

ナノ強磁性粒における磁気ヒステリシス・スケーリング特性

佐藤琢磨、小林悟、X.L.Dong*、L.Zhang*、村上武
(岩手大工、中国・大連理工大学)

Magnetic hysteresis scaling for ferromagnetic nanoparticles

T. Sato, S. Kobayashi, X.L. Dong, L. Zhang, T. Murakami
(Iwate Univ., Dalian Univ. of Tech. *)

はじめに

強磁性体の磁気ヒステリシス・スケーリングは、材料特性評価や基礎物理学的観点で興味を持たれている。例えば、マイナーループのヒステリシス損失 W_F^* と残留磁束密度 B_R^* の間には、べき指数 1.4 のスケーリング則が成り立つ[1]。しかし、過去の研究では、磁化過程において磁壁の非可逆的移動が支配的なバルク材で確認されたのみである。本研究では、磁化回転が主な磁化機構であるナノ強磁性粒(粒子径~磁壁厚程度以下)のスケーリング特性を詳しく調べたので報告する。

実験方法

Fe, Co, Ni の 3 種類の強磁性遷移金属について、水素プラズマ金属反応法[2]を用いて、液体窒素急冷後(平均粒径 Fe:24±10nm (Fig.1), Co:54±9nm, Ni:41±11nm)及び水冷後(平均粒径 Fe:47±24nm, Co:94±30nm, Ni:16±4nm)の計 6 種類のナノ粒子試料を用意した。X線回折(CuK α 線)による結晶構造解析、TEM 観察、及び SQUID 磁束計による磁気マイナーループ測定(温度 10~300K)を行った。

実験結果

Fig.2 に、温度 300K のマイナーループ群から得た、各試料の残留磁束密度とヒステリシス損失の両対数グラフを示す。全ての試料で直線性を示し、両変数間にべきの関係があることが分かった。直線部を以下の式でフィットしたところ、全ての試料、温度範囲において、バルク材と同等のべき指数 $n_m=1.42\pm0.08$ を得た。

$$W_F^* = W_m^0 \left(\frac{B_R^*}{B_a} \right)^{n_m}$$

W_F^* : ヒステリシス損失
 W_m^0 : マイナーループ係数
 B_R^* : 残留磁化 B_a : 任意定数 n_m : べき指数

この結果は、ナノ強磁性粒においても普遍的スケーリング則が成立することを示している。

Fig.3 に Fe 試料におけるマイナーループ係数 W_m^0 の温度依存性を示す。低温で W_m^0 が顕著な増加を示すこと、液体窒素冷却後試料(粒子径が小)では W_m^0 が約 30% 大きいことを見出した。同様な温度依存性は Ni, Co 試料でも観測された。一方、保磁力 H_c は、Fe 及び Ni 試料では特に粒子径が大きい試料で増大が見られた。以上の W_m^0 及び H_c の結果は、磁気異方性、粒子径、粒子形態の観点から定性的に説明できると考えられる。

参考文献

- [1] S. Kobayashi, Phys. Rev. Lett. Vol. 106 (2011) 057207.
- [2] X.L. Dong etc.: J. Mater. Res., Vol.14 (1999) 398.

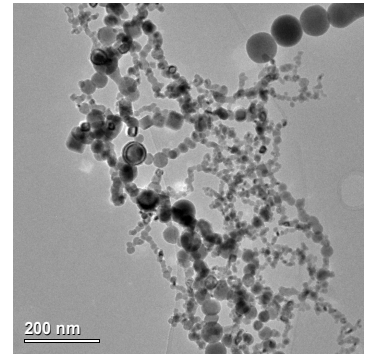


Fig.1 Transmission electron micrograph of Fe nanoparticle, obtained after Liq.N₂ cooling.

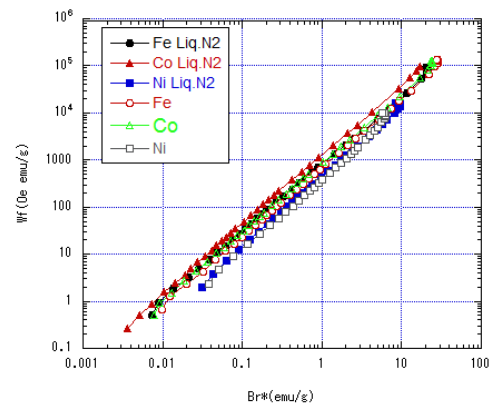


Fig.2 Relation between hysteresis loss and remanence of minor loops taken at 300K

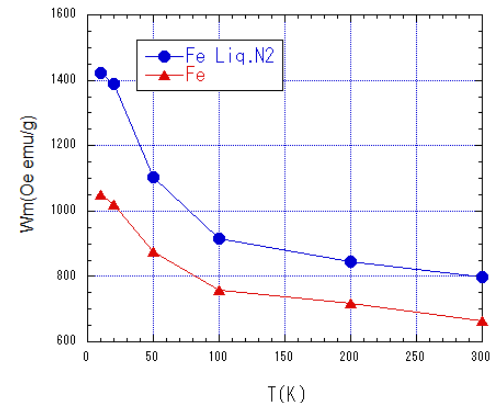


Fig.3 Temperature dependence of minor-loop coefficient for Fe samples