

令和 2 年 6 月 9 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H04924

研究課題名(和文)反強磁性体スピndeバイスを目指したスピントルク磁化操作の確立

研究課題名(英文)spin torque operation for antiferromagnetic spin devices

研究代表者

森山 貴広 (Moriyama, Takahiro)

京都大学・化学研究所・准教授

研究者番号：50643326

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 18,600,000円

研究成果の概要(和文)：反強磁性体とは、原子スケールで局在スピン(磁化)を有するが、隣り合う局在スピンの反対方向を向いて整列しているため、全体として自発磁化を持たない物質である。その性質からスピントロニクスにおいて役に立たない材料と考えられてきた。本研究では、スピントルク効果による反強磁性体の磁化方向の制御、および磁気抵抗効果による磁化方向の電気的検出手法を確立した。これを基に、電流で書き込み・読み出しが可能な反強磁性体不揮発メモリ素子の動作実証を行った。本成果により、反強磁性体がスピントロニクスにおいて新たな機能材料となり得ることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、これまでスピントロニクスにおいて役に立たない材料であると考えられてきた反強磁性体について、実験結果を基にその有効性を示し、具体的な反強磁性スピndeバイスの実証を行った。反強磁性体には、これまで一般的に用いられてきた強磁性体にはない特性が多くある。例えば、反強磁性体の共鳴周波数はテラヘルツ付近にあるため、超高速スピndeバイスの実現も可能になる。よって反強磁性体は超高速・大容量通信などが求められる将来のエレクトロニクス産業にとって重要な材料であり、本成果はその可能性を初めて示した点で意義がある。

研究成果の概要(英文)：Antiferromagnets have multiple magnetic sublattices and the magnetic moments on the sublattices are compensated by each other. Negligible net magnetization and small magnetic susceptibility of antiferromagnets were considered useless in spintronics. However, the present research found the possibility of the spin torque manipulation of the antiferromagnetic magnetic moment and the electrical reading of the direction of the magnetic moment. Based on the findings, non-volatile spin-torque operated antiferromagnetic memory devices were demonstrated. The achievement of this research strongly suggests that antiferromagnets can be novel and useful materials in spintronics.

研究分野：スピントロニクス

キーワード：反強磁性体 スピントロニクス

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

近年、固体中の電荷のみでなくスピンの流れを制御することが可能となってきた。電荷だけではなくスピンの自由度も利用することで、これまでのエレクトロニクスでは実現できなかった機能や現象を利用した新規デバイスが可能である。なかでも、電子の持つスピンの流れ（スピン流）が磁化に回転力（トルク）を与える現象はスピントルク効果と呼ばれる。スピントルク効果により、強磁性体の磁化制御が桁違いの低消費電力で可能になるため、既に磁気メモリ応用等において積極的に利用されている。また、適当な条件下においてスピン流により強磁性体磁化ダイナミクスを励起できることが実証されている。これらの現象を用いた数十 GHz のマイクロ波発生装置なども提案・実証されており高周波通信などへの応用が期待されている。

これらスピントロニクスにおける応用・基礎研究はこれまで強磁性体を主材料として行われてきた。一方、反強磁性体は、原子スケールでミクロな磁化を有するが、隣り合う磁化が互いに打ち消しあうように整列しているため、全体として自発磁化を持たない。その性質から、強磁性体に比べて、磁化方向を制御・検出することが一般的に困難であると考えられてきた。これらの性質は反強磁性体のスピントロニクスデバイス応用において致命的欠陥であり、スピン自由度に起因した物理現象をとらえるうえでも重大な障害であった。しかしながら、申請者らの最近の研究結果から、強磁性体と同様に、スピン流と反強磁性体の磁化との相互作用（スピントルク効果）が存在することが実験的に示唆されており、スピン流による反強磁性体の磁化方向の制御、磁化ダイナミクスの制御などへの研究の進展が望まれている。さらに、反強磁性体における磁気抵抗効果なども観測されており、反強磁性体が次世代スピントロニクスにおける新材料として認識されつつある。

