

交番磁気力顕微鏡を用いた NdFeB 焼結磁石の可逆的な磁壁移動の検出

曹 永澤、趙 越、吉村 哲、榎 智仁*、西内 武司*、齊藤 準
(秋田大、日立金属*)

Detection of reversible magnetic domain wall movement by alternating magnetic force microscopy for NdFeB sintered magnets

Y. Z. Cao, Y. Zhao, S. Yoshimura, *T. Maki, *T. Nishiuchi, H. Saito
(Akita Univ., *Hitachi Metals, Ltd.)

はじめに 磁性材料の特性向上には、磁気特性や磁気物性と構造との相関の解明に加えて、磁区構造を把握し制御することが重要となる。本研究で用いる交番磁気力顕微鏡(alternating magnetic force microscopy; A-MFM)は、磁区観察に広く用いられている磁気力顕微鏡(MFM)をベースとして開発された、高い空間分解能を有し機能性に優れた手法である¹⁾。本報告ではA-MFMの新たな機能として、可逆的な磁壁移動を高感度で検出・画像化する手法を提案する。

方法 A-MFMは、探針の磁化を交流磁場の印加により周期的に変化させることで、試料から発生する磁場を、探針試料間の交番磁気力を利用して計測する。A-MFMでは超常磁性探針を用いることで、磁場の計測方向を探針に印加する交流磁場の方向に固定した磁場計測を行うことができる。A-MFMでは通常は探針に印加する交流磁場により試料磁化が変化しない範囲で、試料から発生する直流磁場を計測しているが、交流磁場により試料磁化が変化する場合、試料から発生する交流磁場の計測も同時に可能になる。磁場による試料磁化の変化には、試料磁化の磁化回転と磁壁移動があるが、本研究では磁壁移動の検出に着目し、交流磁場による可逆的な磁壁移動の検出を試みた。観察試料として、消磁状態のNdFeB異方性焼結磁石(中程度の配向度)のab面を用いて、試料面に垂直方向に交流磁場を印加して、直上の自作したCo-Gd₂O₃系超常磁性探針を励磁し、試料から発生する試料面に垂直方向の直流磁場と交流磁場を大気雰囲気下で同時計測した。

結果 図1に、ab面における垂直磁場の、(a)直流磁場像、(b)交流磁場像を示す。圧粉成形時の磁場の印加方向は図の水平方向である。図中の点線は結晶粒界の位置である。試料空間に印加した交流磁場の振幅は8000eである。直流磁場像では、結晶粒内で、多磁区構造が明瞭に観察されている。交流磁場像では、直流磁場像の明暗の境界に位置する磁壁の可逆的な移動に伴って発生する交流磁場を観察できる。図では磁壁の場所の違いにより移動幅や交流磁場強度が異なることがわかる。磁壁移動は振幅2000e以上で検出された。この値は試料面に垂直方向に直流磁場を印加したときに磁壁が移動を始める磁場と同様であった。従来の磁壁移動の検出には直流磁場を変化させながら磁壁位置を比較することが必要であったのに対して、本手法では、像の比較なしに、磁壁移動を高感度で計測できるので、本手法は、磁壁移動の容易さや、磁壁のピンング箇所等を評価する上で、有用と考えている。講演では、A-MFMで得られる直流磁場像および交流磁場像の計測信号を、可逆的な磁壁移動をモデル化して行ったシミュレーション結果と比較することで、計測理論を検討した結果についても報告する。

参考文献 1) H. Saito, まぐね/*Magnetics Jpn.*, 11, 214 (2016).

