

永久磁石における交番磁気力顕微鏡を用いた 表面近傍・直流磁場イメージング

木下幸則、中山翔太、江川元太、吉村 哲、齊藤 準
秋田大

Near-contact imaging of DC magnetic field on hard magnet materials
by alternating magnetic force microscopy

Y. Kinoshita, S. Nakayama, G. Egawa, S. Yoshimura and H. Saito
(Akita Univ.)

はじめに 永久磁石の高性能化を図る上で、微細な磁区構造を高い空間分解能で観察することは有用である。磁気力顕微鏡 (MFM) は磁区観察の汎用機器であるが、強い磁場を発生する磁石を観察するには、探針試料間の磁気力が大きいために、1) 磁性探針が試料に磁気吸着する恐れがあり、2) 信号強度が大きいこと計測最小量が AD 変換器の量子化誤差により大きくなる、等の問題がある。このため、探針の機械的共振性能を落とし、探針試料間距離を離して磁気像を計測している。したがって原理的に高い空間分解能を得ることは困難である。一方、我々は試料表面近傍での磁場計測ならびに磁場方向の検出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強磁性の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)}。A-MFM は、励振しているソフト磁性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、探針振動信号を周波数復調後にロックイン検出することで計測する。本報告では、上記の永久磁石観察の問題点を鑑み、強磁性探針の代わりに、我々が最近開発した高い磁化率を示すグラニューラー構造を有する Ag-Co 超常磁性探針等³⁾を用いて、永久磁石材料の磁区観察を試みた結果を報告する。

方法 磁区観察は、市販のプロープ顕微鏡 (日立ハイテクサイエンス製、L-trace II) の試料ステージ直下に交流電磁石を配置して A-MFM を構成して行った。観察試料には、市販の NdFeB 系永久磁石 (サイズ $1 \times 1 \times 1 \text{ mm}^3$) を熱消磁した後、機械研磨によって厚さ $300 \mu\text{m}$ 程度に薄くしたものや、自作した FePt 磁石厚膜 (膜厚 300 nm) 等を用いた。超常磁性探針は市販 Si 製探針表面にスパッタリング法で Ag-Co グラニューラー薄膜 (磁化率 $4.5 \times 10^{-7} \text{ H/m}$) を成膜して作製した。A-MFM 観察は、磁性探針を 1 次共振周波数近傍で励振し、 70 Hz , 400 Oe-p の交流磁場を印加して、タッピング/リフトモード (リフト高さ 20 nm) で行った。

結果 Fig. 1 に、熱消磁した NdFeB 系磁石について、表面凹凸像 (a)、試料面に垂直方向の直流磁場の勾配の強度像 (Lock-in 振幅信号) (b)、垂直方向の直流磁場勾配の極性像 (Lock-in θ 像) (c)、を示す。(a) の凹凸像では、明瞭な結晶粒構造を観察できており、強磁性体探針を用いた表面近傍での MFM 観察で顕著となる、強い試料磁場に起因する探針磁化の反転や凹凸像の鈍り等のアーティファクトは認められない。(b) の磁場勾配の強度像 (磁場勾配の絶対値に対応) では消磁後の多磁区構造を反映したメイズパターンを示しており、また、(c) の直流磁場勾配の極性

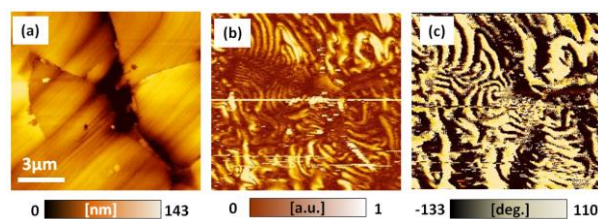


Fig. 1 (a) Topographic image, (b) Amplitude (Lock-in amplitude) and (c) Polarity (Lock-in phase) images of the gradient of DC magnetic field normal to sample surface on a thermally demagnetized NdFeB-permanent magnet obtained by A-MFM with an Ag-Co superparamagnetic tip.

像は明暗 (白黒) の 2 値画像となっており、その位相差が 180° であることから、各磁区の垂直磁場の方向 (上向き下向き) が明瞭に判別できる。これらの結果から、A-MFM による常磁性探針を用いた永久磁石観察では、通常の MFM では困難である表面近傍での磁区構造の極性情報を伴った可視化が高分解能で可能であることがわかる。講演では、自作した FePt 磁石厚膜に係わる観察結果も報告し、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を紹介する予定である。

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