

令和 6 年 9 月 18 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01396

研究課題名（和文）磁壁移動の動的検出と磁気パラメータの推定に関する研究

研究課題名（英文）Detection of domain wall dynamics and estimation of magnetic parameters

研究代表者

田中 輝光（Tanaka, Terumitsu）

九州大学・システム情報科学研究所・准教授

研究者番号：20423387

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,600,000円

研究成果の概要（和文）：マイクロマグネティックシミュレーションとスピントランスファートルクによる磁壁移動実験を併用してアモルファス薄膜におけるスピン偏極率を推定した。TbおよびCoの極薄い薄膜を積層して垂直異方向性を有する磁性細線をリソグラフィ法を用いて作製し、これに電流を流して磁壁移動実験を行った。実際に作製した薄膜の磁気特性を元にマイクロマグネティックシミュレーションを行い、磁壁移動に必要な電流速度を求め、実験によって得られた磁壁移動に必要な電流密度からスピン偏極率を推定したところ、Tb/Co膜厚比が0.3/0.7の場合においてスピン偏極率は0.05と見積もられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

磁性体のスピン偏極率はスピントロニクス分野では極めて重要な物理定数である。スピン偏極率はトンネル磁気抵抗効果の測定で一般に求められるが、希土類/遷移金属から成るアモルファス磁性薄膜は熱に弱く、トンネル磁気抵抗効果測定素子の作成に必要なミリングプロセスを経ると磁気特性が大きく変化してしまうため、スピン偏極率の推定が困難であった。本研究では磁壁移動実験とマイクロマグネティックシミュレーションにより、スピン偏極率を求める新たな手法を提案し、アモルファス材料であるTbCo薄膜のスピン偏極率を推定した。TbCo薄膜のスピン偏極率に関する報告例はこれまで殆どなく、デバイス開発に大きく寄与すると思われる。

研究成果の概要（英文）：Spin polarization of an amorphous magnetic thin film has been estimated through micromagnetic simulations and experiments for domain wall propagations. Perpendicular magnetization films were fabricated by thin Tb and Co stacked layers, and the domain wall introduced in the stacked film has been driven by electric currents. The micromagnetic simulation and the experiments clarified the critical current velocity and the critical current density, respectively for the domain wall propagations. The estimated spin polarization was 0.05 for the film with 0.3/0.7 of Tb/Co layer thickness ratio.

研究分野：磁気デバイス

キーワード：磁壁移動型メモリ マイクロマグネティックシミュレーション

### 1. 研究開始当初の背景

将来の情報記録デバイスには大幅な大容量化・省電力化が求められている。本研究対象とする磁壁移動型レーストラックメモリは、現在の情報ストレージの中核を担うハードディスクドライブ(HDD)と比較して以下の特長を有する。

- (1) モーター等の駆動部を持たないため省電力である。
- (2) 細線の微細化に伴って電流密度が増加するため省電力の記録再生が可能。
- (3) 細線構造を多層化することで将来的には大幅な情報記録容量の増大が見込める。
- (4) 同時並列読み書きが可能であるため、一度に大量の情報記録・再生が可能。

レーストラックメモリでは電子スピンと磁気スピンとの間の相互作用を利用して磁壁を電子の流れる向きに移動させながら情報の読み書きを行う。磁性細線には面内磁化型と垂直磁化型があり、電流効率の点で垂直磁化型が有利であることが分かっている。しかし、磁壁移動速度は電流密度におおよそ比例するが、その効率は物質定数であるスピン偏極率に大きく依存する。一方で、磁性材料のスピン偏極率はトンネル磁気効果を測定することで見積ることができるが、測定素子の作製にはミリングプロセスが必要である。磁壁移動デバイス材料として有望なアモルファス薄膜は熱に弱く、ミリングプロセスを経ると磁気特性が大きく変化するため、スピン偏極率を見積もるには他の方法を用いる必要がある。