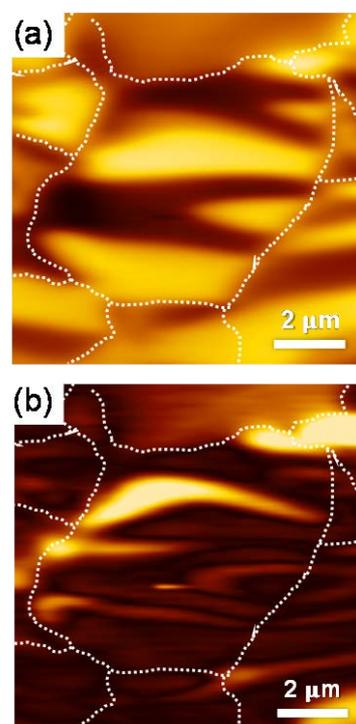


図1 A-MFMによる試料面に垂直方向の、(a)直流磁場像、(b)交流磁場像

交番磁気力顕微鏡を用いた強磁場イメージングに向けた 高磁化率・超常磁性 Co-Gd₂O₃ グラニューラー合金薄膜の作製

鈴木 雄大, Cao Yongze, 吉村 哲, 齊藤 準
(秋田大学)

Fabrication of superparamagnetic Co-Gd₂O₃ granular films with high susceptibility
for alternating magnetic force microscopy for high magnetic field imaging
Y. Suzuki, Y. Z. Cao, S. Yoshimura, H. Saito
(Akita Univ.)

はじめに 我々は、試料表面近傍での磁場計測を実現することで空間分解能を向上させた交番磁気力顕微鏡 (alternating magnetic force microscopy; A-MFM) を開発した^{1,2)}。本手法を用いたハード磁性材料の直流磁場計測には、通常は飽和磁化の大きなソフト磁性探針を使用し、探針磁化を交流磁場印加により周期的に変化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、永久磁石等の強磁場発生試料の磁区観察では、ソフト磁性探針の磁化が試料からの強い磁場により飽和し、交流磁場を印加しても磁化が変化せず探針振動に周波数変調が生じない問題が発生する。この解決には、磁化が飽和しない、高磁化率の超常磁性薄膜ならびにそれを用いる探針の開発が必要となる。

我々は、これまで超常磁性薄膜として Co-Ag グラニューラー合金薄膜³⁾を Si 探針母材に 100 nm 成膜した超常磁性探針を作製することで永久磁石の A-MFM 観察に成功している⁴⁾。超常磁性探針の空間分解能向上には、計測感度を維持した上で探針の先鋭化が求められ、高磁化率・超常磁性薄膜の開発による成膜膜厚の低減が必要となる。このため本研究では、FeCo 系グラニューラー合金薄膜の非磁性マトリックス材料の検討を行った。

方法 本研究では、FeCo 系グラニューラー合金薄膜の非磁性マトリックス材料として新たに Al₂O₃ と Gd₂O₃ を用い、本グラニューラー合金薄膜を、強磁性ターゲットとマトリックス材料用の非磁性ターゲットを用いた 2 元同時マグネトロンスパッタリングにより熱酸化膜付き Si 基板上に 100 nm の膜厚で室温成膜した。薄膜の磁化曲線を振動試料型磁力計 (VSM) により測定し、磁化曲線から磁化率 χ および磁化曲線の線形性 FWHM を評価した。 χ は ± 100 Oe の範囲における磁化曲線の平均の傾きとして算出し、FWHM は、磁化曲線の傾きがゼロ磁場付近のそれに対して半分になるときの印加磁場の値として算出した。

結果 Fig.1 に各種超常磁性薄膜の室温での χ と FWHM の関係を示す。薄膜作製では薄膜の強磁性元素含有量をマトリックス材料ターゲットへの印加電力を一定にし、強磁性ターゲットへの印加電力を変えて変化した。いずれのマトリックス材料の場合でも、強磁性元素の含有量が增大すると、 χ が大きくなり FWHM が減少するトレードオフが見られた。これは、各磁化曲線におけるランジュバン関数のフィッティングの結果から、磁性粒径が増大したことによると考えられ、例えば Co-Gd₂O₃ の場合、Co 含有量の 20 vol% から 40 vol% への増加に伴い、Co 粒径が平均 9 nm から 20 nm に増大したと見積もられた。40 vol% 以上の Co 含有量の Co-Gd₂O₃ 薄膜では、磁化曲線にヒステリシスが見られ、強磁性と超常磁性との混相になった。 χ の最大値 1.7×10^{-5} H/m は、超常磁性単相が得られる最大 Co 含有量 (40 vol%) で得られた。この χ は、超常磁性薄膜でこれまでに報告されている Co₃₆Al₂₂O₄₂ (0.26×10^{-5} H/m)⁵⁾と比較して 7 倍程度大きい。