表1に示したように、反強磁性体は強磁性体に比べて磁気感受率が小さいという性質から、高密度磁気メモリにおいて記録ビット間の磁気干渉を憂慮することなく、記録ビットの超高密度化が期待できる。また、反強磁性体の磁化の共鳴周波数は数 THz の領域にあり、スピントルク効果により磁化ダイナミクスを励起・検波できれば、テラヘルツデバイスが実現可能である。このように、「反強磁性体スピントロニクス」は超高密度磁気メモリや新たなテラヘルツ波発振・検波の方法の開発を可能にし、将来のエレクトロニクス産業の基盤を担う革新的スピントロニクスデバイスの創出が期待できる。

材料	磁気感受率 (磁化率)	共鳴周波数
強磁性体	$\sim 10^3$ *	数十 GHz
反強磁性体	$\sim 10^{-2}$ **	数 THz

磁気感受率が小さい

超高密度磁気メモリ
磁気擾乱に強いメモリ

THz ダイナミクス

超高速磁化反転
THz発振素子

表1：典型的な強磁性体、反強磁性体の磁気感受率および共鳴周波数。*Fe の典型的な値、**反強磁性 MgF_2 の典型的な値。

2. 研究の目的

本研究課題では、実用可能な反強磁性体スピントロニクスデバイスの創出をめざし、デバイスの基本動作原理であるスピントルクによる磁化操作、および磁気抵抗による磁化方向の読み出しを一貫して同一材料系において実証することを目的とする。

反強磁性体におけるスピントルク効果の実験的な解明・理解が進みつつある。これらの研究成果をさらに展開し、反強磁性体磁気メモリやテラヘルツ波発振・検出デバイスなどの反強磁性体固有の特性を生かした革新的スピントロニクスデバイスの創生を目指し、本研究課題では以下のことを明らかにする。

(1) スピントルク効果による磁化の操作、及び磁気抵抗効果による磁化方向の検出

過去の研究成果において、反強磁性体においてスピントルク効果が有効であることを示しているが、磁化を実際に回転させるまでの十分なトルクを実現できていない。反強磁性磁化に対

して大きなスピントルク効果を得られるように材料系やデバイス構造を工夫することで磁化の回転を実現する。さらに、反強磁性磁化秩序に起因した磁気抵抗効果により電氣的に磁化方向の検出を行う。これにより反強磁性体スピントロニクスデバイスの基本動作原理を実証する。

(2) スピントルク効果による反強磁性体の磁化回転過程を明らかにする

強磁性体の場合と同様に、反強磁性体においてもスピントルク効果による磁化回転の過程で複数の磁区を形成することが予想される。これらの磁区生成・消滅のダイナミクスは基礎物理的観点からも長年興味の対象であり、理論的予測はあるものの実験的にはほとんど調査されていない。スピントルク効果による磁化回転過程における動力学を明らかにし、反強磁性体デバイス設計の指針を得る。

(3) 反強磁性共鳴による磁化ダイナミクスの解明

磁気共鳴が THz 付近にある反強磁性体は、スピントロニクスとテラヘルツ技術の架け橋になる材料として期待されている。THz で共鳴する反強磁性磁化ダイナミクスの緩和過程等を解明することにより、反強磁性体を利用した超高周波デバイス（テラヘルツデバイス）を目指した基盤技術の確立を狙う。

3. 研究の方法

本研究目的を達成するために以下の方法で研究を遂行した。

(1) スピントルク効果による反強磁性体磁化回転および磁化方向検出

① 大きなスピントルク効果を発現する材料系および薄膜構造の確立

スピン流の生成は主に非磁性体のスピンホール効果を利用して行う。スピンホール効果とは非磁性金属に電流を流すと、スピン依存散乱により電流と直交した方向にスピン流が誘起される現象である。基本的には非磁性体/反強磁性体の二層薄膜構造を用いることにより容易にスピン流注入が実現できる。非磁性材料としては、大きなスピンホール効果を有する Pt を利用した。反強磁性材料にはコリニア反強磁性を有する NiO を用いた。

