

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：82108

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02190

研究課題名（和文）スピン輸送現象の有限温度特性に関する理論研究

研究課題名（英文）Theoretical study on finite temperature properties of spin transport phenomenon

研究代表者

三浦 良雄 (Miura, Yoshio)

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

研究者番号：10361198

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,300,000円

研究成果の概要（和文）：初年度は、FePt等のL10型合金のスピン異常ホール効果の第一原理計算を行い、その価電子数依存性を明らかにした。2年目は、有限温度スピン揺らぎを取り入れた第一原理計算を用いて機械学習を行い、室温で高いスピン偏極率を有する新規ハーフメタル・ホイスラー合金を提案した。更に有限温度でのトンネル磁気抵抗効果の理論解析により、室温での磁気抵抗効果を支配する新しい物理パラメータとして、原子内s-d交換相互作用が重要であることを提案した。3年目は、有限温度でのフォノン励起効果を取り入れて磁気ダンピング計算を行い、FePtのキュリー温度付近でフォノン励起が磁気ダンピングの温度依存性に与える影響を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

スピントロニクス材料の応用において重要となるスピン輸送の理論計算は、そのほとんどが絶対零度の計算であり、実用デバイスを想定した有限温度におけるスピン輸送の理論解析はあまり行われてこなかった。本研究では磁気抵抗効果・磁気ダンピング効果などのスピン輸送現象の有限温度における振舞いを、スピン揺らぎ効果とスピン-フォノン結合効果を組み込んだ第一原理計算を行うことにより明らかにした。特に、有限温度で高いスピン偏極率を有する新規ホイスラー合金を提案し、また有限温度でのフォノン励起が磁気ダンピングに与える影響を明らかにしたことにより、室温における磁気物性の劣化問題に対して、新しい知見をもたらすことができた。

研究成果の概要（英文）：In the first year, we performed first-principles calculations of the spin-anomalous Hall effect in the L10 alloy such as FePt and clarified the dependence on the number of valence electrons. In the second year, we performed machine learning analysis based on first-principles calculations incorporating finite-temperature spin fluctuation effect, and proposed new half-metallic Heusler alloys with high spin polarization at room temperature. In the third year, we performed calculations of magnetic damping of FePt incorporating phonon excitation at finite temperatures, and clarified the temperature dependence of magnetic damping due to phonon excitation near Curie temperature.

研究分野：スピントロニクス

キーワード：第一原理計算 磁気抵抗効果 スピン異常ホール効果 機械学習 ホイスラー合金 スピン揺らぎ スピン-フォノン結合 磁気ダンピング

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

これまで磁性理論の分野では、局在スピンの有限温度揺らぎが磁性に与える効果に関して精力的に研究が行われ、その成果は強磁性体の強磁性転移温度の理解等に役立てられている。また、遍歴電子系や弱い強磁性の系に対しても、電子系に対するストーナー近似や乱雑位相近似、更には守谷らによるスピン揺らぎの統一理論が展開され、スピン波のモード間結合や局所的なスピン密度及び帯磁率の温度依存性が議論されている。しかしながら、スピン輸送現象に関する有限温度のスピン揺らぎの効果については理解が不十分である。これは、特にスピン-フォノン結合効果やマグノン-フォノン結合効果とスピン輸送特性の関係が全く明らかになっていないことが1つの要因と考えられる。有限温度では原子は振動し平衡位置からずれるが、それが電子系に影響を及ぼし、その電子系の変化がスピン輸送特性に影響することが予想される。これらの点を第一原理計算によって考慮し、室温でのスピン輸送現象との関係を明らかにすることが重要である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、電子系を介したスピン-フォノン結合効果を考慮した第一原理計算を行うことにより、磁気抵抗効果やスピン(異常)ホール効果、磁気ダンピング効果などのスピン輸送特性の温度依存性を理論的に明らかにすることである。本研究では、これまで磁性理論の分野で盛んに議論されてきたスピン揺らぎの理論を伝導電子のスピン輸送特性に発展させ、これまで理解が十分でなかったスピン-フォノン結合効果がスピン輸送特性に与える影響を明らかにする点において独自性がある。そして、有限温度でのスピン輸送特性の振る舞いを指針にした材料設計を行うことにより、実用デバイスを想定した新材料の提案を行う。