マトリックス材料が Ag, Al₂O₃, Gd₂O₃ の場合に、超常磁性単相が得られる最大の Co 含有量は、各々、23, 33, 40 vol% となり、その順番で χ も大きくなった。この原因として、Gd が高い酸素親和性を有することによる Co の酸化の抑制、微細組織の変化、が考えられ、後者については講演で詳細を述べる予定である。

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) 吉村, 他 第 38 回日本磁気学会学術講演概要集, 4pA-6.

4) 中山, 他 第 38 回日本磁気学会学術講演概要集, 4pA-10. 5) K. Yakushiji et al., *J. Magn. Magn. Mater.*, **212**, 75-81 (2000).

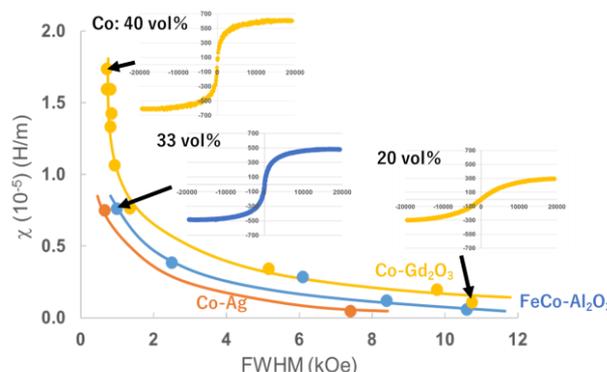


Fig.1 Relationship between susceptibility and linearity of $M-H$ curves for each superparamagnetic films.

交番磁気力顕微鏡用高分解能ソフト磁性探針の開発 — 高磁歪・Fe系非晶質磁性薄膜の極薄化 —

赤石 悠輔, M. Makarova, K. Srinivasa Rao, 吉村 哲, 齊藤 準
(秋田大学)

Development of high resolution soft magnetic tips for alternating magnetic force microscopy:
thin Fe-based amorphous films with high magnetostriction

Y. Akaishi, M. Makarova, K. Srinivasa Rao, S. Yoshimura, H. Saito
(Akita Univ.)

はじめに 近年、磁気力顕微鏡においては高密度磁気記録媒体等の進展により空間分解能の向上が強く求められている。我々は分解能の向上に有効となる試料表面近傍での磁場検出を実現した、交番磁気力顕微鏡 (Alternating Magnetic Force Microscopy; A-MFM)を開発して、垂直磁気記録媒体の磁区観察を行い、高い飽和磁化と低い飽和磁場を有する FeCoSiB 非晶質薄膜(25 nm)を Si 探針母材に成膜したソフト磁性探針を用いることで、5 nm 程度の高い空間分解能を得ている¹⁾。FeCoSiB 非晶質合金は飽和磁歪定数 λ_s が 10^{-5} オーダーと大きいにも関わらず高い空間分解能が得られているが、そのメカニズムは現在のところ不明である。

本研究では、Fe系非晶質合金探針の空間分解能をさらに向上させることを目的として、FeCoSiB 非晶質合金探針、および FeCoSiB 非晶質合金と同等の磁歪を示し、さらに耐蝕性が優れる FeCoB 非晶質合金探針を、磁性膜厚を減少させて作製し、熱処理ならびに磁場中熱処理を施す。得られた結果を低磁歪の CoZrNb 非晶質合金 (λ_s は 10^{-7} 以下) を成膜した探針の場合と比較することで、高分解能化のメカニズムを検討する。

方法 先端がピラミッド形状の Si 探針母材にターゲット組成が Fe₅₆Co₂₄Si₁₀B₁₀, Co₈₀Zr₁₅Nb₅ の磁性膜をそれぞれ 6, 8, 15, 25 nm の膜厚でスパッタリング法を用いて成膜し、非晶質ソフト磁性探針を作製した。熱処理は磁場印加機構を持った熱処理装置を使用した。A-MFM 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、小型フェライトコア (交流磁場源)、PLL (周波数復調器)、ロックインアンプを加えて構成した。観察試料には CoCrPt-SiO₂ 垂直磁気記録媒体 (記録密度 500 kfc) を使い、探針試料間距離 2~3 nm で直流磁場観察を行った。探針に印加する交流磁場の周波数は 89 Hz とし、振幅を 50~200 Oe の範囲で変化させた。

