

中空 Fe_3O_4 微粒子の磁化反転機構のマイクロマグネティックス計算

平野伸彦、小林悟、千葉桃子
(岩手大理工)

Micromagnetic calculation of magnetization reversal mechanism for hollow Fe_3O_4 particle

N.Hirano, S.Kobayashi, M.Chiba
(Iwate Univ.)

はじめに

磁化反転過程において磁気モーメントが渦状に配列するスピنبルテックス構造は、ナノ～ミクロンサイズの強磁性ディスクなどで広く観測されている。中空構造を持つ Fe_3O_4 サブミクロン粒子においてもこのスピنبルテックスは確認されているが¹⁾、その形成メカニズムや安定性はまだ十分に理解されていない。また生医学的応用の観点から、スピنبルテックス状態を含む磁気状態と粒子形態の相関の解明が必要不可欠である。本研究では、マイクロマグネティックス計算を用いて、粒径および内径粒径比の異なる中空 Fe_3O_4 サブミクロン粒子について、スピنبルテックス形成における中空構造効果を調査したので報告する。

実験方法

OOMMF (Object Oriented Micro Magnetic Framework)により、粒径および内径粒径比の異なる単一中空 Fe_3O_4 サブミクロン粒子の M-H 曲線を計算した。 Fe_3O_4 のパラメータとして、飽和磁化 $M_s=4.8 \times 10^5 \text{ A/m}$ 、交換ステイフネス $A=1.2 \times 10^{-11} \text{ J/m}$ 、異方性定数 $K=-1.1 \times 10^4 \text{ J/m}^3$ を用いた²⁾。最大磁場 $H_{\text{Max}}=500 \text{ mT}$ 、磁場ステップ $\Delta H=10 \text{ mT}$ として計算を行った。

実験結果

Fig.1 に粒径 300nm、内径粒径比 0.25 の試料の M-H 曲線を示す。飽和状態から磁場を減少すると、急激に磁化が低下し(A 点)、再度磁化が大きく減少する(B 点)ことが分かった。これらは磁化反転過程におけるボルテックスの発生(A 点)と消滅(B 点)を表している。同様なボルテックス構造は他の粒径にも確認できるが、その発生磁場に差が見られた。Fig.2 に粒径を 200～400nm、内径粒径比を 0～0.75 で変化させた場合の発生磁場を示す。粒径の増大、あるいは内径粒径比の減少とともに、ボルテックスの発生磁場は増大した。また、粒径の増大とともに A 点での磁化の減少量が小さくなることが分かった。粒径が大きい場合には、エネルギー損失、特に交換相互作用による損失が少なくなるよう、強磁性的なスピン配列を保持しながらボルテックス構造へ連続的に移行しやすいと考えられる。また、中空粒子において、安定したボルテックス状態に至る過程で磁化が多段階的に減少することを見出した。これは固体粒子では見られない特徴である。中空構造によりスピン配列が制限されるため、ボルテックス形成が系全体で一斉に行われず、多段階に分かれた磁化反転が行われることを示唆している。以上の結果から、中空 Fe_3O_4 粒子では、粒径および内径粒径比に依存してスピنبルテックスの安定性が変化することが分かった。

参考文献

- 1) M.Chiba et al., AIP Advances 9, 035235(2019).
- 2) M.Fonin et al., Journal of Applied Physics 109, 07D315(2011)

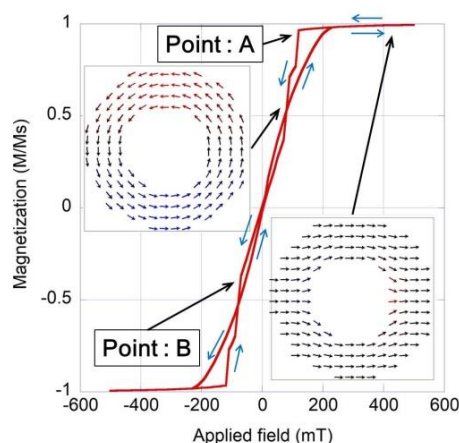


Fig.1 Hysteresis loop and spin map for hollow 300nm particle with an inner /outer diameter ratio of 0.25.

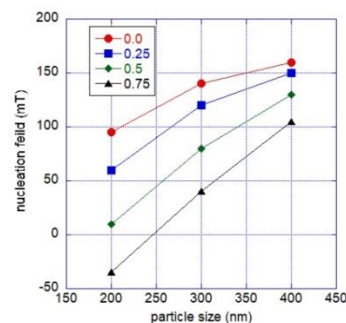


Fig.2 Particle size dependence of vortex nucleation field for different inner/outer diameter ratio.