

超常磁性探針を用いた交番磁気力顕微鏡による磁気記録ヘッドの 高空間分解能・磁場エネルギーイメージングの理論

Pawan Kumar, 鈴木 雄大, Yongze Cao, 吉村 哲, 齊藤 準
(秋田大学)

Theory of high-resolution magnetic field energy imaging of the magnetic recording head
by A-MFM with superparamagnetic tip

P. Kumar, Y. Suzuki, Y. Cao, S. Yoshimura, H. Saito
(Akita Univ.)

はじめに 高密度磁気記録技術の進展に伴い、垂直磁気記録ヘッドでは書込磁場の高強度・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発生磁場を高い空間分解能で計測・評価することが重要となる。筆者らの研究グループでは、磁気力顕微鏡の分野で試料表面近傍の磁場の計測を実現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、さらに高保磁力の FePt 系ハード磁性探針を開発することで、磁気ヘッドからの強い交流磁場の高分解能計測を実現している¹⁾。本報告では、磁性探針として新たに超常磁性探針を使用することで可能になる磁場エネルギーの高分解能イメージングの可能性を定式化により検討した結果²⁾を報告する。

結果 超常磁性探針 (SP 探針) を構成する個々の超常磁性状態の磁性結晶粒の磁化 m を $m = \chi H$ で表す。探針の磁気力 F_z^{SP} はダイポールとして振る舞う個々の磁性結晶粒の磁気モーメントが受ける磁気力の和となり、次式で与えられる。ここで z 方向は探針の変位方向であり試料面に垂直としている。

$$F_z^{SP} = \int_{\text{tip volume}} \frac{\partial}{\partial z} (m \cdot H) dv = \chi \int_{\text{tip volume}} \frac{\partial}{\partial z} (H \cdot H) dv = \chi \int_{\text{tip volume}} \frac{\partial (H^2)}{\partial z} dv$$

個々の磁性結晶粒の磁化率 χ が一定の場合、磁気力は空間の磁場エネルギー $\mu_0 (H)^2$ に比例するので、その計測が可能となる。SP 探針の特徴として、磁場の発生源に近い探針先端の磁性結晶粒の磁化の寄与が大きく、先端から離れた磁性結晶粒の寄与が小さいので、探針の有効磁気体積は探針に成膜されている磁性薄膜の体積より小さくなり、高分解能化に有利となることがあげられる。

一方、従来のハード磁性探針 (HM 探針) では、探針の長手方向に個々の結晶粒の磁気モーメントの方向が揃っている場合には、探針の磁気力 F_z^{HM} は次式で与えられる。

$$F_z^{HM} = \int_{\text{tip volume}} \frac{\partial}{\partial z} (m \cdot H) dv = \int_{\text{tip volume}} \frac{\partial}{\partial z} (m_z H_z) dv \cong \int_{\text{tip surface}} q_m H_z dS$$

ここで、 q_m は探針表面の磁極である。HM 探針の場合、 q_m はハード磁性材料の磁化に依存して概ね一定値となることで、探針の有効体積は主に探針の形状を反映した表面積に影響されるので、高分解能化には探針を対称性よく先鋭化しその表面積を減少させることが重要となる。

磁気力の探針試料間距離依存性を考察するため、試料上の 3 次元直交座標系の原点 $(x, y, z) = (0, 0, 0)$ にある単磁極から探針が受ける磁気力を計算すると次式となる。

$$F_z^{SP} = \frac{\chi}{8(\pi\mu_0)} \int_{\text{tip volume}} \frac{-(x^2 + y^2 - 5z^2)}{(x^2 + y^2 + z^2)^4} dv, \quad F_z^{HM} \cong \frac{q_m}{4\pi\mu_0} \int_{\text{tip surface}} \frac{x^2 + y^2 - 2z^2}{(x^2 + y^2 + z^2)^{5/2}} dS$$

ここで、座標点 (x, y, z) は SP 探針の個々の結晶粒の磁化 m あるいは HM 探針表面の q_m の位置である。探針が単磁極の真上にあるときに、 $F_z^{SP} \cong \frac{5\chi}{4(\pi\mu_0)^2} \int_{\text{tip volume}} \frac{1}{z^6} dv$, $F_z^{HM} \cong \frac{q_m}{4\pi\mu_0} \int_{\text{tip surface}} \frac{-2}{z^3} dS$ となる。したがって、超常磁性探針においては、磁化率 χ の大きなものが実現できれば、磁気力が短距離的となり高分解能化が図れることがわかる。

参考文献 1) W. Lu et al., Appl. Phys. Lett., 96,143104(2010), 2) P. Kumar et al., Appl. Phys. Lett., 111,183105(2017)

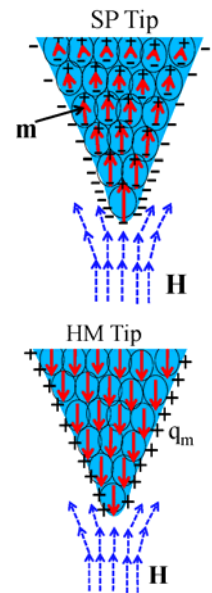


Fig.1 Schematic figures of SP tip and HM tip.