering layer made of  $L1_0$ -FePt of a low order parameter in the surface layer of  $L1_0$ -FePt. In this research, (1) Study of  $H_c$  in core - shell type particle made of  $L1_0$ -FePt with different order parameter, and (2) Study of shape dependence of  $H_c$  in core-shell type particle. I studied these two models with a computer.

1. はじめに

高度情報化社会の中で扱われるデジタル情報量の増加に伴って、磁気記録媒体に求められる記録容量は増大している。我々は磁気記録媒体の記録密度向上のため、1つの磁性粒子に1bitを記録するビットパターンドメディア (Bit Patterned Media: BPM) に着目してきた。BPM における記録密度向上のためには磁性粒子を微細化する必要があるが、磁性粒子の過度な微細化により室温程度で磁気情報が失われる超常磁性の問題があるため、高い一軸磁気異方性を持つ孤立ナノ粒子の作製が必要である。そこで我々は高い熱安定性、高い一軸磁気異方性を有する  $L1_0$ -FePt に着目している。 $L1_0$ -FePt 孤立ナノ粒子は熱酸化 Si 基板上に Fe, Pt を成膜した後、急速昇降温熱処理 (Rapid Thermal Annealing: RTA)<sup>[1]</sup>, (Rapid Cooling Process: RCP)<sup>[2]</sup>を用いて作製できることが報告されている。しかし作製した粒子において  $L1_0$ -FePt の表層に低規則化度の  $L1_0$ -FePt からなる被覆層が存在している場合がある<sup>[3]</sup>。以下この様な粒子をコアシェル型  $L1_0$ -FePt ナノ粒子とし、コアが  $L1_0$ -FePt, シェルが低規則化層と呼ぶ。規則化度とは  $L1_0$ 型 FePt 規則合金における Fe 及び Pt の配列秩序の度合いである。 $L1_0$ -FePt の保磁力  $H_c$  は、一軸磁気異方性の規則化度依存性に起因し、数 mT ~ 数 T まで大きく変わることが知られている。本研究は、①規則化度の異なる  $L1_0$ -FePt からなるコアシェル型粒子における  $H_c$  の検討、また、粒子サイズが 10 nm オーダーになると形状磁気効果も大きく関わってくるため、②コアシェル型粒子における  $H_c$  の形状依存性の検討、この2つのモデルについて計算機実験を行い、①、②の検討結果を報告する。

2. シミュレーション条件

コアシェル型  $L1_0$ -FePt ナノ粒子における3種のモデルを Fig. 1, 2, 3に示す。Fig. 1, 2, 3はそれぞれ0, 1, 2nmと3種のシェル層を設定し合計9つのモデルとした。また300Kにおける  $L1_0$ -FePt の媒体物性値は、飽和磁化  $M_s$ : 1150 emu/cm<sup>3</sup>,  $K_u$ :  $7 \times 10^7$  erg/cm<sup>3</sup>, 交換ステイフネス定数  $A$ : 1.13  $\mu$  erg/cm と設定した<sup>[4][5]</sup>。低規則化層の媒体物性

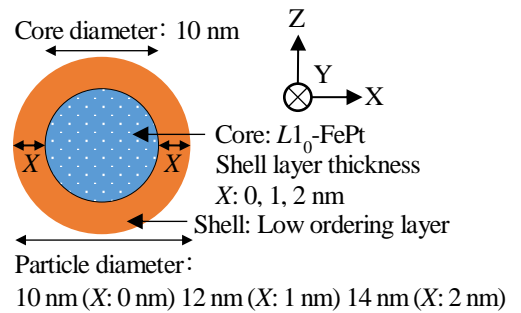


Fig. 1 Sphere model in core-shell type  $L1_0$ -FePt nanoparticle.

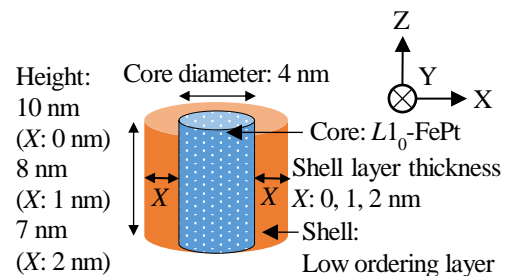


Fig. 2 Cylinder model in core-shell type  $L1_0$ -FePt nanoparticle.

