

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 28 日現在

機関番号：82108

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2016～2020

課題番号：16H06332

研究課題名(和文) 界面スピン軌道結合の微視的解明と巨大垂直磁気異方性デバイスの創製

研究課題名(英文) Microscopic understanding of interface spin-orbit coupling and development of perpendicular magnetic anisotropy devices

研究代表者

三谷 誠司 (MITANI, Seiji)

国立研究開発法人物質・材料研究機構・磁性・スピントロニクス材料研究拠点・副拠点長

研究者番号：20250813

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 146,500,000円

研究成果の概要(和文)：界面原子層成長制御、磁気分光、第一原理計算を結集することにより、界面スピン軌道結合を微視的に解明し、その学術基盤の構築とデバイス応用を狙った。まず、教科書の記述の更新につながる成果としては、界面磁気異方性の微視的理解であり、物質系ごとに軌道磁気モーメントの異方性と軌道四極子それぞれの役割を直感的理解とともに明らかにした。界面原子層成長制御が一層の進歩を遂げ、室温の世界記録となる異方性トンネル磁気抵抗効果や、Fe/MgO/Fe(001)接合のトンネル磁気抵抗効果の倍増にも成功した。この他、可逆歪場を利用した新規磁気分光法や、Rashba型スピン軌道相互作用に関する成果も得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

界面の研究では、試料品質によって結果が大きく異なってくることが多い。本研究では、高品位試料作製技術と磁気分光、理論解析が一体化することによって、well-definedな界面での研究を可能とし、界面でのスピン軌道結合の微視的理解を推し進めた。教科書の改訂につながる成果を挙げており、学術基盤の構築という意義を有する。社会的意義としては、従来よりもはるかに大きなTMRやTAMRを実現しており、今後のスピントロニクス応用における貢献が期待できる。省エネやAI技術を含む次世代情報通信技術に資するものである。

研究成果の概要(英文)：Spin-orbit coupling is the origin of perpendicular magnetic anisotropy (PMA) needed for next-generation magnetic memory technologies, which is also the basis of related novel magnetotransport properties. In this study, microscopic understanding and development of functionalities were aimed by combining state-of-the-art thin film deposition, magnetic spectroscopy and first-principles calculations. Based on the well-defined heterostructures, we demonstrated the record tunnel anisotropic magnetoresistance (TAMR) and tunnel magnetoresistance (TMR) in Fe/MgO/Fe heterostructures with quantum wells and tuned interfaces, respectively. Microscopic understanding of interface PMA has been much improved, so that textbooks can be revised in the interpretation of PMA. Effect of Rashba spin-orbit coupling on PMA was also investigated.

研究分野：スピントロニクス材料

キーワード：スピントロニクス 磁性 表面・界面物性 超薄膜 スピン軌道相互作用 垂直磁気異方性 軌道分光 第一原理計算

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

磁性体ヘテロ接合界面のスピントラッキング結合は、次世代磁気メモリ技術に不可欠な界面垂直磁気異方性の物理的起源であり、更には、磁気異方性の電界制御やスピントロニクスといった複数の新規研究分野の根幹となるものである。しかし、界面でのスピントラッキング結合メカニズムの理解は乏しく、新規現象の発見や現象論的取扱いが進む一方で、微視的解明が取り残されている状況にある。その結果、今後の革新的な物質系のデザインや新規機能予測に必要な学術基盤の構築には至っていない。

### 2. 研究の目的

本研究では、Fig. 1 に示すように先進的な薄膜成長技術による界面原子層制御、磁気分光によるスピンおよび軌道磁気モーメント等の微視的評価、第一原理電子構造計算を集結することによって、界面スピントラッキング結合を微視的に解明し、その学術基盤の構築とデバイス応用を行う。

具体的内容としては、(i) 第一原理計算と直接比較可能な高品位界面の創製、(ii) 界面軌道磁気モーメント等（含、軌道四極子、Rashba分裂）の微視的評価、新規評価手法の開発、および、それらに基づく界面スピントラッキング結合の理解、(iii) デバイス応用を狙った巨大な界面磁気異方性や、関連する巨大な新規機能（トンネル異方性磁気抵抗効果 TMR 等）の実現、(iv) 界面スピントラッキング結合の学術基盤の構築（含、物質デザイン・機能開拓の指導原理）等である。

### 3. 研究の方法

これまでに蓄積してきたエピタキシャル成長技術や単原子層成長技術を用い、ミスフィット転位などの欠陥を極力排除した磁性金属/非磁性金属や磁性金属/酸化物の積層薄膜試料を創製し、新規手法を含む磁気分光によるスピン・軌道等の評価や第一原理計算との直接比較を行う。磁気分光では特に軌道に関する物理量の評価に注力し、また平行して輸送現象を含む種々の物性・機能性の測定も推進する。得られた実験結果に対し、第一原理計算では原子サイトごとのスピンおよび軌道状態を解析し、界面スピントラッキング結合の微視的解明を進める。

### 4. 研究成果

ヘテロ接合界面の高品位化を進めることにより、トンネル磁気抵抗効果（TMR）における顕著な量子井戸共鳴効果の観測、従来にない特徴的な磁気異方性電圧制御の実証、大きなトンネル異方性磁気抵抗効果（TAMR）の観測、界面チューニングによる TMR の増大等の成果が得られた。この TAMR は室温世界最高値であり、TMR の増大はその後の室温世界記録の更新に直結した。磁気分光と第一原理計算の比較からは、種々の物質系での垂直磁気異方性の微視的発現機構を明らかにすることができた。教科書等ではしばしば見られるモデル図では、単純に  $L \cdot S$  項で説明されているが、それでは片手落ちであることを明示する成果である。

また、歪場を外部パラメータとする新たな磁気分光手法の開発も行った他、Rashba 分裂が垂直磁気異方性に及ぼす影響の実験的・理論的解明も進めた。これらにより、界面スピントラッキング結合の学術理解が大いに進み、今後の研究指針を得ることができた。以下に詳細を示す。

#### (1) 高品位界面の創製：量子井戸状態によって増強された界面スピントラッキング結合

高度な平坦化・高配向化を行った Cr 下地層上に層厚を精密に制御した Fe 層を成長させ、その上に完全格子整合する MgAlO 層を形成することにより、Fe 層中にデルタ 1 対称性をもつ well-defined な量子井戸状態を得た。高品位界面が得られた証拠として、有限バイアスでの室温トンネル磁気抵抗効果（TMR）の共鳴トンネルによる増大（Fig. 2）を初めて実証した他、TMR の温度依存性がバイアス電圧で制御できるという新奇現象も見出した [Xiang et al., Adv. Sci. **6**, 1901438 (2019)]。

この高品位界面ではスピントラッキング効果が強くなると考えられ、トンネル異方性磁気抵抗効果（TAMR）の増大現象も見出した（Fig. 3）。微視的には、第一原理計算によって、界面での  $d_{z^2}$  状態密度が量子井戸形成で増大すること、および、（通常、TAMR で議論される Rashba 型ではなく） $L \cdot S$  型のスピントラッキング結合が支配的であることを明らかにした。室温での TAMR としては、世界最高値である [Al-Mahdawi et al., Phys. Rev. B **103**, L180408 (2021)]。なお、従来の TAMR の研究では、低温で大きな値が得られても温度上昇とともに急激に減少し、室温での明瞭な観測はほぼ

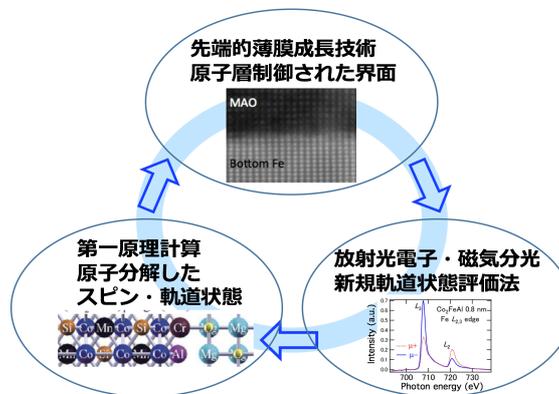


Fig.1. 本研究のアプローチ.