結果 Fig.1 に一例として熱処理前の磁性膜厚が 8 nm の FeCoSiB 探針に、交流磁場振幅 200 Oe を印加して観察した CoCrPt-SiO₂ 垂直磁気記録媒体の直流磁場像とその空間周波数スペクトルを示す。Fig.2 に熱処理前の FeCoSiB 探針および CoZrNb 探針に対して、直流磁場像の空間周波数スペクトルから評価した磁気記録ビットの信号強度の磁性膜厚依存性を示す。FeCoSiB 探針では、磁性膜厚を 6 nm まで薄くしても信号強度が減衰しないが、低磁歪 CoZrNb 探針では膜厚の低減に伴い、記録ビットの信号強度が大きく減少し、膜厚 8 nm の探針では膜厚 25 nm の探針と比較し、測定感度が 10 分の 1 以下になった。Fig.1 から空間分解能を最小検出波長の半値で評価すると、3 nm 程度であった。本探針で高い信号強度が得られた原因として、交流磁場印加により発生する磁歪による応力が探針先端に集中し、先端部の磁化状態を周期的に変化させていることを考えている。膜厚を減少させて先端を先鋭化させても検出感度が低下しない探針は、空間分解能の向上に有効となる。

講演では、Fe系高磁歪非晶質合金探針の高分解能に及ぼす熱処理効果についても報告し、高分解能化のメカニズムを提案する予定である。

参考文献 1) K. S. Rao 他, 第 39 回日本磁気学会学術講演概要集, 8pD-3 (2015).

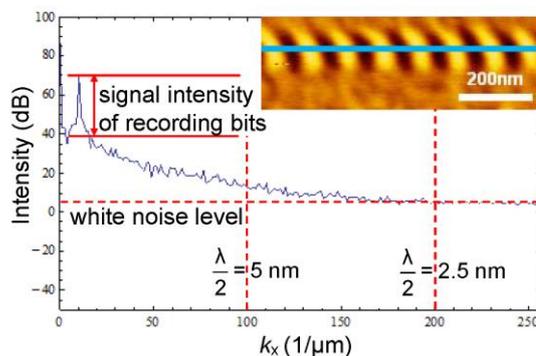


Fig. 1 A-MFM image of CoCrPt-SiO₂ perpendicular magnetic recording medium obtained using the tip coated with 8 nm thick FeCoSiB soft magnetic film (inset). Power spectrum of the line profile.

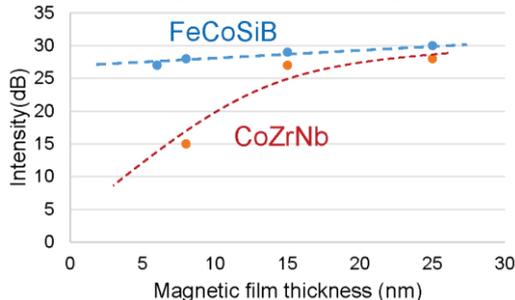


Fig. 2 Dependence of A-MFM signal intensity on the thickness of coating magnetic film for the soft magnetic MFM tips.

パルス磁場印加・磁気力顕微鏡を用いた 磁気力顕微鏡探針の磁化曲線計測

工藤 開世, K. Srinivasa Rao, 吉村 哲, 齊藤 準

(秋田大学)

Measurement of magnetization curve of MFM tips by pulse magnetic field MFM

K. Kudo, K. Srinivasa Rao, S. Yoshimura, H. Saito

(Akita Univ.)

