

令和 5 年 4 月 1 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02557

研究課題名（和文）2次元磁性体における磁気ゆらぎの電氣的検出と高効率スピン変換の開拓

研究課題名（英文）Electrical detection of magnetic fluctuations with spin current and development of high efficiency spin conversion in two-dimensional magnetic materials

研究代表者

新見 康洋 (Niimi, Yasuhiro)

大阪大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：00574617

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、近年急進展しているファンデルワールス磁性体の物質群を広げること、さらにそれらにスピン流を注入することで、磁気転移温度近傍の磁気ゆらぎを、スピン変換を介して電氣的に検出することを目指した。原子層反強磁性体CeTe₃では磁気転移温度以下で磁氣的な性質を伴った量子振動を観測した。三角格子反強磁性体Ag₂CrO₂では磁気転移温度以下で特異な異常ホール効果を観測した。また原子層強磁性体Fe₅GeTe₂と強磁性パーマロイの2層膜に対してスピントルク測定を行い、磁気転移温度以下で大きな信号変化を観測した。これらの結果は、磁気転移がスピン変換に大きな影響を与えていることを実証したものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

スピン流電流変換を用いたスピントロニクスデバイスへの応用という観点では、単純な金属だけでは限界があり、トポロジカル絶縁体、ワイル半金属、超伝導体などを用いた研究が近年進展している。そのような背景の中で、本研究課題で用いた原子層磁性体は新しい研究の方向性となり得る。最近、原子層磁性体の磁気転移温度が室温を超える物質も数多く開拓され、原子層磁性体を用いたデバイス応用への機運が高まっている。特に本研究で用いたFe₅GeTe₂は強磁性転移温度が室温付近にあり、転移温度から少し温度を下げるだけで、スピン変換効率 が劇的に大きくなるため、原子層強磁性体を用いた高効率な磁気デバイスへの応用が期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this research project, we have aimed to expand the material group of van der Waals (vdW) magnets, which have been rapidly progressing in recent years, and also to electrically detect magnetic fluctuations in the vdW magnets near the magnetic transition temperature through spin conversion. In the atomic-layer antiferromagnet CeTe₃, quantum oscillation with magnetic properties was observed below the magnetic transition temperature. In the triangular-lattice antiferromagnet Ag₂CrO₂, a unique anomalous Hall effect was observed below the magnetic transition temperature. We also measured the spin torque in atomic-layer ferromagnet Fe₅GeTe₂ and ferromagnetic permalloy bilayer films, and observed a large signal change below the magnetic transition temperature. These results demonstrate that magnetic transitions have a strong influence on spin conversion.

研究分野：スピントロニクス

キーワード：スピン流 原子層磁性体 二次元 スピン変換

1. 研究開始当初の背景

グラフェンの発見以降、原子層物質を用いた 2 次元系の物理に関する研究が盛んに行われている。特に最近、2 次元原子層超伝導体[X. Xi *et al.*, *Nat. Phys.* **12**, 139 (2016).]や 2 次元原子層強磁性体[C. Gong *et al.*, *Nature* **546**, 265 (2017); B. Huang *et al.*, *Nature* **546**, 270 (2017).]などの相転移を示す 2 次元原子層物質が相次いで発見されている。マーミン・ワグナーの定理によれば、系の次元が低下すると、ゆらぎの効果が大きくなるため、秩序相は不安定となり相転移は消失する。しかし、準長距離秩序という特殊な秩序を持つことで、ベレジンスキー・コステリッツ・サウレス(BKT)転移と呼ばれる相転移が 2 次元系でも観測される。このことは 2 次元超流動ヘリウムなどで知られていたが、固体物質での報告はごく最近で、更なる研究が求められている。

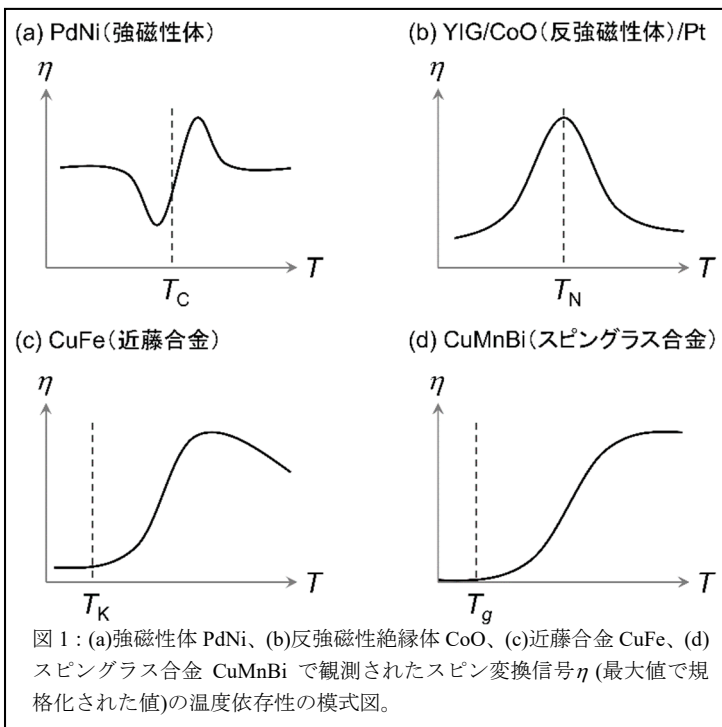
2 次元磁性体に着目すると、磁気転移温度近傍で強い磁気ゆらぎが期待される。しかし 2 次元系では、バルク測定で用いられるような磁化測定や μ SR 測定は感度が不十分で使用できない。一方、ナノメートルスケールの固体素子で磁気ゆらぎを検出できる手段として、スピン角運動量の流れ「スピン流」が近年注目を集めている。スピン流は電荷の流れを伴わないため、磁気ゆらぎに敏感なプローブになり得る。スピン流は電流とは異なり保存量ではなく、スピン拡散長さ λ_s と呼ばれる長さ(ナノメートルスケール)で減衰するが、スピン流から電流への変換「スピン変換」を可能にするスピンホール効果を用いれば、磁気ゆらぎを電気的に検出できる。