### 2. 研究の目的

本研究では、マイクロマグネティックシミュレーションにより磁壁移動に必要な電流速度を求め、磁壁移動に必要な電流密度を実測することでアモルファス膜であるTbCoのスピン偏極率を推定する。高速でマイクロマグネティックシミュレーションを行えるようにグラフィックスボードに搭載される多数のコアを効率的に利用できるシミュレーションコードを開発すると共に磁壁移動を利用したスピン偏極率の推定方法を提案する。本研究では主に以下の項目を実施した。

- (1) マイクロマグネティックシミュレーションによる磁壁移動閾電流速度の計算
- (2) TbCo細線の磁壁移動観測実験とスピン偏極率の推定

### 3. 研究の方法

本研究ではストリップラインに電流を流して磁性細線に磁化反転領域を形成し、その後、磁性細線に電流を流して磁壁移動に必要な電流密度を求める。その一方で、マイクロマグネティックシミュレーションにより磁壁移動に必要な電流速度を求め、実験で得られた閾電流密度とマイクロマグネティックシミュレーションで得られた閾電流速度との関係からスピン偏極率を求める。磁性体材料としては垂直異方向性を付与するのに下地層を必要とせず、実験的に扱いやすい程度の磁気異方性をもつ TbCo アモルファス膜を用いる。磁壁の移動は極 Kerr 効果により検出するが、磁壁移動のダイナミクスは検出できないため、パルス電流印加前後の Kerr 出力の変化により磁壁移動の閾電流密度を推定する。

### 4. 研究成果

#### (1) TbCo 積層膜の磁気特性

本研究では TbCo 薄膜を薄い Tb 層と Co 層を交互に積層することで作製した。TbCo アモルファス薄膜の磁気特性は Tb 層と Co 層の組成比に大きく依存することが知られている。図 1 にガラス基板(SiO<sub>2</sub>)上に成膜した TbCo 積層膜の保磁力の Tb 膜厚比依存性を示す。同図より総膜厚によって補償組成が異なり、総膜厚 20 nm では Tb 膜厚比が 0.39、40 nm では Tb 膜厚比が 0.45 であることが分かった。図 2 に総膜厚 20 nm の TbCo 積層膜における補償組成に相当する Tb 膜厚比の [Tb/Co] 対の層厚依存性を示す。[Tb/Co] 対の層厚が薄くなるほど補償組成に相当する膜厚比が Co-rich 側に変化していることが分かる。EDX 解析の結果に基づいて膜厚比と組成比の変換を行うと、Tb/Co 合金における補償組成 (Tb 25%) に相当する膜厚比が

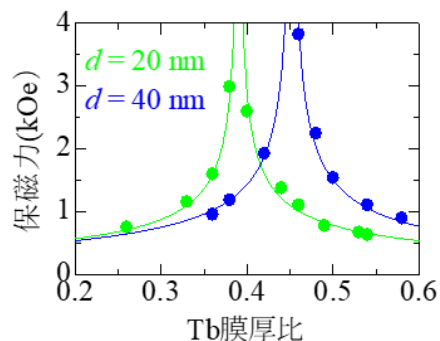


図 1 TbCo 薄膜の保磁力と Tb 膜厚比の関係。

0.31 程度であることから、[Tb/Co] 対の層厚が薄くなることでアモルファス合金の特性に近づいていると推測される。

TbCo 薄膜は非常に酸化しやすいため本研究では SiO<sub>2</sub> 薄膜を酸化防止膜として用いた。酸化防止膜を形成していない場合は TbCo 薄膜成膜後、24 時間程度で Kerr ヒステリシスが殆ど見られなくなるのに対して SiO<sub>2</sub> を成膜すると図 3 に示すように、日数の経過と共に保磁力の減少がみられるが、おおむね酸化は抑制できている。

