磁気力顕微鏡における探針伝達関数を用いた計測磁場方向変換

Conversion of Measuring Magnetic Field Direction by Tip Transfer Function on

Magnetic Field Microscopy

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

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

E-mail: hsaito@gipc.akita-u.ac.jp

はじめに 汎用の磁気イメージングツールである磁気力顕微鏡(MFM)は磁性材料・磁気デバイスの研 究開発の現場で広く用いられており,更なる空間分解能や機能性の向上が強く求められている. MFM が検出する磁場勾配での磁場の方向は探針磁化 mの方向になるので,これまでは計測したい磁場方向 に合わせて mの方向を変化させる必要があり,3次元的な磁場計測は容易ではなかった.他の磁場計 測法においても計測磁場方向に合わせた検出素子を準備する必要があり同様の状況である.本研究で は,MFMにおいて測定した磁場勾配信号から他の計測方向での磁場勾配を求めるための計測磁場方向 変換法を開発することで3次元磁場計測を実現したので報告する.

<u>方法</u> MFM が検出する磁気力勾配信号は、探針磁化を (m_x, m_y, m_z) とし、試料面に垂直方向をz方 向として、探針をこの方向に振動させた場合に、

 $\partial F_z/\partial z = m_x (\partial^2 H_x/\partial z^2) + m_y (\partial^2 H_y/\partial z^2) + m_z (\partial^2 H_z/\partial z^2)$ で表される.ここで各方向の磁場勾配 $(\partial^2 H_{(x,y,z)}/\partial z^2)$ は試料磁極 ρ_m を発生源とした探針伝達関数 $G(\partial^2 H_{(x,y,z)}/\partial z^2)$ ¹⁾を用いて表すことができる.例えば試料面に垂直方向の磁場の勾配 $(\partial^2 H_z/\partial z^2)$ と試料面に平行方向の磁場の勾配 $(\partial^2 H_x/\partial z^2)$ については,波数空間で以下のように表される.

$$\begin{aligned} &(\partial^{2}H_{z}/\partial z^{2})(k_{x},k_{y},z) = G(\partial^{2}H_{z}/\partial z^{2})(k_{x},k_{y},z-z_{0})\rho_{m}(k_{x},k_{y},z_{0}) \\ &(\partial^{2}H_{x}/\partial z^{2})(k_{x},k_{y},z) = G(\partial^{2}H_{x}/\partial z^{2})(k_{x},k_{y},z-z_{0})\rho_{m}(k_{x},k_{y},z_{0}) \\ & \simeq \mathbb{C}, \quad (\partial^{2}H_{x}/\partial z^{2})(z) = [G(\partial^{2}H_{x}/\partial z^{2})(z-z_{0})/G(\partial^{2}H_{z}/\partial z^{2})(z-z_{0})]G(\partial^{2}H_{z}/\partial z^{2})(z-z_{0})\rho_{m}(z_{0}) \\ &= [G(\partial^{2}H_{x}/\partial z^{2})(z-z_{0})/G(\partial^{2}H_{x}/\partial z^{2})(z-z_{0})](\partial^{2}H_{z}/\partial z^{2})(z) \end{aligned}$$

より、計測磁場方向変換フィルター [$G(\partial^2 H_x/\partial z^2)(z-z_0)/G(\partial^2 H_x/\partial z^2)(z-z_0)$]を用いることで、測定 信号 ($\partial^2 H_z/\partial z^2$)から信号変換により ($\partial^2 H_x/\partial z^2$)を計算 で求めることが可能になる.

本研究では、計測磁場方向精度に優れた超常磁性探 針を用いた交番磁気力顕微鏡²⁾により測定した試料面 に垂直方向の磁場の勾配像 $(\partial^2 H_z/\partial z^2)$ を用いて、上述 の計測磁場方向変換フィルターにより計測磁場方向が 直交する $(\partial^2 H_z/\partial z^2)$ 像および $(\partial^2 H_z/\partial z^2)$ 像を求め、さ らに、これらの磁場勾配の3次元空間成分を利用して 磁場勾配の大き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($\partial^2 H_z/\partial z^2$)および図1(b), (c)に信号変換により求めた面内磁場勾配像($\partial^2 H_x/\partial z^2$), ($\partial^2 H_y/\partial z^2$)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.

本研究の試料面に垂直方向の磁場勾配信号を用いた 探針伝達関数による計測磁場方向の変換手法は、磁場 勾配のみならず磁場にも応用できる.この詳細は学会 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.

<u>参考文献</u> 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



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.