# 交番磁気力顕微鏡を用いた強磁場イメージングに向けた高磁化率・超常磁性 Co-$Gd_2O_3$ グラニュラー合金薄膜の作製

鈴木 雄大，Cao Yongze，吉村 哲，齊藤 準
（秋田大学）

Fabrication of superparamagnetic Co-$Gd_2O_3$ granular films with high susceptibility for alternating magnetic force microscopy for high magnetic field imaging

Y. Suzuki, Y. Z. Cao, 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[1-2]．本手法を用いたハード磁性材料の直流磁場計測には，通常は飽和磁化の大きなソフト磁性探針を使用し，探針磁化を交流磁場印加により周期的に変化させて探針試料間に交番磁気力を発生させ，この交番磁気力が誘起する探針振動の周波数変調現象を利用する．しかしながら，永久磁石等の強磁場発生試料の磁区観察では，ソフト磁性探針の磁化が試料からの強い磁場により飽和し，交流磁場を印加しても磁化が変化せず探針振動に周波数変調が生じない問題が発生する．この解決には，磁化が飽和しない，高磁化率の超常磁性薄膜ならびにそれを用いる探針の開発が必要となる．

我々は，これまで超常磁性薄膜として Co-Ag グラニュラー合金薄膜[3]を Si 探針母材に 100 nm 成膜した超常磁性探針を作製することで永久磁石の A-MFM 観察に成功している[4]．超常磁性探針の空間分解能向上には，計測感度を維持した上で探針の先鋭化が求められ，高磁化率・超常磁性薄膜の開発による成膜膜厚の低減が必要となる．このため本研究では，FeCo 系グラニュラー合金薄膜の非磁性マトリックス材料の検討を行った．

**方法**　本研究では，FeCo 系グラニュラー合金薄膜の非磁性マトリックス材料として新たに $Al_2O_3$ と $Gd_2O_3$ を用い，本グラニュラー合金薄膜を，強磁性ターゲットとマトリックス材料用の非磁性ターゲットを用いた 2 元同時マグネトロンスパッタリングにより熱酸化膜付き Si 基板上に 100 nm の膜厚で室温成膜した．薄膜の磁化曲線を振動試料型磁力計（VSM）により測定し，磁化曲線から磁化率 χ および磁化曲線の線形性 FWHM を評価した．χ は±100 Oe の範囲における磁化曲線の平均の傾きとして算出し，FWHM は，磁化曲線の傾きがゼロ磁場付近のそれに対して半分になるときの印加磁場の値として算出した．

**結果**　Fig.1 に各種超常磁性薄膜の室温での χ と FWHM の関係を示す．薄膜作製では薄膜の強磁性元素含有量をマトリックス材料ターゲットへの印加電力を一定にし，強磁性ターゲットへの印加電力を変えて変化させた．いずれのマトリックス材料の場合でも，強磁性元素の含有量が増大すると，χ が大きくなり FWHM が減少するトレードオフが見られた．これは，各磁化曲線におけるランジュバン関数のフィッティングの結果から，磁性粒径が増大したことによると考えられ，例えば Co-$Gd_2O_3$ の場合，Co 含有量の 20 vol%から 40 vol%への増加に伴い，Co 粒径が平均 9 nm から 20 nm に増大したと見積もられた．40 vol%以上の Co 含有量の Co-$Gd_2O_3$ 薄膜では，磁化曲線にヒステリシスが見られ，強磁性と超常磁性との混相になった．χ の最大値 1.7 ×$10^{-5}$ H/m は，超常磁性単相が得られる最大 Co 含有量（40 vol%）で得られた．この χ は，超常磁性薄膜でこれまでに報告されている $Co_{36}Al_{22}O_{42}$（0.26×$10^{-5}$ H/m）[5]と比較して 7 倍程度大きい．

マトリックス材料が Ag，$Al_2O_3$，$Gd_2O_3$ の場合に，超常磁性単相が得られる最大の Co 含有量は，各々，23, 33, 40 vol%となり，その順番で χ も大きくなった．この原因として，Gd が高い酸素親和性を有することによる Co の酸化の抑制，微細組織の変化，が考えられ，後者については講演で詳細を述べる予定である．

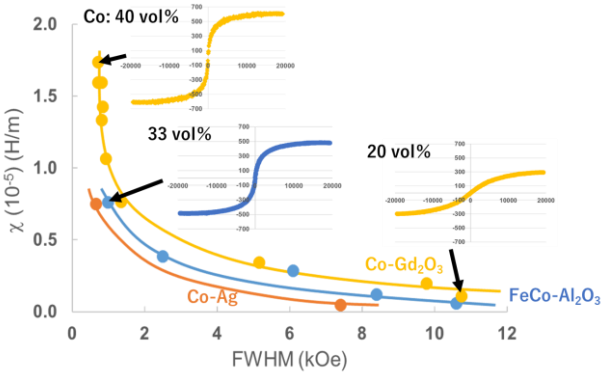


Fig.1 Relationship between susceptibility and linearity of *M-H* curves for each superparamagnetic films.

**参考文献**　1) H. Saito et al., *J. Appl. Phys.*, **109**, 07E330 (2011).
2) 伊藤, 他 第 35 回日本磁気学会学術講演概要集, 27pD-2.　3) 吉村, 他 第 38 回日本磁気学会学術講演概要集, 4pA-6.
4) 中山, 他 第 38 回日本磁気学会学術講演概要集, 4pA-10.　5) K. Yakushiji et al., *J. Magn. Magn. Mater.*, **212**, 75-81 (2000).