② スピントルク効果および磁気抵抗効果を利用した連続的な磁化操作・検出

反強磁性の磁化は伝導スピンの向きに沿うように回転すると考えられる。特にコリニアな反強磁性体においては、系が磁化に対して二回対称であるため、180 度磁化回転に対して不変である。このため、スピン流の注入方向を変えることで、90 度磁化回転を実現し、磁気抵抗効果による電氣的な磁化方向の検出を行う。

(2) スピントルク効果により励起された反強磁性磁化ダイナミクスの調査

① 反強磁性体のスピントルク磁化回転過程の観測

反強磁性磁化を可視化する為に、SPring-8 での放射光による X 線磁気線二色性を利用した反強磁性体磁区の直接観察を行う。NiO にスピン流を注入しつつ、スピントルク効果による磁区構造変化を確認する。本実験と(1-②)の実験における磁気抵抗変化と対応付けることで、反強磁性磁化の磁区生成・消滅過程ダイナミクスを明らかにする。

② テラヘルツ分光による反強磁性体磁化ダイナミクスの解明

一般的なテラヘルツ分光は既に確立された技術であるが、これまで反強磁性体の磁化ダイナミクスを調査したものはほとんどない。既存のテラヘルツ分光技術を応用し、反強磁性体に適したテラヘルツ測定系を構築する。構築した測定系を用いて反強磁性磁化の超高速ダイナミクスの性質や緩和機構を調査する。

4. 研究成果

強磁性体におけるスピントルク効果による磁化反転は実証されておりよく理解されている。一方、反強磁性体では正味の磁化がゼロであるためスピントルク効果も相殺されると思いがちであるが、ミクロな磁気モーメントにスピントルク効果を作用させる工夫を凝らすことでネールベクトル方向の制御が可能である。反強磁性多層膜において、膜構造に工夫を凝らすことでスピンホール効果を利用した反強磁性磁化方向の制御および磁気抵抗による方向検出に成功した。図 1 (a)に示したような Pt/NiO/Pt 三層構造において電流を流すと Pt のスピンホール効果により NiO 中に上下からスピン分極方向が逆向きのスピン流が注入される。このスピン流が互いに反平行に整列した NiO の磁気モーメントに作用し、同一回転方向にスピントルクを与える。図 1 (b)は Pt/NiO/Pt 三層膜をホールクロス状に加工し、それぞれ直交する書き込み電流 (I_{sw}) を流した後にホール抵抗を測定する、書き込み読み出し手順である。図 1 (c)に示したように、 $I_{sw} = 25\text{mA}$ 程度の閾値（電流密度 $4 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$ に相当）で書き込み方向に対してホール抵抗に変化がみられている。ここでのホール抵抗変化の起源はスピンホール磁気抵抗効果の横抵抗成分である。すなわち、ホール抵抗変化は NiO のネールベクトルの向きに対応している。図 1 (d-f)は書き込み電流印加後のサンプル表面の磁気線二色性光電子顕微鏡画像 (XMLD-PEEM 画像) である。コントラストはそれぞれ図示した方向のネールベクトルを持つ NiO 磁気ドメインに対応している。実は、書き込みにおいてすべての NiO のネールベクトルが一斉回転しているわけではなくて、ドメインを作り一部のみが回転していることが見て取れる。これは、図 1 (a)に示したような理想的な状況がサンプルの一部でのみ実現していることを示唆している。本実験や他の報告で得られているネールベクトル回転の閾電流密度は概ね $10^6 \sim 10^7 \text{ A/cm}^2$ 程度であり、強磁性体の磁化反転に必要なそれと同程度である。本結果はとりもなおさず、電流により書き込み・読み出しが可能なスピントルク反強磁性メモリの実証である^{1,2)}。