(2) マイクロマグネティックシミュレーションによる磁壁移動閾電流速度の見積もり

磁化の動特性はスピントランスファートルク項および補正項を取り入れた Landau-Lifshitz-Gilbert 方程式により表される。本研究では nVIDIA RTX3080 で動作するマイクロマグネティックシミュレータを開発し、CPU のみによる計算と比べて数百倍高速に計算できるようにした。しかしながら百マイクロサイズの素子の磁化状態を模倣できるわけではないため、磁性体モデルは膜厚に比べて細線幅は十分に広く、且つ細線長は細線幅に対して十分に長いものとした。TbCo 薄膜の VSM 測定結果から異方性磁界を 6000 Oe、飽和磁化を 400 emu/cc とし磁化挙動を計算した。マイクロマグネティック計算により磁化緩和時の磁壁構造はプロット型で安定することが確認された。図 4 にマイクロマグネティックシミュレーションによって得られた磁壁の変位と磁性細線に流れる電流速度  $u$  との関係を示す。なお、減衰定数  $\alpha$  を 0.08 とし計算した。磁壁は電流速度の上昇とともに移動距離が大きくなることわかる。一方で  $\beta$  値が大きくなると磁壁移動がアシストされるため、磁壁の移動速度は速くなる。しかしながら、磁壁の移動が生じ始める電流速度は  $\beta$  値が変化しても殆ど変化しない。本研究では磁壁移動が生じ始める磁壁の変位の傾きから磁壁移動閾電流速度を定義し ( $u=400$  cm/s における接線と変位=0 の交点)、マイクロマグネティックシミュレーションで得られる磁壁移動閾電流と実験で得られる磁壁移動閾電流密度とを比較してスピン偏極率を見積もる。なお、スピン偏極率と電流密度との間には以下の関係式が成り立つ。

$$P = 2eMs / Jg\mu_B$$

$e$  は電荷、 $M_s$  は飽和磁化、 $J$  は電流密度、 $g$  はランダウの  $g$  因子、 $\mu_B$  はボーア磁子である。マイクロマグネティック計算で磁壁移動閾電流速度  $u$  を特定し、実験により  $J$  を特定することで  $P$  を見積もる。

(3) 素子設計

本研究で作製した素子写真を図 5 に示す。まず最初にマスクパターンを用いて、磁性細線に電流を流すための金電極を作製し、続いて TbCo 細線を作製する。その上部に酸化防止および電気的な絶縁のため SiO<sub>2</sub> 層を成膜する。次に磁壁導