スピンホール効果は通常、スピン軌道相互作用の強い非磁性体金属や半導体で発現するが、最近になって、スピンホール効果は磁性体でも発現することが知られるようになった。特に強磁性体、反強磁性体、近藤合金、スピングラス合金などの磁性体にスピン流を注入すると、これらの磁気秩序を特徴付ける温度付近で、スピン変換信号に異常が観測されている。それらをまとめたものを図 1 に示す。キュリー温度 T_C が 20 K 程度の強磁性体 PdNi ナノ細線に、スピン流を注入すると、 T_C 付近でのみスピン変換信号 η に極小・極大のピークが観測されている(図 1(a)) [D. H. Wei, Y. Niimi, *et al.*, *Nat. Commun.* **3**, 1058 (2012).]。またスピン流が反強磁性絶縁体 CoO 薄膜を通過してスピンホール物質の Pt まで到達する際、CoO のネール温度 T_N の付近で、Pt のスピン変換信号 η に極大が観測されている(図 1(b)) [Z. Qiu *et al.*, *Nat. Commun.* **7**, 12670 (2016).]。さらに、近藤合金(図 1(c)) [K. Hamaya *et al.*, *Phys. Rev. B* **94**, 140401 (2016).]やスピングラス合金(図 1(d)) [Y. Niimi *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **115**, 196602 (2015); H. Taniguchi, Y. Niimi, *et al.*, *Phys. Rev. B* **102**, 094405 (2020).]では、これらの典型的な温度スケールである近藤温度 T_K 、スピングラス温度 T_g よりも数倍高温から、スピン変換信号 η の減少が観測されている。

これらの結果は、磁性体を特徴付ける温度とスピン変換信号に強い相関があることを想起させる。しかし、その相関の背後にある物理は未解明である。ここに本研究課題の核心をなす学術的「問い」がある。この現象を解明することは、スピン流の性質を理解する上で必須であるだけでなく、スピン変換効率向上のための戦略に直結し、応用上も重要である。

2. 研究の目的

上述した研究背景に基づいて、本研究では、磁気ゆらぎの強い 2 次元磁性体を舞台としたスピン輸送測定を行うことを目的とした。その目的を達成するために、まずは 2 次元磁性体の開拓から着手した。2 次元強磁性体としてキュリー温度 $T_C = 310$ K の Fe_5GeTe_2 、原子層反強磁性体としてネール温度 $T_N = 3$ K の CeTe_3 、また原子層三角格子反強磁性体 Ag_2CrO_2 ($T_N = 24$ K) の開拓を行った。さらにスピン輸送測定の舞台として、 Fe_5GeTe_2 と強磁性体パーマロイ Py ($\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$) の 2 層薄膜を作製し、 Fe_5GeTe_2 から発生したスピン流を Py で検出する「スピントルク強磁性共鳴法」を選択した。この測定を Fe_5GeTe_2 の T_C を挟んで上下で行うことで、原子層強磁性体に特有のスピン輸送特性を見出すことが可能となる。以下では、2 次元磁性体の開拓例として Fe_5GeTe_2 と CeTe_3 、さらにスピン輸送測定の研究例として $\text{Fe}_5\text{GeTe}_2/\text{Py}$ の 2 層薄膜におけるスピントルク強磁性共鳴について説明する。