3. 研究の方法

本研究では、磁気センサーや磁気メモリ(MRAM)に使われているトンネル磁気抵抗効果や3端子スピンロジックでのスピン軌道トルクの動作現象であるスピン(異常)ホール効果、また磁化ダイナミクスにおいて重要な因子となる磁気ダンピング定数の温度依存性の要因を、強磁性体バルク領域と接合界面領域に分け、スピン輸送の第一原理計算を行うことにより明らかにする。有限温度でのスピン揺らぎやフォノンの影響を取り入れるため、バルクおよび界面のスーパーセルの分子動力学計算を行って、有限温度での構造サンプリングを行う。得られた構造で、スピン輸送特性の計算を行うことで、電子系を介したスピン揺らぎおよびフォノン振動の効果を断熱近似の枠内で取り入れる。

4. 研究成果

有限温度スピン揺らぎを考慮した第一原理計算
 第一原理計算と有限温度での平均場近似を組み合わせる有限温度磁気物性を計算する手法(DLM法)を用いて、高スピン偏極率を有するホイスラー合金のスピン偏極率の温度依存性を明らかにした[Phys. Rev. B 102, 054424 (2020)]。特に Co_2MnSi よりも Co_2FeGaGe の方が、スピン偏極率の温度依存性が小さくなることを理論的に明らかにし、材料による温度依存性の違いに関して実験結果との一致を得た[Acta Materialia 218, (2021) 117218]。さらに、有限温度での第一原理計算とベイズ最適化による機械学習を組み合わせ、室温で高スピン偏極材料の探索を行った(図1)。従来の機械学習では、第一原理計算を使って絶対零度の物性値に対する物質探索が行われていたが、本研究では、材料が実際に使用される温度領域の物性値に対して、機械学習が行われたことに大きな意義がある。有限温度での機械学習の結果、ホイスラー合金系としては、 $\text{Co}_2(\text{Mn,Fe})\text{Z}$ (Zは非磁性元素)の組成を有す

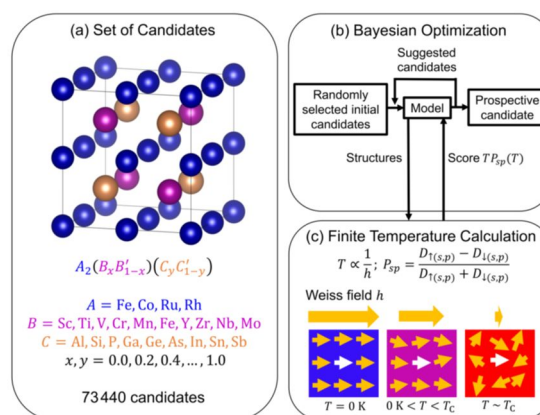


図 1: 有限温度第一原理計算に基づいた機械学習による材料探索の模式図。

る物質のみ、室温で高いスピン偏極率を持つことが明らかになった。つまり、その他の Mn 基や Fe 基および Rh 基のホイスラー合金は、強磁性転移温度が低いため室温では高いスピン偏極率を持つことはない。また、室温で高いスピン偏極率を有する新しいホイスラー合金として、 $\text{Co}_2\text{Mn}(\text{As}, \text{Ga}), \text{Co}_2\text{Fe}(\text{Sb}, \text{Ge}), \text{Co}_2\text{Fe}(\text{In}, \text{Ga})$ を提案した [Phys. Rev. Mat. 6, L091402 (2022)]。以上の知見は、今後の材料開発に大きな指針を与える。