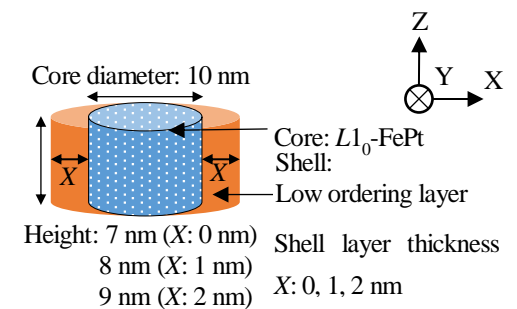


Fig. 3 Disk model in core-shell type  $L1_0$ -FePt nanoparticle.

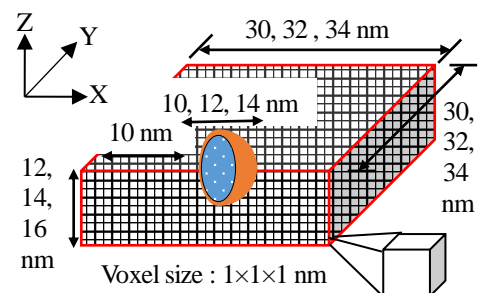


Fig. 4 Calculation domain in sphere model.

1 : 日大理工・院 (前)・電子, 2 : 日大理工・教員・電子

値はシェル部における  $K_u$  依存性を検討するため  $L1_0$ -FePt の媒体物性値と同様に  $M_s$ ,  $A$  を設定し,  $L1_0$ -FePt ナノ粒子における  $H_c$  の規則化度依存性<sup>6)</sup>に基づき, 規則化度の低い順に 3 つの代表値として  $K_u$ :  $7 \times 10^7$ ,  $7 \times 10^6$ ,  $7 \times 10^5$  erg/cm<sup>3</sup> と設定した. 磁化容易軸は Z 軸とし, 初期磁化方向は +Z 方向とした. 計算領域について 3 種のモデルを Fig. 4, 5, 6 に示す. 計算領域の中心にシミュレーションモデルを配置し X-Y 平面の周囲に 10 nm, Z 軸方向の端部に 1 nm の真空領域を設定した. 印加磁場は Z 軸方向に  $\pm 200$  kOe とした.

3. ①コアシェル型粒子における  $H_c$  の  $K_u$  依存性 ②粒子形状依存性

3 種のモデルにおける  $H_c$  の  $K_u$  依存性を Fig. 7, 8, 9 に示す. 球体モデルは, シェル層の  $K_u$  が  $7 \times 10^6$  erg/cm<sup>3</sup> において,  $H_c$  はシェル層の無い場合である 150 kOe に比べ最小 40 kOe (26.7%) にまで減少した. 円柱モデルでは, シェル層の  $K_u$  が  $7 \times 10^6$  erg/cm<sup>3</sup> において,  $H_c$  は 162 kOe から 42 kOe (25.9%) にまで減少した. ディスクモデルでは, シェル層の  $K_u$  が  $7 \times 10^6$  erg/cm<sup>3</sup> において,  $H_c$  は 144 kOe から 42 kOe (29.2%) にまで減少した. 以上の結果より, 以下の 2 つが明らかとなった. ①の検討について, ①A シェル層の  $K_u$  が  $7 \times 10^6$  erg/cm<sup>3</sup> 以上,  $7 \times 10^5$  erg/cm<sup>3</sup> 以下の広い範囲でも  $H_c$  が同程度のオーダーに収束した. また②の検討について, ②B 粒子形状が球体, 円柱, ディスクモデルと異なっても, シェル層による  $H_c$  への影響は数%となり, ほぼ同様な値を示した. このことから, 高い磁気異方性を示す  $L1_0$  型 FePt 規則合金ナノ微粒子の熱安定性の指標となる, 実効的保磁力の低下に対し被覆層の存在が非常に大きな寄与を有することが明らかとなった.

4. まとめ

計算機実験を行い, ①規則化度の異なる  $L1_0$ -FePt からなるコアシェル型粒子における  $H_c$  の検討, また, ②コアシェル型粒子における  $H_c$  の形状依存性を検討した. 結果より, 以下の 2 つが明らかとなった. ①の検討について, ①A シェル層の  $K_u$  が  $7 \times 10^6$  erg/cm<sup>3</sup> 以上,  $7 \times 10^5$  erg/cm<sup>3</sup> 以下の広い範囲でも  $H_c$  が同程度のオーダーに収束した. また②の検討について, ②B 粒子形状が球体, 円柱, ディスクモデルと異なっても, シェル層による  $H_c$  への影響は数%となり, ほぼ同様な値を示した.