はじめに 磁性材料の特性向上には、巨視的な磁気特性に加えて、微視的な磁気特性の分布を知ることが重要となる。微視的な磁気特性の評価は、種々の磁気イメージング手法を用いて磁場中で磁区観察することにより広く行われている。ここで永久磁石等の保磁力の大きな磁性材料では強磁場が必要になる。本研究では、磁気力顕微鏡(MFM)にパルス磁石を組み込むことで、磁区観察後に任意の場所で局所的な磁化曲線を計測できる装置の開発を目的として、磁性探針と試料との相互作用により得られる MFM 信号の解釈に必要な、MFM 探針の磁化曲線の計測方法を最初に検討した。

方法 Fig.1 に実験装置の模式図を示す。MFM に観察試料を設置せずに、MFM 内の加振した MFM 探針にパルス磁場を印加した。パルス磁場の印加方向は、試料ホルダーの試料面に垂直方向である。パルス磁場印加に伴う探針振動の位相変化をロックインアンプで検出し、オシロスコープで信号を計測した。実験に用いた MFM 探針は、自作した FePt-MgO 系ハード磁性探針である。本探針はプラズマ酸化した Si 探針母材に FePt-MgO 薄膜をマグネトロンスパッタリング法により成膜後、熱処理して作製した。

結果 一例として、磁性膜厚が 30 nm の FePt-MgO 系ハード磁性探針について、Fig.2(a)にパルス磁場 H_z の時間変化を、Fig.2(b)にパルス磁場印加後の振動位相 θ の時間変化を示す。ここで z 方向はパルス磁場の印加方向とした。磁性探針は、測定前にパルス磁場の印加方向と逆向きに 60 kOe で着磁した。 θ は探針磁化 M_z と磁場 H_z の勾配と次式の関係がある。

$\theta(t) \propto M_z(t) (\partial^2 H_z(t) / \partial z^2)$ 図に見るように、 θ はパルス磁場印加後に負方向 (斥力方向) に増加した後に、正 (引力方向) に変化する。ここで θ がゼロになる磁場は M_z がゼロになる保磁力に対応している。

Fig.3(a)に θ の H_z に対する変化を示す。 θ に係わる前式の $(\partial^2 H_z(t) / \partial z^2)$ は、 $H_z(t)$ と同様にパルス磁石に流れる電流に比例して変化するので、 $(\partial^2 H_z(t) / \partial z^2) \propto H_z(t)$ の関係が成り立ち、 θ を H_z で除することにより、 $\theta(t) / H_z(t) \propto M_z(t)$ となり、 $\theta(t) / H_z(t)$ を評価することで、探針磁化 M_z の計測が可能になることがわかる。Fig.3(b)に θ / H_z のパルス磁場印加に伴う変化を示す。図に見るように、 θ / H_z 曲線はハード磁性材料に特徴的な磁化曲線の形状を示すことがわかる。一方、探針をパルス磁場と同方向に着磁した探針では、磁化値がほぼ一定となる θ / H_z 曲線も得られている。MFM 探針の磁化曲線を評価することはこれまででは容易ではなかったが、本手法を用いることにより MFM 探針の磁気特性を、成膜した磁性材料の平坦膜の磁気特性と比較することが可能となる。本手法は MFM 探針を開発する上で有用なツールになると考えられる。

学会では、上記の MFM 探針の磁化曲線測定法の詳細とともに、本手法により磁気特性を評価した MFM 探針を用いて、永久磁石試料の局所的な磁化曲線の計測をパルス磁場印加 MFM により検討した結果についても報告する予定である。

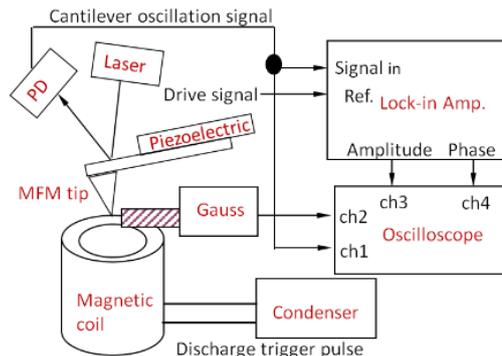


Fig.1 Schematic diagram of pulse magnetic field MFM

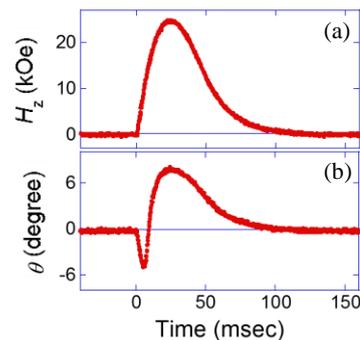


Fig.2 Time dependence of (a) applied pulse magnetic field and (b) MFM phase signal for FePt-MgO hard magnetic MFM tip.