スピン輸送特性のスピン揺らぎ理論構築

これまで磁性理論の分野では、局在スピンの有限温度揺らぎに関して統一理論が形成されつつあり、強磁性体の強磁性転移温度の理解等に役立てられている。しかしながら、スピン輸送に関しては有限温度における理論が全く未開拓の状態であった。本研究では、スピン輸送特性の有限温度揺らぎ理論の確立を目的として、主に磁気トンネル接合(MTJ)のスピン依存伝導の温度依存性の理論解析を行った。最終的には、磁性を担う遍歴電子と伝導に寄与する電子スピンの本質的な違いを見出し、転移温度や磁化の温度依存性を与える Curie-Weiss 則に相当する、トンネル磁気抵抗効果(TMR)の温度依存性における新法則を提案するのが目的である。図 2(a)は絶対零度の TMR で規格化した TMR の温度依存性関数 $1-t^\alpha$ を示している。TMR をキュリー温度で規格化した温度 t の関数で表した場合、 $\sqrt{1-t}$ は Curie-Weiss 則に相当し、また $\alpha=3/2$ はスピン波励起の Bloch 則に対応する。いずれも、線形な変化 $1-t$ と比較すると上凸関数($\alpha>1$)で、磁化の温度依存性を記述できる。しかしながら、TMR の温度依存性の実験結果は $1-t$ に対して下凸関数($0<\alpha<1$)であり、低温領域で急激な温度による TMR の低下がみられている。よって、Curie-Weiss 則や Bloch 則では TMR の温度依存性は記述できないことになる。そこで、局在スピンの熱揺らぎによる伝導電子のスピン反転を原子内交換相互作用 J_{sd} で表現した有効ハミルトニアンを導入し TMR 温度依存性の理論計算を行った。図 2(b)は有効モデルによる Fe/MgO/Fe(001)MTJ の TMR の温度依存性を示している。 J_{sd} の絶対値を大きくすることにより、低温での急激な TMR の低下が生じており、実験結果と定性的に一致する結果が得られた [Phys. Rev. B 104, L180403 (2021)]。 J_{sd} は局在スピンの熱揺らぎを伝導電子スピンの伝える役割を果たしており、スピン輸送特性の温度依存性を決定する新たな物理的要因と考えることができる。特に界面原子の J_{sd} が TMR の温度依存性に重要であることから、界面で J_{sd} が大きくなる MTJ 構造の設計が重要となる。今後は第一原理計算によるさまざまな強磁性体の原子内交換相互作用 J_{sd} の網羅的解析を行い、室温での TMR を向上させる指針を提示することが課題である。

図 2(a)は規格化 TMR の温度依存性の凡例曲線 $1-t^\alpha$ 。 t はキュリー温度 T_C で規格化された温度。 (b) 有効モデルによる TMR 比の温度依存性。

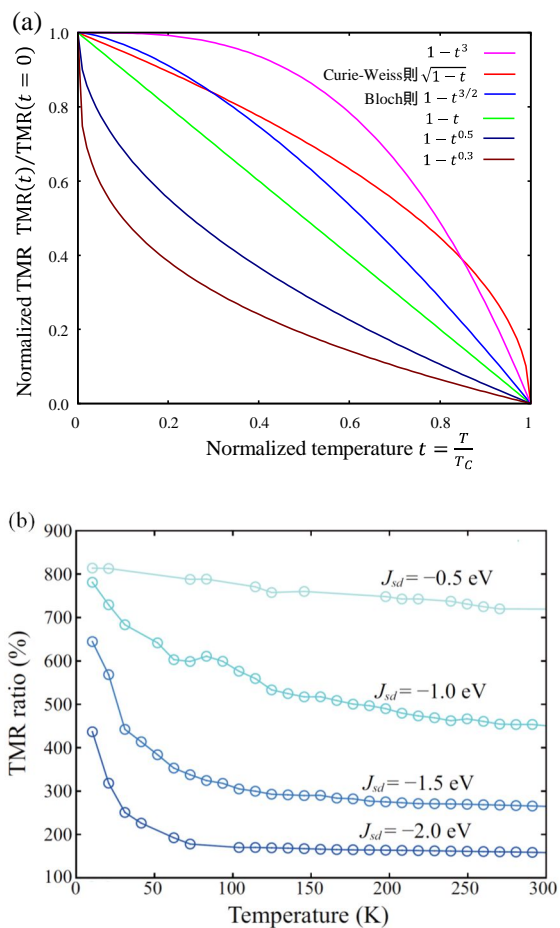


図2: (a)規格化 TMR の温度依存性の凡例曲線 $1-t^\alpha$ 。 t はキュリー温度 T_C で規格化された温度。 (b) 有効モデルによる TMR 比の温度依存性。