3. 研究の方法

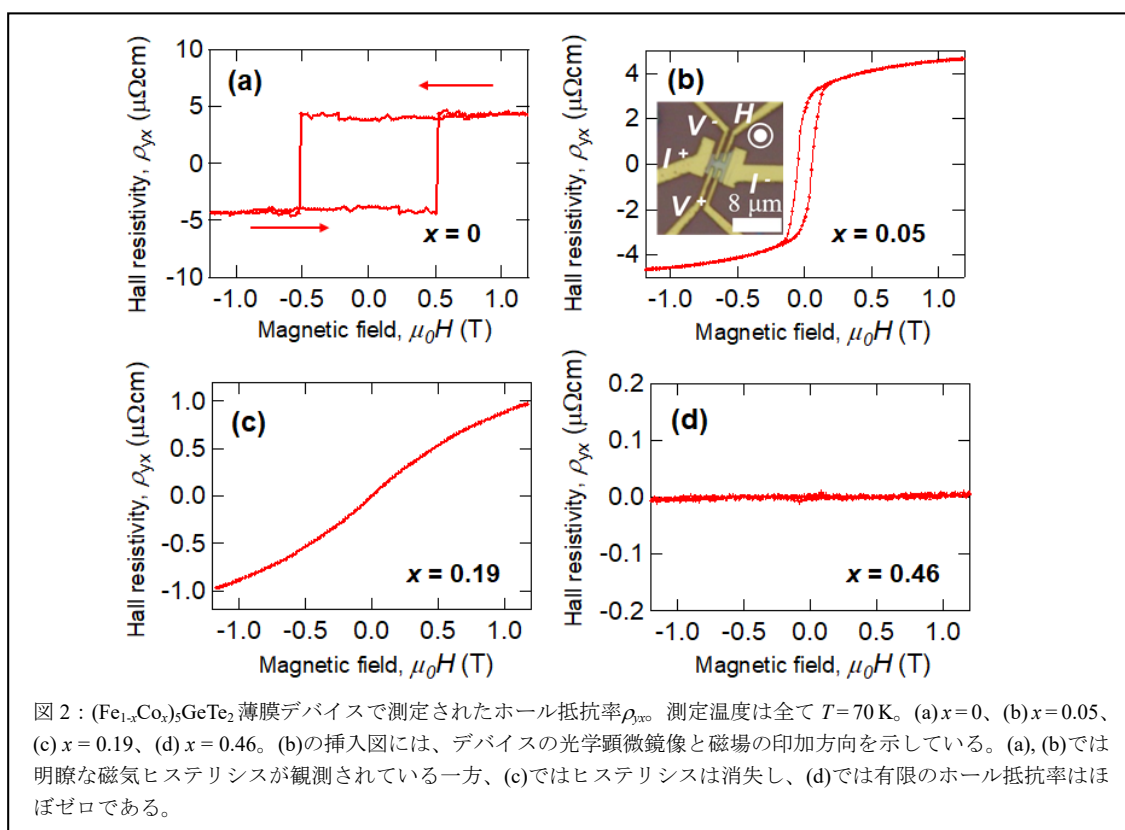
2次元磁性体は、機械的剥離法を用いてバルク層状物質を数原子層程度まで薄くすることで得られる。バルクの層状強磁性体 Fe_5GeTe_2 と層状反強磁性体 CeTe_3 は沖縄科学技術大学院大学の岡田佳憲准教授のグループから提供して頂いた。これらのバルク物質を、グローブボックス内で機械的剥離法を用いて薄膜化し、さらにレジストを塗布後、電子線描画装置を用いて電極のパターニングを行った。レジストを現像後、電極 (Ti/Au) を蒸着し、リフトオフしてデバイスを作製した。また、スピントルク強磁性共鳴の実験に関しては、理化学研究所の近藤浩太上級研究員・大谷義近グループリーダーと共同で行った。

4. 研究成果

(1) 原子層強磁性体 Fe_5GeTe_2 と Co 置換による磁性の変調

原子層強磁性体の中で FeGeTe 系は、 T_C が 200 K 以上と高く、金属化合物であるため伝導測定が可能である。その中でも Fe_5GeTe_2 バルク結晶は、室温以上の T_C (≈ 310 K) を示す。また一部の Fe を Co や Ni で置換することで、 T_C の増大や磁気異方性の変調、磁性自体を強磁性から反強磁性に出来ることも報告されている。しかし、それらの磁気特性が薄膜化によってどの程度保持されるかは自明ではなかった。

そこでこの研究では、Co 置換率が異なる様々な $(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_5\text{GeTe}_2$ バルク結晶 ($x = 0, 0.05, 0.19, 0.46$) を用いて薄膜デバイス (5 層~10 層) を作製し、Co 置換率の違いによる磁気特性の変化を系統的に評価した [T. Ohta, Y. Niimi, *et al.*, *Appl. Phys. Express* **13**, 043005 (2020); T. Ohta, Y. Niimi, *et al.*, *AIP Adv.* **11**, 025014 (2021); T. Ohta, Y. Niimi, *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **122**, in press (2023); <https://doi.org/10.1063/5.0141495>]. 各 Co 置換率 x の薄膜デバイスを用いて測定したホール抵抗率を図 2 に示す。バルク試料を用いた磁化測定で示されている通り、薄膜デバイスでも $x = 0, 0.05$ では垂直磁気異方性をもつ強磁性体、 $x = 0.19$ では面内磁気異方性をもつ強磁性体であることが分かった。一方 $x = 0.46$ ではその他の x の値と異なり、有限のホール抵抗率が低磁場で観測されないことから反強磁性体であると言える。



さらに $x = 0.46$ のデバイスに対しては、8 T までの磁場を印加した。その結果、図 3(a)に示すように ± 2.5 T 付近でスピントルク転移に伴うホール抵抗率の大きな飛びが観測され、明瞭な磁気ヒステリシスを示すことが分かった [T. Ohta, Y. Niimi, *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **122**, in press (2023); <https://doi.org/10.1063/5.0141495>]. このヒステリシスの幅 ΔB は、30 K 以下の低温部で顕著に増大する (図 3(b)参照)。同様の傾向は、磁気抵抗でも現れた。通常バルク試料ではスピントルク転移にヒステリシスは伴わないが、表面や欠陥によってスピントルク状態がピン留めされた場合は、ヒステリシスは現れうる。本研究では薄膜デバイスにしているため、表面や欠陥の寄与は大きく