5. 謝辞

本研究の一部は, 情報ストレージ研究推進機構及び文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業 (S1311020) の助成により行ったものである.

6. 参考文献

[1] A. Itoh, Y. Itoh, A. Tsukamoto, K. Nakagawa; "IEICE technical report. Magnetic recording.", 105 (167),13 (2005).  
 [2] A. Itoh, A. Tsukamoto, S. Okame and K. Mizusawa: J. Magn. Soc. Jpn., 36, 62-65 (2012).  
 [3] R. Ubana, Master thesis, Nihon University Japan (2012).  
 [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).  
 [6] H. Sakuma, T. Taniyama, K. Ishii, Y. Kitamoto, Y. Yamazaki : J. Magn. Magn. Mat 300, 284-292 (2006).

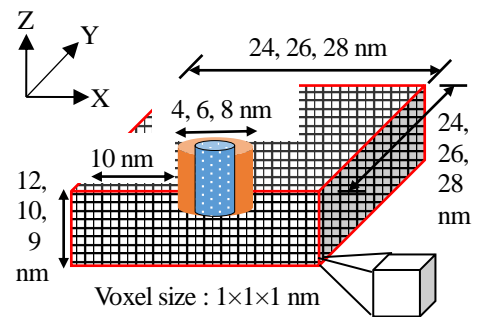


Fig. 5 Calculation domain in cylinder model.

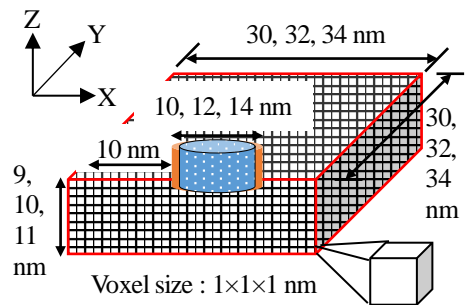


Fig. 6 Calculation domain in disk model.

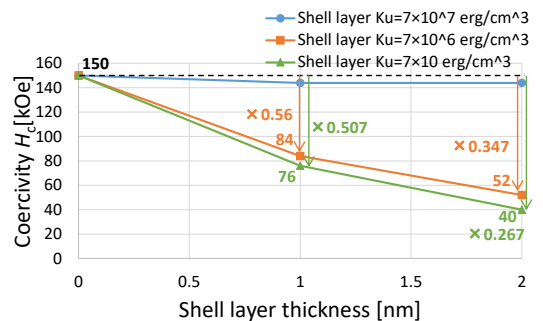


Fig. 7  $K_u$  dependence of  $H_c$  in sphere model.

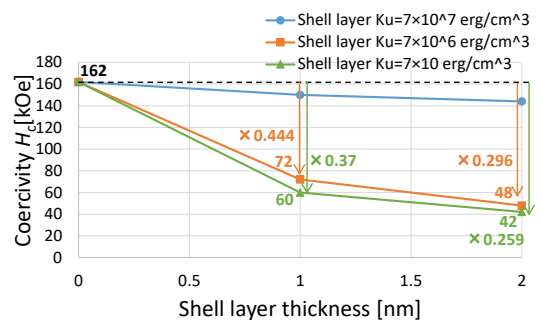


Fig. 8  $K_u$  dependence of  $H_c$  in cylinder model.

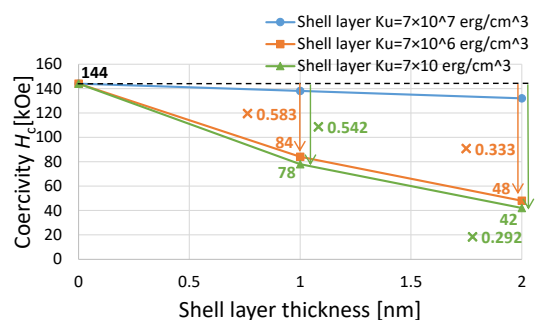


Fig. 9  $K_u$  dependence of  $H_c$  in disk model.