

交番磁気力顕微鏡を用いた強い直流磁場計測に向けた 高磁化率 Fe 基常磁性および Ag-Co 超常磁性探針の開発

吉村 哲、番匠 春嵐、郑 富、江川 元太、木下 幸則、齊藤 準

(秋田大)

Development of high-susceptibility Fe-based paramagnetic and Ag-Co superparamagnetic tips
for magnetic imaging of strong DC magnetic field by alternating magnetic force microscopy

S. Yoshimura, S. Bansho, F. Zheng, G. Egawa, Y. Kinoshita, and H. Saito

(Akita Univ.)

はじめに 我々は、試料表面近傍での静磁場計測を可能にする高空間分解能な交番磁気力顕微鏡 (A-MFM) を開発した^{1),2)}。本手法では、ハード磁性試料の直流磁場計測に対しては、ソフト磁性探針に交流磁場を印加し、探針磁化を周期的に反転させて探針試料間に交番磁気力を発生させ、この交番磁気力が誘起する探針振動の周波数変調現象を利用する。しかしながら、永久磁石等の極めて強い磁場を発生する試料の評価においては、1) ソフト磁性探針が試料表面に磁気吸着してしまう、2) ソフト磁性探針の磁化が試料からの直流磁場で飽和してしまい周波数変調現象が生じない、などの問題が発生する。これに対し、磁気モーメントがソフト磁性材料よりも小さく、磁化が飽和しない、高い磁化率を有する、などの特徴を有する常磁性および超常磁性材料を用いた探針が、強磁場画像化に有望であると考えられる。また、磁化が磁場に比例しかつ残留磁化がゼロであるこれら探針は、直流磁場印加機構と組み合わせることで、試料直流磁場の絶対値計測³⁾に用いることもできる。本研究では、常磁性および超常磁性薄膜において磁化率を増大させるための材料探索並びに作製プロセスの検討を行い、上記の用途に適した高感度探針を開発することを目的とした。

方法 各種常磁性および超常磁性薄膜 (膜厚 100 nm)、そしてそれらを成膜した常磁性および超常磁性探針を、マグネトロンスパッタリング法を用いて、前者は熱酸化膜付き Si 基板上に、後者は Si 探針母材上に、それぞれ室温で作製した。常磁性薄膜は強磁性ターゲット上に非磁性シートを貼り付けた複合ターゲットを用い、超常磁性薄膜は強磁性ターゲットと非磁性ターゲットを用いた2元同時スパッタリングにより、それぞれ成膜した。各薄膜の磁気測定は、試料振動型磁力計 (VSM) により、各磁性探針の感度は、永久磁石の磁気力顕微鏡 (MFM) 測定における探針振動の位相変化を測定することにより、それぞれ行った。

結果 Table.1 に、作製した常磁性薄膜および超常磁性薄膜の室温での磁化率、およびそれらの薄膜を成膜した探針の最大位相変化 (検出感度)、をそれぞれ示す。Ni-Cr, Fe-Cr, Fe-Mn は結晶質で常磁性、Fe-Mo-B は非晶質で常磁性、Ag-Co はグラニューラー構造の超常磁性、の薄膜である。ここで、いずれの常磁性薄膜においても、室温での磁化率が最大になる (キュリー温度が室温になる) 組成に調整されている。結晶質の常磁性材料においては、強磁性元素の磁気モーメントの増大に伴い、また非磁性元素の添加量低減に伴い、磁化率が増大する傾向を示した。また、Mo, B を添加して非晶質化することで磁化率が更に増大した。この増大は、少ない非磁性元素の添加でキュリー温度を低下できたことによる。さらに、後述のように作製条件を最適化した超常磁性薄膜において、非常に高い磁化率が得られた。そして、薄膜の磁化率と探針の位相変化は、良い相関を示した。尚、いずれの探針においても、試料への磁気吸着は生じなかった。Fig.1 に、その Ag-Co 超常磁性薄膜の作製条件に対する磁化率の変化を示す。ここで、成膜速度の増大は、Ag マトリックス中の Co 粒子サイズの微細化に寄与するものと考えている。図中の点線は、超常磁性単相と超常磁性と強磁性の混相の境界であり、この判断は、図中の磁化曲線の例に示すように、ヒステリシスの有無から行った。成膜速度を増大させることにより、超常磁性単相を形成できる Co 含有量が増加し、作製条件を最適化することにより超常磁性薄膜の磁化率を非常に大きくすることができることが判る。

参考文献 1) H. Saito et al., J. Appl. Phys., 109, 07E330 (2011).

2) 伊藤, 他. 第35回日本磁気学会学術講演概要集, 27pD-2. 3) 木下, 他. 第37回日本磁気学会学術講演概要集, 3pF-10.

Table.1 Susceptibility of films and sensitivity of tips with the films.

Film material	Thickness X (H/m)	Thickness (nm)			
		100	50	20	10
Pd	7.6×10^{-9}				
Ni ₈₃ Cr ₇	4.7×10^{-8}	4.5°			
Fe ₅₈ Cr ₄₁	6.0×10^{-8}				
Fe ₆₇ Mn ₃₃	1.2×10^{-7}	21.2°	9.4°	8.8°	
Fe ₈₈ Mo _{7.5} B _{6.5}	1.4×10^{-7}	26.1°	16.5°	7.4°	3.3°
Ag ₇₉ Co ₂₁	7.5×10^{-7}				

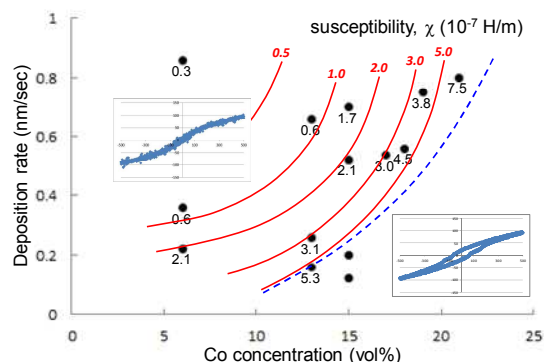


Fig.1 Dependence of susceptibility of Ag-Co granular films on fabrication conditions.