

磁気力顕微鏡におけるソフト磁性探針の交流磁場応答を用いた性能評価方法の提案

H. Qi², 岡安慎介¹, F. Zheng², 江川元太¹, 木下幸則², 吉村哲¹, 齊藤準¹

¹秋田大学, ²秋田大学ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー

Proposal of evaluation method of soft magnetic MFM tip's performance by AC magnetic field response

H. Qi², S. Okayasu¹, F. Zheng², G. Egawa¹, Y. Kinoshita², S. Yoshimura¹, and H. Saito¹

¹Graduate School of Engineering and Resource Science, Akita University

²Venture Business Laboratory, Akita University

はじめに 磁気力顕微鏡(MFM)は、磁性体試料と磁性探針の相互作用を利用して磁場を画像化するので、探針の磁気特性の把握は重要である。磁気力顕微鏡探針としては、ハード磁性探針が主に用いられているが、近年ではソフト磁性探針もその磁場応答性を利用した用途で使用されてきている^{1, 2)}。したがってソフト磁性探針の磁場応答性の評価は重要である。本研究ではソフト磁性探針の交流磁場応答性から探針性能である飽和磁場、計測感度を評価する方法を提案する。

方法 磁性探針に交流磁場を印加したときの磁気力の勾配は、探針の振動方向を z 方向とし、この方向に交流磁場 $H_z^{ac} \cos(\omega_m t)$ を印加した場合に次式で与えられる。 $(\partial F_z / \partial z) = (M_z^{dc} + M_z^{ac}(t)) (\partial^2 H_z^{ac} \cos(\omega_m t) / \partial z^2)$ (1) ここで、 M_z^{dc} は時間変化しない探針磁化成分、 $M_z^{ac}(t)$ は時間変化する探針磁化成分である。理想的なハード磁性探針の場合 $M_z^{ac}(t) = 0$ であり、理想的なソフト磁性探針の場合 $M_z^{dc} = 0$ である。 $M_z^{ac}(t)$ が交流磁場に比例して変化する場合 ($M_z^{ac}(t) = M_z^{ac} \cos(\omega_m t)$)、(1)式は以下となる。

$$(\partial F_z / \partial z) = (M_z^{ac} / 2) (\partial^2 H_z^{ac} / \partial z^2) + M_z^{dc} (\partial^2 H_z^{ac} / \partial z^2) \cos(\omega_m t) + (M_z^{ac} / 2) (\partial^2 H_z^{ac} / \partial z^2) \cos(2\omega_m t) \quad (2)$$

ここで、交流磁場の周波数 ω_m が探針の共振周波数 ω_0 と異なる場合、(2)式の磁気力の周期的変化により、探針振動に周波数変調が発生する³⁾。したがって、周波数変調による探針振動の側帯波成分 ($\omega_0 \pm n\omega_m$; n は周波数変調の次数) の強度を測定することにより、探針磁化の磁場応答性の評価が可能になる。そこで、本研究で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、探針に交流磁場を印加するための電磁石を付加して、磁性探針に 89 Hz の交流磁場を印加し、その振動スペクトルをスキャナライトで測定した。

結果 Fig.1 に Ni-Fe 探針における探針振動スペクトルの一例と 2 次の周波数変調の側帯波成分の強度 $I(2\omega_m)$ の交流磁場振幅 H_{ac} 依存性を示す。 $I(2\omega_m)$ は H_{ac} の増加に伴い、その 2 乗に比例して増加した後 1 乗に比例して変化する。この現象を理解するために、 $(\partial F_z / \partial z) = M_z(t) (\partial^2 H_z(t) / \partial z^2) \propto M_z(t) H_z(t)$ の関係を用い、Fig.2(a)のように探針磁化が磁場に比例して増加した後飽和する磁化曲線を仮定し、探針に交流磁場を印加した際の $M_z(t) H_z(t)$ の時間変化波形の一例として交流磁場振幅が探針の飽和磁場 H_s の 2 倍の場合のものを Fig.2(b)に、Fig.2(c)に $M_z(t) H_z(t)$ の $2\omega_m$ のフーリエ級数成分 $I(2\omega_m)$ の H_{ac} 依存性の計算結果を示す。Fig.2(c)のように、 $I(2\omega_m)$ は H_{ac} の増加に伴い、実験結果と同様に、その 2 乗で H_s まで増加した後 1 乗に比例して変化する。したがって、本手法により、ソフト磁性探針の飽和磁場を求めることが可能になることがわかる。さらに、 H_s での $I(2\omega_m)$ の値を様々な探針について比較することで、探針の計測感度の評価が可能となる。講演では、実験で観測される高次の探針振動スペクトルについても計算結果と比較検討した結果および評価した探針により観察される MFM 像との相関についても述べる。

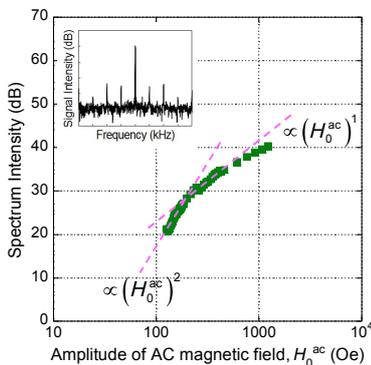


Fig.1 Dependence of AC magnetic field amplitude on the intensity of second harmonics of tip's frequency modulated oscillation for Ni-Fe MFM tip.

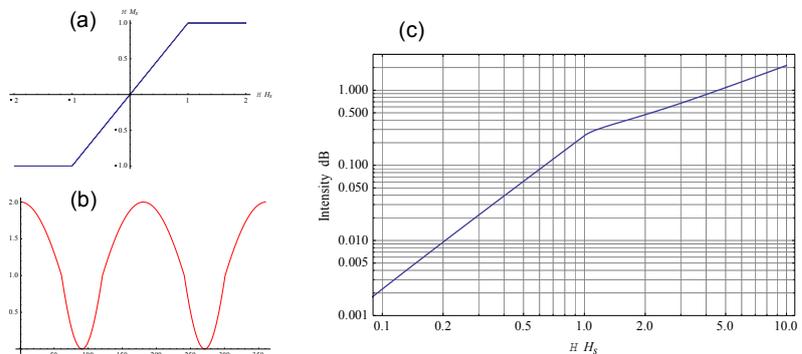


Fig.2 (a) Model of MFM tip's M - H curve, (b), waveform of $M_z(t)H_z(t)$, (c) Dependence of AC magnetic field amplitude on the intensity of calculated second harmonics of tip's frequency modulated oscillation for MFM tip.

参考文献 1) 伊藤 他, 第 35 回日本磁気学会学術講演会概要集, 27pD-2. 2) S. Okayasu et al., 2nd ICAUMS, 2pPS-109 (2012). 3) H. Saito et al., *J. Appl. Phys.*, **109**, 07E330 (2011).