

令和 4 年 5 月 29 日現在

機関番号：24506

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H01816

研究課題名（和文）時空間スピンドYNAMIKSの解明を可能にする軟X線超高速磁気イメージングの開発

研究課題名（英文）Development of soft x-ray ultrafast magnetic imaging for revealing time- and space- resolved spin dynamics

研究代表者

和達 大樹（Wadati, Hiroki）

兵庫県立大学・理学研究科・教授

研究者番号：00579972

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、スピンのダイナミクスを元素別に空間と時間の両方を分解して観測する測定を確立し、光によるスピンの励起状態の解明を行うことを目標とした。このために、放射光X線とX線自由電子レーザー（XFEL）を用いた時間分解型のコヒーレント共鳴軟X線小角散乱と、実験室の超短パルスレーザーを用いた時間分解磁気光学Kerr顕微鏡を確立した。XFELにより鉄白金薄膜の強磁性のダイナミクス、放射光X線によりペロブスカイト型鉄酸化物薄膜の反強磁性のダイナミクス、実験室レーザーによりスピネル型の酸化物薄膜の時空間分解スピンドYNAMIKS、の観測に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により特に下記の2つの重要なスピンドYNAMIKSの観測結果が得られた。1つ目は鉄白金薄膜についてであり、鉄と白金で異なる時間スケールのダイナミクスを示すことが分かった。レーザー光による磁化反転現象の鍵が、鉄と白金の消磁時間の差にあると言える。2つ目はNiCo₂O₄薄膜についてであり、スピン偏極率が0.7程度と比較的小さく、1ピコ秒以下の超高速消磁が実現することが分かった。このように、大型施設と実験室を両輪とするようなスピンドYNAMIKS研究のセットアップを建設し、今後スピンのダイナミクスを元素別に空間と時間の両方を分解して観測する測定が進められる状況となったことも大きな意義である。

研究成果の概要（英文）：In this study, we aimed to establish a measurement to observe both space- and time-resolved spin dynamics for each element, and to elucidate the photo-excited spin states. To achieve this goal, we established time-resolved coherent resonant soft-X-ray small-angle scattering by using synchrotron radiation X-ray and X-ray free electron lasers (XFEL), and time-resolved magneto-optical Kerr microscopes by using ultrashort laser pulses in the laboratory. We succeeded in observing the ferromagnetic dynamics of iron-platinum thin films by XFEL, the antiferromagnetic dynamics of perovskite-type iron-oxide thin films by synchrotron radiation X-ray, and the space- and time- resolved spin dynamics of spinel-type oxide thin films by laboratory laser.

研究分野：光物性

キーワード：時空間スピンドYNAMIKS X線 レーザー

1. 研究開始当初の背景

省電力デバイスへの応用が期待されているスピントロニクスデバイスでは、光照射を使った超高速の磁化反転が活用できると考えられている。スピントロニクスデバイスにおけるスピンのダイナミクスは、磁気交換相互作用やスピン軌道相互作用、磁気異方性など様々な因子によって決定されており、デバイスの動作性能を決定する要因となっている。そのため、磁気励起のダイナミクスを微視的な観点から理解することが、スピントロニクスデバイスの材料開発や性能向上にとって必要不可欠となっている。

このようなデバイスにおいて、スピン反転などの磁気励起によって発生する準粒子であるマグノン(スピン波)や空間反転対象性の破れによって発生するスピンの渦構造体(スキルミオン)は情報や熱を運ぶ媒体となるため、新学理に基づく熱電材料などへの応用が注目されている。スピンのダイナミクスを計測する有力な手法として、光照射などの外場印加に伴う磁気構造の過渡変化を時間分解測定する手法がある。光照射に伴う磁化の反転過程は、光照射後の磁化を Kerr 回転の時間変化をポンプ-プローブ計測することによって観測されている。しかし、従来の光学的な手法では、元素別に空間分解したスピンダイナミクス計測は困難であった。そこで、スピンダイナミクスを元素別に時間(フェムト秒)空間(ナノメートル)分解して測定することができ、が課題となっていた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ピコからフェムト秒で動作するスピンドバイス開発に向け、スピンのダイナミクスを元素別に空間と時間の両方を分解して観測する測定によって、光によるスピンの励起状態であるマグノン、スキルミオン、磁化反転などの性質の発現機構解明を行うことである。この問題解決として、