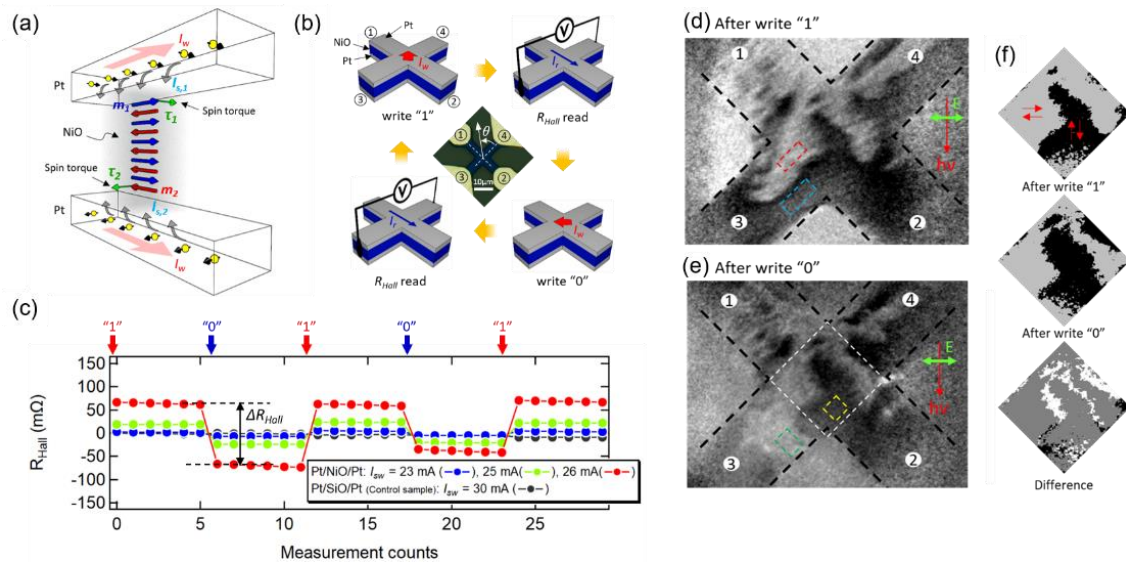


図 1 (a) Pt/NiO/Pt 三層構造において、Pt のスピンホール効果によりスピントルク効果を受けて NiO の磁気モーメントが回転する原理 (b) 電流書き込み (“1”および “0”)・読み出し方法 (c)書き込み操作後のホール抵抗の変化(d) 書き込み “1”および(e) “0”後の XMLD-PEEM 画像(f)(d-e)の明暗を強調したもの、および “1”状態と “0”状態の差分。赤矢印はドメイン内での磁気モーメントの方向¹⁾

反強磁性共鳴周波数は分子磁場に比例するため、通常の強磁性体における強磁性共鳴 (GHz 帯域) に比べて圧倒的に高く THz に達する。古くから遠赤外光源を利用した反強磁性共鳴測定