なり、ヒステリシスが低温で明瞭に観測されたと考えられる。このような特性は、原子層磁性体を積層させたデバイス設計に重要な指針を与える。

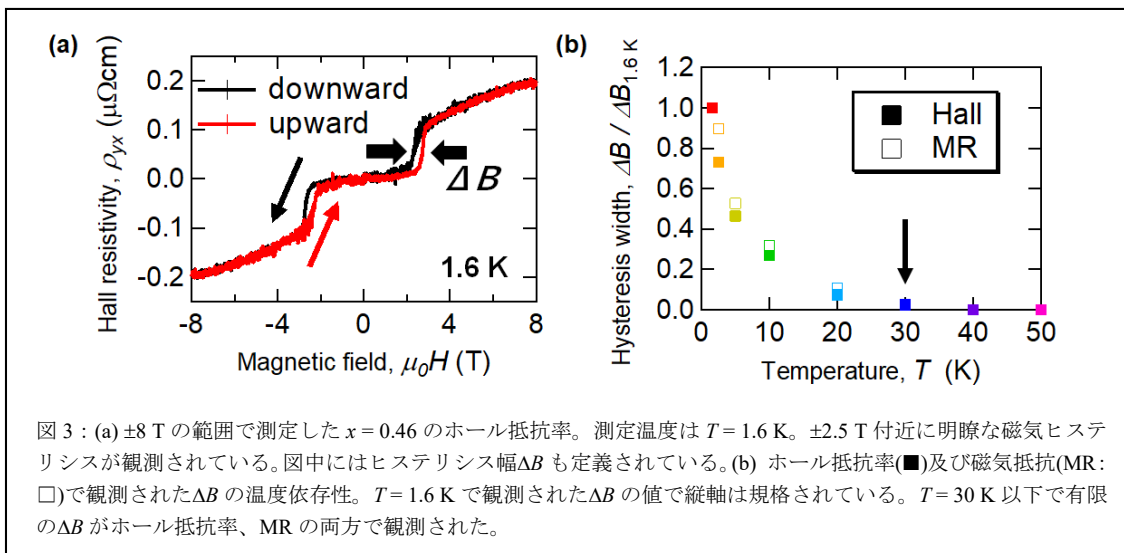


図3 : (a) $\pm 8\text{ T}$ の範囲で測定した $x = 0.46$ のホール抵抗率。測定温度は $T = 1.6\text{ K}$ 。 $\pm 2.5\text{ T}$ 付近に明瞭な磁気ヒステリシスが観測されている。図中にはヒステリシス幅 ΔB も定義されている。(b) ホール抵抗率(■)及び磁気抵抗(MR: □)で観測された ΔB の温度依存性。 $T = 1.6\text{ K}$ で観測された ΔB の値で縦軸は規格されている。 $T = 30\text{ K}$ 以下で有限の ΔB がホール抵抗率、MR の両方で観測された。

(2) 原子層反強磁性体 CeTe_3 における磁気ヒステリシスを伴った量子振動

CeTe_3 は劈開可能な層状物質で、Ce に磁気モーメントを持ち、バルクでは 3 K 以下で反強磁性転移することが知られている。 CeTe_3 を原子層デバイスに加工して、2次元反強磁性体に特有の現象の探索を目指して研究を行った。図4(上図)に、原子層反強磁性 CeTe_3 薄膜デバイスの光学顕微鏡像と抵抗率 ρ の温度依存性を示す。通常金属の抵抗率は 4 K 以下ではほぼ一定の値を取るが、この系では、 3 K 以下で反強磁性転移に伴う抵抗率の減少が観測された[M. Watanabe, Y. Niimi, *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **117**, 072403 (2020)]. 次に、このデバイスに垂直方向に磁場 B を印加して、温度を 2 K に固定して磁気抵抗 $\rho(B)$ を測定した。その結果を図4(下図)に示す。 $B = 3\text{ T}$ 以上で磁気抵抗に振動が観測された。この振動は $1/B$ の周期を持っていることから、2次元性が強く、不純物の少ない系で観測されるシュブニコフ・ドハース振動と呼ばれる量子振動であることが分かった。以上の結果は、作製した CeTe_3 原子層デバイスは2次元性が強く、結晶の質も良いことを表している。

さらに低磁場側に目を向けると、図4(下図)に示すように、磁場を 8 T から 0 T に掃引したときだけ $B = 0.5\text{ T}$ 付近に抵抗率の小さなジャンプが現れることが分かった。この抵抗率のジャンプは、温度を反強磁性転移温度の 3 K 以上に上げると、磁気抵抗には現れない[M. Watanabe, Y. Niimi, *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **117**, 072403 (2020)]. このことから抵抗率のジャンプは、反強磁性転移に伴うものであることが分かる。詳細な発現機構は完全には解明されていないが、薄膜化により表面層だけ CeTe_2 という別の結晶と類似構造を有し、 CeTe_2 が示すキャント反強磁性が薄膜 CeTe_3 でも実現して磁気ヒステリシスを誘起している可能性がある。上述の量子振動は Te 層の作る小さなフェルミ面に起因した有効質量の小さい電子が担っているのに対して[M. Watanabe, Y. Niimi, *et al.*, *AIP Adv.* **11**, 015005