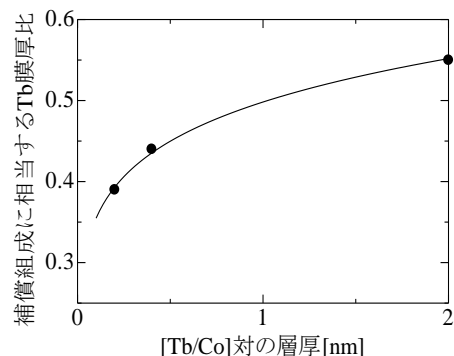


図 2 補償組成に相当する Tb 膜厚比と [Tb/Co] 対の膜厚の関係。

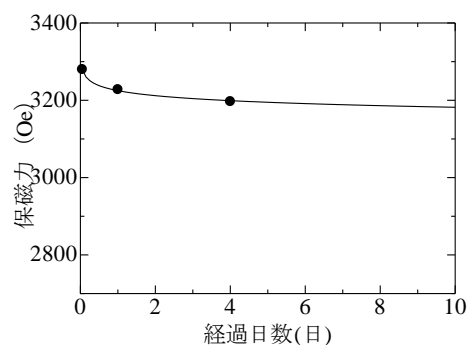


図 3 TbCo 薄膜における保磁力の経時変化。

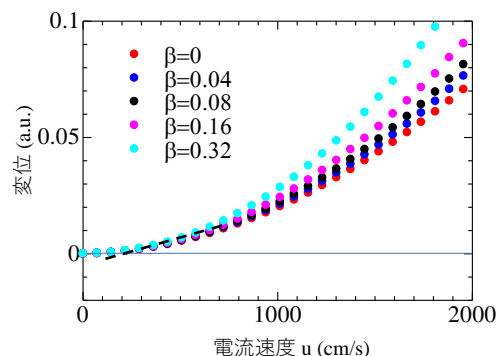


図 4 マイクロマグネティックシミュレーションによって得られた電流速度と磁壁の変位との関係。



図 5 磁壁移動実験素子。

入用の金電極および線路を作製する。ヘアピン状の磁壁導入用線路の間にレーザー光を当て、極 Kerr 効果により磁化の向きを読み取る。測定は、電磁石により素子全体に磁場を加えて TbCo 薄膜の磁化を飽和させた後、磁化反転しない程度の逆磁場を加え、かつ磁壁導入用コイルに電流を流してヘアピン内部に逆磁区を形成することでヘアピン線路下部に磁壁を導入する（図 6）。ここで TbCo 細線に電流を流すと電流とは逆向きに電子が移動し、スピン移行トルクにより磁壁が移動する。磁壁移動の前後で Kerr 出力が変化するためこれを検出する。本研究では線路の抵抗率、磁性細線の抵抗率、パルスジェネレータの出力、マスクパターンの作製精度等を考慮して有限要素法計算 (JMAG Studio) により素子设计了。主要なパラメータは以下の通りである。

ヘアピン線路幅：3  $\mu\text{m}$

ヘアピン線路間隔：6  $\mu\text{m}$

磁性細線長さ/幅/厚み：40  $\mu\text{m}$ /5  $\mu\text{m}$ /20 nm

磁壁導入用線路で発生可能な磁場強度は Kerr スポットで約 100 Oe である。従って、TbCo 細線の磁気特性はスイッチング磁界分散が 100 Oe 以下であることが重要となる。

(4) ガラス ( $\text{SiO}_2$ ) 基板上に作製した磁性細線の磁壁移動実験

ガラス基板上に作製した素子の磁性細線の Kerr ヒステリシスを図 7 に示す。なお、Tb/Co の膜厚比は 0.45/0.55 であり総膜厚は 20 nm である。成膜条件を最適化することでスイッチング磁界分布が非常に小さな TbCo 細線を作製することに成功した。磁壁移動実験は磁化を +4000 Oe で飽和させた後に、-1900 Oe の逆磁場を加えて磁化を同図 Kerr ヒステリシスの A 点の状態にし、ここで磁壁導入用線路に電流を流して磁壁を導入する。図 8 に Kerr 出力と磁壁導入用線路に流す電流との関係を示す。1.5 mA 程度の電流で Kerr 出力が小さくなっており、ヘアピン内部の磁化が図 7 の B 点の状態になったことが分かる。これにより磁壁を導入出来たことが確認された。なお、電流を 0 にしても逆磁区を維持していることを確認している。次に磁壁を導入した磁性細線に電流を流した。磁壁が移動すれば Kerr 出力が変化するはずである。ここではまず、磁壁導入後に図 6 に示す左側の磁壁が移動し難い B の状態、ゼロ磁場中である C の状態、磁壁が移動し易い D の状態で磁壁移動実験を行った。電流は幅 100 ns のパルス電流とした。測定結果を図 9 に示す。B の状態では TbCo 細線に電流を流しても Kerr 出力に変化はなく、C の状態では電流密度  $1.2 \times 10^6 \text{ A/cm}^2$  程度で若干の Kerr 出力の変化が見られた。また、D の状態では電流密度の増加と共に Kerr 出力が大きく変化した。一般に、磁壁が移動すると Kerr 出力はステップ状に変化するはずであるが、作成した素子では、電流に対して Kerr 出力が緩やかに変化している。この原因として考えられるのは、(a)