皆無である。応用には更なる特性改善が必要であるが、TAMRを用いた室温デバイスの開発に向けたブレークスルーとなる成果である。

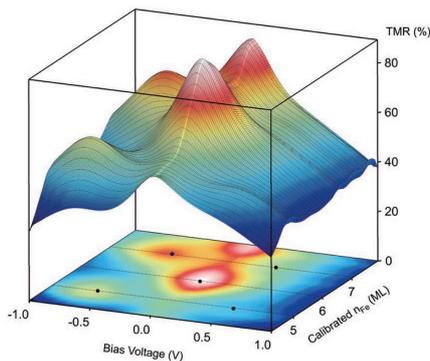


Fig.2. 量子井戸共鳴による TMR の増大効果.

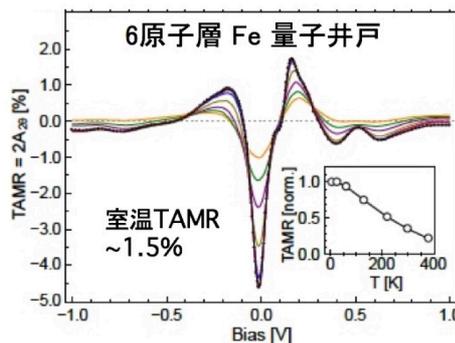


Fig.3. 高品位界面のスピ軌道結合効果による大きな室温 TAMR.

さらに界面垂直磁気異方性の電圧制御特性を調べたところ、量子井戸変調による特徴的な振る舞いを観測した。通常、磁気異方性の電圧制御では、印加電圧の符号に応じて磁気異方性の増大または減少が見られるが、このヘテロ構造では正負いずれのバイアス印加においても減少した [Xiang et al., submitted. (arXiv2011.07217)]。これは、不揮発磁気メモリの開発において、磁気異方性電圧制御アシストによるスピン注入記録書込みに有用な機能である。

### (2) 高品位界面の創製：室温トンネル磁気抵抗効果の増大

磁性金属/酸化物界面の高品位化を進めると、スピ軌道結合の効果が増強されて、スピンの保存を必要とするトンネル磁気抵抗効果 (TMR) はむしろ減少するのではないかと議論がある。しかし、実際にはTMRの研究の基本構造となるFe/MgO/Fe(001)トンネル接合において、Fig. 4に示すように、これまでの報告値の約2倍 (室温417%) という大幅なTMRの増大が得られた [Scheike et al., Appl. Phys. Lett. 118, 042411 (2021)]。デルタ1対称性の電子が選択的に伝導するコヒーレントトンネルでは、界面スピ軌道結合は摂動の範囲に留まることを示している。なお、この成果はデバイス応用に関する関連プロジェクトに引き継がれ、室温TMRの最高記録を更新という成果につながった。

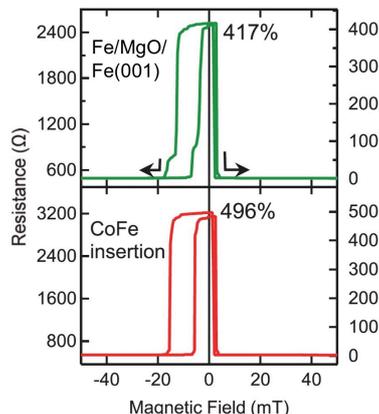


Fig.4. Fe/MgO/Fe(001) の室温 TMR の増大.

### (3) 界面垂直磁気異方性の微視的解明：軌道モーメントの異方性vs. 軌道四極子

Fe/MgO(001)系とFe/MgAlO(001)系の界面では、それらの界面構造 (Fe原子とO原子の配置) は同じであるが、MgAlO格子がMgOより僅かに小さいことから、界面格子定数が異なっている。界面垂直磁気異方性を調べた結果、実験・理論ともに、Fe/MgAlOよりもFe/MgOの垂直磁気異方性の方が少し大きいことが明らかになった [Masuda & Miura Phys. Rev. B 98, 224421 (2018), Xiang et al., Appl. Phys. Express 11, 063008 (2018)]。

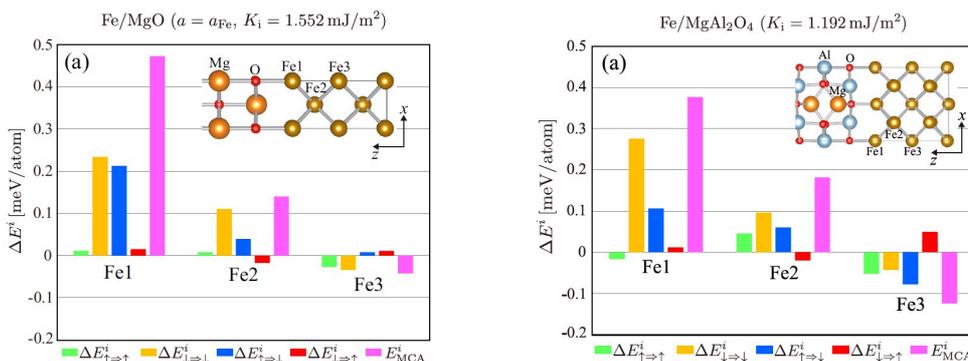


Fig.5. 第一原理計算によって得られた Fe/MgO と Fe/MgAlO の原子サイトごと、スピンの反転および非反転プロセスごとに分解した垂直磁気異方性エネルギー.

ここで解明された重要な事実は、Fig. 5の理論計算結果（スピン反転項、非反転項等の各微視的過程の垂直磁気異方性への寄与）に示すように、Fe/MgAlOでは軌道磁気モーメントの異方性（典型的なBruno機構）による垂直磁気異方性を生じ、一方、Fe/MgOではBrunoモデルでは無視されているスピン反転項の寄与（Fe1の青い棒グラフ）が小さくないことである。このスピン反転項は概ね電子軌道の四極子に対応している。

さらにMn<sub>3</sub>Ga合金では、軌道四極子が垂直磁気異方性の起源となっており、そのことを磁気分光（X線磁気円二色性XMCD・線二色性XMLD）と第一原理計算によって実証した[Okabayashi et al., *Sci. Rep.* **10**, 9744 (2020)]。Co/Pd系の垂直磁気異方性についても軌道四極子の重要性を明確にした。実験と理論計算の良い一致が得られ、垂直磁気異方性の起源を原子サイト別、スピン反転および非反転プロセス別、軌道別に分解して説明することに成功し、直感的なモデルを与えた[日本経済新聞ウェブニュース2018年5月29日]。Coサイトでは軌道磁気モーメントの異方性による垂直磁化発現機構が働くが、その一方で、Pdサイトでは軌道四極子が支配的な役割を果たしている（Fig. 6, 7）。Co、Pdそれぞれの界面電子軌道の形を実験的に定量化した成果であり、特にPdの四極子モーメントの実験的測定評価は世界初である[Okabayashi et al., *Sci. Rep.* **8**, 8303 (2018)]。