(2021).], 抵抗率のジャンプは Ce 原子のもつ磁気モーメント同士の磁気的な結合による効果であり、それぞれ要因は異なるが、このような磁気ヒステリシスを有する量子振動は、原子層磁性体に特有の現象である。

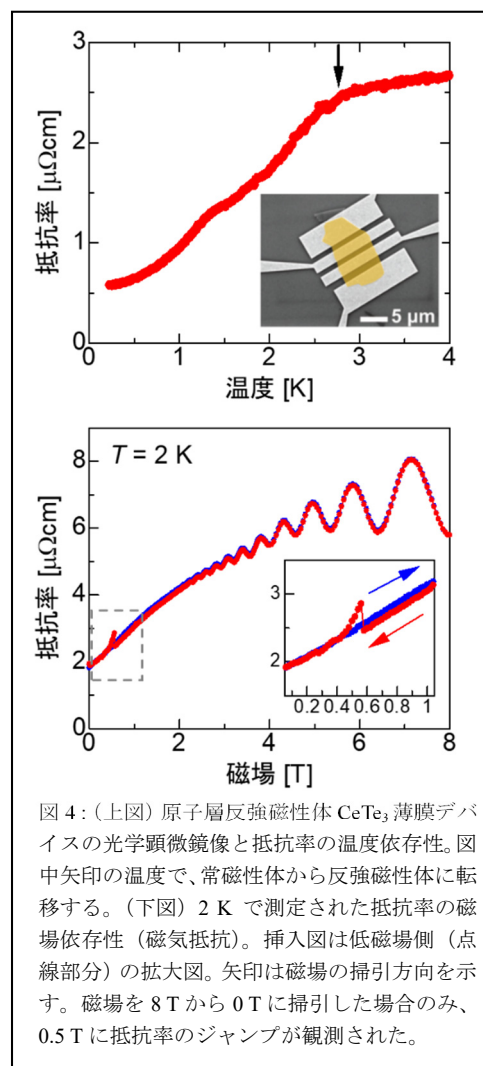


図4 : (上図) 原子層反強磁性体 CeTe_3 薄膜デバイスの光学顕微鏡像と抵抗率の温度依存性。図中矢印の温度で、常磁性体から反強磁性体に転移する。(下図) 2 K で測定された抵抗率の磁場依存性 (磁気抵抗)。挿入図は低磁場側 (点線部分) の拡大図。矢印は磁場の掃引方向を示す。磁場を 8 T から 0 T に掃引した場合のみ、 0.5 T に抵抗率のジャンプが観測された。

(3) 原子層強磁性体 $\text{Fe}_5\text{GeTe}_2/\text{Py}$ の2層薄膜におけるスピントルク強磁性共鳴

本研究の最終的な目的である原子層磁性体を用いたスピン輸送測定を行うため、開拓した原子層強磁性体 Fe_5GeTe_2 に強磁性体 Py を積層した2層薄膜を用いて、スピントルク強磁性共鳴を測定した。スピントルク強磁性共鳴法とは、対象物質(本研究では Fe_5GeTe_2)中を流れる高周波電流 $J_{C,rf}$ からスピンホール効果を介してスピン流 $J_{S,rf}$ を発生させ、隣接する Py の磁化にスピントルクを与え、これを強磁性共鳴により検出する手法である。測定手法の概念図と実際に作製したデバイスを図5に示す。本研究では、 Fe_5GeTe_2 と Py の近接効果を抑制するために非磁性体 Cu を挿入した。

原子層強磁性体 Fe_5GeTe_2 中を流れる電流 $J_{C,rf}$ からスピン流 $J_{S,rf}$ へ変換する効率 θ_{SH} ($\equiv J_{S,rf}/J_{C,rf}$) の温度依存性を図6に示す。比較のため、原子層強磁性体 Fe_5GeTe_2 の異常ホール抵抗率 ρ_{AHE} と縦抵抗率 ρ_{xx} の温度依存性も示している。バルクの T_C ($\approx 310\text{ K}$) を反映して、異常ホール抵抗率 ρ_{AHE} は T_C 以下で有限の値を取る。スピン変換効率 θ_{SH} に関しては、 T_C 以上では -0.1 程度の値を取るのに対して、 T_C 以下になると急激に符号を変化させ、 $+0.2$ まで上昇することが分かった。低温での θ_{SH} に目を向けると、 $+0.2$ でほぼ一定値を取ることが分かった。一方で、 ρ_{AHE} や ρ_{xx} は 120 K 以下で急激に減少する。これは Fe_5GeTe_2 のある特定の Fe サイト(Fe1 サイト)が秩序化するためであり、この温度以下では強磁性体と言うよりもむしろフェリ磁性になると考えられる。しかし、スピン変換効率に関しては 120 K での大きな変化は観測されなかった。またこのような ρ_{AHE} 、 ρ_{xx} 、 θ_{SH} の温度依存性は、複数の試料で再現性がある。

現時点では詳細なメカニズムの特定には至っていないものの、本研究成果は、スピン輸送測定が原子層磁性体の特異な磁気特性を明らかにするうえで非常に重要なプローブになることを示したものである。