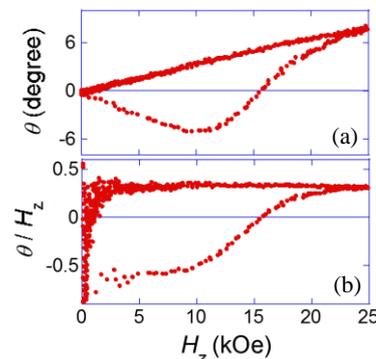


Fig.3 Magnetic field dependence of (a) MFM phase signal θ and (b) θ / H_z for FePt-MgO hard magnetic MFM tip.

脳磁計のセンサ位置精度が信号源推定に与える影響

小山大介, 足立善昭, 上原 弦
(金沢工業大学 先端電子技術応用研究所)

Influence of Sensor Positioning Accuracy on Signal Source Estimation of Magnetoencephalography

Daisuke Oyama, Yoshiaki Adachi, and Gen Uehara

(Applied Electronics Laboratory, Kanazawa Institute of Technology)

はじめに 近年, 冷媒による冷却が不要な磁気センサの高感度化が進み, 脳磁図等の生体磁気計測への応用に関する研究が進められている. これらのセンサは生体磁気計測に一般的に使われている超伝導磁気センサに比べて感度が劣るが, 信号源に近づけられることが利点として挙げられている. 著者らはこれまでに, 脳磁計ファントムを利用した計測実験により, 室温磁気センサによる脳磁図計測の実現可能性について検証した¹⁾. 他方, 脳磁計においては実際の磁気センサの位置が設計した場所とは異なったり, 機械的な位置と実効的な感度点の位置が異なったりする場合がある. センサが信号源に近い場合には, 遠い場合に比べて磁場勾配が大きいので, センサの位置ずれの影響を大きく受ける事が示唆されていた. そこで本研究では, 脳磁計のセンサ位置精度が信号源推定精度に与える影響をシミュレーションによって明らかにした.

実験方法 1)で報告した脳磁計用ファントムと室温磁気センサを用いた実験に合わせ, 信号源である等価電流双極子(Equivalent Current Dipole: ECD)とその周辺に円筒面状に配置した54チャンネルのセンサアレイによるシミュレーション実験を行った. Fig. 1にECDとセンサアレイの配置を示す. 本研究では, z 軸からの距離(r)が76 mmと96 mmの2種類のセンサアレイについて比較する. 前者は室温磁気センサによる脳磁計を, 後者は一般的なSQUIDによる脳磁計を想定したセンサアレイ配置である.

まず, 設定した各センサ位置に対して擬似乱数を用いて最大 e_p の位置ずれを与えて仮想的なセンサ配列を構成し, Sarvas の式²⁾により各センサが検出する磁気信号の大きさを計算する. 次に, 計算した磁気信号の大きさと元のセンサ位置情報を用いて逆問題を解き, 信号源位置を推定する. 得られた信号源位置と最初に設定したECD位置とのずれを信号源推定誤差とする. e_p の値を0.1~5.0 mmとしてそれぞれに対して擬似乱数の値を変えながら100回繰り返し, 各 e_p 値における信号源推定誤差の平均値を導出した.

実験結果 Fig. 2にシミュレーション結果を示す. $r = 76$ mm, 96 mm 双方の場合において, センサ位置ずれが大きくなるにつれて信号源推定誤差も大きくなる. 特に $r = 76$ mm の場合にはセンサ位置ずれが2 mmを超えると急激に信号源推定誤差も大きくなっていることが分かる. 本結果から, センサを信号源に近い位置に配置する場合には, センサ位置をより高い精度で決める必要があることが分かった.