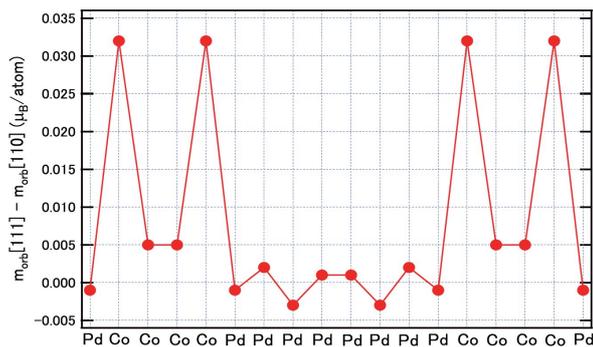


Fig. 6. 軌道磁気モーメントの異方性の第一原理計算：界面のCoのみ大きな異方性を持つ（Pdは四極子の寄与）。

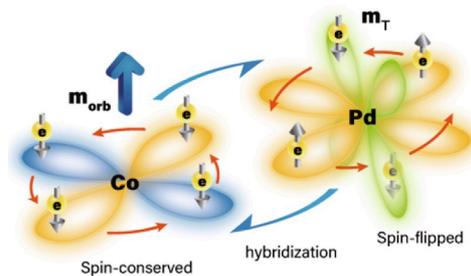


Fig. 7. Co/Pd 多層膜の垂直磁気異方性メカニズムの直感的描像。

#### (4) 新規磁気分光手法：可逆歪場の導入、複合的手法

磁気分光における新規手法の開拓として、可逆的に制御できる歪場を導入することを行った。強誘電体上にNi/Cu積層膜を成長し、格子歪みを電氣的に制御することによって垂直磁気異方性を制御し、同時に放射光によって微視的な軌道磁気モーメントを評価するという新しい試みである。Fig. 8に可逆的歪場の導入に伴う磁気異方性変化を、NiのL<sub>3</sub>吸収端でのX線磁気円二色性（XMCD）によってその場測定した結果を示す。これにより、Ni/Cu積層膜の垂直磁気異方性が微視的な軌道の変化によるものであることの直接証拠を得た。軌道磁気モーメントの測定中に、その場で格子歪と垂直磁気異方性を制御したという先進性に加え、磁歪というバルク的な現象論からorbital strictionという微視的機構の理解への発展がなされた[Okabayashi et al., *npj Quantum Mater.* **4**, 21 (2019)]。

また、大きなRashba分裂を示すAu(111)表面における界面垂直磁気異方性について、実験と理論の両面から研究を行った。Au(111)/Fe界面に対して、X線磁気円二色性の測定に加え、角度分解光電子分光（ARPES）とメスバウアー分光を行い、複合的な磁気分光研究を行った。ARPES（Fig. 9）では、Rashba分裂を有するAu(111)のp軌道とFeのd状態の特徴的なhybridizationを見ることができた。さらに、その実験データをAu(111)/Fe界面の第一原理計算で得たバンド分散から解析した[Okabayashi et al., *Phys. Rev. B* **103**, 104435 (2019)]。この第一原理計算結果は複雑な分散関係を示すため、Rashba型スピン軌道結合の下でどのように界面垂直磁気異方性が発現するかについて、強束縛モデルでの理論計算も行った。新たな発見として、磁性層の電子数が重要な支配因子であることが明らかになった[Inoue et al., *J. Phys. D: Appl. Phys.* **50**, 235001(2017)]。

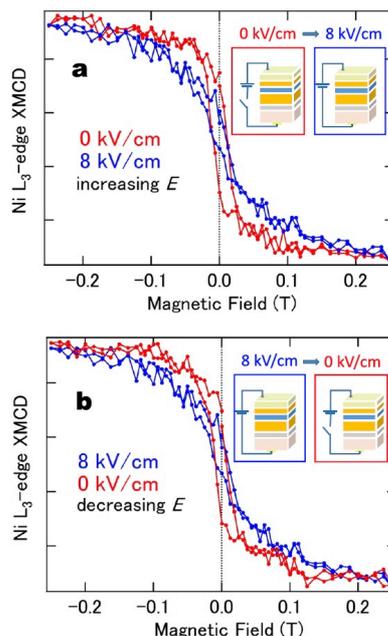


Fig. 8. 可逆的歪場の導入の下でのXMCD測定。

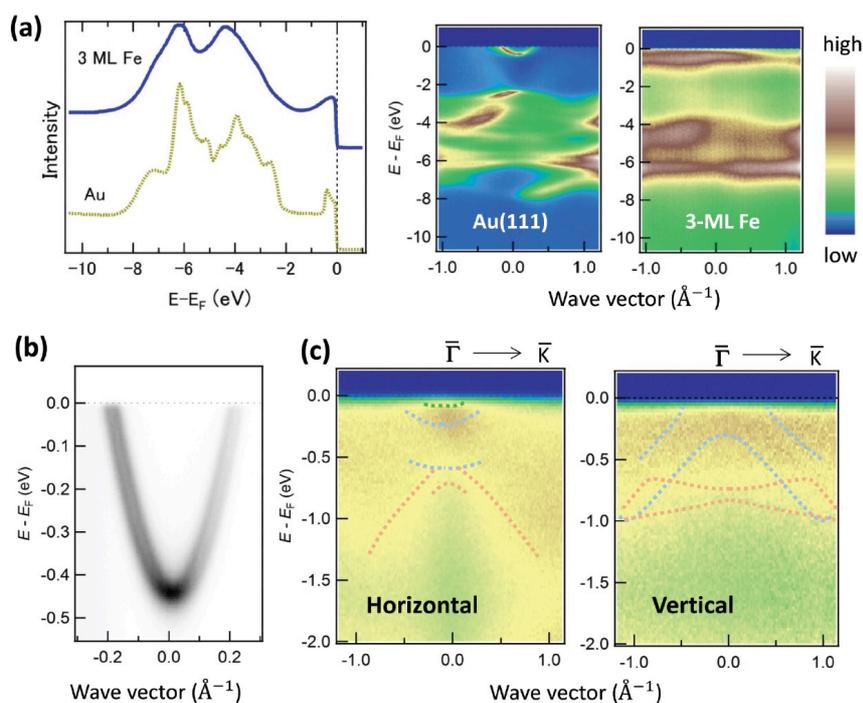


Fig.9. 垂直磁気異方性を示す Au(111)/Fe 界面の ARPES の測定結果. Rashba 型スピン軌道結合の効果が含まれており、(c)の強度マップ中の点線は第一原理計算からの予測である.