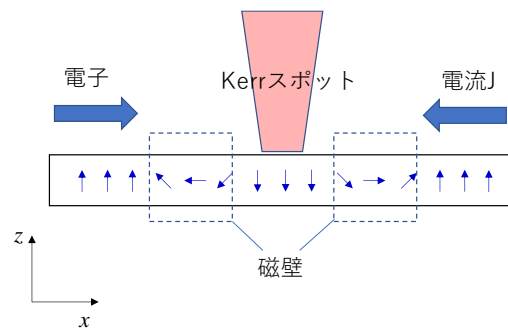


図 6 逆磁区と磁壁の模式図。

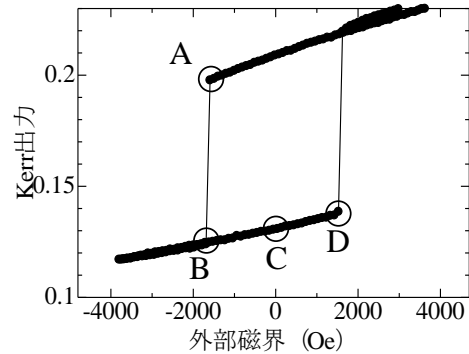


図 7 TbCo 磁性細線の Kerr ヒステリシス。

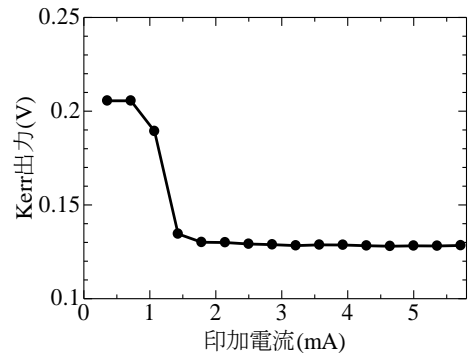


図 8 磁壁導入時の Kerr 出力変化。

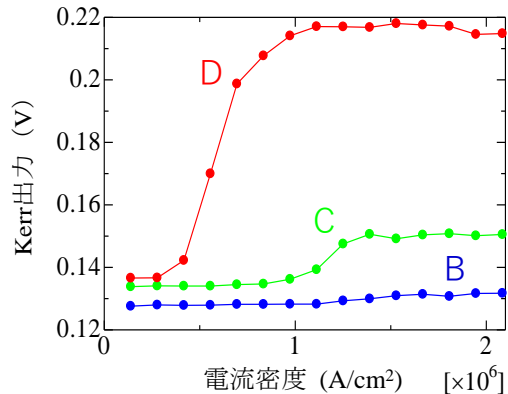


図 9  $\text{SiO}_2$  上に作製した素子の磁壁移動実験。

TbCo 細線に多くのピンングサイトがあり、これにより磁壁がピンングされた結果、磁壁移動が阻害されていること、(b) 磁壁が移動しているのではなく電流による発熱により熱擾乱で磁化が反転していることである。磁壁のピンングは磁壁移動をアシストする磁場が大きくなればピンング効果は軽減されるため、磁壁は動きやすくなり、また熱擾乱の影響も磁化反転を促進する磁場が大きいほど大きくなる。一方で、実験に使用した磁性細線の磁化曲線はスイッチング磁場分布が非常に小さいことからピンングサイトの影響は大きくないと推測できるため、熱擾乱の影響が支配的であると推測される。Tb および Co の熱容量から 100 ns のパルス電流を流した際の発熱を計算したところ、30 度程度であった。