- (1) 放射光 X 線と X 線自由電子レーザー(XFEL)を用いた時間分解型のコヒーレント共鳴軟 X 線小角散乱
- (2) 実験室の超短パルスレーザーを用いた時間分解磁気光学 Kerr 顕微鏡の両者を組み合わせ、元素、時間、空間分解を達成することで、スピンダイナミクス研究の大きなブレークスルーをしたいと考えた。特に(1)では X 線のエネルギーを元素の吸収端に合わせ、コヒーレンスによる空間分解、時間構造による時間分解を行う。X 線のコヒーレンスと時間構造の両方を極限まで活用した新しいパラダイムでの測定により、元素別にレーザー照射後の実空間でのスピンダイナミクス動画が取れることが期待できる。

3. 研究の方法

(1) 放射光 X 線と XFEL を用いた測定

本研究では、放射光 X 線と XFEL を用いた共鳴軟 X 線小角散乱測定のために、図 1 のような装置を製作する。真空チャンパー内に回折装置群を設置し、ターボ分子ポンプで 10^{-4} Pa 以下の高真空に保つ。チャンパーに侵入した軟 X 線はピンホールによって成形され、電動ゴニオメータに設置された試料に照射される。試料によって散乱された軟 X 線は、試料の後方に設置された 2 次元のマイクロチャンネルプレート(MCP)検出器で計測する。試料で散乱されずに透過してきた軟 X 線から検出器を保護するために、ダイレクトビームキャッチャを検出器の前方に設置する。小角散乱実験では、できるだけ広い範囲の磁気テクスチャを検出するために、検出器と試料の距離や角度を可変とする。例えば、検出器から試料の距離を 30 mm に設定すると Fe の M 吸収端(約 50 eV)において波長程度の 100 nm の空間分解が可能になる。XFEL 施設 SACL A の軟 X 線は 30 fs 程度のフェムト秒パルス光であり、60 Hz と繰り返しは遅いので、時間分解能の低い X 線検出器でも、スピンダイナミクスの時間スケールであるフェムト秒の時間分解能が達成できる。

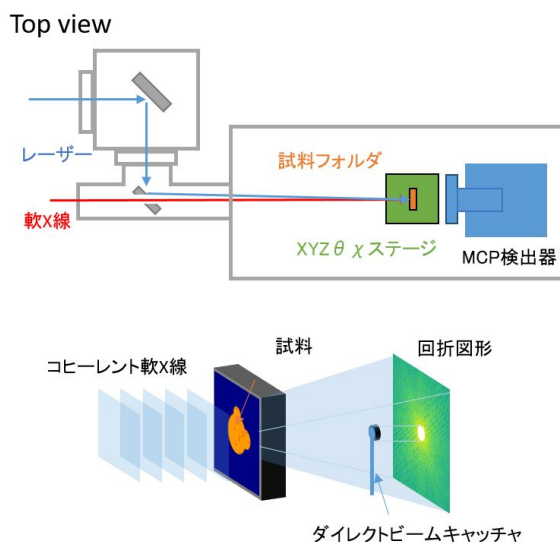


図 1 : 開発する時間分解型のコヒーレント共鳴軟 X 線小角散乱装置の概念図。放射光 X 線と XFEL で用いることができる。

(2) 実験室のレーザーを用いた測定

兵庫県立大学において、実験室の超短パルスレーザーを用いた図2のような装置を製作する。1030 nm の赤外光で励起し、515 nm の可視光で磁区を観測する時間分解磁気光学 Kerr 効果顕微鏡である。磁性を見る原理は、磁気光学 Kerr 効果すなわち試料表面での反射の際の偏光面の回転である。本装置の顕微分解能はサブミクロン、時間分解能は 300 fs であり、小さな領域の超高速現象を観測できることが期待できる。

このような実験室をベースとする装置は、(1)のような大型施設における装置でいつも問題となるマシンタイム制約を受けないという大きなメリットがある。(1)と(2)の装置が両輪とするようなスピンドYNAMICS研究を進めることを目指す。

