

交番磁気力顕微鏡を用いた高磁化率 Ag-Co 超常磁性探針による FePt 永久磁石厚膜の表面近傍磁場イメージング

中山翔太、岩井 航、江川元太、木下幸則、吉村 哲、齊藤 準
(秋田大学)

Near-contact magnetic field imaging on FePt hard magnet films by alternating magnetic force microscopy with a high-susceptibility superparamagnetic Ag-Co tip
S. Nakayama, W. Iwai, G. Egawa, Y. Kinoshita, S. Yoshimura and H. Saito
(Akita University)

はじめに 我々は、試料表面近傍での磁場計測を可能にする交番磁気力顕微鏡 (A-MFM) を開発し、高密度磁気記録媒体に対してソフト磁性探針を用いて、直流磁場の高空間分解能観察に成功している^{1),2)}。ここでは、励振している探針に探針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反転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している。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、ソフト磁性探針の、1) 試料表面への磁気吸着、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、解決策として、探針磁化が磁場に比例し飽和せず、磁化値を磁場で制御できる新たな探針が必要になる。本研究では、我々が最近開発した高い磁化率を有するグラニューラー構造の Ag-Co 超常磁性探針³⁾を用いて、永久磁石薄膜の磁区観察を試みた結果を報告する。

方法 上記の A-MFM において、探針に超常磁性探針を用いた場合には、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、交流磁場方向のみに磁場に比例して発生することから、探針試料間の磁気力勾配は次式となる。 $(\partial F_z / \partial z) = (M_z^{dc} + M_z^{ac} \cos(\omega_m t)) (\partial^2 H_z^{dc} / \partial z^2 + \partial^2 H_z^{ac} \cos(\omega_m t) / \partial z^2)$ (1) ここで探針に空間的に均一な交流磁場を印加する場合、 $(\partial^2 H_z^{ac} / \partial z^2) \ll 1$ より(1)式の ω_m 成分は以下となる。 $(\partial F_z / \partial z)(\omega_m t) \cong M_z^{ac} (\partial^2 H_z^{dc} / \partial z^2) \cos(\omega_m t)$ (2) したがって、(2)式により誘起される周波数変調の 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、交流磁場方向に平行な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、市販の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ための電磁石を試料側に付加して A-MFM 装置系を構成し、大気中で行った。探針は、磁化率 4.5×10^{-7} H/m の Ag-Co 薄膜 (100 nm) を成膜した超常磁性探針を用いた。

結果 Fig.1 に、膜面垂直方向に直流消磁した FePt 磁石厚膜の表面像(a)、磁場強度 (振幅) 像(b)、磁場極性 (位相) 像(c)、をそれぞれ示す。磁場強度像において得られた明部分の形状やサイズが、通常の MFM 測定で観察された磁区の形状や大きさとほぼ同じであること、また磁場極性像において得られた明および暗の部分の面積比が、ほぼ 1 : 1 であることから、本 A-MFM で得られた像が、FePt 磁石厚膜の消磁状態を反映した明瞭な垂直方向の磁場像で有ると言える。Fig.2 の (d) および (e) に、Fig.1 の (b) 磁場強度像および (c) 磁場極性像におけるラインプロファイルを示す。垂直磁場の強度がゼロとなる場所を境として磁場極性の反転 (位相差は 180° 変化) が明瞭に観察されており、かつ磁場極性像のラインプロファイルでは、位相が一定値を示しているプラトーな部分においてノイズが非常に小さい傾向もみられた。このことは、本超常磁性探針の磁化が、印加した交流磁場 (FePt 厚膜面垂直) 方向のみに成分をもって時間変化し、磁化曲線にヒステリシスがないことを示唆する。

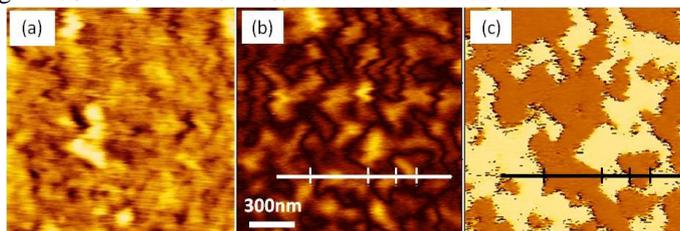


Fig.1 (a) Topographic image, (b) Amplitude image, and (c) phase image of FePt thick film.

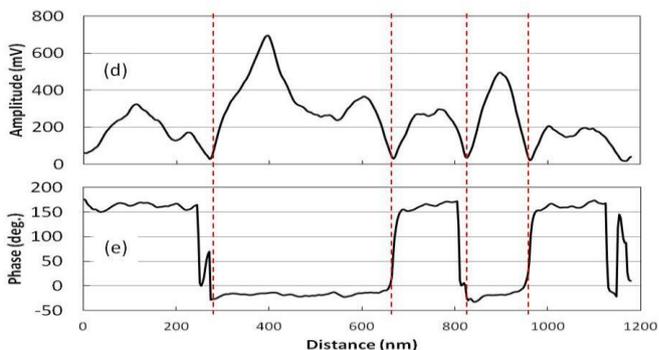


Fig.2 Line profiles of (d) Amplitude image and (e) phase image of FePt thick film.

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会 発表予定