(5) Si 基板上に作製した素子の磁壁移動実験

ガラス基板は熱伝導率が低く (1.3 [W/mK])、細線に電流を流した際に熱が拡散し難いのにに対し、Si 基板は低い電気伝導と高い熱伝導率 (160 [W/mK]) を持つ。そこで熱の影響を避けるために Si (100) 基板を用いて同様の実験を行った。Si 基板上に作製した TbCo 薄膜はスイッチング磁場分布が小さくなる膜厚比が Tb/Co=0.3/0.7、総膜厚が 15 nm であった。図 10 に Kerr ヒステリシスを示す。図 7 と比較すると上下反転した形となっているが、これは図 7 では補償組成より Tb リッチであるのに対して図 10 では Co リッチになっているためである。図 11 に磁壁移動実験の測定結果を示す。Kerr 出力は電流密度の増加と共にステップ的に変化している。磁壁移動をアシストする向きに磁場を加え、TbCo 細線に電流を流すと磁壁が移動したと推測される。一方で、外部磁場が無い場合は Kerr 出力は変化していない。これは装置限界により電流密度が足りないためである。図 12 に外部磁界と閾電流密度との関係を示す。磁壁が移動する閾電流密度は磁壁移動をアシストする磁場強度が小さくなるにつれて大きくなっている。同図に示すデータを外挿するとゼロ磁場における閾電流密度は  $3.5 \times 10^7$  [A/m] であった。上述の  $P$ ,  $J$ ,  $u$  の関係式に実験結果から推測される閾電流密度  $J$  にマイクロマグネティックシミュレーションによって得られた閾電流速度  $u$  を代入するとスピン偏極率  $P$  は約 0.05 となった。TbCo 薄膜のスピン偏極率は小さく [1]、Co の組成比に大きく依存するがその値は 0.01~0.3 程度という報告例 [2] がある。本研究で得られたスピン偏極率はおおよそ妥当な範囲にあると推測されるが、スパッタ薄膜であるため、膜表面の凹凸や局所的な磁気特性の分散などにより低めに推定されていると推測される。

[1] M. Tang, B. Zhao, W. Zhu, Z. Zhu, Q. Y. Jin, Z. Xiang, Controllable Interfacial Coupling Effects on Magnetic Dynamic Properties of Perpendicular [Co/Ni]5/Cu/TbCo Composite Thin Films, ACS Appl. Mater. Interfaces 10, 5090-5098 (2018).

[2] C. Kaiser, Novel materials for magnetic junctions, <https://core.ac.uk/download/pdf/36419141.pdf> (2024)