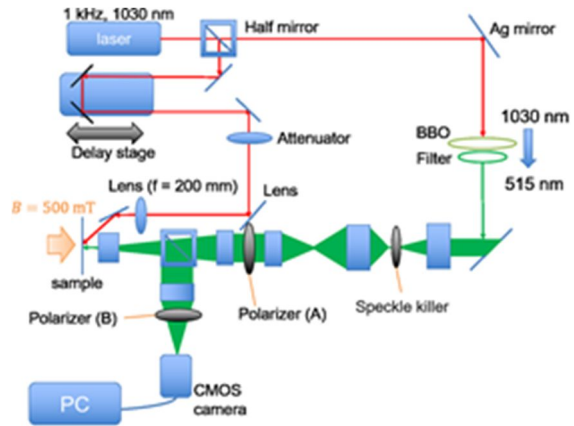


図2：開発する時間分解磁気光学 Kerr 効果顕微鏡。実験室レーザーを用いている。

4. 研究成果

(1) 放射光 X 線と XFEL を用いた測定

図1の装置の建設前に、SACLA の硬 X 線ビームライン BL3 で強磁性の鉄白金薄膜の白金 L 端での時間分解 X 線磁気円二色性(XMCD)測定を行い、ピコ秒以下のスケールのダイナミクス観測により、鉄と白金の時間スケールの違いの決定を試みた。ここで、ポンププローブ法を用いた。ポンプレーザーの波長は 800 nm(直線偏光)であり、プローブ X 線のエネルギーは白金 L₃ 端の 11.6 keV 程度である。測定試料は MgO(100)基板上的 FePt 薄膜である。測定は室温で、ネオジウム永久磁石で 0.6 T 程度かけながら行った。

図3が時間分解 XMCD 測定の結果、すなわち白金の磁化の変化の様子を示す。また同じ図には鉄の変化を主に反映する、可視光の時間分解磁気光学 Kerr 効果の結果も示している。両測定は同じセットアップ、同じ試料で行われている。この結果に理論計算も併用することで、強磁性の鉄白金薄膜において鉄と白金で異なる時間スケールのダイナミクスを示すという、鉄と白金の光誘起磁気状態のモデルを明らかにすることに成功した。特に、レーザー光による磁化反転現象の鍵が、鉄と白金の消磁時間の差にあると言える。今後のスピントロニクス研究において、レーザーによる磁化反転などの超高速スピン操作を目指す際の、重要な指導原理が得られた。

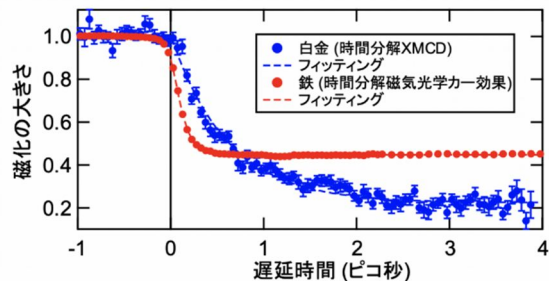


図3：鉄白金薄膜の時間分解 XMCD 測定で観測された磁化の時間変化。青が白金の XMCD 強度、赤が可視光磁気光学 Kerr 回転角、すなわち白金と鉄の磁化を示す。

その後、図1の装置を建設し、SACLA の軟 X 線ビームライン BL1 に接続した。まずは 0.5 μm のピンホールを 4 μm の間隔で 2 つ並べダブルピンホールからの干渉縞の観測を行った。SACLA では干渉縞のコントラストが 100%に近い結果となった。SACLA のコヒーレンスが極めて高く、少なくとも 4 μm 以上のコヒーレント長を有していることが明らかになった。そして、次の段階として、コヒーレント軟 X 線による X 線小角散乱により、集光レンズを用いずに実空間磁気イメージングを目指した。軟 X 線領域に Fe などの 3d 遷移金属の L, M 吸収端があり磁気モーメントの情報が検出可能なため、コヒーレント共鳴軟 X 線小角散乱によりナノ領域の磁気イメージングを行うことができる。磁性体薄膜試料 Ta(5 nm) / [Gd (0.4 nm)/Fe_{0.9}Co_{0.1} (0.34 nm)]₈₀/Ta (10 nm)/Si₃N₄ 膜での測定を行った。Gd/(Fe,Co) 超格子は Gd と(Fe, Co) 間でスピンのフェリ磁性な相互作用を示し、弱い磁場印加によりスキルミオンが形成されることなどが特徴である。この試料からは、400-500 nm の磁区幅が Kerr 顕微鏡から得られている。図4に示すように、SACLA BL1 において、54 eV (Fe M 端) で干渉縞に共鳴効果によると考えられる干渉縞の変化を観測した。ここで、(左)がピンホール上に置いた磁性体薄膜。(右)がピンホールのみでの結果である。これは 400-500 nm の磁区幅の磁区構造を反映したものと考えられる。