界面スピン軌道および四極子による新規界面物性の理論設計

本研究の目的は、磁気メモリや磁気センサーなどのスピントロニクスデバイスにおいて鍵となる、電子のスピンと軌道および多極子(ここでは主に四極子)の結合によってもたらされる新規界面物性の直観的理解を、薄膜作製・放射光によるスピン・軌道・多極子の測定・第一原理計算を融合させて得ることにある。そして、得られた知見を、新しい機能性を有する磁性スピントロニクス材料の基盤研究へと展開する。具体的には、高性能薄膜作製技術によるデバイス作製と高輝度放射光を用いた物質の磁気モーメント、軌道モーメント、および四極子モーメントの分光学的測定、さらに第一原理計算および摂動モデル計算による理論解析を融合させて、様々な物質および界面の垂直磁気異方性のメカニズムを解明した。特に、系の軌道モーメントと四極子モー

ントに着目し、軌道モーメントは磁化と平行になることでスピ軌道相互作用を通じて系の磁気異方性を安定化する役割があり、また四極子モーメントはスピ密度分布の形状による効果でスピがその形状の長手方向に沿う効果で磁気異方性に寄与することを明らかにした(図 3)。その具体例として、Fe/MgO(001) 界面と Fe/MgAl₂O₄(001) 界面 [Phys. Rev. B 98, 224421 (2018)] ,CoPd(111) 多層膜 [Sci. Rep. 8, 8303 (2018)],歪印加 fcc-Ni[npj Quan. Mat. (2019) 21],L1₀-MnGa[Sci. Rep. 10, 9744 (2020)]の結晶磁気異方性を解析し、それぞれの系で軌道モーメントと四極子モーメントが果たす役割を明確にし、垂直磁気異方性のメカニズムを解明した。また、一連の計算結果と実験結果をまとめたレビュー論文を出版した[J. Phys.:Condens. Matter 34, 473001 (2022).]。今後は、四極子や更に高次の多極子と磁気異方性との関連を分光測定と理論計算により明らかにし、歪や電界効果との関係を理解することが課題である。

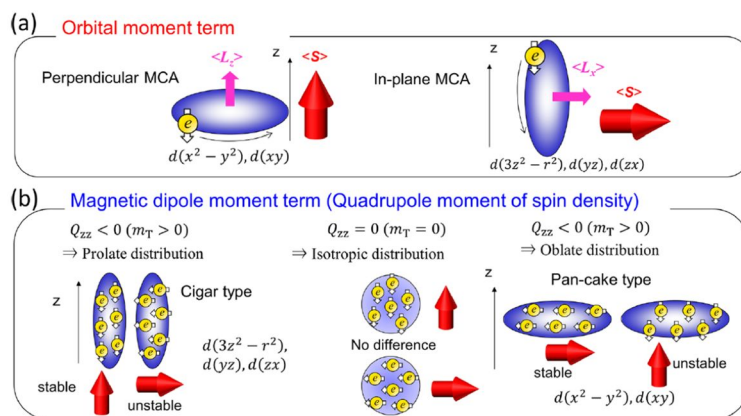


図 3: 3d 遷移金属薄膜の結晶磁気異方性に対する(a)軌道モーメントと(b)四極子モーメントの効果に関する模式図。

スピ異常ホール効果の第一原理計算スピ軌道トルクの起源となるスピ異常ホール効果(図 4)の理論解析を行い、L1₀-XPt(X=Fe,Co,Ni)のスピ異常ホール効果(SAHE)が価電子数の増大とともに増加すること明らかにした。また、スピ分解したSAHEから、Ptの反結合軌道が少数スピ状態のフェルミ準位付近に存在することが大きなSAHEの起源であることを見出した[Phys. Rev. Mat. 5, L101402 (2021)]。特に、NiPtで大きなSAHEが得られることを明らかにし、今後の実験に有益な指針を与えた。