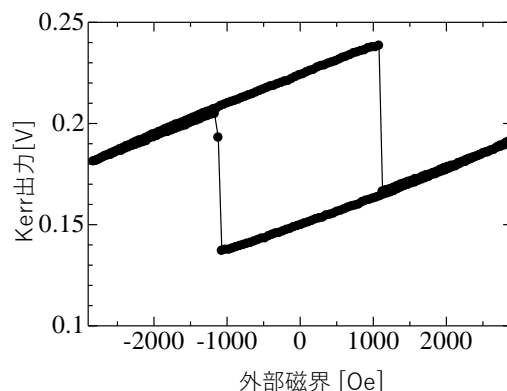


図 10 Si 基板上に作製した TbCo 細線の Kerr ヒステリシス。

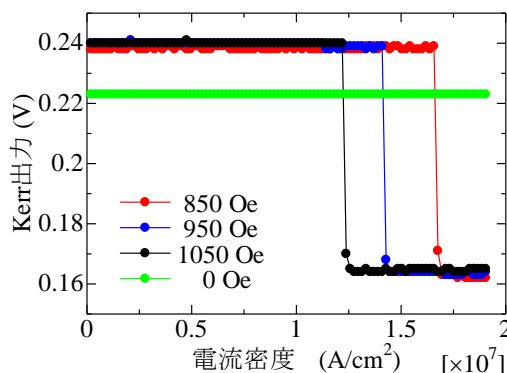


図 11 Si 上に作製した素子の磁壁移動実験。

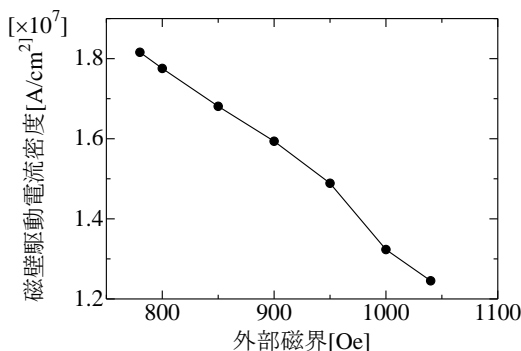


図 12 磁壁移動閾電流密度と磁場の関係。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Purnama Budi, Arilasita Retna, Rikamukti Nilam, Utari, Budiawanti Sri, Suharno, Wijayanta Agung Tri, Suharyana, Djuhana Dede, Suharyadi Edi, Tanaka Terumitsu, Matsuyama Kimihide	4. 巻 30
2. 論文標題 Annealing temperature dependence of crystalline structure and magnetic properties in nano-powder strontium-substituted cobalt ferrite	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nano-Structures & Nano-Objects	6. 最初と最後の頁 100862 ~ 100862
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nanos.2022.100862	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Kurokawa Yuichiro, Yamada Keisuke, Taniguchi Tomohiro, Horiike Shu, Tanaka Terumitsu, Yuasa Hiromi	4. 巻 12
2. 論文標題 Ultra-wide-band millimeter-wave generator using spin torque oscillator with strong interlayer exchange couplings	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 10849
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-022-15014-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Liu Chuhan, Kurokawa Yuichiro, Hashimoto Naoki, Tanaka Terumitsu, Yuasa Hiromi	4. 巻 63
2. 論文標題 Biquadratic magnetic coupling effect in CoPt/Cr/Fe90Co10 orthogonal structures	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 02SP32 ~ 02SP32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ad0e28	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Tanaka T., Kurihara K., Ya X., Bai X., Kanai Y.	4. 巻 587
2. 論文標題 Micromagnetic simulation of microwave-assisted magnetization switching and signal recording characteristics for exchange-coupled composite media with layer anisotropy structure	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	6. 最初と最後の頁 171332 ~ 171332
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmmm.2023.171332	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Liu C., Kurokawa Y., Hashimoto N., Tanaka T., Yuasa H.	4. 巻 13
2. 論文標題 High-frequency spin torque oscillation in orthogonal magnetization disks with strong biquadratic magnetic coupling	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 3631
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-023-30838-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Liu C., Kurokawa Y., Hashimoto N., Horiike S., Tanaka T., Yuasa H.	4. 巻 58
2. 論文標題 Spin Transfer Torque Oscillation in Orthogonal Magnetization Disks	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics	6. 最初と最後の頁 1~5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMAG.2021.3084608	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tanaka T., Kurihara K., Ya X., Kanai Y., Bai X., Matsuyama K.	4. 巻 529
2. 論文標題 MAMR writability and signal-recording characteristics on granular exchange-coupled composite media	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	6. 最初と最後の頁 167884 ~ 167884
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmmm.2021.167884	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計22件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 K. Kawakami, X. Ya and T. Tanaka
2. 発表標題 Approximation of microwave assisted magnetization switching field applied with incident angle
3. 学会等名 The 67th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 X. Ya, K. Kawakami and T. Tanaka
2. 発表標題 Numerical analysis of magnetization switching assisted by AC voltage-controlled magnetic anisotropy effect
3. 学会等名 The 67th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 L. Chuhan, Y. Kurokawa, N. Hashimoto, T. Tanaka and H. Yuasa
