

交番磁気力顕微鏡を用いた永久磁石の3次元磁場計測 — 探針伝達関数に基づいた計測磁場方向の変換 —

和田 真羽, Zhao Yue, 松村 透, 齊藤 準
秋田大学

Three-dimensional magnetic field measurement of permanent magnet by alternating magnetic force microscopy: Conversion of measuring magnetic field direction based on MFM tip transfer function

S. Wada, Y. Zhao, T. Matsumura, H. Saito
(Akita Univ.)

はじめに

我々は磁気力顕微鏡(MFM)において、非共振の磁気力が探針振動に誘起する周波数変調現象を利用して、試料面近傍の磁気力を高感度・高空間分解能で計測できる交番磁気力顕微鏡 (A-MFM) を開発し、さらに超常磁性探針を用いることで計測磁場方向の精度の高い磁気イメージング手法を実現し、表面凹凸の大きな永久磁石においても試料ホルダーに垂直な磁場成分のみを計測することで、明瞭な磁区構造の観察に成功している。本研究ではこの高い計測磁場方向精度を活かして、探針伝達関数²⁾による計測磁場方向の変換処理を検討した結果、計測磁場方向を任意に設定することで3次元磁場解析が可能になったので報告する。

方法

MFM が検出する磁気力勾配信号は、 $\partial F_z / \partial z = m_x (\partial^2 H_x / \partial z^2) + m_y (\partial^2 H_y / \partial z^2) + m_z (\partial^2 H_z / \partial z^2)$ で表される。ここで (m_x, m_y, m_z) は直交座標系での探針磁化成分であり、 z 方向を試料面に垂直方向とする。本研究では、探針伝達関数を用いた計測磁場方向の変換用の測定データとして、Co-GdO_x 超常磁性探針を用いた A-MFM 観察により得た永久磁石試料の垂直磁場勾配信号 $\partial F_z / \partial z = m_z (\partial^2 H_z / \partial z^2)$ を用いた。計測磁場方向の変換は自作した信号処理プログラムを用いて行い、空間スペクトル上での空間周波数フィルター処理後、フーリエ逆変換により磁気像に戻すことで所望の計測磁場方向の A-MFM 像を得た。

結果

図1に表面が平滑なNdFeB焼結磁石をA-MFM観察して得た探針磁化方向が試料面に垂直な m_z の場合の垂直磁場勾配像 $m_z (\partial^2 H_z / \partial z^2)$ [(a)] および信号変換により求めた探針磁化を試料面に平行方向の m_x および m_y とした場合の面内磁場勾配像 $m_x (\partial^2 H_x / \partial z^2)$ [(b)], $m_y (\partial^2 H_y / \partial z^2)$ [(c)] を示す。

図に見るように、計測磁場方向を変換した面内磁場像では探針磁化方向に垂直方向の磁場成分を検出できないので、概ね探針磁化方向に沿った像コントラストが得られていることがわかる。所望の計測磁場方向の像は、探針磁化 (m_x, m_y, m_z) が極座標系では

$(m_0 \sin \theta \cos \phi, m_0 \sin \theta \sin \phi, m_0 \cos \theta)$ で表されるので、 θ と ϕ を変化させて探針磁化成分の重み付けを変えることで得ることができる。さらに磁場勾配像の各画素で探針磁化方向を変化させて磁場勾配信号が最大となる方向を求めることで、磁場方向の可視化も可能になる。発表時にはこれらの詳細について述べる予定である。本研究で用いたNdFeB磁石は日立金属(株)様からご提供いただきました。

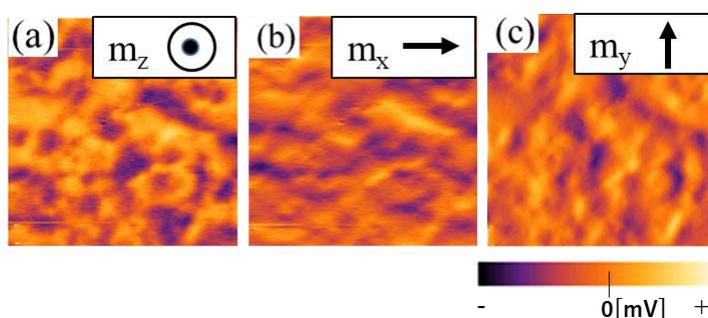


Fig.1 Measured $(\partial^2 H_z / \partial z^2)$ image [(a)], signal transformed $(\partial^2 H_x / \partial z^2)$ image [(b)] and signal transformed $(\partial^2 H_y / \partial z^2)$ image [(c)] of NdFeB sintered magnet.

参考文献

- 1) H. Saito et al., J. Magn. Magn. Mater., 191 (1999) 153
- 2) Y. Cao, H. Saito et al., J. Appl. Phys., 123 (2018) 224503