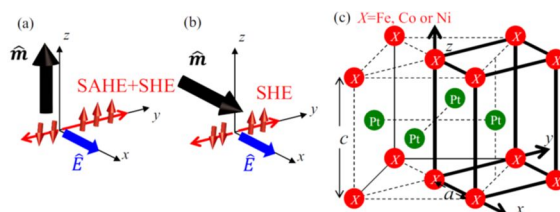


図 4: L1₀ 型合金におけるスピ異常ホール効果(SAHE)とスピホール効果(SHE)の模式図。

磁気ダンピングの有限温度フォノン効果有限温度におけるフォノン励起効果が磁気物性に与える影響について、理論計算を行った。特に、磁気記録媒体として有用な L1₀-FePt を取り上げ、その磁気ダンピング定数に対する有限温度における格子振動の効果について、Kambersky トルク相関モデルとモンテカルロサンプリングに基づくフォノン計算を行った。まず、フォノン励起における自己エネルギーの虚部を、磁気ダンピングの温度依存散乱率として用いた解析を行い、磁気ダンピングの温度依存性において弱い非単調な挙動が得られた。これらの理論解析より、格子振動の影響により、高温でダンピングがわずかに増加することがわかった(図 5)。また、実験結果との比較から、熱アシスト磁気記録用 L1₀-FePt グラニューラ媒体における磁気ダンピング定数の低減には、外因的寄与が重要であることが明らかになった。キュリー温度付近の磁気ダンピングに対する格子振動の影響は、スピ揺らぎの影響と比較して大きなものではなかったが、トルク相関モデルにスピ-フォノン結合を含めると、磁気ダンピングの温度依存性を理解する上でその影響はより重要になると考えられる[論文投稿中]。

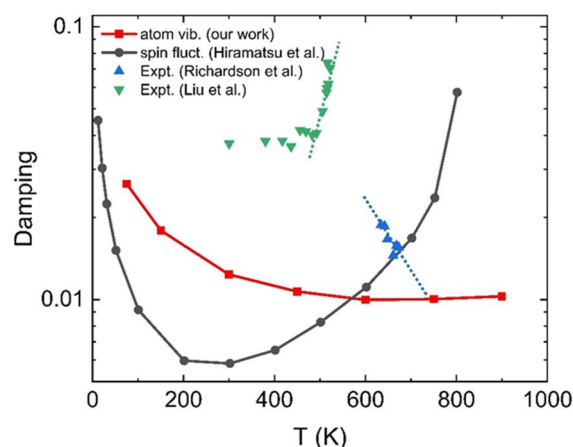


図 5: L1₀-FePt の磁気ダンピングの有限温度フォノン励起効果による温度依存性。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 K. Tang, Y.-C. Lau, K. Nawa, Z. Wen, Q. Xiang, H. Sukegawa, T. Seki, Y. Miura, K. Takanashi, and S. Mitani	4. 巻 3
2. 論文標題 Spin Hall effect in a spin-1 chiral semimetal	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 PHYSICAL REVIEW RESEARCH	6. 最初と最後の頁 033101/1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevResearch.3.033101	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. Miura and K. Masuda	4. 巻 5
2. 論文標題 First-principles calculations on the spin anomalous Hall effect of ferromagnetic alloys	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 PHYSICAL REVIEW MATERIALS	6. 最初と最後の頁 L101402/1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevMaterials.5.L101402	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. Nawa, K. Masuda, and Y. Miura	4. 巻 16
2. 論文標題 Enhanced Magnetoresistance under Bias Voltage in Fe/MgO/MgAl ₂ O ₄ /MgO/Fe Trilayer Tunneling Barrier Junction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 PHYSICAL REVIEW APPLIED	6. 最初と最後の頁 044037/1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevApplied.16.044037	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, T. Tadano and Y. Miura	4. 巻 104
2. 論文標題 Crucial role of interfacial s-d exchange interaction in the temperature dependence of tunnel magnetoresistance	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 PHYSICAL REVIEW B	6. 最初と最後の頁 L180403/1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.104.L180403	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 I. Kurniawan, K. Nawa, K. Masuda, Y. Miura, and K. Hono	4. 巻 218
2. 論文標題 First-principles disordered local-moment study on temperature dependence of spin polarization in Co ₂ Fe(Ga _{0.5} Ge _{0.5}) Heusler alloy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Acta Materialia	6. 最初と最後の頁 117218/1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actamat.2021.117218	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, K. Masuda, and Y. Miura	4. 巻 102
2. 論文標題 Interfacial resonant tunneling induced by folded bands and providing highly spin-polarized current in spinel-oxide barrier junctions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 PHYSICAL REVIEW B	6. 最初と最後の頁 144423/1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.102.144423	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, H. Itoh, Y. Sonobe, H. Sukegawa, S. Mitani, and Y. Miura	4. 巻 103
2. 論文標題 Interfacial giant tunnel magnetoresistance and bulk-induced large perpendicular magnetic anisotropy in (111)-oriented junctions with fcc ferromagnetic alloys: A first-principles study	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 PHYSICAL REVIEW B	6. 最初と最後の頁 064427/1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.064427	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 I. Kurniawan, Y. Miura, and K. Hono	4. 巻 6
2. 論文標題 Machine learning study of highly spin-polarized Heusler alloys at finite temperature	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 PHYSICAL REVIEW MATERIALS	6. 最初と最後の頁 L091402/1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.6.L091402	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. Miura and J. Okabayashi	4. 巻 34
2. 論文標題 Understanding magnetocrystalline anisotropy based on orbital and quadrupole moments	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 473001/1-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-648X/ac943f	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, H. Itoh, Y. Sonobe, H. Sukegawa, S. Mitani, and Y. Miura	4. 巻 106
2. 論文標題 Band-folding-driven high tunnel magnetoresistance ratios in (111)-oriented junctions with SrTiO ₃ barriers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 PHYSICAL REVIEW B	6. 最初と最後の頁 134438/1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.106.134438	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 -