2. 発表標題 High Frequency Spin Torque Oscillation in Orthogonal Magnetization Disks with Strong Biquadratic Magnetic Coupling
3. 学会等名 The 67th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 執柄翔輝, 牙暁瑞, 田中輝光
2. 発表標題 スピン波の位相情報を利用したDzyaloshinskii-Moriya 相互作用定数の推定に関する研究
3. 学会等名 電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大神 博稀, 牙 暁瑞, 田中 輝光
2. 発表標題 Tb/Co 積層膜の磁気特性評価
3. 学会等名 電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 川上高輝, 牙暁瑞, 田中輝光
2. 発表標題 近似計算手法を用いたマイクロ波アシスト磁化反転磁界の推定
3. 学会等名 日本磁気学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Koki Kawakami, Kosuke Kurihara, Xiaorui Ya, Terumitsu Tanaka
2. 発表標題 Approximation of equivalent fields originate from the forced magnetization precession under the circularly polarized field
3. 学会等名 International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Xiaorui Ya, Koki Kawakami, Terumitsu Tanaka
2. 発表標題 Numerical analysis of AC voltage-induced magnetization switching
3. 学会等名 International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Chuhan Liu, Yuichiro Kurokawa, Naoki Hashimoto, Terumitsu Tanaka, Hiromi Yuasa
2. 発表標題 Spin Torque Oscillation in Orthogonal Magnetization Disks with 90° magnetic coupling
3. 学会等名 International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Terumitsu Tanaka, Kosuke Kurihara, Koki Kawakami, Xiaorui Ya, Yasushi Kanai
2. 発表標題 Effect of Anisotropy Structure in Exchange Coupled Composite Media for Microwave Assisted Magnetic Recording
3. 学会等名 International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 栗原幸佑, 牙暁瑞, 川上高輝, 金井靖, 田中輝光
2. 発表標題 多層媒体における MAS および信号記録特性の異方性磁界依存性
3. 学会等名 第45回 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川上高輝, 栗原幸佑, 牙暁瑞, 田中輝光
2. 発表標題 静的エネルギー近似手法によるマイクロ波アシスト磁化反転解析
3. 学会等名 第45回 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 橋本直樹, 黒川雄一郎, 劉楚寒, 田中輝光, 湯浅裕美
2. 発表標題 2成分磁化を扱うシミュレーションによる希土類フェリ磁性体角運動量補償点におけるスピン移行トルク発振
3. 学会等名 第74回 電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 栗原幸佑, 牙暁瑞, 川上高輝, 金井靖, 田中輝光
2. 発表標題 4層媒体のマイクロ波アシスト磁化反転と信号記録特性の異方性磁界依存性
3. 学会等名 第74回 電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川上高輝, 栗原幸佑, 牙暁瑞, 田中輝光
2. 発表標題 マイクロ波アシスト磁化反転磁界の近似計算手法
3. 学会等名 第74回 電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Kawakami, K. Kurihara, X. Ya and T. Tanaka
2. 発表標題 Estimation of microwave-assisted magnetization switching field by static energy approximation
3. 学会等名 Joint MMM-Intermag conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Kurihara, K. Kawakami <sup>1</sup> , X. Ya, Y. Kanai and T. Tanaka
2. 発表標題 Dependence of microwave assisted magnetization switching and magnetic recording characteristics on layer anisotropy structure for multilayer media
3. 学会等名 Joint MMM-Intermag conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Kurokawa, N. Hashimoto, C. Liu, T. Tanaka and H. Yuasa
2. 発表標題 Sub-THz spin torque oscillation excited by inverse effective spin torque in ferrimagnetic material at angular momentum compensation composition
3. 学会等名 Joint MMM-Intermag conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Tanaka, X. Ya, S. Onaka and Y. Kanai
2. 発表標題 Comparison of Magnetization Thermal Stability for MAMR Media with Different Layer Anisotropy Structures
3. 学会等名 The 68th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大中秀斗、牙 暁瑞、田中輝光
2. 発表標題 磁性薄膜パターンにおける磁性粒間交換結合強度とskyrmion 磁化構造の熱安定性の関係
3. 学会等名 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 執柄翔輝、柏木秀介、黒川雄一郎、田中輝光、湯浅裕美
2. 発表標題 TbCo 細線におけるスピントランスファートルクによる電流駆動磁壁移動実験
3. 学会等名 電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 柏木秀介、執柄翔輝、黒川雄一郎、田中輝光、湯浅裕美
2. 発表標題 TbCo積層膜を用いた電流駆動磁壁移動実験のための素子設計
3. 学会等名 電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------