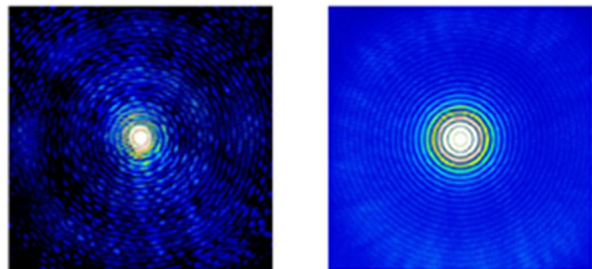


図4：SACLABL1 で 54 eV (Fe M 端) で測定された小角散乱。(左)ピンホール上にのせた磁性薄膜。(右)ピンホールのみ。

さらに、SACLAB1において、強磁性のCo/Pt多層膜に対する時間分解磁気光学 Kerr 効果の測定に成功した。ここでは反射光の Kerr 回転角を多層膜ミラーによる回転エリプソメトリ法で偏光解析を行っている。その結果、Ptの消磁の時定数がCoより長いことが分かった。このような時定数の振る舞いは、図3の結果と一致するものである。

ドイツの放射光施設 BESSY II における国際共同研究も進めている。そこでは、時間分解型の XMCD と共鳴軟 X 線散乱の測定を行った。一つ目の成果として、コバルト酸化物 $\text{GdBaCo}_2\text{O}_{5.5}$ の薄膜における磁気構造の超高速な変化の観測に成功し、ポンプレーザーにより反強磁性であった薄膜が強磁性となり、磁化が増加する様子を明らかにした。二つ目の成果として、ペロブスカイト型鉄酸化物 $\text{La}_{1/3}\text{Sr}_{2/3}\text{FeO}_3$ の薄膜における反強磁性磁気構造の超高速な変化の観測に成功し、ポンプレーザーにより0.1ピコ秒ほどの極短時間で反強磁性秩序が消失する様子を明らかにした。これは、図5に示すように、電荷と磁性の変化が連続的に起きていることが原因であると考えられる。

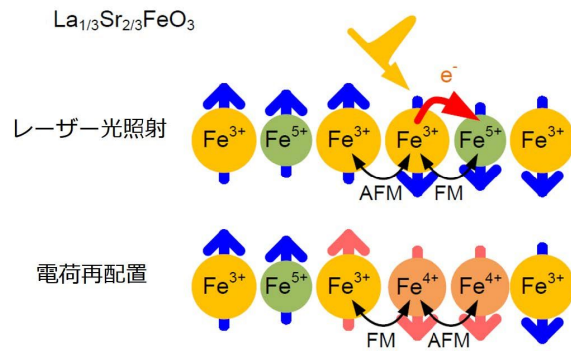


図5：鉄のスピンのレーザー励起状態のイメージ図。電荷と磁性の変化が連続的に起きている。FMは強磁性、AFMは反強磁性的な相互作用を示す。

(2) 実験室のレーザーを用いた測定

兵庫県立大学において、図2の装置を建設した。そして、図6に示すように垂直磁気異方性を持つ強磁性のスピネル型 NiCo_2O_4 薄膜でのスピンドYNAMICS観測を行った。この結果より、 NiCo_2O_4 は、レーザー照射によって0.4ピコ秒の速さで磁化が減少することが明らかになった。ハーフメタルでは、以前までの研究で消磁スピードが遅いことが知られていたが、 NiCo_2O_4 薄膜はスピン偏極率が0.7程度と比較的小さく、超高速消磁を実現できたと考えている。このように、大型施設と実験室を両輪とするようなスピンドYNAMICS研究のセットアップを建設し、今後スピンのダイナミクスを元素別に空間と時間の両方を分解して観測する測定が進められる状況となっている。

