

シリカ被覆マグネタイト粒子の作成および粒子間磁氣的相互作用評価

バラチャンドラン ジャヤデワン、福永 真夕、古川 逸朗、クヤ ジョン、宮村 弘、間宮 広明*
(滋賀県立大学、物質材料研究機構*)

Preparation of Silica-coated Magnetite Particles and Evaluation of Their Magnetic Interaction

Balachandran Jeyadevan, Fukunaga Mayu, Furukawa Etsuro, Cuya Jhon, Miyamura Hiroshi, Mamiya Hiroaki*
(The University of Shiga Prefecture, NIMS*)

1. 緒言

近年、磁性ナノ粒子はがん温熱療法への利用が期待されている。しかし、磁気特性に起因する発熱量の評価や最適化を図る上で、粒子間の磁氣的相互作用が問題となっている。そのため、粒子間相互作用の無い状態での磁気特性評価が必要不可欠である。本研究では、マグネタイトナノ粒子(MNPs)表面を非磁性材であるシリカで被覆し、粒子間相互作用の影響を抑えることで、粒子本来の磁気特性の評価を試みた。

2. 実験方法

オレイン酸および1-オクタデセン中にゲーサイトを加熱することで MNPs を得た。合成した粒子をシクロヘキサンと IGEPAL® CO-520 の混合溶液中に加え、その懸濁液を攪拌しながら、アンモニア水とオルトケイ酸テトラエチル(TEOS)を加え、粒子へのシリカ被覆を行った。作製した試料の粒径および形状評価には透過型電子顕微鏡(TEM)を用い、結晶構造解析にはX線回折(XRD)装置を用いた。また、表面状態解析にはフーリエ変換赤外分光(FT-IR)装置を用いた。磁気特性評価には、零磁場冷却/磁場中冷却での交流磁化率およびFORC(First Order Reversal Curve)図を用いた。

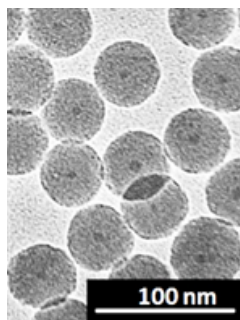


Fig. 1. TEM image of silica-coated MNPs (diameter of magnetite particles, 7.8 nm and silica shell thickness, 20.8 nm).

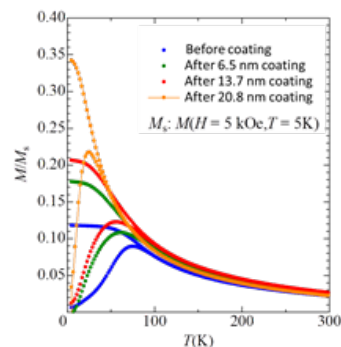


Fig. 2. Zero-field-cooled and field-cooled curves of silica-coated MNPs with an average diameter of 7.8 nm.

3. 結果と考察

合成した粒径 15.0 および 7.8 nm の MNPs を用いて、アンモニア水や TEOS の量、反応時間を変化させることで、膜厚 2.6–28.5 nm のシリカ被覆 MNPs の作製に成功した(Fig. 1)。また、シリカ被覆前後の MNPs の磁気特性を測定した結果、シリカ膜厚の増大と共に、零磁場冷却での温度—磁化率曲線のピーク温度(ブロッキング温度、 T_B)が減少した(Fig. 2)。さらに、粒子間相互作用の評価方法である FORC 図解析においても、相互作用磁場 H_U 方向の幅が減少した (Fig. 3)。特に、粒径 7.8 nm の MNPs において、膜厚 20.8 nm のシリカ被覆を行った結果、相互作用の無い試料の作製に成功した。よって、試料の粒子間相互作用の影響を評価する手法として、FORC 図の解析が適切であることを実験的に証明した。さらなる磁気特性解析により、磁気温熱療法に用いる MNPs の設計について、新たな指針の考案が期待できる。

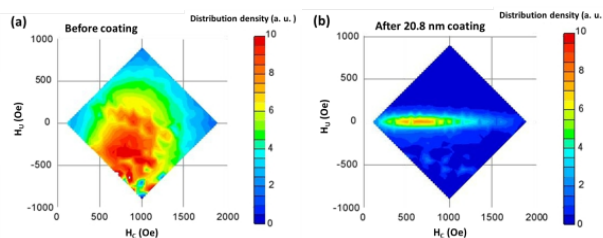


Fig. 3. FORC diagrams of MNPs (7.8 nm in diameter), (a) before and (b) after silica coating (shell thickness, 20.8 nm).