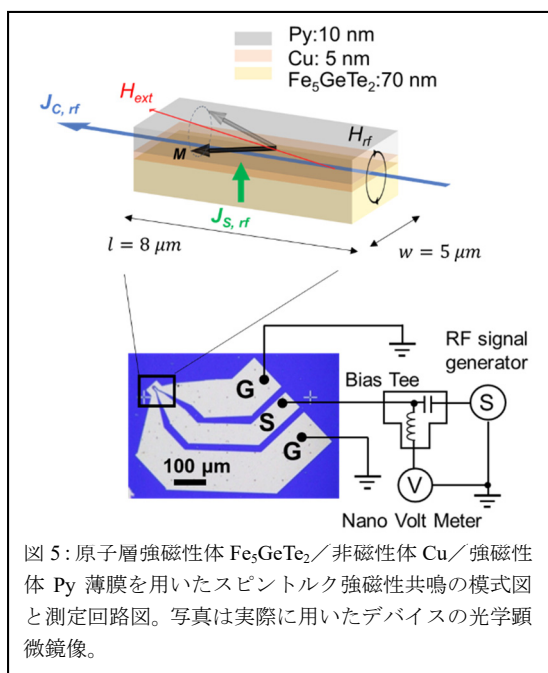


図5: 原子層強磁性体 Fe_5GeTe_2 /非磁性体 Cu /強磁性体 Py 薄膜を用いたスピントルク強磁性共鳴の模式図と測定回路図。写真は実際に用いたデバイスの光学顕微鏡像。

