

交番磁気力顕微鏡による探針伝達関数を用いた 3次元磁場計測

Three-dimensional Magnetic Field Measurement by Alternating Magnetic Field

Microscopy Based on MFM Tip Transfer Function

秋田大理工 ○(M1) 和田 真羽, Zhao Yue, 松村 透, 齊藤 準

Akita Univ., °Shu Oubutsu¹, Zhao Yue, Toru Matsumura, Hitoshi Saito

E-mail: m8019430@s.akita-u.ac.jp

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、直流磁場計測において、さらに探針に超常磁性探針を用いて試料面に垂直方向の交流磁場を印加することで計測磁場方向を交流磁場方向に一致させた磁気イメージングを実現している¹⁾。本発表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⁾に着目して、計測磁場方向の変換処理により磁場勾配の3次元成分を導出して3次元磁場計測を実現した結果を報告する。

方法 MFM が検出する磁気力勾配信号は、探針磁化 \mathbf{m} の3次元成分を (m_x, m_y, m_z) とし、探針の振動方向を z 方向とした場合に、 $\partial F_z / \partial z = m_x (\partial^2 H_x / \partial z^2) + m_y (\partial^2 H_y / \partial z^2) + m_z (\partial^2 H_z / \partial z^2)$ で表される。本研究では、Co-GdO_x 超常磁性探針を用いて交流磁場を試料面に垂直方向に印加して測定した A-MFM 信号 ($\partial F_z / \partial z = m_z^{ac} \cos(\omega t) (\partial^2 H_z / \partial z^2)$: z 方向を試料面に垂直方向とした) から求めた垂直磁場勾配像 $m_z^{ac} (\partial^2 H_z / \partial z^2)$ を用いて、計測磁場方向の異なる A-MFM 像を、自作した信号処理プログラムにより空間スペクトル上で空間周波数フィルター処理後にフーリエ逆変換することにより信号を変換して求めた。さらに、磁場勾配の3次元成分を利用して磁場勾配の大きささと方向に関する像を求めた。

結果 図1(a)に、一例として NdFeB 焼結磁石を A-MFM 観察して得た垂直磁場勾配像 ($\theta m_z^{ac} (\partial^2 H_z / \partial z^2)$; $\mathbf{m} = (0, 0, m_z^{ac} \cos(\omega t))$)、および図1(b), (c)に信号変換により求めた探針磁化を試料面に平行方向の $m_x^{ac} \cos(\omega t)$ および $m_y^{ac} \cos(\omega t)$ とした場合の面内磁場勾配像 $m_x^{ac} (\partial^2 H_x / \partial z^2)$, $m_y^{ac} (\partial^2 H_y / \partial z^2)$ を示す。さらに、図1(d), (e), (f)に、磁場勾配の強度 ($\partial^2 |\mathbf{H}| / \partial z^2$) 像および磁場勾配ベクトルの偏角 θ 像、面内角 ϕ 像を示す。

図に見るように、計測磁場方向を変換した図1(b), (c)の面内磁場像では探針磁化方向に垂直な磁場成分は検出されないため、概ね探針磁化方向に垂直な像コントラストが得られていることがわかる。図1(d)の磁場勾配の強度像では試料の磁場エネルギーの平方根の勾配に対応する像を得ることができる。図1(e)の磁場勾配ベクトルの偏角 θ 像では、従来のソフト磁性探針を用いた A-MFM の場合での垂直磁場の極性(上向き/下向き)情報と比較して、試料面垂直方向で磁場勾配の方向を得ることができる。図1(f)の磁場勾配ベクトルの面内角 ϕ 像では、磁場勾配ベクトルの試料面内での放射状の広がりから、磁場の湧き出し/吸い込みが明確に観察できる。

本研究で用いた探針伝達関数を用いた試料面に垂直方向の磁場勾配信号を用いた計測磁場方向の変換手法は、磁場勾配のみならず磁場でも応用可能である。信号変換法の詳細は学会で報告する。本研究で観察した NdFeB 磁石は日立金属(株)様からご提供いただきました。

参考文献

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

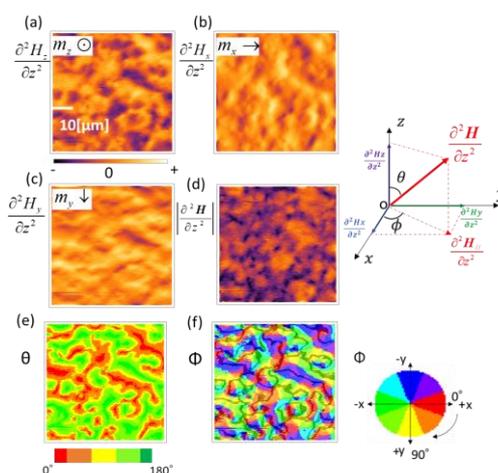


Fig.1 (a) Measured perpendicular magnetic field gradient image ($\partial^2 H_z / \partial z^2$) and signal transformed images [(b) ($\partial^2 H_x / \partial z^2$), (c) ($\partial^2 H_y / \partial z^2$), (d) ($\partial^2 |\mathbf{H}| / \partial z^2$), (e) polar angle θ , (f) azimuthal angle ϕ] for a NdFeB sintered magnet.