このように、i)高品位界面の創製、(ii)界面軌道磁気モーメント等の微視的評価、新規評価手法の開発、および、それらに基づく界面スピン軌道結合の理解について、狙った成果を得た。(iii)デバイス応用に関しては、巨大な界面磁気異方性の実現は途上であるが、世界記録となる TAMR、TMR を実現しており、一部は期待以上の成果である。(iv)学術基盤や指導原理の構築に関しては、直感的理解を得ることや、第一原理計算による定量的な解析に至っており、十分な進捗を得た。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計28件（うち査読付論文 27件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Q.Y. Xiang, H. Sukegawa, M. Belmoubarik, M. Al-Mahdawi, T. Scheike, S. Kasai, Y. Miura and S. Mitani	4. 巻 6
2. 論文標題 Realizing room temperature resonant tunnel magnetoresistance in Cr/Fe/MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> quasi quantum well structures	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advanced Science	6. 最初と最後の頁 1901438-1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/advs.201901438	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 J. Okabayashi, Y. Iida, Q. Xiang, H. Sukegawa and S. Mitani	4. 巻 115
2. 論文標題 Perpendicular orbital and quadrupole anisotropies at Fe/MgO interfaces detected by x-ray magnetic circular and linear dichroisms	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Lett.	6. 最初と最後の頁 252402-1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/1.5127665	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 T. Scheike, H. Sukegawa, T. Ohkubo, K. Hono and S. Mitani	4. 巻 53
2. 論文標題 Comparative study of spin-dependent transport in Co <sub>2</sub> FeAl/MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /CoFe magnetic tunnel junctions with and without thin CoFe interface insertion: An elastic and inelastic scattering model analysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Phys. D: Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 045001-1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1361-6463/ab50d0	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 Y. Iida, Q. Xiang, J. Okabayashi, T. Scheike, H. Sukegawa and S. Mitani	4. 巻 53
2. 論文標題 Effect of tungsten doping on perpendicular magnetic anisotropy and its voltage effect in single crystal Fe/MgO(001) interfaces	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Phys. D: Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 124001-1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1361-6463/ab5c93	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 K. Nawa and Y. Miura	4. 巻 9
2. 論文標題 Exploring half-metallic Co-based full Heusler alloys using a DFT+U method combined with linear response approach	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 30462-30478
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9ra05212g	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 S. Isogami, K. Masuda and Y. Miura	4. 巻 4
2. 論文標題 Contributions of magnetic structure and nitrogen to perpendicular magnetocrystalline anisotropy in antiperovskite Mn <sub>4</sub> N	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Phys. Rev. Materials	6. 最初と最後の頁 014406-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.4.014406	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 J. Okabayashi, Y. Miura, Y. Kota, K.Z. Suzuki, A. Sakuma and S. Mizukami	4. 巻 10
2. 論文標題 Detecting quadrupole: a hidden source of magnetic anisotropy for Manganese alloys	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 9744-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-66432-9	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 Y. Iida, J. Okabayashi and S. Mitani	4. 巻 113
2. 論文標題 Perpendicular magnetic anisotropy in sputter-deposited Fe/MgO bilayer interfaces tuned by W buffer and Tb capping layers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Lett.	6. 最初と最後の頁 252401-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5038777	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 K. Masuda and Y. Miura	4. 巻 98
2. 論文標題 Perpendicular magnetic anisotropy at the Fe/MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> interface: Comparative first-principles study with Fe/MgO	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 224421-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.98.224421	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 J. Okabayashi, S. Miyasaka, M. Takahashi, S. Tajima	4. 巻 57
2. 論文標題 Local electronic and magnetic properties of ferro-orbital-ordered FeV <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Jpn J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 0902BD-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.0902BD	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 J. Okabayashi, Y. Miura and T. Taniyama	4. 巻 4
2. 論文標題 Strain-induced reversible manipulation of orbital magnetic moments in Ni/Cu multilayers on ferroelectric BaTiO <sub>3</sub>	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 npj Quantum Materials	6. 最初と最後の頁 21-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41535-019-0159-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 M. Coll et al.	4. 巻 482
2. 論文標題 Towards oxide electronics: a roadmap	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Appl. Surf. Sci.	6. 最初と最後の頁 1-93
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apsusc.2019.03.312	査読の有無 無
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 Q.Y.Xiang, Z.C. Wen, H. Sukegawa, S. Kasai, T. Seki, T. Kubota, K. Takanashi and S. Mitani	4. 巻 50
2. 論文標題 Nonlinear electric field effect on perpendicular magnetic anisotropy in Fe/MgO interfaces	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Phys. D: Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 40LT04-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6463/aa87ab	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 K. Masuda and Y. Miura	4. 巻 96
2. 論文標題 Bias voltage effects on tunneling magnetoresistance in Fe/MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Fe(001) junctions: Comparative study with Fe/MgO/Fe(001) junctions	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 054428-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.96.054428	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 K. Masuda, S. Kasai, Y. Miura and K. Hono	4. 巻 96
2. 論文標題 Giant interfacial perpendicular magnetic anisotropy in Fe/CuIn <sub>1-x</sub> GaxSe <sub>2</sub> beyond Fe/MgO	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 174401-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.96.174401	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 S. Hirayama, S. Mitani, Y.C. Otani and S. Kasai	4. 巻 11
2. 論文標題 Anomalous modulation of spin torque-induced ferromagnetic resonance by dc currents in permalloy/platinum bilayer thin films	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Express	6. 最初と最後の頁 013002-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/APEX.11.013002	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 J.P. Hadorn, H. Sukegawa, T. Ohkubo, S. Mitani and K. Hono	4. 巻 145
2. 論文標題 Microstructural evolution of perpendicular magnetization films with an ultra-thin Co <sub>2</sub> FeAl/MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (001) structure	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Acta Mater.	6. 最初と最後の頁 306-315
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actamat.2017.12.018	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 S. Hirayama, S. Kasai and S. Mitani	4. 巻 57
2. 論文標題 Interface perpendicular magnetic anisotropy in ultrathin Ta/NiFe/Pt layered structures	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 013001-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.013001	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 S. Hirayama, S. Mitani, Y.C. Otani and S. Kasai	4. 巻 57
2. 論文標題 Direct current modulation of spin Hall induced spin torque ferromagnetic resonance in platinum/permalloy bilayer thin films	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys. (Rapid Commun.)	6. 最初と最後の頁 060301-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.060301	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 J. Okabayashi, K.Z. Suzuki and S. Mizukami	4. 巻 460
2. 論文標題 Interfacial exchange coupling between transition metals and Mn <sub>1.5</sub> Ga studied by X-ray magnetic circular dichroism	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Magn. Magn. Mater.	6. 最初と最後の頁 418-423
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmmm.2018.03.060	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 K. Masuda and Y. Miura	4. 巻 42
2. 論文標題 Theoretical study on magnetic tunneling junctions with semiconductor barriers CuInSe <sub>2</sub> and CuGaSe <sub>2</sub> including a detailed analysis of band-resolved transmittances	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Magn. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 37-40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3379/msjmag.1803r006	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 Q.Y. Xiang, R. Mandal, H. Sukegawa, Y.K. Takahashi and S. Mitani	4. 巻 11
2. 論文標題 Large perpendicular magnetic anisotropy in epitaxial Fe/MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (001) heterostructures	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Express	6. 最初と最後の頁 063008-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/APEX.11.063008	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 J. Okabayashi, Y. Miura and H. Munekata	4. 巻 8
2. 論文標題 Anatomy of interfacial spin-orbit coupling in Co/Pd multilayers using X-ray magnetic circular dichroism and first-principles calculations	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Sci. Rep.	6. 最初と最後の頁 8303-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-26195-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 Z.C. Wen et al.	4. 巻 7
2. 論文標題 Voltage control of magnetic anisotropy in epitaxial Ru/Co <sub>2</sub> FeAl/MgO heterostructures	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 45026-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/srep45026	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 H. Sukegawa et al.	4. 巻 110
2. 論文標題 Perpendicular magnetic anisotropy at lattice-matched Co <sub>2</sub> FeAl/MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (001) epitaxial interfaces	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters.	6. 最初と最後の頁 112403-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.4978663	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 J.-I. Inoue et al.	4. 巻 50
2. 論文標題 Magnetic anisotropy control by electric field in bilayer contacts with Rashba-type spin-orbit interaction	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Physics D: Applied Physics	6. 最初と最後の頁 235001-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/0022-3727/48/44/445005	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 J. Okabayashi et al.	4. 巻 7
2. 論文標題 Induced perpendicular magnetization in a Cu layer inserted between Co and Pt layers revealed by x-ray magnetic circular dichroism	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 46132-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/srep46132	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 K. Masuda and Y. Miura	4. 巻 56
2. 論文標題 First-principles study on magnetic tunneling junctions with semiconducting CuInSe <sub>2</sub> and CuGaSe <sub>2</sub> barriers	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics (Rapid Communication)	6. 最初と最後の頁 020306-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.56.020306	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110件（うち招待講演 28件 / うち国際学会 48件）