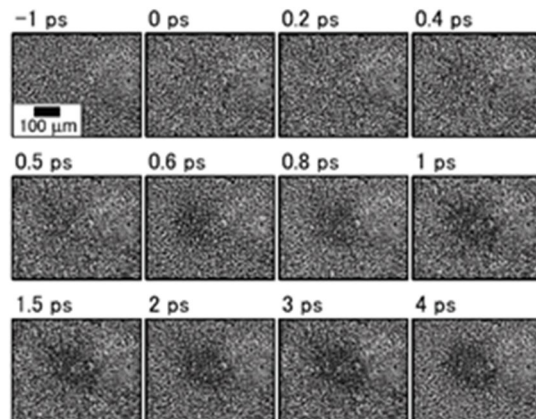


図6：建設した時間分解磁気光学 Kerr 効果顕微鏡で観測した NiCo_2O_4 薄膜のスピンドYNAMICS。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 3件）

| | |
|--|-------------------------------|
| 1. 著者名 Takahashi Ryunosuke, Tani Yoshiki, Abe Hirotaka, Yamasaki Minato, Suzuki Ikumi, Kan Daisuke, Shimakawa Yuichi, Wadati Hiroki | 4. 巻 119 |
| 2. 論文標題 Ultrafast demagnetization in NiCo ₂ thin films probed by time-resolved microscopy | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Applied Physics Letters | 6. 最初と最後の頁 102404 ~ 102404 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/5.0058740 | 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 Zhang Yujun, Katayama Tsukasa, Chikamatsu Akira, Schussler-Langeheine Christian, Pontius Niko, Hirata Yasuyuki, Takubo Kou, Yamagami Kohei, Ikeda Keisuke, Yamamoto Kohei, Hasegawa Tetsuya, Wadati Hiroki | 4. 巻 5 |
| 2. 論文標題 Photo-induced antiferromagnetic-ferromagnetic and spin-state transition in a double-perovskite cobalt oxide thin film | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Communications Physics | 6. 最初と最後の頁 50 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s42005-022-00823-4 | 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 該当する |

| | |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名 Yamamoto Kohei, Tsuyama Tomoyuki, Ito Suguru, Takubo Kou, Matsuda Iwao, Pontius Niko, Schussler-Langeheine Christian, Minohara Makoto, Kumigashira Hiroshi, Yamasaki Yuichi, Nakao Hironori, Murakami Youichi, Katase Takayoshi, Kamiya Toshio, Wadati Hiroki | 4. 巻 24 |
| 2. 論文標題 Photoinduced transient states of antiferromagnetic orderings in La _{1/3} Sr _{2/3} FeO ₃ and SrFeO ₃ thin films observed through time-resolved resonant soft x-ray scattering | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 New Journal of Physics | 6. 最初と最後の頁 043012 ~ 043012 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1367-2630/ac5f31 | 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 該当する |

| | |
|--|--------------------------|
| 1. 著者名 Yamamoto Kohei, Moussaoui Souliman El, Hirata Yasuyuki, Yamamoto Susumu, Kubota Yuya, Owada Shigeki, Yabashi Makina, Seki Takeshi, Takanashi Koki, Matsuda Iwao, Wadati Hiroki | 4. 巻 116 |
| 2. 論文標題 Element-selectively tracking ultrafast demagnetization process in Co/Pt multilayer thin films by the resonant magneto-optical Kerr effect | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Applied Physics Letters | 6. 最初と最後の頁 172406-1-5 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/5.0005393 | 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 Yamagami K., Fujisawa Y., Driesen B., Hsu C. H., Kawaguchi K., Tanaka H., Kondo T., Zhang Y., Wadati H., Araki K., Takeda T., Takeda Y., Muro T., Chuang F. C., Niimi Y., Kuroda K., Kobayashi M., Okada Y. | 4. 巻 103 |
| 2. 論文標題 Itinerant ferromagnetism mediated by giant spin polarization of the metallic ligand band in the van der Waals magnet Fe ₅ GeTe ₂ | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review B | 6. 最初と最後の頁 L060403-1-6 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.L060403 | 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 K. Yamamoto, Y. Kubota, M. Suzuki, Y. Hirata, K. Carva, M. Berritta, K. Takubo, Y. Uemura, R. Fukaya, K. Tanaka, W. Nishimura, T. Ohkochi, T. Katayama, T. Togashi, K. Tamasaku, M. Yabashi, Y. Tanaka, T. Seki, K. Takanashi, P. M. Oppeneer, and H. Wadati | 4. 巻 21 |
| 2. 論文標題 Ultrafast demagnetization of Pt magnetic moment in L10-FePt probed by magnetic circular dichroism at a hard x-ray free electron laser | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 New Journal of Physics | 6. 最初と最後の頁 123010-1-9 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1367-2630/ab5ac2 | 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 該当する |