が行われているが、測定精度の問題で共鳴線幅等の共鳴特性の詳細な評価が困難であった。最近の THz 技術等を含む様々な測定・計測技術の急速な発展により、THz 帯において時間領域や周波数領域で高精度・高分解能な評価ができるようになってきた。これまで実験的に未開拓であった反強磁性磁化ダイナミクスの緩和機構などが調査されつつある³⁾。磁化ダイナミクスに付随する興味深い現象としてスピンプンピング効果がある。スピンプンピング効果は磁化方向の時間変化がスピン流に変換される現象で、強磁性体においてはよく知られた現象であるが、THz 帯域の反強磁性磁化ダイナミクスにおいて観測された例はこれまでなかった。本研究では NiO-Pt グラニューラー物質において反強磁性ダイナミクスによるスピンプンピング効果について調査した。NiO 中に Pt 粒子を様々な割合で分散させたグラニューラー物質 ((NiO)_{1-x}Pt_x) に対して、図 2 (a) に示したようなテラヘルツ透過吸収測定を周波数領域において行っている。この試料系におけるスピンプンピング効果の理論概念図を図 2 (b) に示す。NiO の反強磁性磁化ダイナミクスにより、スピン流 I_s^{pump} が生成され、Pt 粒子に注入されスピン蓄積が起こる。Pt はスピン軌道相互作用が強いため I_s^{pump} のほとんどは散逸し、残った僅かなスピン蓄積によりスピン流の逆流 I_s^0 が起こる。反強磁性磁化ダイナミクスのダンピング定数は、 $|I_s^{\text{pump}}|$ と $|I_s^0|$ の差、すなわち重金属でのスピン散逸の大きさに比例して増加することが理論的に知られている。つまり、グラニューラー物質中の Pt の割合を増加させてスピン散逸が増加するに従い NiO の磁化ダイナミクスのダンピング定数は大きくなるのが予想できる。強磁性共鳴の場合と同様、反強磁性磁化ダイナミクスのダンピング定数は、反強磁性共鳴のスペクトル線幅から見積もることができる。テラヘルツ透過吸収測定から得られた (NiO)_{1-x}Pt_x の透過スペクトル (図 2 (c)) はちょうど 1THz に共鳴ピークを示している。さらに、共鳴周波数は Pt の組成比 x に因らず一定であるのに対して、共鳴線幅は x の増加に従って大きくなっていることが分かる。これは、スピンプンピング効果の理論予想と一致しており、確かにテラヘルツ帯の反強磁性スピンドイナミクスにおいてもスピンプンピング効果が起こることを実証している。これらのデータから、スピンプンピング効果の多寡を決定するパラメータであるスピンミキシングコンダクタンスは 12nm^2 と見積もられた。これらは、強磁性体におけるスピンプンピング効果と同程度の大きな値である⁴⁾。

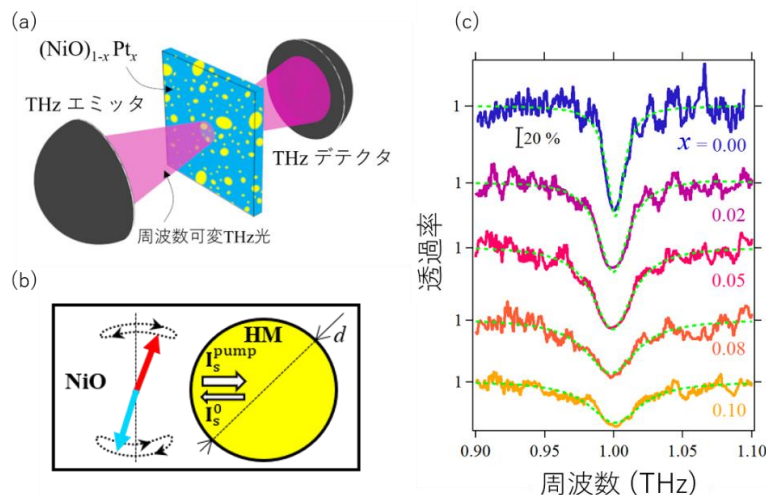


図 2 (a) グラニューラー物質 ((NiO)_{1-x}Pt_x) の テラヘルツ透過吸収測定の様式図 (b) スピンプンピング効果の理論概念図 (c) (NiO)_{1-x}Pt_x の 1 THz 付近の透過スペクトル