1. 発表者名 Y. Iida, J. Okabayashi, H. Sukegawa and S. Mitani
2. 発表標題 Large perpendicular magnetic anisotropy in single crystalline Fe/MgO heterostructures via optimized rf-sputtering processes
3. 学会等名 64th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J. Okabayashi, Y. Iida, Q. Xiang, H. Sukegawa and S. Mitani
2. 発表標題 Detecting interfacial quadrupoles at Fe/MgO interfaces by X-ray magnetic linear dichroism
3. 学会等名 64th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J. Okabayashi
2. 発表標題 Discovery of orbital-elastic effect
3. 学会等名 64th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J. Okabayashi, Y. Miura and T. Taniyama
2. 発表標題 Demonstration of orbital elastic effect using electric-field-induced XMCD
3. 学会等名 19th International Conference on Solid Films and Surfaces (ICSFS19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J. Okabayashi et al.
2. 発表標題 Classification of d-d and p-d spin-orbit interface
3. 学会等名 19th International Conference on Solid Films and Surfaces (ICSFS19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J. Okabayashi, Y. Iida, Q. Xiang, H. Sukegawa and S. Mitani
2. 発表標題 Interfacial quadrupoles at Fe/MgO interfaces detected by XMLD
3. 学会等名 19th International Conference on Solid Films and Surfaces (ICSFS19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Miura
2. 発表標題 A first-principles study on magneto-crystalline anisotropy and magnetic damping of Fe/MgO(001) interface
3. 学会等名 19th International Conference on Solid Films and Surfaces (ICSFS19) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Masuda and Y. Miura
2. 発表標題 Theoretical Study for Interfacial Magnetic Anisotropy in Magnetic Tunnel Junctions
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (MRM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Miura, K. Nawa and K. Masuda
2. 発表標題 A first-principles study on spin anomalous Hall effect of L10-type ferromagnetic alloys
3. 学会等名 64th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Miura, K. Nawa and K. Masuda
2. 発表標題 A first-principles study on spin anomalous Hall effect
3. 学会等名 第24回半導体スピン工学の基礎と応用 (PASPS24)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 名和 憲嗣, 増田 啓介, 三浦 良雄
2. 発表標題 Ga基スピネルバリアMTJにおけるスピン依存伝導と界面共鳴効果
3. 学会等名 第24回半導体スピン工学の基礎と応用 (PASPS24)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Nawa and Y. Miura
2. 発表標題 Tunneling magnetoresistance effect in magnetic tunneling junction with Ga-based spinel barrier: From first principles
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 Y. Miura, K. Nawa and K. Masuda
2. 発表標題 A first-principles study on spin anomalous Hall effect of ferromagnetic alloys
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 K. Nawa and Y. Miura
2. 発表標題 Linear-response-based DFT+U study on Co-based full Heusler alloy for half-metallic electronic structure
3. 学会等名 The Korean Magnetic Society 2019 Summer Conference
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡林潤
2. 発表標題 垂直磁化膜におけるX線磁気線二色性(XMLD)の試み
3. 学会等名 第22回XAFS討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡林潤、飯田裕希、Q. Xiang、介川裕章、三谷誠司
2. 発表標題 Detecting interfacial quadrupoles at Fe/MgO interfaces by X-ray magnetic linear dichroism
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 岡林潤、飯田裕希、Q. Xiang、介川裕章、三谷誠司
2. 発表標題 垂直磁化膜のX線磁気線二色性と四極子モーメントの導出
3. 学会等名 第43回日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡林潤
2. 発表標題 Multiplet calculations of $V^{2+}$ ( $3d^2$ ) states in orbital-ordered spinel-type oxides
3. 学会等名 PF研究会「X線分光理論の新展開：構造・電子状態解析から磁性研究まで」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡林潤、飯田裕希、Q. Xiang、介川裕章、三谷誠司
2. 発表標題 XMLD, XMCD総和則を用いた界面四極子の評価
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 2019年

1. 発表者名 岡林潤
2. 発表標題 sp-dスピン軌道結合界面の電子・磁気状態
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 2019年

1. 発表者名 J. Okabayashi, S. Li, S. Sakai, Y. Kobayashi, T. Mitsui and S. Mitani
2. 発表標題 Proximity-induced perpendicular magnetic anisotropy at Fe/Au(111) interfaces studied by synchrotron radiation Mossbauer spectroscopy
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 Y. Iida, J. Okabayashi, H. Sukegawa and S. Mitani
2. 発表標題 Interface perpendicular magnetic anisotropy in sputter-deposited single crystalline Fe/MgO heterostructures
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 2019年