〔学会発表〕 計29件 (うち招待講演 10件 / うち国際学会 5件)

| |
|--|
| 1. 発表者名 山本航平、和達大樹 |
| 2. 発表標題 Photo-induced Magnetization Dynamics Observed with Synchrotron Radiation and Free Electron Lasers |
| 3. 学会等名 International Conference on Quantum Liquid Crystals 2021 (QLC2021) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 和達大樹 |
| 2. 発表標題 X線とレーザーによる遷移金属化合物の秩序とダイナミクス研究 |
| 3. 学会等名 第66回物性若手夏の学校 (招待講演) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 和達大樹 |
| 2. 発表標題 X線とレーザーを組み合わせたスピンドYNAMICS研究 |
| 3. 学会等名 第7回 大型実験施設とスーパーコンピュータとの連携利用シンポジウム (招待講演) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 和達大樹 |
| 2. 発表標題 最先端量子ビームの応用物理 |
| 3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会 チュートリアル (招待講演) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 和達大樹 |
| 2. 発表標題 Time-resolved x-ray study of ferromagnetic and antiferromagnetic thin films |
| 3. 学会等名 Materials Research Meeting (MRM2021) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 和達大樹 |
| 2. 発表標題 X線とレーザーを組み合わせた磁性体のダイナミクスの観測 |
| 3. 学会等名 第69回化合物新磁性材料専門研究会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 和達大樹 |
| 2. 発表標題 Time-resolved pump-probe study of ferromagnetic and antiferromagnetic thin films |
| 3. 学会等名 Special Talk Series on AMO Science at SHINE (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 高橋龍之介、谷佳樹、安部弘隆、山崎未南斗、鈴木郁美、菅大介、島川祐一、和達大樹 |
| 2. 発表標題 時間分解顕微鏡によるNiCo ₂ O ₄ 薄膜における超高速消磁の観測 |
| 3. 学会等名 2021年第82回応用物理学会秋季学術講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 高橋龍之介、谷佳樹、安部弘隆、山崎未南斗、鈴木郁美、菅大介、島川祐一、和達大樹 |
| 2. 発表標題 NiCo ₂ O ₄ 薄膜における超高速消磁の時間分解顕微測定による観測 |
| 3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 高橋龍之介、秦雄大、大河内拓雄、菅大介、島川祐一、和達大樹 |
| 2. 発表標題 フェリ磁性酸化物NiCo ₂ O ₄ 薄膜におけるパルスレーザー磁化スイッチングの観測 |
| 3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 高橋龍之介、安部弘隆、谷佳樹、山崎未南斗、大河内拓雄、菅大介、島川祐一、和達大樹 |
| 2. 発表標題 レーザー照射されたNiCo ₂ O ₄ 薄膜の磁区の時間空間分解 |
| 3. 学会等名 2022年第69回応用物理学会春季学術講演会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 柴田友里亜、中村拓人、渡邊浩、山神光平、平田靖透、池田啓祐、Yujun Zhang、和達大樹、井村敬一郎、鈴木博之、佐藤憲昭、木村真一 |
| 2. 発表標題 光励起価数転移を示すSmSの時間分解X線吸収分光 |
| 3. 学会等名 第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 山神光平、Yujun Zhang、山本航平、上田大貴、Urs Staub、Sang Han Park、Soonam Kwon、三村功次郎、光田暁弘、和田裕文、和達大樹 |
| 2. 発表標題 時間分解軟X線吸収分光を用いた価数転移化合物EuNi ₂ (Si _{0.21} Ge _{0.79}) ₂ のEu 4f電子ダイナミクス |
| 3. 学会等名 第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 安部弘隆、高橋 之介、高橋宏和、山本航平、角田 匡清、大河内拓雄、木下豊彦、○和達大樹 |
| 2. 発表標題 レーザー照射下でのカー顕微鏡によるGdFeCo薄膜の磁区の観察 |
| 3. 学会等名 2021年 第68回応用物理学会春季学術講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 谷佳樹、高橋龍之介、山崎未南斗、安部弘隆、鈴木郁美、菅大介、島川祐一、和達大樹 |
| 2. 発表標題 カー顕微鏡によるNiCo ₂ O ₄ 薄膜の磁区観察 |