参考文献

- ¹ T. Moriyama et al.: *Sci. Rep.*, **8**, 14167 (2018).
- ² T. Moriyama et al.: *Phys. Rev. Lett.*, **121**, 167202 (2018).
- ³ T. Moriyama et al.: *Phys. Rev. Mater.*, **3**, 051402 (2019).
- ⁴ T. Moriyama et al.: *Phys. Rev. B*, **101**, 060402 (2020).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計24件（うち査読付論文 24件／うち国際共著 6件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Moriyama Takahiro, Hayashi Kensuke, Yamada Keisuke, Shima Mutsuhiro, Ohya Yutaka, Ono Teruo	4. 巻 3
2. 論文標題 Intrinsic and extrinsic antiferromagnetic damping in NiO	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 51402
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevMaterials.3.051402	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 Gray Isaiah, Moriyama Takahiro, Sivadas Nikhil, Stiehl Gregory M., Heron John T., Need Ryan, Kirby Brian J., Low David H., Nowack Katja C., Schlom Darrell G., Ralph Daniel C., Ono Teruo, Fuchs Gregory D.	4. 巻 9
2. 論文標題 Spin Seebeck Imaging of Spin-Torque Switching in Antiferromagnetic Pt/NiO Heterostructures	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review X	6. 最初と最後の頁 41016
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevX.9.041016	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 Iwaki Hiroyuki, Kimata Motoi, Ikebuchi Tetsuya, Kobayashi Yuta, Oda Kent, Shiota Yoichi, Ono Teruo, Moriyama Takahiro	4. 巻 116
2. 論文標題 Large anomalous Hall effect in L12-ordered antiferromagnetic Mn3Ir thin films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 022408 ~ 022408
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/1.5128241	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 Moriyama Takahiro, Hayashi Kensuke, Yamada Keisuke, Shima Mutsuhiro, Ohya Yutaka, Tserkovnyak Yaroslav, Ono Teruo	4. 巻 101
2. 論文標題 Enhanced antiferromagnetic resonance linewidth in NiO/Pt and NiO/Pd	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 60402
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.101.060402	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 Moriyama Takahiro, Shiratsuchi Yu, Iino Tatsuya, Aono Hikaru, Suzuki Motohiro, Nakamura Tetsuya, Kotani Yoshinori, Nakatani Ryoichi, Nakamura Kohji, Ono Teruo	4. 巻 13
2. 論文標題 Giant Anomalous Hall Conductivity at the Pt/Cr2O3 Interface	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Applied	6. 最初と最後の頁 34052
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.13.034052	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 Moriyama Takahiro, Shiratsuchi Yu, Iino Tatsuya, Aono Hikaru, Suzuki Motohiro, Nakamura Tetsuya, Kotani Yoshinori, Nakatani Ryoichi, Nakamura Kohji, Ono Teruo	4. 巻 13
2. 論文標題 Giant Anomalous Hall Conductivity at the Pt/Cr2O3 Interface	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Applied	6. 最初と最後の頁 34052
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.13.034052	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 Moriyama Takahiro, Hayashi Kensuke, Yamada Keisuke, Shima Mitsuhiro, Ohya Yutaka, Tserkovnyak Yaroslav, Ono Teruo	4. 巻 101
2. 論文標題 Enhanced antiferromagnetic resonance linewidth in NiO/Pt and NiO/Pd	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 60402
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.060402	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 Iwaki Hiroyuki, Kimata Motoi, Ikebuchi Tetsuya, Kobayashi Yuta, Oda Kent, Shiota Yoichi, Ono Teruo, Moriyama Takahiro	4. 巻 116
2. 論文標題 Large anomalous Hall effect in L12-ordered antiferromagnetic Mn3Ir thin films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 22408
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5128241	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 Oda Kent, MORIYAMA Takahiro, Kimata Motoi, Kasukawa Shuhei, ONO Teruo	4. 巻 59
2. 論文標題 Temperature dependence of spin Hall magnetoresistance across the N ² eI temperature of CoO	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 10908
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab6505	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 Gray Isaiah, Moriyama Takahiro, Sivadas Nikhil, Stiehl Gregory M., Heron John T., Need Ryan, Kirby Brian J., Low David H., Nowack Katja C., Schlom Darrell G., Ralph Daniel C., Ono Teruo, Fuchs Gregory D.	4. 巻 9
2. 論文標題 Spin Seebeck Imaging of Spin-Torque Switching in Antiferromagnetic Pt/NiO Heterostructures	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review X	6. 最初と最後の頁 41016
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevX.9.041016	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 Okuno Takaya, Kim Se Kwon, Moriyama Takahiro, Kim Duck-Ho, Mizuno Hayato, Ikebuchi Tetsuya, Hirata Yuushou, Yoshikawa Hiroki, Tsukamoto Arata, Kim Kab-Jin, Shiota Yoichi, Lee Kyung-Jin, Ono Teruo	4. 巻 12
