

高感度・交番磁気力顕微鏡探針の開発に向けた 高磁化率・超常磁性 Co-GdO_x グラニュラー合金薄膜の作製

鈴木 雄大, Yongze Cao, Pawan Kumar, Yue Zhao, 吉村 哲, 齊藤 準
(秋田大学)

Fabrication of high-susceptibility superparamagnetic Co-GdO_x granular alloy films
for developing the sensitive alternating magnetic force microscopy tip
Y. Suzuki, Y. Cao, P. Kumar, Y. Zhao, S. Yoshimura, H. Saito
(Akita Univ.)

はじめに 我々は、試料表面近傍での磁場計測を実現することで空間分解能を向上させた交番磁気力顕微鏡 (alternating magnetic force microscopy; A-MFM) を開発した¹⁾。A-MFM は、探針試料間に交番磁気力を発生させることで誘起する探針振動の周波数変調現象を利用する。これまで観察試料に合わせた磁性探針を開発して、様々な磁性材料や磁気デバイスの磁場観察を行ってきた。ここで、強い直流磁場が発生する永久磁石等では、従来のソフト磁性探針では探針磁化が試料磁場により飽和し、外部から探針磁化を周期的に変化させるための交流磁場を印加しても探針磁化が変化しないので、探針振動に周波数変調が生じない問題が生じる。このため、磁化が飽和しない高磁化率の超常磁性薄膜を用いた高感度・超常磁性探針の開発が必要となる。高感度・超常磁性探針が開発できれば磁気記録ヘッド等の交流磁場計測への応用も期待できる。

昨年、我々は、磁化率 χ の大きな Co-GdO_x 系グラニュラー合金薄膜の作製に成功したことを報告した²⁾。本薄膜の χ の最大値は $1.7 \times 10^{-5} \text{ H/m}$ であり、報告がある $\text{Co}_{36}\text{Al}_{22}\text{O}_{42}$ 超常磁性薄膜の $2.6 \times 10^{-6} \text{ H/m}^3$ と比較して 7 倍程度大きい。本研究では、大きな磁化率と構造との相関解明のために、 Co-GdO_x 薄膜の磁化曲線のランジュバン関数による磁性結晶粒径や磁性結晶粒の体積分率の解析を行い、TEM 観察結果と比較検討した。

方法 Co-GdO_x グラニュラー合金薄膜を、Co ターゲットと GdO_x ターゲットを 2 元同時マグネットロニスパッタリングにより Co の成膜電力を変化させて熱酸化膜付き Si 基板上に室温成膜した。薄膜の膜厚は 100 nm 一定とし、Co と GdO_x の比率を種々変化させた。超常磁性薄膜の磁化曲線から、磁性結晶粒の体積分率と粒径を、ランジュバン関数による解析法⁴⁾により求めた。HR-TEM 観察では、画像から磁性結晶粒を粒子直径の大きさ別にカウントして、平均直径をガウス分布から求め、磁化曲線の解析結果と比較した。

結果 Fig.1(a), (b) に、室温での超常磁性薄膜の中で、Co の体積分率が少ない $\text{Co}_{0.27}(\text{GdO}_x)_{0.73}$ 薄膜 (A 薄膜) および Co の体積分率が最大の $\text{Co}_{0.44}(\text{GdO}_x)_{0.56}$ 薄膜 (B 薄膜) の TEM 像を示す⁵⁾。両薄膜とも磁性結晶粒が粒界のマトリックス相で囲まれたグラニュラー構造が観察され、A 薄膜では TEM 観察から求めた粒子の平均直径が 2.4 nm と小さく粒界相でよく分離されているのに対し、B 薄膜では粒子の平均直径が 4.3 nm に増加しており、さらに、粒子が 2~3 個結合して平均直径 6.3 nm のクラスタを形成していた。この結果を、磁化曲線解析の際に磁性結晶粒の M_s に Co の値を用いて求めた結晶粒径と比較すると、A 薄膜では高磁場側、低磁場側とも粒子直径が 2.6 nm でほぼ一致している。B 薄膜では、高磁場側が 4.7 nm、低磁場側が 6.9 nm と TEM の観察の粒子直径とクラスタの値とほぼ一致した。以上より磁性結晶粒は Co 粒子であり、Gd が含まれていないものと考えている。Co 粒子が室温で強磁性となる臨界直径が 7 nm 程度⁶⁾であることを考慮すると、本薄膜で大きな初磁化率が得られたのは、クラスタ化しても超常磁性を示す小さな Co 粒子が生成したことにより、Co の体積分率が増大したためと推察される。

参考文献 1) H. Saito et al., *J. Appl. Phys.*, **109**, 07E330 (2011)., 2) K. Yakushiji et al., *J. Magn. Magn. Mater.*, **212**, 75-81 (2000).,

3) 鈴木, 他 第41回日本磁気学会学術講演概要集, 21pD-8., 4) C.P Bean et al, *J. Appl. Phys.*, **27**, 1448-1452(1956).,

5) Y. Cao et al., *J. Magn. Magn. Mater.* **462**, 119-126 (2018)., 6) Y.J. Chen, et al., *J. Appl. Phys.*, **87**, 4837-4839(2000)

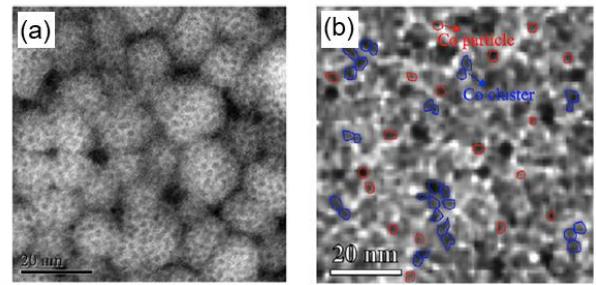


Fig.1 (a) Plan-view HR-TEM images of the $\text{Co}_y(\text{GdO}_x)_{1-y}$ films with $y = 0.27$. (b) Plan-view HR-TEM images of the $\text{Co}_y(\text{GdO}_x)_{1-y}$ films with $y = 0.44$. The red and blue circles are the corresponding Co particle and cluster.