

Co-GdO_x 超常磁性 MFM 探針の高周波磁場応答性の X バンド・導波管スロットアンテナを用いた評価

上村 拓, 園部 博, 松村 透, 伊藤 桂一, 齊藤 準
秋田大, 秋田高専

Evaluation of high frequency magnetic field response for Co-GdO_x superparamagnetic MFM tip
by X-band waveguide slot antenna

T. Kamimura, H. Sonobe, T. Matsumura, K. Ito, H. Saito
(Akita Univ., National Institute of Technology, Akita College)

はじめに 磁気力顕微鏡(MFM)は様々な磁性材料・磁気デバイスの磁区観察に広く用いられており、近年、空間分解能や機能性の向上により計測対象が拡大している。我々は最近、磁気ヒステリシスがなく保磁力ゼロの Co-GdO_x 系高磁化率・超常磁性探針を開発し、磁気記録ヘッドから発生する磁場の高分解能計測を実現している。本研究では、磁気力顕微鏡で高周波磁場計測が可能になれば更なる用途拡大がマイクロ波アシスト記録等で期待できると考え、高い強磁性共鳴周波数が予測される超常磁性探針について、高周波磁化率の評価を目的として X バンドの導波管スロットアンテナを用いてその高周波磁場応答性を検討した。

方法 自作した X バンドの導波管スロットアンテナを用いて、Co-GdO_x 超常磁性探針を含む種々の探針を MFM に装着して、振幅変調したマイクロ波を印加した。ここで超常磁性探針の磁化がマイクロ波磁場に追従する場合、マイクロ波磁場を H 、探針磁化を m^{ip} とし、超常磁性探針の磁化率を χ とすると、

$$H = H_0(1 + \alpha \cos(\omega_m t)) \cos(\omega_c t) = H_0 \cos(\omega_c t) + (\alpha H_0 / 2) \cos((\omega_c - \omega_m)t) + (\alpha H_0 / 2) \cos((\omega_c + \omega_m)t)$$

$$m^{ip} = \chi H_0(1 + \alpha \cos(\omega_m t)) \cos(\omega_c t) = \chi H_0 \cos(\omega_c t) + (\alpha \chi H_0 / 2) \cos((\omega_c - \omega_m)t) + (\alpha \chi H_0 / 2) \cos((\omega_c + \omega_m)t)$$

より、探針の磁気力 F_z^{ip} に、 $F_z^{ip} = \alpha \chi (\partial H_0^2 / \partial z) \cos(\omega_m t) + (\alpha^2 \chi / 2) (\partial H_0^2 / \partial z) \cos(2\omega_m t) + \dots$ で表される低周波の交番磁気力が発生する。この交番磁気力は探針振動の周波数変調現象を引き起こすので交番磁気力顕微鏡を用いることで画像化できる。本研究では探針振動の周波数変調を計測し探針の高周波磁場応答性を評価した。

結果 図 1 に、MFM 内の導波管スロットアンテナ上に設置した(a)ガラス基板、(b) Co-GdO_x 超常磁性薄膜(膜厚 100 nm)を、Co-GdO_x 超常磁性探針(膜厚 100 nm)を用いて走査したときの探針振動スペクトルの一例を示す。マイクロ波のキャリア周波数は 11 GHz、振幅変調周波数は 89 Hz、振幅変調率は 90%である。探針は共振周波数 ω_d 近傍で加振した。(a),(b)とも探針の加振スペクトル $S(\omega_d)$ の近傍に、矢印の周波数変調による 1 次側帯波スペクトル $S(\omega_d \pm \omega_m)$ が観察され、超常磁性薄膜を設置することで、 $S(\omega_d)$ と $S(\omega_d \pm \omega_m)$ の電力比 $S(\omega_d) / S(\omega_d \pm \omega_m)$ が基板の場合と比較して 3.8dB 増加した。側帯波は探針が導電性であればマイクロ波電場でも同様に発生するので、側帯波の起因を探るため、非磁性の Au 探針、ソフト磁性の FeCoB 非晶質探針を加えて測定した電力比 $S(\omega_d) / S(\omega_d \pm \omega_m)$ を表 1 に示す。表に見るように、ガラス基板と比較して超常磁性薄膜の場合に電力比が大きく増加するのは、超常磁性探針のみであることから、超常磁性薄膜がマイクロ波磁場により磁化することで薄膜から発生するマイクロ波磁場も合わせて超常磁性探針が検出しており、Co-GdO_x 超常磁性探針の比透磁率を電力比の増加率から見積もると 3 弱であった。講演では、マイクロ波周波数を変化させた結果も合わせて報告する予定である。

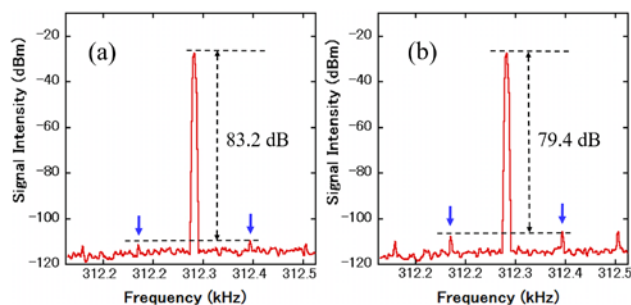


Fig.1 Oscillation spectrum of Co-GdO_x superparamagnetic tip on (a) glass substrate and (b) Co-GdO_x superparamagnetic film.

Table 1 Power ratio (dB) between the oscillation spectrum and the first side band spectra of frequency modulated tip oscillation on glass substrate and Co-GdO_x superparamagnetic film by various tips.

Tip	Au tip	FeCoB tip	Co-GdOx tip
Sample			
Glass substrate(A)	80.4	79.5	83.2
Co-GdOx Superpara magnetic film(B)	80.3	84.9	79.4
A-B	+0.1	-5.5	+3.8