2. 論文標題 Temperature dependence of magnetic resonance in ferrimagnetic GdFeCo alloys	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 93001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1882-0786/ab33d5	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 Moriyama Takahiro, Hayashi Kensuke, Yamada Keisuke, Shima Mutsuhiro, Ohya Yutaka, Ono Teruo	4. 巻 3
2. 論文標題 Intrinsic and extrinsic antiferromagnetic damping in NiO	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 51402
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.3.051402	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 Iino Tatsuya, Moriyama Takahiro, Iwaki Hiroyuki, Aono Hikaru, Shiratsuchi Yu, Ono Teruo	4. 巻 114
2. 論文標題 Resistive detection of the Neel temperature of Cr2O3 thin films	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 22402
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5082220	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 Moriyama Takahiro, Oda Kent, Ono Teruo	4. 巻 11
2. 論文標題 Choking Nonlocal Magnetic Damping in Exchange-Biased Ferromagnets	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Applied	6. 最初と最後の頁 11001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.11.011001	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 Oda K., Moriyama T., Ono T.	4. 巻 43
2. 論文標題 Magnetoresistance in Bilayers of Heavy Metal and Non-collinear Antiferromagnet	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Magnetism Society of Japan	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) 10.3379/msjmag.1901R001	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 Kan Daisuke, Moriyama Takahiro, Kobayashi Kento, Shimakawa Yuichi	4. 巻 98
2. 論文標題 Alternative to the topological interpretation of the transverse resistivity anomalies in SrRuO3	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 180408
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.98.180408	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 Moriyama Takahiro, Zhou Weinan, Seki Takeshi, Takanashi Koki, Ono Teruo	4. 巻 121
2. 論文標題 Spin-Orbit-Torque Memory Operation of Synthetic Antiferromagnets	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 167202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.121.167202	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 Moriyama Takahiro, Oda Kent, Ohkochi Takuo, Kimata Motoi, Ono Teruo	4. 巻 8
2. 論文標題 Spin torque control of antiferromagnetic moments in NiO	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 14167
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-32508-w	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 Ikebuchi Tetsuya, Moriyama Takahiro, Mizuno Hayato, Oda Kent, Ono Teruo	4. 巻 11
2. 論文標題 Spin current transmission in polycrystalline NiO films	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 73003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/APEX.11.073003	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 Ikebuchi Tetsuya, Moriyama Takahiro, Shiota Yoichi, Ono Teruo	4. 巻 11
2. 論文標題 Homodyne detection of ferromagnetic resonance by a non-uniform radio-frequency excitation current	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 53008
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/APEX.11.053008	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 Baltz V., Manchon A., Tsoi M., Moriyama T., Ono T., Tserkovnyak Y.	4. 巻 90
2. 論文標題 Antiferromagnetic spintronics	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Reviews of Modern Physics	6. 最初と最後の頁 15005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1103/RevModPhys.90.015005	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 Tanaka Kensho, Moriyama Takahiro, Usami Takamasa, Taniyama Tomoyasu, Ono Teruo	4. 巻 11
2. 論文標題 Spin torque in FeRh alloy measured by spin-torque ferromagnetic resonance	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 013008 ~ 013008
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.7567/APEX.11.013008	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 Moriyama Takahiro, Kamiya Michinari, Oda Kent, Tanaka Kensho, Kim Kab-Jin, Ono Teruo	4. 巻 119
2. 論文標題 Magnetic Moment Orientation-Dependent Spin Dissipation in Antiferromagnets	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 267204
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.119.267204	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 Seung Ham Woo, Kim Sanghoon, Kim Duck-Ho, Kim Kab-Jin, Okuno Takaya, Yoshikawa Hiroki, Tsukamoto Arata, Moriyama Takahiro, Ono Teruo	4. 巻 110
2. 論文標題 Temperature dependence of spin-orbit effective fields in Pt/GdFeCo bilayers	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 242405 ~ 242405
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1063/1.4985436	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 -

