

# 超常磁性探針を用いた磁場計測方向を固定した 交番磁気力顕微鏡による永久磁石の直流磁場イメージング

中山翔太, 江川元太, 木下幸則, 吉村哲, 齊藤準  
(秋田大学)

Static magnetic field imaging of permanent magnet by alternating magnetic force  
with a fixed measuring direction of superparamagnetic tip

S. Nakayama, G. Egawa, Y. Kinoshita, 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<sup>1),2)</sup>。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<sup>3)</sup>。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<sup>4)</sup>。本研究では高い磁化率を有するグラニューラー構造の FeCo(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 超常磁性探針を用いて、A-MFM により永久磁石の磁場イメージングを行った結果を報告する。

**方法** FeCo(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)系グラニューラー合金薄膜を、先端がピラミッド形状の Si 探針に 100 nm 成膜して超常磁性探針を作製した。A-MFM 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、交流磁場源として最大印加磁場が 3 kOe の電磁石、周波数復調器、ロックインアンプ等を加えて構成した。電磁石の交流磁場は試料面に垂直方向に印加した。観察試料として市販の FeNdB 磁石板および自作した FePt 磁石厚膜(膜厚 300 nm)を用い、探針試料間距離を種々変化させて直流磁場観察を行った。探針に印加した交流磁場の周波数は 89 Hz、振幅は 300 - 3000 Oe の範囲で変化させた。

**結果** Fig. 1 に、膜面垂直方向に直流消磁した NdFeB 等方性磁石板の (a)表面凹凸像, (b)磁場強度像(ロックインアンプの振幅像), (c)磁場極性像(ロックインアンプの位相像), (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。探針に印加した交流磁場振幅は 3000 Oe、探針試料間距離は約 1500 nm である。FeNdB 磁石板は観察前に表面を研磨した。磁石板の厚さは 0.6 mm である。(c)の磁場極性像に見るように明暗の磁場の向上きと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(暗線)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。この暗線は、隣接する結晶粒の垂直磁化成分が反転している結晶粒界付近に表れたものと推察され、FeNdB 試料の結晶粒径は 10 μm 程度と見積もられる。結晶粒径の大きな観察試料においては、探針試料間距離を減少させると結晶粒の中央部で磁場勾配が減少するので、結晶粒界付近の磁気力信号が主となる像に変化する。なお、(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。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。講演では、永久磁石観察における汎用の磁気力顕微鏡と比較した交番磁気力顕微鏡の特徴の詳細を紹介する。

**参考文献** 1) H. Saito et al., *J. Appl. Phys.*, 109, 07E330 (2011). 2) 岡安 他, 第 38 回日本磁気学会学術講演概要集, 4pA-5 (2014). 3) 吉村 他, 第 38 回日本磁気学会学術講演概要集, 4pA-6 (2014). 4) 中山 他, 第 38 回日本磁気学会学術講演概要集, 4pA-10 (2014).

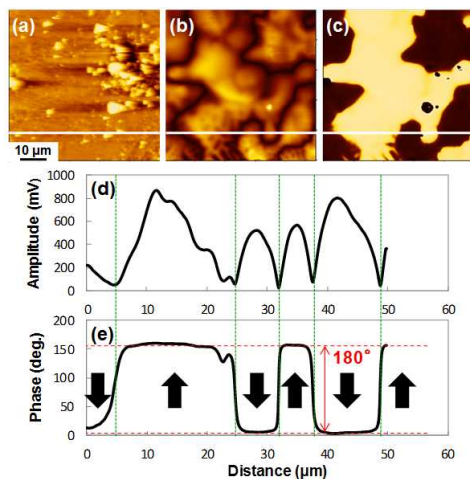


Fig.1 (a) topographic image, (b) amplitude image, (c) phase image, (d) line profile of amplitude image and (e) line profile of phase image for a NdFeB plate shaped magnet.