1. 発表者名 H. Sukegawa and S. Mitani,
2. 発表標題 Significant TMR oscillation effect in magnetic tunnel junctions with a MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> barrier
3. 学会等名 JSPS-EPSC-DFG Core-to-Core Programme York-Tohoku-Kaiserslautern Research Symposium on "New-Concept Spintronics Devices" (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Sukegawa
2. 発表標題 Lattice-matched magnetic tunnel junctions using a spinel barrier for advanced spintronics devices
3. 学会等名 The 10th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing (PRICM10) (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Sukegawa
2. 発表標題 Synthesis of spinel tunnel barriers for advanced spintronics devices
3. 学会等名 The 21st International Conference on Magnetism (ICM2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 J. Okabayashi
2. 発表標題 Probing orbital magnetic moments by Mossbauer and x-ray absorption spectroscopies in FeV <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
3. 学会等名 4th Mediterranean Conference on the Applications of the Mossbauer Effect (MECAME) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 介川裕章
2. 発表標題 MRAM 応用に向けた強磁性トンネル素子用新材料の開発
3. 学会等名 新世代研究所2018年度第3回スピントロニクス研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 介川裕章
2. 発表標題 アモルファス基板に作製したMgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 障壁を持つ格子整合トンネル磁気抵抗素子
3. 学会等名 平成30年度磁性材料研究会 (中性子産業利用推進協議会) (招待講演)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. Iida, J. Okabayashi, P. Sheng, M. Hayashi, and S. Mitani
2 . 発表標題 Perpendicular magnetic anisotropy in annealing-free La/CoFeB/MgO heterostructures
3 . 学会等名 International Conference on Magnetism (Intermag2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 T. Scheike, H. Sukegawa, X. Xu, K. Hono, and S. Mitani
2 . 発表標題 Large perpendicular magnetic anisotropy in Fe-Al/MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (001) epitaxial heterostructures
3 . 学会等名 International Conference on Magnetism (Intermag2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Q. Xiang, H. Sukegawa, M. Al-Mahdawi, M. Belmoubarik, S. Kasai, Y. Sakuraba, S. Mitani and K. Hono
2 . 発表標題 Atomic layer number dependence of voltage-controlled magnetic anisotropy in Cr/Fe/MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> heterostructures
3 . 学会等名 International Conference on Magnetism (Intermag2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 J. Okabayashi, Y. Miura, and H. Munekata
2 . 発表標題 Origin of perpendicular magnetic anisotropy in Co/Pd multilayers studied by XMCD and first-principles calculations
3 . 学会等名 International Conference on Magnetism (Intermag2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Masuda, S. Kasai, Y. Miura and K. Hono
2 . 発表標題 Ab initio prediction of giant perpendicular magnetic anisotropy at Fe/CuIn <sub>1-x</sub> GaxSe <sub>2</sub> interface
3 . 学会等名 International Conference on Magnetism (Intermag2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 M. Al-Mahdawi, Q. Xiang, M. Belmoubarik, H. Sukegawa, K. Masuda, Y. Miura and S. Mitani
2 . 発表標題 Resonant tunneling anisotropic magnetoresistance in an Fe spin-dependent quantum well
3 . 学会等名 2019 Joint MMM-Intermag Conference (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Q. Xiang, H. Sukegawa, M. Belmoubarik, M. Al-Mahdawi, T. Scheike, S. Kasai, Y. Miura and S. Mitani
2 . 発表標題 Strong modification of finite-bias tunnel magnetoresistance due to quantum well states in Cr/Fe/MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Fe(001)
3 . 学会等名 2019 Joint MMM-Intermag Conference (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 M. Belmoubarik, M. Al-Mahdawi, H. Sukegawa, and S. Mitani
2 . 発表標題 Oscillatory dependence of both tunnel magnetoresistance and tunnel anisotropic magnetoresistance on the barrier thickness in Fe/MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Fe(001) junctions
3 . 学会等名 2019 Joint MMM-Intermag Conference (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Masuda, Q. Xiang, H. Sukegawa, S. Mitani, Y. Miura
2. 発表標題 Interfacial perpendicular magnetic anisotropy in Fe/MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> : A first-principles and experimental study
3. 学会等名 2019 Joint MMM-Intermag Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J. Okabayashi
2. 発表標題 Probing orbital angular momentum by Mossbauer and x-ray absorption spectroscopies
3. 学会等名 International Workshop on New Developments and Prospects for the Future of Mossbauer Spectroscopy (IWMS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 J. Okabayashi, T. Tsuchiya, T. Roy, M. Tsujikawa, M. Shirai and S. Mizukami
2. 発表標題 Relationship between degree of order and magnetic moments in candidate of spin-gapless semiconductor (SGS) CoFeCrAl studied by XMCD
3. 学会等名 PASPS 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Nawa and Y. Miura
2. 発表標題 Revisiting half-metallicity of Co-based full Heusler alloys from non-empirical DFT+U method
3. 学会等名 2019 APS March meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Q. Xiang, R. Mandal, H. Sukegawa, Y. K Takahashi and S. Mitani
2. 発表標題 Large perpendicular magnetic anisotropy in Fe/MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> heterostructures
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 L.Pawliszak, S. Mitani, S. Isogami, M. Hayashi and T. Kulik
2. 発表標題 Spin Hall magnetoresistance in amorphous tungsten/ironsilicon alloy bilayers
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 T. Scheike, H. Sukegawa, T. Ohkubo, K. Hono and S. Mitani
2. 発表標題 Spin dependent transport in Co <sub>2</sub> FeAl/MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /CoFe epitaxial magnetic tunnel junctions with and without CoFe insertion
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 J. Okabayashi, K. Suzuki and S. Mizukami
2. 発表標題 Quadrupole moment in Mn <sub>3</sub> -xGa detected by x-ray magnetic linear dichroism
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 名和憲嗣、三浦良雄
2. 発表標題 Co 基ハーフメタルホイスラー合金材料の理論的探索
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 岡林潤、小田洋平、鈴木和也、佐久間昭正、水上成美
2. 発表標題 XMCDと第一原理計算から見たMn <sub>3</sub> -xGaの垂直磁気異方性
3. 学会等名 第42回日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 増田 啓介、三浦 良雄
2. 発表標題 磁気トンネル接合Fe/MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Feにおける磁気抵抗効果の印加電圧依存性：第一原理計算によるアプローチ
3. 学会等名 第42回日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 増田啓介、葛西伸哉、三浦良雄
2. 発表標題 Fe/CuIn <sub>1-x</sub> GaxSe <sub>2</sub> における界面垂直磁気異方性の理論予測
3. 学会等名 第42回日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 増田啓介、三浦良雄
2. 発表標題 Fe/MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 界面の垂直磁気異方性(PMA)とW挿入によるPMA増大に関する理論研究
3. 学会等名 第42回日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡林潤、宮坂茂樹
2. 発表標題 軌道秩序を示すFeV <sub>2</sub> O <sub>4</sub> の構造と磁性と軌道状態 (MnV <sub>2</sub> O <sub>4</sub> と比較)
3. 学会等名 XAFS討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 J. Okabayashi
2. 発表標題 Microscopic Origin of Interfacial Perpendicular Magnetic Anisotropy Studied by X-ray Magnetic Circular Dichroism
3. 学会等名 NIMS week 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡林潤、田中清尚、三谷誠司
2. 発表標題 Magnetic and electronic structures in Co/Au interfaces
3. 学会等名 UVSORシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡林 潤
2. 発表標題 メスバウアー分光にて軌道角運動量を捉えられるか
3. 学会等名 強的秩序とその操作に関わる研究グループ 第8回 研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡林潤、鈴木和也、水上成美
2. 発表標題 XMCD総和則を多サイト系に適應時の注意事項：Mn3-xGaの場合
3. 学会等名 放射光学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 増田啓介、三浦良雄
2. 発表標題 スピネル型トンネルバリアMgAl2O4を有する磁気トンネル接合の理論解析：界面磁気異方性と磁気抵抗効果の第一原理計算
3. 学会等名 第84回日本磁気学会ナノマグネティックス専門研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Mitani
2. 発表標題 Interface perpendicular magnetic anisotropy and its voltage control in Fe-based magnetic heterostructures
3. 学会等名 York-Tohoku-Kaiserslautern Research Symposium on “New-Concept Spintronics Device” (York, UK) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 S. Mitani
2. 発表標題 New Materials for Magnetic Tunnel Junctions
3. 学会等名 Tianjin University-JAIST 2017 Acadmic Symposium on Information Science & Materials Science (China) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三谷誠司
2. 発表標題 強磁性トンネル接合用新材料開発と物性・機能評価
3. 学会等名 中性子産業利用推進協議会平成29年度磁性材料研究会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三谷誠司
2. 発表標題 Fe/酸化物界面の原子レベル制御と磁気異方性の電界効果
3. 学会等名 日本磁気学会、第67回スピエレクトロニクス専門研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡林潤
2. 発表標題 非磁性体界面に誘起される軌道磁性
3. 学会等名 日本磁気学会専門研究会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 J. Okabayashi
2. 発表標題 Tailoring spin and orbital in complexed materials probed by x-ray magnetic spectroscopy
3. 学会等名 Collaborative Conference on Materials Research (CCMR2017) (Korea) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岡林潤
2. 発表標題 元素別なスピンと軌道磁気モーメントの観測と操作
3. 学会等名 電気学会全国大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Miura
2. 発表標題 First-principles studies on voltage dependence of magnetic damping of Fe/MgO interface
3. 学会等名 20th Asian Workshop on First-Principles Electronic Structure Calculation (China) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 H. Sukegawa
2. 発表標題 Advanced magnetic tunnel junctions using spinel oxide barriers
3. 学会等名 The 28th Magnetic Recording Conference (TMRC2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 H. Sukegawa and K. Hono
2. 発表標題 Epitaxial oxide barriers for magnetic tunnel junctions
3. 学会等名 MP1308 TO-BE COST Action "Towards Oxide-Based Electronics" SPRING MEETING 2018 (Spain) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 増田啓介
2. 発表標題 Fe/半導体界面の垂直磁気異方性
3. 学会等名 日本磁気学会第67回スピンエレクトロニクス専門研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Q.Y. Xiang, H. Sukegawa, M. Al-Mahdawi, M. Belmoubarik, S. Kasai, Y. Sakuraba, S. Mitani and K. Hono
2. 発表標題 Voltage-controlled magnetic anisotropy in Fe/MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> heterostructures
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Iida, J. Okabayashi, S. Mitani
2. 発表標題 Perpendicular magnetic anisotropy of polycrystalline Fe/ MgO interfaces induced by W buffer and Tb capping layers
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岡林潤、谷山智康
2. 発表標題 Relationship between Strain and Orbital Magnetic Moments in Ni/Cu Multilayers Studied by Electric-Field-Induced XMCD and First-Principle Calculation
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岡林潤
2. 発表標題 Relationship between Strain and Orbital Magnetic Moments in Ni/Cu Multilayers Studied by Electric-Field-Induced XMCD and First-Principle Calculation
3. 学会等名 Junjiro Kanamori Memorial International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岡林潤、他
2. 発表標題 XMCD study of ferro orbital ordered system: FeV204
3. 学会等名 UVSORシンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 J. Okabayashi, L. Balinska, R. Yilgin, A. Ono, K.Suzuki and S, Mizukami
2. 発表標題 Relationship between degree of order and magnetic moments in equiatomic quaternary CoFeMnSi Heusler alloy studied by XMCD
3. 学会等名 第22回スピン工学の基礎と応用 PASPS22 (Physics and Applications of Spin-related Phenomena in Semiconductors)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岡林潤
2. 発表標題 強的3d2系(V3+)スピネル型酸化物における強的・反強的な軌道秩序
3. 学会等名 強的秩序のその操作に関する研究会(第6回)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡林潤、鈴木和也、水上成美
2. 発表標題 Deconvolution of two kinds of Mn sites in spin and orbital magnetic moments of Mn <sub>3-x</sub> Ga
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Masuda and Y. Miura
2. 発表標題 Theory of magnetic tunneling junctions with semiconductor barriers CuInSe <sub>2</sub> and CuGaSe <sub>2</sub>
3. 学会等名 International Magnetism Conference (Intermag 2017) (Dublin) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Masuda and Y. Miura
2. 発表標題 First-principles study for magnetic tunneling junctions with semiconductor barriers CuInSe <sub>2</sub> and CuGaSe <sub>2</sub>
3. 学会等名 The 28th Magnetic Recording Conference (TMRC2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1 . 発表者名 S. Hirayama, S. Kasai and S. Mitani
2 . 発表標題 Significant influence of DC current on spin torque ferromagnetic resonance
3 . 学会等名 The 28th Magnetic Recording Conference (TMRC2017) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Y. Iida, J. Okagbayashi and S. Mitani
2 . 発表標題 Perpendicular magnetic anisotropy of an Fe/MgO interface induced by W buffer and Tb cap layers
3 . 学会等名 The 28th Magnetic Recording Conference (TMRC2017) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Q.Y. Xiang, Z.C. Wen, H. Sukegawa, S. Kasai, T. Seki, T. Kubota, K. Takanashi and S. Mitani
2 . 発表標題 Specific nonlinearity of voltage controlled magnetic anisotropy in Fe/MgO layered structures
3 . 学会等名 The 28th Magnetic Recording Conference (TMRC2017) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 K. Masuda and Y. Miura
2 . 発表標題 Bias voltage effects on tunneling magnetoresistance: a comparative theoretical study for Fe/MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Fe(001) and Fe/MgO/Fe(001) junctions
3 . 学会等名 Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM 2017) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Scheike, H. Sukegawa and S. Mitani
2. 発表標題 Spinel for Coherent Tunneling Barriers in Magnetic Tunnel Junctions
3. 学会等名 Junjiro Kanamori Memorial International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Masuda and Y. Miura
2. 発表標題 Theory for bias voltage effects on spin-dependent transport properties in Fe/MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /Fe(001) junctions
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 介川裕章、J. P. Hadorn、Z. C. Wen、大久保忠勝、三谷誠司、宝野和博
2. 発表標題 Co <sub>2</sub> FeAl/MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 格子整合界面における垂直磁気異方性
3. 学会等名 日本金属学会2017年秋期講演大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 増田啓介、三浦良雄
2. 発表標題 半導体バリアCuInSe <sub>2</sub> 、CuGaSe <sub>2</sub> を持つ磁気トンネル接合の理論解析
3. 学会等名 第41回日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2017年