| 3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会(2021年) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 安部弘隆、高橋龍之介、高橋宏和、山本航平、角田匡清、大河内拓雄、木下豊彦、和達大樹 |
| 2. 発表標題 レーザー照射下でのGdFeCo薄膜の磁区の観察 |
| 3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会(2021年) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名 山崎未南斗、高橋龍之介、石井順久、和達大樹 |
| 2. 発表標題 シリコンのポンププローブ時間分解透過率測定 |
| 3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会(2021年) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 渡邊浩、中村拓人、柴田友里亜、山神光平、平田靖透、池田啓祐、Yujun Zhang、和達大樹、井村敬一郎、鈴木博之、佐藤憲昭、木村真一 |
| 2. 発表標題 SmSのX線吸収分光を用いた光励起価数転移ダイナミクス |
| 3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会(2021年) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 山本航平 |
| 2. 発表標題 X線自由電子レーザーを用いた元素選択的な光誘起磁性ダイナミクスの測定 |
| 3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会（招待講演） |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 山本航平 |
| 2. 発表標題 X線自由電子レーザーによる時間分解共鳴磁気光学カー効果測定でみるCo/Pt薄膜の磁化ダイナミクスの励起光強度依存 |
| 3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 安部弘隆 |
| 2. 発表標題 GdFeCo薄膜におけるレーザー励起磁化反転のKerr顕微鏡による観測 |
| 3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 山本航平 |
| 2. 発表標題 X線自由電子レーザーによる時間分解共鳴磁気光学カー効果測定でみるCo/Pt薄膜の光誘起磁化ダイナミクス |
| 3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 和達大樹 |
| 2. 発表標題 GdBaCo205.5薄膜で観測された光誘起強磁性-反強磁性転移 |
| 3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 和達大樹 |
| 2. 発表標題 Ultrafast x-ray study of charge/spin dynamics |
| 3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 和達大樹 |
| 2. 発表標題 Time-resolved x-ray measurements for observing spin/charge dynamics |
| 3. 学会等名 OptoX-NANO 2019 conference (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 山本航平 |
| 2. 発表標題 Co/Pt薄膜のCo L端磁気円二色性スペクトルの時間分解測定 |
| 3. 学会等名 第33回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 和達大樹 |
| 2. 発表標題 GdBaCo205.5薄膜で観測された光誘起強磁性 |
| 3. 学会等名 第33回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 山本航平 |
| 2. 発表標題 X線自由電子レーザーによる時間分解共鳴磁気光学カー効果測定でみるCo/Pt薄膜の光誘起磁化ダイナミクスの励起強度依存性 |
| 3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 和達大樹 |
| 2. 発表標題 GdBaCo205.5薄膜で観測された光誘起強磁性-反強磁性転移 |
| 3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会 |
| 4. 発表年 2020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 |
|-------------------|---|---|----|
| 研究 分 担 者 | 久保田 雄也 (Kubota Yuya) (30805510) | 国立研究開発法人理化学研究所・放射光科学研究センター・ 基礎科学特別研究員 (82401) | |

6. 研究組織（つづき）

| | 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 |
|-------|--|---|----|
| 研究分担者 | 関 剛斎 (Seki Takeshi) (40579611) | 東北大学・金属材料研究所・准教授 (11301) | |
| 研究分担者 | 山崎 裕一 (Yamasaki Yuichi) (70571610) | 国立研究開発法人物質・材料研究機構・統合型材料開発・情報基盤部門・主任研究員 (82108) | |

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 | | | |
|---------|----------|--|--|--|
| ドイツ | BESSY II | | | |