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 三浦良雄
2. 発表標題 軌道と四極子による磁性薄膜の結晶磁気異方性の理論
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会 シンポジウム 理論と実験の協奏～スピントロニクス材料・現象・素子 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 名和 憲嗣, 増田 啓介, 三浦 良雄
2. 発表標題 Giant tunnel magnetoresistance under bias voltages in a magnetic tunnel junction with a tri-layered MgO/MgAl ₂ O ₄ /MgO barrier
3. 学会等名 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 Y. Miura and K. Masuda
2. 発表標題 Theoretical studies on the spin anomalous Hall effect of ferromagnetic alloys
3. 学会等名 1st Online RIEC International Workshop on Spintronics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三浦 良雄, 増田 啓介
2. 発表標題 強磁性金属合金のスピン異常ホール効果に関する第一原理計算
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 K. Masuda, T. Tadano, and Y. Miura
2. 発表標題 New physical origin of the temperature dependence of tunnel magnetoresistance: Crucial importance of interfacial s-d exchange interaction
3. 学会等名 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 三浦良雄
2. 発表標題 スピン軌道相互作用を起源とする磁気物性の第一原理計算
3. 学会等名 NIMS ナノシミュレーション ワークショップ 2020FY (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三浦良雄
2. 発表標題 スピントロニクス・インターフェース・デザイン
3. 学会等名 第38回コンピューテーショナル・マテリアルズ・デザイン(CMD)ワークショップ スピントロニクスコース(招待講演)
4. 発表年 2020年~2021年

1. 発表者名 増田啓介, 伊藤博介, 園部義明, 介川裕章, 三谷誠司, 三浦良雄
2. 発表標題 Large tunnel magnetoresistance in (111)-oriented junctions with a SrTiO3 barrier
3. 学会等名 第70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 I. Kurniawan, Y. Miura, and K. Hono
2. 発表標題 Machine learning study of highly spin-polarized Heusler alloys at finite temperature
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三浦良雄
2. 発表標題 機械学習を用いたスピントロニクス材料の理論設計
3. 学会等名 第35期CAMMフォーラム 本例会「コンピュータによる材料開発・物質設計を考える会」(招待講演)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 吉田博, 白井正文, 赤井久純, 浜田典昭, 小田竜樹, 中村浩次, 神吉輝夫, 佐藤和則, 真砂啓, 福島鉄也, 新屋ひかり, 三浦良雄, 大戸達彦, 阿部英介	4. 発行年 2022年
2. 出版社 内田老鶴園	5. 総ページ数 291
3. 書名 スピントロニクスのための計算機ナノマテリアルデザイン	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 室温高スピン偏極のホイスラー合金	発明者 クルニアワン イ ヴァン、三浦良雄、 宝野和博	権利者 物質・材料研究 機構
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022- 91171	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

NIMS Researchers Directory Service SAMURAI https://samurai.nims.go.jp/profiles/miura_yoshio/publications#presentation NIMS 磁性理論グループ https://www.nims.go.jp/mmu/spintheory/

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	増田 啓介 (Masuda Keisuke) (40732178)	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・主任研究員 (82108)	
研究分担者	只野 央将 (Tadano Terumasa) (90760653)	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・主任研究員 (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
研究協力者	クルニアワン イヴァン (Kurniawan Ivan)		

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