1 . 発表者名 K. Masuda, S. Kasai, Y. Miura and K. Hono
2 . 発表標題 Theoretical prediction of large perpendicular magnetic anisotropy at Fe/CuIn <sub>1-x</sub> GaxSe <sub>2</sub> interface
3 . 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 T. Scheike, H. Sukegawa, X. Xu, K. Hono and S. Mitani
2 . 発表標題 Large interfacial perpendicular magnetic anisotropy in epitaxial Fe <sub>80</sub> Al <sub>20</sub> /MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> heterostructures
3 . 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Q.Y. Xiang, H. Sukegawa, M. Al-Mahdawi, M. Belmoubarik, S. Kasai, Y. Sakuraba, S. Mitani and K. Hono
2 . 発表標題 Voltage control of perpendicular magnetic anisotropy in Fe/MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> heterostructures
3 . 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. Iida, J. Okabayashi, P. Sheng, M. Hayashi and S. Mitani
2 . 発表標題 Perpendicular magnetic anisotropy in as-deposited La/CoFeB/MgO layered structures
3 . 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 平山重之、葛西伸哉、三谷誠司
2. 発表標題 パーマロイ/白金二層膜におけるスピントルク強磁性共鳴の直流電流変調
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Iida, J. Okabayashi, P. Shen, M. Hayashi and S. Mitani
2. 発表標題 Interface magnetic anisotropy in asymmetric magnetic layered structures
3. 学会等名 スピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワークシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 飯田裕希、岡林潤、P. Sheng、林将光、三谷誠司
2. 発表標題 アンニリングフリーCoFeB/MgOヘテロ構造の界面垂直磁気異方性
3. 学会等名 2017年度量子ビームサイエンスフェスタ第35回PFシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Mitani
2. 発表標題 Interface perpendicular magnetic anisotropy and its voltage control in monocrystalline Fe-based alloy/oxide bilayer structures
3. 学会等名 4th JSPS Core-to-Core Workshop on “New-Concept Spintronics Device” (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 S. Mitani, Z.C. Wen, Q.Y. Xiang, Y. Iida, H. Sukegawa and S. Kasai
2. 発表標題 Voltage control of magnetic anisotropy in monocrystalline ferromagnetic metal/oxide layered structures
3. 学会等名 Korean Magnetics Society Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 S. Mitani
2. 発表標題 Interface perpendicular magnetic anisotropy and its voltage control in monocrystalline ferromagnetic metal/oxide heterostructures
3. 学会等名 Indo-Japan workshop on "Magnetism at the nanoscale" 2016 (JSPS) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 介川裕章、三谷誠司
2. 発表標題 強磁性トンネル接合用新規材料開発 格子整合スピネルバリアと高スピン分極ホイスラー合金
3. 学会等名 日本磁気学会 第208回研究会/第56回化合物新磁性材料専門研究会「スピントロニクスにおける次世代材料開発」(招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 介川裕章
2. 発表標題 スピネル系トンネルバリアのスピントロニクス素子応用
3. 学会等名 応用物理学会 応用電子物性分科会・スピントロニクス研究会 共催研究会「スピントロニクス材料の新展開」(招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 H. Sukegawa, Z.C. Wen, J.P. Hadorn, J. Okabayashi, T. Ohkubo, K. Inomata, S. Mitani and K. Hono
2. 発表標題 Interfacial perpendicular magnetization and atomic interdiffusion at Co <sub>2</sub> FeAl/MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> spinel interface
3. 学会等名 61st Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 T. Scheike, H. Sukegawa and S. Mitani
2. 発表標題 Magnetic tunnel junctions with a Li-substituted MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> barrier
3. 学会等名 第64回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 J. Okabayashi
2. 発表標題 Manipulating orbital magnetic moments probed by x-ray magnetic circular dichroism
3. 学会等名 日本磁気学会ナノマグネティックス専門研究会 (IEEE Magnetics Societyとの共催) (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 J. Okabayashi
2. 発表標題 Element-Specific Characterization in Spin-Orbit-Coupled Interfaces Using X-Ray Magnetic Circular Dichroism (XMCD)
3. 学会等名 Solid State Chemistry 2016 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 J. Okabayashi, Y. Miura and H. Munekata
2. 発表標題 Anatomy of interfacial spin-orbit coupling in Co/Pd multilayers studied by XMCD and band-structure calculation
3. 学会等名 第64回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岡林潤、三浦良雄、谷山智康
2. 発表標題 Ni/Cu多層構造の電場誘起XMCD
3. 学会等名 第30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 2017年