[学会発表] 計19件(うち招待講演 17件/うち国際学会 14件)

1. 発表者名 Takahiro Moriyama
2. 発表標題 Spintronic operations with antiferromagnets
3. 学会等名 Material Research Meeting 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahiro Moriyama, Kent Oda, Teruo Ono
2. 発表標題 Choking nonlocal magnetic damping in exchange-biased ferromagnets
3. 学会等名 Magnetism and Magnetic Materials Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahiro Moriyama
2. 発表標題 Spintronic operations with antiferromagnets
3. 学会等名 International workshop Spintronics 2019 - Spin Peru- (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahiro Moriyama
2. 発表標題 Spintronic operations with antiferromagnets
3. 学会等名 SPICE Workshop -Antiferromagnetic Spintronics - (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森山貴広
2. 発表標題 反強磁性体スピントロニクス
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 森山貴広
2. 発表標題 反強磁性体を用いたスピントロニクス操作
3. 学会等名 [ATI] 2019年度第1回スピントロニクス研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahiro Moriyama
2. 発表標題 Spintronic operations with antiferromagnets
3. 学会等名 Magnonics 2019（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahiro Moriyama
2. 発表標題 Controlling magnetic damping with antiferromagnets
3. 学会等名 The 6th Italian Conference on Magnetism（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahiro Moriyama
2. 発表標題 Magnetization control and detection of antiferromagnetic NiO
3. 学会等名 Joint MMM/Intermag Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahiro Moriyama
2. 発表標題 Spin torque control of antiferromagnetic NiO
3. 学会等名 16th RIEC International Workshop on Spintronics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahiro Moriyama
2. 発表標題 Magnetization control and detection of antiferromagnetic NiO
3. 学会等名 日本磁気学会第42回学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takahiro Moriyama
2. 発表標題 Spin torque control of antiferromagnetic moments in NiO
3. 学会等名 International Conference on Magnetism (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takahiro Moriyama
2. 発表標題 Spin torque switching and magnetoresistive detection in antiferromagnets
3. 学会等名 19th International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takahiro Moriyama, Kent Oda, and Teruo Ono
2. 発表標題 Choking nonlocal magnetic damping in exchange-biased ferromagnets
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahiro Moriyama
2. 発表標題 Spin torque switching of antiferromagnets
3. 学会等名 2nd IEEE Conference on Advances in Magnetism (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takahiro Moriyama
2. 発表標題 Spin orbit torque in antiferromagnets
3. 学会等名 ETH-Amsterdam-Kyoto mini-workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takahiro Moriyama
2. 発表標題 Spin orbit torque in antiferromagnets
3. 学会等名 SPICE 2017 Young Research Leaders Group Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takahiro Moriyama
2. 発表標題 Spin dissipation depending on magnetic moment orientation in antiferromagnets
3. 学会等名 York-Tohoku-Kaiserslautern JSPS Core-to-Core Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森山貴広
2. 発表標題 反強磁性磁化のスピントルク制御
3. 学会等名 日本磁気学会・応用物理学会共催スピントロニクス研究会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 磁気メモリ素子及び該磁気メモリ素子に用いる磁性材料	発明者 森山貴広、小野輝男、関剛斎、周偉男、高梨弘毅	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2017-132264	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

京大と東北大、反強磁性体を用いたスピントルク磁気メモリを実証
https://www.nikkei.com/article/DGXLRSP493501_Y8A011C1000000/

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
--	---------------------------	-----------------------	----