

中性子小角散乱による中空 Fe_3O_4 サブミクロン粒子の磁化過程解析

千葉桃子, 小林悟, 亘理沢海, 村上武, Jerzy A. Szpunar¹, Jayappa Manjanna²,
河村幸彦³, 鈴木淳市³

(岩手大理工, ¹サスカチュワン大学, ²ラニ・チャンナマ大学, ³CROSS)

Magnetization process analysis of hollow Fe_3O_4 submicron particles by small angle neutron scattering
(M. Chiba, S. Kobayashi, T. Watari, T. Murakami, J. A. Szpunar, J. Manjanna, Y. Kawamura, J. Suzuki)

(Iwate Univ., ¹Saskatchewan Univ., ²Rani Channamma Univ., ³CROSS)

はじめに

ナノ・マイクロスケール磁気ディスクや強磁性ドットの磁化反転過程において、スピンの渦構造をとるスピンのボルテックス (以下 SV) が形成されることが広く知られている。最近我々は、中空 Fe_3O_4 サブミクロン粒子の 1 次反転曲線 (FORC) 測定から、中空粒子でも SV 状態が $T=10\text{K}\sim 300\text{K}$ の広温度範囲で実現する一方、Verwey 転移温度 ($T_v\sim 120\text{K}$) 以上で、SV 状態が不安定化することを見出した¹⁾。本研究では、中空粒子における SV 状態とその形成過程を明らかにすることを目的に偏極中性子小角散乱実験を行ったので報告する。

実験方法

中空 Fe_3O_4 サブミクロン粒子 (平均粒径: $417.4\pm 0.8\text{ nm}$, 平均孔径: $211\pm 1\text{ nm}$) において、大強度陽子加速器施設 (J-PARC) の大観を用いて偏極中性子小角・広角散乱実験 (磁場範囲 $H=1\sim -1\text{ T}$, 温度範囲 $T=10\sim 300\text{ K}$) を行った。中性子の入射方向に垂直な水平方向に磁場を印加し、磁場垂直方向の磁気散乱強度 $I(Q)_{v, \text{mag}}$ 及び磁場平行方向の磁気散乱強度 $I(Q)_{h, \text{mag}}$ を測定した。

実験結果

Fig. 1(a), (b) に $T=10\text{K}$ における $I(Q)_{v, \text{mag}}$, $I(Q)_{h, \text{mag}}$ の磁場依存性をそれぞれ示す。飽和状態である 1 T では、 $I(Q)_{v, \text{mag}}$ において $Q=0.01\text{ \AA}^{-1}$ でブロードなピークが観測された。磁場の減少とともに、 $I(Q)_{v, \text{mag}}$ の全体的な強度は減少し、SV 形成が示唆される $H=-0.03\text{ T}$ で強度が最小値を示すことが分かった。また、正磁場 (or 1 T) で観測された $Q=0.01\text{ \AA}^{-1}$ のピークは $H=-0.03\text{ T}$ では消滅し、代わりに $Q=0.015\text{ \AA}^{-1}$ で新たなピークが観測された。一方、 $I(Q)_{h, \text{mag}}$ では、 $I(Q)_{v, \text{mag}}$ とは逆に、磁場の減少とともに強度は増加し、 $H=-0.03\text{ T}$ で最大を示した。 $H=1\text{ T}$ では、飽和状態を反映して磁場垂直方向の磁気散乱強度が最大となる一方、低磁場 ($H=-0.03\text{ T}$) では磁場垂直方向及び平行方向の磁気散乱強度が同程度になることが分かった。

また、広角散乱から、Bragg ピーク強度が面指数に依存して $H=-0.03\text{ T}$ 近傍で最大あるいは最小を示すことを見出した。以上の結果は、低磁場 ($H=0\sim -0.03\text{ T}$) で SV が形成されているという FORC の実験結果と一致する。

謝辞

本中性子散乱実験はユーザープログラム (課題番号 2018B260) のもと、J-PARC 物質・生命科学実験施設で実施した。

参考文献

- 1) M. Chiba et al., AIP. Adv. 9, 035235 (2019)

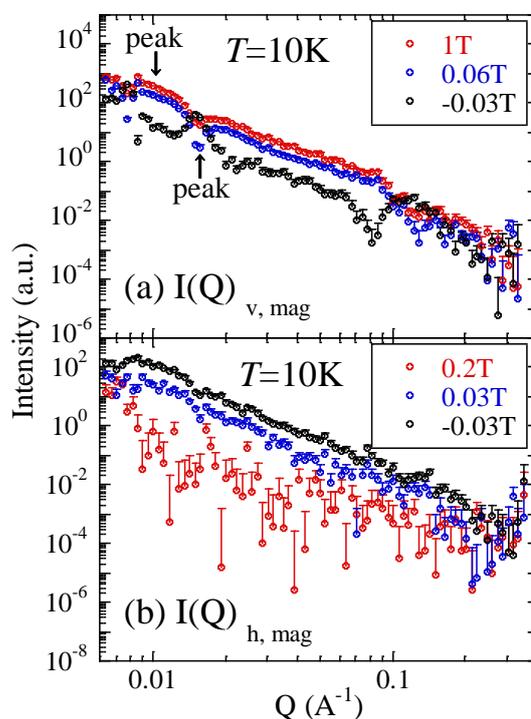


Fig. 1 Magnetic field dependence of magnetic scattering intensity in the (a) vertical and (b) horizontal directions at $T=10\text{K}$. For clarity, only upper limit of error bars is shown.