参考文献

- 1) D. Oyama, Y. Adachi, and G. Uehara: *Journal of the Magnetics Society of Japan*, early access 1706R001 (2017)
- 2) J. Sarvas: *Physics in Medicine and Biology*, **32**, 11 (1987)

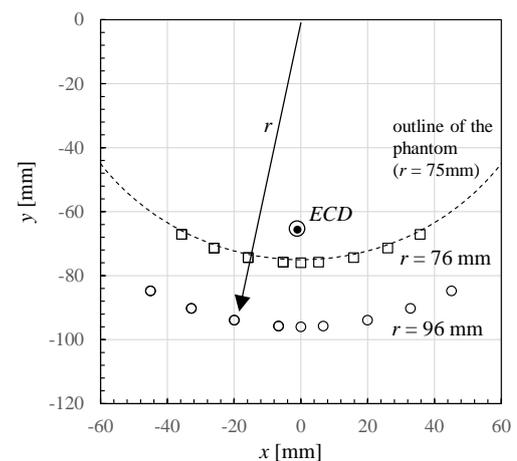


Fig. 1 Positions of the signal source (ECD) and the sensors. The squares and circles indicate the sensor positions with $r = 76$ mm and 96 mm, respectively.

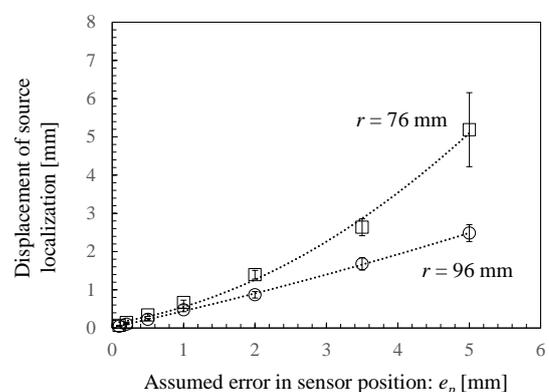


Fig. 2 Displacement of source localization as a function of the error in sensor position

10^5 dyne·cm 対応トルク磁力計による 六方晶 Co バルク単結晶の一軸性トルク曲線の計測

°中村 壮太^{a)}, 佐藤 和也^{a)}, 金野 志保^{a)}, 五月女 容之^{a)}, 日向 慎太郎^{a)},
菊地 敏明^{b)}, 玉川 克紀^{c)}, 小川 智之^{a)}, 斎藤 伸^{a)} (^{a)}東北大学, ^{b)}ハヤマ, ^{c)}玉川製作所)

Uniaxial torque curve of hexagonal Co bulk single crystal
measured by torque magnetometer capable for 10^5 dyne·cm

°Sota Nakamura^{a)}, Kazuya Sato^{a)}, Shiho Kinno^{a)}, Yoshiyuki Sotome^{a)}, Shintaro Hinata^{a)}, Toshiaki Kikuchi^{b)},
Katsuki Tamakawa^{c)}, Tomoyuki Ogawa^{a)}, and Shin Saito^{a)} (^{a)}Tohoku University, ^{b)}Hayama, ^{c)}Tamakawa.)

はじめに 強磁性体バルク単結晶の結晶磁気異方性の評価は、材料固有の磁気特性を導出するために重要である。磁気異方性の評価は、通常振動試料型磁力計により測定した磁化容易/困難方向に磁化を飽和させるのに要するエネルギー差や、トルク磁力計により測定されるトルク曲線の各高調波成分の飽和振幅によって評価される。特に後者は単磁区状態での測定となり、交換結合エネルギーを考慮する必要がないことから、高精度の測定を行う際に用いられる。しかしながら、高い飽和磁化を有する Co (~ 1420 emu/cm³)¹⁾ のようなバルク単結晶試料の測定においては、わずかな磁界勾配においても巨大な引き付けが発生し、試料棒の鉛直軸からのずれおよび試料のホルダからの脱離が生じるため、測定が非常に困難となる。本研究では、引き付けによる影響を抑制する機構を設けたバルク試料用のトルク磁力計を用い、試料固定法を工夫して実際に 10^5 dyne·cm のトルク振幅を有する六方晶 Co バルク単結晶のトルク曲線を計測したので報告する。