1. 発表者名 岡林潤
2. 発表標題 V酸化物における強的・反強的な軌道秩序の何がおもしろいか？
3. 学会等名 応用物理学会・強的秩序とその操作に関する研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 J. Okabayashi and H. Munekata
2. 発表標題 Element-Specific Orbital Moment Anisotropy in Co/Pd Multilayers Studied by X-ray Magnetic Circular Dichroism
3. 学会等名 第21回スピン工学の基礎と応用(PASPS21)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 J. Okabayashi, Y. Miura and H. Munekata
2. 発表標題 Co L-edge and Pd M-edge XMCD in perpendicular magnetic anisotropy system : Co/Pd multilayers
3. 学会等名 61st Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 岡林潤、三浦良雄、宗片比呂夫
2. 発表標題 Co/Pd多層構造の元素別軌道磁気モーメントの異方性
3. 学会等名 第40回日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Y. Miura
2. 発表標題 Electric field dependence of magnetic damping constant of Fe surface and interface
3. 学会等名 EU-JAPAN Workshop on Computational Materials Design and Realization for Spintronics, Moltronics, Quantronics, Superconductivity and Topotronics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Y. Miura
2. 発表標題 A first-principles study on voltage dependence of interfacial magnetic properties
3. 学会等名 Spintronics and Core-to-Core Workshop 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Miura, M. Tsujikawa and M. Shirai
2. 発表標題 Electric field dependence of magnetic damping of Fe-layer
3. 学会等名 61st Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 増田啓介、三浦良雄
2. 発表標題 半導体バリアCuInSe <sub>2</sub> , CuGaSe <sub>2</sub> を用いた磁気トンネル接合におけるスピン依存伝導特性の理論解析
3. 学会等名 第64回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 三谷誠司 (第2章第3節スピントロニクス材料の特性と今後の展望)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 R&D支援センター	5. 総ページ数 293 (91-101)
3. 書名 基礎から学ぶ磁性材料 上手に利用するための基礎理論から測定法・応用の実際まで	

1. 著者名 J. Okabayashi (Tailoring Spins and Orbitals in Spin-Orbitronic Interfaces Probed by X-Ray Magnetic Circular Dichrois)	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 518 (471-492)
3. 書名 Progress in Photon Science (Eds. K. Yamanouchi, S. Tunik, V. Makarov)	

1. 著者名 三谷誠司	4. 発行年 2018年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 563 (内 8 ページ)
3. 書名 磁性材料・部品の最新開発事例と応用技術 (第 8 章第 2 節、強磁性トンネル接合素子における材料開発とスピントロニクスデバイスへの応用)	

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 垂直磁化膜の前駆体構造、垂直磁化膜構造、およびその製造方法、これらを用いた垂直磁化型トンネル磁気抵抗接合膜およびその製造方法、ならびにこれらを用いた垂直磁化型トンネル磁気抵抗接合素子	発明者 介川裕章、シェークトーマス、三谷誠司	権利者 国立研究開発法人物質・材料研究機構
産業財産権の種類、番号 特許、2017-174000	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 面直磁化強磁性半導体ヘテロ接合素子、およびこれを用いた磁気記憶装置並びにスピロジック素子	発明者 増田啓介、三浦良雄、葛西伸哉、宝野和博	権利者 国立研究開発法人物質・材料研究機構
産業財産権の種類、番号 特許、2018-75180	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

<p>基盤研究(S) 界面スピン軌道結合の微視的解明と巨大垂直磁気異方性デバイスの創製  <a href="http://www.chem.s.u-tokyo.ac.jp/users/spectrum/kibanS.html">http://www.chem.s.u-tokyo.ac.jp/users/spectrum/kibanS.html</a>          NIMS スピントロニクスグループ  <a href="http://www.nims.go.jp/spintronics/indexJ.html">http://www.nims.go.jp/spintronics/indexJ.html</a></p>
--

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	岡林 潤  (OKABAYASHI Jun)  (70361508)	東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・准教授    (12601)	
研究分担者	三浦 良雄  (MIURA Yoshio)  (10361198)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・磁性・スピントロニクス材料研究拠点・グループリーダー    (82108)	

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	介川 裕章  (SUKEGAWA Hiroaki)  (30462518)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・磁性・スピントロニクス材料研究拠点・主幹研究員     (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