

磁場計測方向を制御可能な超常磁性探針を用いた交番磁気力顕微鏡 による FePt 永久磁石厚膜の表面近傍磁場イメージング

Near-contact magnetic field imaging of hard magnetic FePt films by
alternating magnetic force microscopy with a measuring-direction
controllable superparamagnetic tip

秋田大院工資¹, 秋田大 VBL², JST/先端計測³

中山 翔太¹, 江川 元太^{1,3}, 木下 幸則^{2,3}, 吉村 哲^{1,3}, 齊藤 準^{1,3}

Akita Univ./Graduate School of Engineering and Resource Science¹,

Akita Univ./VBL², JST/Adv. Meas. & Analysis³

S. Nakayama¹, G. Egawa^{1,3}, Y. Kinoshita^{2,3}, S. Yoshimura^{1,3}, H. Saito^{1,3}

E-mail: hsaito@gipc.akita-u.ac.jp

はじめに 我々は、試料表面近傍での磁場計測が可能な交番磁気力顕微鏡 (A-MFM) を開発し、ソフト磁性探針を用いて、高密度磁気記録媒体の直流磁場の高分解能観察に成功している^{1),2)}。A-MFM は励振させた探針にその共振周波数と異なる交流磁場を印加して、探針磁化を周期的に変化させて探針試料間に非共振の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して、試料からの直流磁場を計測する。しかしながら、永久磁石等の極めて強い直流磁場を発生する試料の観察時には、ソフト磁性探針では、1) 強い磁気力のため表面凹凸像の取得が困難、2) 探針磁化が試料からの直流磁場により飽和し、周波数変調現象が生じない、等の問題があり、探針磁化が適切な値を持ち飽和しない探針が必要になる。これを満たす探針として超常磁性探針がある。超常磁性探針は残留磁化がなく、磁場印加方向のみに探針磁化が発生するので探針に印加する交流磁場の方向を磁場計測方向とした直流磁場計測が可能になる。本研究では高い磁化率を有するグラニューラ構造の Ag-Co 超常磁性探針等を用いて、永久磁石薄膜の磁場イメージングを行った結果を報告する。

方法 超常磁性探針を用いる A-MFM では、探針の交流磁化は、試料からの直流磁場による探針の直流磁化とは独立に、交流磁場強度に比例して交流磁場方向のみに発生するので、探針試料間の磁気力勾配は、 $(\partial F_z / \partial z) = (M_z^{dc} + M_z^{ac} \cos(\omega_m t)) (\partial^2 H_z^{dc} / \partial z^2 + \partial^2 H_z^{ac} \cos(\omega_m t) / \partial z^2)$ となる。ここで z 方向は試料面に垂直方向とし探針の振動方向とした。交流磁場 $H_z^{ac} \cos(\omega_m t)$ が空間的に一様な場合、 $(\partial^2 H_z^{ac} / \partial z^2) \ll 1$ より上式の ω_m 成分は、 $(\partial F_z / \partial z)(\omega_m t) \cong M_z^{ac} (\partial^2 H_z^{dc} / \partial z^2) \cos(\omega_m t)$ となる。したがって、その周波数変調の ω_m 成分を、探針振動波形を周波数復調後にロックイン検出することで、交流磁場と同方向の直流磁場の勾配を計測することができる。自作した FePt 磁石厚膜 (膜厚 300 nm) の観察は、走査型プローブ顕微鏡 (L-Trace II, 日立ハイテクサイエンス製) に、探針に交流磁場を印加する電磁石を付加して、交流磁場を試料面に垂直方向に印加して大気中で行った。超常磁性探針として、初磁化率 2.2×10^{-6} H/m の Ag-Co 薄膜 (100 nm) を成膜した探針等を用いた。

結果 Fig. 1 に、膜面垂直方向に直流消磁した FePt 磁石厚膜の (a) 表面像、(b) 磁場強度 (振幅) 像、(c) 磁場極性 (位相) 像、(d) 磁場強度像のラインプロファイル、(e) 磁場極性像のラインプロファイルを示す。

(c) の磁場極性像に見るように明暗の磁場の上下向きに対応する消磁状態を反映した明瞭な垂直方向の磁場像が得られている。垂直磁場の強度がゼロの線を境として位相が 180° 変化する磁場極性の反転も明瞭に観察される。(e) の磁場極性像のラインプロファイルでは、位相が一定値の同極性の領域でノイズが非常に小さい。ロックインアンプの同相および直交信号の像では、参照信号の位相を変化させても、信号がゼロになる場所が変化しないことも確認できている。これらの結果は、ソフト磁性探針では交流磁場印加により探針磁化が回転するのと異なり、超常磁性探針では探針磁化の大きさが交流磁場の印加方向である試料面に垂直方向のみで時間変化するので、計測する直流磁場の方向が印加する交流磁場方向で決定できることを示している。

参考文献 1) H. Saito et al., *J. Appl. Phys.*, 109, 07E330 (2011). 2) H. Saito et al., INTERMAG 2011, Abstract CD-08, (2011).

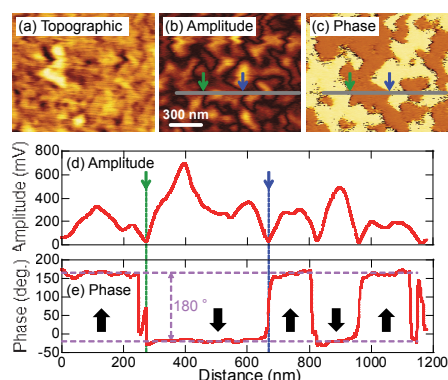


Fig.1 (a) topographic image, (b) amplitude image, (c) phase image, (d) line profile of amplitude image and (e) line profile of phase image for an FePt thick film.