装置構成 試料棒の鉛直軸からのずれについては、引き付けを抑制しつつ、磁気トルクには極力影響を与えない機構を採用している。本機構では試料棒に 2 つのベアリングが固定されており、アイリスシャッターがそのベアリングを周囲から押さえつける。試料ホルダからの試料の脱離については、試料固定ホルダの構造を改良することで抑制を行なった。Fig. 1 には改良した試料取付機構を示す。本機構は A) 試料大に円盤状の段付け加工がされた直方体部品 (底から円錐状の穴が空けられている)、B) 円錐状部品、および C) 試料固定用ねじで構成されている。試料は A の窪み上に嵌め込まれ、厚みの半分が A から飛び出た状態となる。これによりひきつけによる水平方向への脱離は抑制される。固定は C のねじを締めることで B が押し上げられ、B により A が押し上げられ、試料がホルダの上面に圧迫されることにより行われる。この際、ねじによる圧力は部品 B と A の円錐部品の噛み合わせによって円錐の接触面へと分散される。そのため A は均等な圧力を試料に伝え、十分な摩擦力を以って試料を圧迫する。

実験結果 Fig. 2 には実際に本機構を用いて測定したトルク曲線を示す。試料は厚さ 0.5 mm、直径 6 mm の円盤状六方晶 Co 単結晶試料であり、*c* 軸は円盤の面内方向である。測定は外部磁界 20 kOe を試料面内方向に印加し、電磁石を正/逆転させ、光てこ法によってトルク振幅を評価した。図から、雑音の少ない振幅約 10^5 dyne·cm の正弦波的な 2θ トルク曲線が得られていることがわかる。これはトルク磁力計によってほぼ飽和した六方晶 Co の一軸結晶磁気異方性に起因するトルク曲線を測定できたことを示唆している。また、試料の一軸結晶磁気異方性をトルク 2θ 成分の飽和振幅から導出したところ、 5.7×10^6 erg/cm³ となり、文献値 6.0 erg/cm³²⁾ とほぼ同様の値をとった。講演では試料棒の鉛直軸からのずれを抑制するアイリスシャッター機構についてもより詳細に紹介する。

参考文献 1) A. J. P. Meyer and P. Taglang, C. R. Hebd. *Seances Acad. Sci.* **231**, 612 (1950). 2) R. Pauthenet, Y. Barnier, and G. Rimet, *J. Phys. Soc. Jpn.* **17**, 309 (1962).

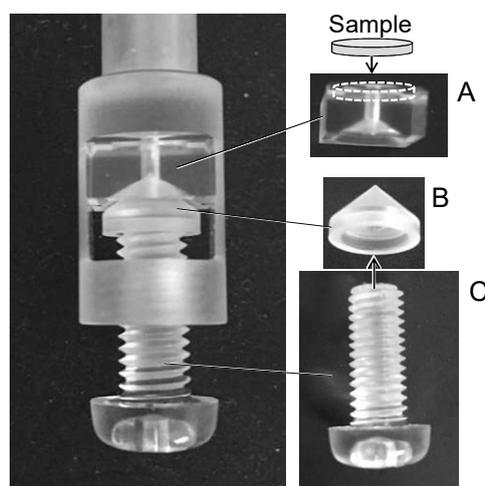


Fig. 1 Sample holder for the torque magnetometer. A) Rectangular component with cone- and disk-shaped hole, B) conical component, C) screw.

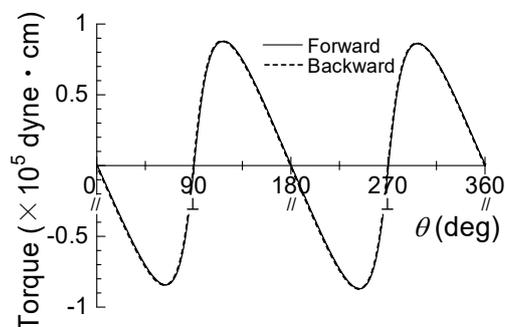


Fig. 2 Magnetic torque curves with $H = 20$ kOe for Co bulk sample.