

交番磁気力顕微鏡を用いた直流磁場と交流磁場の交差エネルギー項の検出による磁気記録ヘッドの局所磁化計測

P. Dubey, P. Kumar, 園部 博, 齊藤 準
(秋田大)

Local magnetization measurement of magnetic recording head by detecting energy cross term of DC and AC magnetic field by alternating magnetic force microscopy

P. Dubey, P. Kumar, H. Sonobe, H. Saito
(Akita Univ.)

はじめに 垂直磁気記録ヘッドでは記録磁場の高強度・高収束化が図られており、磁気ヘッドの更なる性能向上にはその微視的な磁気特性を把握することが重要となる。筆者らは、磁気力顕微鏡の分野で試料表面近傍の磁場の計測を可能にすることで空間分解能を大幅に向上させた交番磁気力顕微鏡 (Alternating Magnetic Force Microscopy; A-MFM)を開発し、さらに高磁化率の Co-GdO_x系超常磁性探針を開発することで、磁気ヘッドから発生する交流磁場に対してその2乗値に対応する磁場エネルギー計測を可能にし、さらなる空間分解能向上を実現している^{1,2)}。本研究では、磁気ヘッドに直流磁場を重畳させた交流磁場を発生させて、直流磁場と交流磁場との交差エネルギー項を解析することで磁気記録ヘッドの局所的な磁化測定を試みた。

方法 Co-GdO_x超常磁性探針 (磁性膜厚 100 nm) を用いて磁気ヘッドの A-MFM 観察を行った。超常磁性探針には磁気ヘッドからの交流磁場 $H \cos(\omega t)$ による交流磁化 $m^{ip} = \chi H \cos(\omega t)$ が発生するので探針の磁気力は $\chi(\partial^2 H^2 / \partial z^2) \cos^2(\omega t) \propto \cos(2\omega t)$ となり、磁場の2乗に対応する磁場エネルギー信号 (周波数 2ω) を検出することで交流磁場のエネルギーを画像化できる。ここで直流バイアスした電流 $I = I_{dc} + I_{ac}^0 \cos(\omega t)$ を磁気ヘッドに印加した場合、磁気ヘッド面に垂直方向の磁化 $M_{\perp} = M_0 \sin \theta$ (θ はヘッド磁化のヘッド面からの立上り角度) は、 I_{dc} と I_{ac} による直流磁場および交流磁場により、 $M_{\perp} = M_s \sin(\theta + \Delta\theta \sin(\omega t))$ で周期的に変化する。ここで交流磁場が直流磁場に対して小さい場合 ($\Delta\theta \ll \theta$) には、

$M_{\perp} \cong M_s (\sin \theta + \Delta\theta \cos \theta \sin(\omega t))$ となる。このとき磁気ヘッド面近傍では M_{\perp} によりヘッド面に垂直方向のヘッド磁場 $H_z = H_z^{dc} + H_z^{ac}$ が発生する。ここで H_z^2 において H_z^{dc} と H_z^{ac} の交差磁場エネルギー項が、 $H_z^{dc} H_z^{ac} \cong \Delta\theta M_s^2 \sin \theta \cos \theta \sin(\omega t) \propto \sin 2\theta$ となることに着目すると、交差エネルギー項 (周波数 ω) の信号強度 $S(\omega)$ は $\sin 2\theta$ に比例することになる。そこで I_{ac}^0 を固定して $S(\omega)$ の I_{dc} 依存性を解析することで磁気ヘッドの局所的な磁化計測を行った。

結果 図 1(a)に $I_{dc} = 3 \text{ mA}$ での磁気ヘッドの交流磁場エネルギー像とその中心部での直流磁場と交流磁場の交差エネルギー項 $S(\omega)$ (最大値を1で規格化)の I_{dc} 依存性を示す。 $S(\omega)$ は I_{dc} の増加に伴い急激に増加し、 $I_{dc} = 3 \text{ mA}$ 付近で最大値をとった後に徐々に減少することがわかる。図 1(b)に $S(\omega)$ が最大となるときの磁化の立上り角度 θ を 45° として、 $S(\omega)$ が $\sin 2\theta$ に従うとして求めた θ を用いて、ヘッド面に垂直方向の磁化曲線 (ヘッド磁化の飽和値で規格化) $M_{\perp} / M_s = \sin \theta$ を示す。磁化は I_{dc} の増加に伴い急激に増加しその後、飽和に近づいていくことがわかる。講演ではこの解析の詳細について述べる。

謝辞 磁気記録ヘッドの磁場エネルギーイメージングに関する議論に対して、(株)日立ハイテクファインシステムズ様に感謝いたします。

参考文献 1) Kumar et al., Appl. Phys. Lett., 111, 183105 (2017),
2) P. Kumar et al., J. Appl. Phys., 123, 214503 (2018)

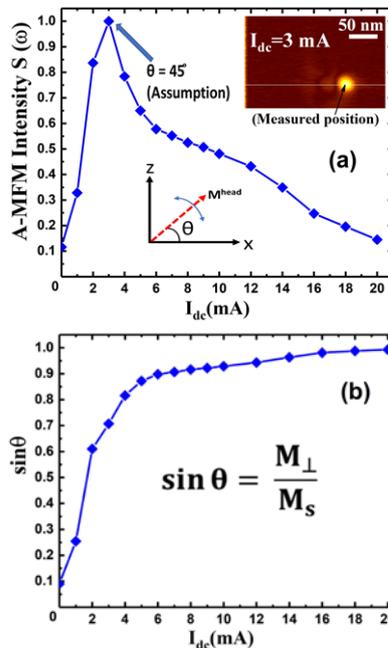


Fig. 1 (a) I_{dc} dependence of normalized $S(\omega)$, (b) I_{dc} dependence of normalized M_{\perp} .