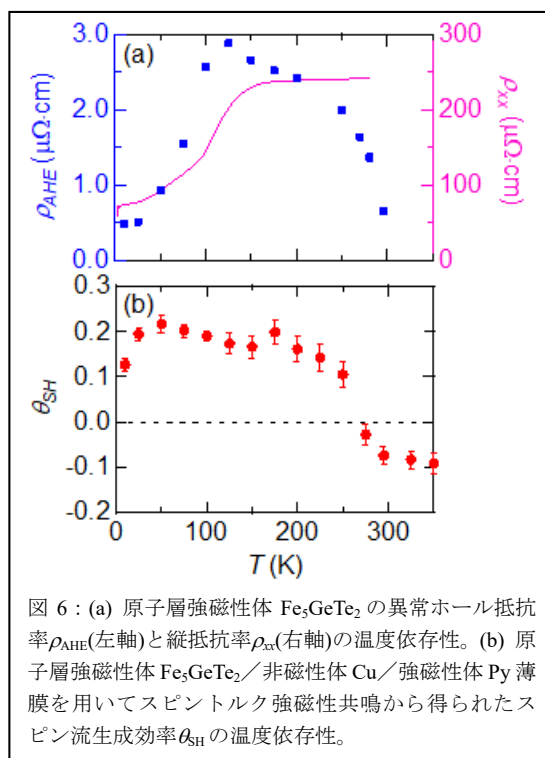


図6: (a) 原子層強磁性体 Fe_5GeTe_2 の異常ホール抵抗率 ρ_{AHE} (左軸)と縦抵抗率 ρ_{xx} (右軸)の温度依存性。(b) 原子層強磁性体 Fe_5GeTe_2 /非磁性体 Cu /強磁性体 Py 薄膜を用いてスピントルク強磁性共鳴から得られたスピン流生成効率 θ_{SH} の温度依存性。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 T. Arakawa, T. Oka, S. Kon, and Y. Niimi	4. 巻 129
2. 論文標題 Microwave Dynamical Conductivity in the Quantum Hall Regime	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 046801/1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.129.046801	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 M. Tokuda, R. Nakamura, M. Maeda, and Y. Niimi	4. 巻 61
2. 論文標題 Higher harmonic resistance oscillations in micro-bridge superconducting Nb ring	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 060908/1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac6a37	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 R. Nakamura, M. Tokuda, M. Watanabe, M. Nakajima, K. Kobayashi, and Y. Niimi	4. 巻 104
2. 論文標題 Thickness-induced crossover from strong to weak collective pinning in exfoliated FeTe _{0.6} Se _{0.4} thin films at 1 T	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 165412-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.104.165412	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. Iwakiri, S. Sugimoto, Y. Niimi, Y. Kozuka, Y. K. Takahashi, S. Kasai, and K. Kobayashi	4. 巻 103
2. 論文標題 Negative correlation between the linear and the nonlinear conductance in magnetic tunnel junctions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 245427-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.245427	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. Fujiwara, S. Iwakiri, M. Watanabe, R. Nakamura, M. Yokoi, K. Kobayashi, and Y. Niimi	4. 巻 60
2. 論文標題 Charge density wave transitions in mechanically-exfoliated NbSe ₃ devices	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 070904-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac0644	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. Yamagami, Y. Fujisawa, B. Driesen, C. H. Hsu, K. Kawaguchi, H. Tanaka, T. Kondo, Y. Zhang, H. Wadati, K. Araki, T. Takeda, Y. Takeda, T. Muro, F. C. Chuang, Y. Niimi, K. Kuroda, M. Kobayashi, and Y. Okada	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 T. Ohta, M. Tokuda, S. Iwakiri, K. Sakai, B. Driesen, Y. Okada, K. Kobayashi, and Y. Niimi	4. 巻 11
2. 論文標題 Butterfly-shaped magnetoresistance in van der Waals ferromagnet Fe ₅ GeTe ₂	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 025014-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/9.0000067	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. Watanabe, R. Nakamura, S.-H. Lee, T. Asano, T. Ibe, M. Tokuda, H. Taniguchi, D. Ueta, Y. Okada, K. Kobayashi, and Y. Niimi	4. 巻 11
2. 論文標題 Shubnikov-de-Haas oscillation and possible modification of effective mass in CeTe ₃ thin films	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 015005-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/9.0000074	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. Taniguchi, M. Watanabe, T. Ibe, M. Tokuda, T. Arakawa, T. Taniguchi, B. Gu, T. Ziman, S. Maekawa, K. Kobayashi, and Y. Niimi	4. 巻 102
2. 論文標題 Spin treacle in a frustrated magnet observed with spin current	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 094405-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.102.094405	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 M. Yokoi, S. Fujiwara, T. Kawamura, T. Arakawa, K. Aoyama, H. Fukuyama, K. Kobayashi, and Y. Niimi	4. 巻 6
2. 論文標題 Negative resistance state in superconducting NbSe ₂ induced by surface acoustic waves	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eaba1377-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.aba1377	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. Watanabe, S.-H. Lee, T. Asano, T. Ibe, M. Tokuda, H. Taniguchi, D. Ueta, Y. Okada, K. Kobayashi, and Y. Niimi	4. 巻 117
2. 論文標題 Quantum oscillations with magnetic hysteresis observed in CeTe ₃ thin films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 072403-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0007517	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. Norimoto, S. Iwakiri, M. Yokoi, T. Arakawa, Y. Niimi, and K. Kobayashi	4. 巻 91
2. 論文標題 Etching process of narrow wire and application to tunable-barrier electron pump	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 08511-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0011767	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. Arakawa, J. Shiogai, M. Maeda, M. Ciorga, M. Utz, D. Schuh, Y. Niimi, M. Kohda, J. Nitta, D. Bougeard, D. Weiss, and K. Kobayashi	4. 巻 102
2. 論文標題 Tunneling mechanism in a (Ga,Mn)As/GaAs-based spin Esaki diode investigated by bias-dependent shot noise measurements	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 045308-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.102.045308	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 S. Sugimoto, S. Iwakiri, Y. Kozuka, Y. K. Takahashi, Y. Niimi, K. Kobayashi, and S. Kasai	4. 巻 10
2. 論文標題 Multiple modes of a single spin torque oscillator under the non-linear region	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 075115-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0013105	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. Iwakiri, S. Sugimoto, Y. Niimi, K. Kobayashi, Y. Kozuka, Y. K. Takahashi, and S. Kasai	4. 巻 117
2. 論文標題 Generation of multipeak spectrum of spin torque oscillator in non-linear regime	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 022406-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0013102	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58件 (うち招待講演 9件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 T. Ohta, K. Kondou, K. Yamagami, Y. Okada, Y. Otani, and Y. Niimi
2. 発表標題 Magnetotransport properties of van der Waals ferromagnet Fe ₅ GeTe ₂ and their application to spintronic devices
3. 学会等名 24th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces (ICMFS-2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1 . 発表者名 M. Tokuda, M. Nakao, M. Watanabe, R. Nakamura, M. Maeda, S.-H. Lee, D. Yue, K. Aoyama, T. Mizushima, X.-F. Jin, K. Kobayashi, and Y. Niimi
2 . 発表標題 Observation of Little-Parks oscillations in Bi/Ni bilayer film
3 . 学会等名 24th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces (ICMFS-2022) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 M. Watanabe, R. Asama, M. Tokuda, S. Suzuki, H. K. Yoshida, and Y. Niimi
2 . 発表標題 Unique magnetoresistance and Hall effects in classical triangular antiferromagnet Ag ₂ CrO ₂
3 . 学会等名 24th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces (ICMFS-2022) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 R. Asama, M. Watanabe, I. Sasaki, R. Nakamura, H. K. Yoshida, and Y. Niimi
2 . 発表標題 Magnetotransport properties in quantum-spin triangular-lattice antiferromagnet Ag ₂ CoO ₂ thin films
3 . 学会等名 24th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces (ICMFS-2022) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 K. Kurokawa, T. Ohta, M. Watanabe, K. Yamagami, Y. Okada, and Y. Niimi
2 . 発表標題 Electrical transport measurement on van der Waals magnet (Fe _{1-x} Co _x) ₅ GeTe ₂
3 . 学会等名 24th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces (ICMFS-2022) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 M. Tokuda, M. Nakao, M. Watanabe, R. Nakamura, M. Maeda, S.-H. Lee, D. Yue, K. Aoyama, T. Mizushima, X.-F. Jin, K. Kobayashi, and Y. Niimi
2 . 発表標題 Observation of Little-Parks oscillations in Bi/Ni bilayer film
3 . 学会等名 29th International Conference on Low Temperature Physics (LT29) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 R. Nakamura, M. Tokuda, M. Watanabe, M. Maeda, M. Nakajima, and Y. Niimi
2 . 発表標題 Thickness-induced crossover from strong to weak collective pinning in exfoliated FeTe _{0.6} Se _{0.4} thin films at 1 T
3 . 学会等名 29th International Conference on Low Temperature Physics (LT29) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 M. Maeda, M. Tokuda, R. Nakamura, K. Takaki, K. Kudo, and Y. Niimi
2 . 発表標題 Superconducting properties in Se-doped PtBi ₂ thin films
3 . 学会等名 29th International Conference on Low Temperature Physics (LT29) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 M. Tokuda, M. Nakao, M. Watanabe, R. Nakamura, M. Maeda, S.-H. Lee, D. Yue, K. Aoyama, T. Mizushima, X.-F. Jin, K. Kobayashi, and Y. Niimi
2 . 発表標題 Observation of Little-Parks oscillations in Bi/Ni bilayer film
3 . 学会等名 International workshop on superconducting spintronics (Superconducting spintronics 2022) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 新見 康洋
2. 発表標題 スピン流を用いたスピン液晶の磁化制御
3. 学会等名 新学術領域研究「量子液晶の物性科学」第2期公募研究キックオフミーティング（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 新見 康洋
2. 発表標題 新しい原子層磁性体の開拓とそのスピン物性
3. 学会等名 第50回 薄膜・表面物理セミナー（2022）「二次元磁性体研究の最前線」（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 浅間 遼太郎、渡邊 杜、佐々木 竜晟、中村 瞭弥、蔣 男、吉田 紘行、新見 康洋
2. 発表標題 量子スピン三角格子反強磁性体Ag ₂ CoO ₂ 薄膜におけるホール効果
3. 学会等名 日本物理学会2022 年秋季大会（物性）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 前田 将輝、徳田 将志、中村 瞭弥、渡邊 杜、蔣 男、高木 健輔、工藤 一貴、新見 康洋
2. 発表標題 SeドーパPtBi ₂ 薄膜超伝導の上部臨界磁場測定
3. 学会等名 日本物理学会2022 年秋季大会（物性）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 徳田 将志、中村 瞭弥、前田 将輝、新見 康洋
2. 発表標題 マイクロブリッジ型Nbリング素子における抵抗の高次高調波振動
3. 学会等名 日本物理学会2022 年秋季大会（物性）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 M. Watanabe, R. Asama, M. Tokuda, S. Suzuki, H. Ishizuka, H. K. Yoshida, and Y. Niimi
2. 発表標題 Observation of higher-order spin fluctuations in triangular antiferromagnet Ag ₂ CrO ₂ thin films
3. 学会等名 令和4年度 新学術領域研究「量子液晶の物性科学」領域研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中村 瞭弥、徳田 将志、渡邊 杜、前田 将輝、中島 正道、新見 康洋
2. 発表標題 FeTe _{0.6} Se _{0.4} 薄膜素子における磁束ピン留め機構のクロスオーバー
3. 学会等名 第28回 渦糸物理ワークショップ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 前田 将輝、徳田 将志、中村 瞭弥、渡邊 杜、蔣 男、高木 健輔、工藤 一貴、新見 康洋
2. 発表標題 SeドープPtBi ₂ 薄膜超伝導の上部臨界磁場測定
3. 学会等名 第28回 渦糸物理ワークショップ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤原 浩司、中村 瞭弥、渡邊 杜、新見 康洋
2. 発表標題 表面弾性波照射によるNbSe ₃ 薄膜のCDWダイナミクスの変調
3. 学会等名 第28回 渦糸物理ワークショップ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松本 史弥、徳田 将志、浅間 遼太郎、中村 瞭弥、蔣男、Yue Di、Jin Xiao-Feng、新見 康洋
2. 発表標題 Bi/Ni薄膜超伝導体を用いたスピン輸送素子作製の試み
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 (Spin-RNJ) 2022年度報告会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山口 優陽、大星 和毅、中村 瞭弥、蔣 男、新見 康洋
2. 発表標題 グラフェン/Nbヘテロ接合におけるスピン流-電流変換
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 (Spin-RNJ) 2022年度報告会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 太田 智陽、黒川 開斗、山神 光平、岡田 佳憲、新見 康洋
2. 発表標題 原子層磁性体(Fe _{1-x} Cox)5GeTe ₂ におけるスピントロニック転移に由来した磁気ヒステリシスの観測
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐々木孝晟、鈴木将太、乾皓人、島本雄介、高阪勇輔、戸川欣彦、新見康洋
2. 発表標題 カイラル磁性体CrNb ₃ S ₆ 薄膜におけるスピン拡散長導出の試み
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 中村瞭弥、渡邊杜、徳田将志、前田将輝、中島正道、新見康洋
2. 発表標題 FeTe _{0.6} Se _{0.4} 薄膜素子の磁束ピン留め機構の評価
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 徳田将志、中尾舞、渡邊杜、中村瞭弥、前田将輝、Sanghyun Lee、Yue Di、青山和司、水島健、Jin Xiao-Feng、小林研介、新見康洋
2. 発表標題 Bi/Ni薄膜におけるLittle-Parks振動の観測
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 藤原浩司、岩切秀一、中村瞭弥、横井雅彦、渡邊杜、小林研介、新見康洋
2. 発表標題 NbSe ₃ 薄膜における電荷密度波転移の膜厚依存性
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 黒川開斗、太田智陽、鈴木将太、新見康洋
2. 発表標題 磁性トポロジカル絶縁体MnSb ₂ Te ₄ 薄膜におけるゲート変調の試み
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 新見康洋
2. 発表標題 スピン流で観るスピンゆらぎ
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 (Spin-RNJ) 2021年度報告会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 浅間遼太郎、渡邊杜、佐々木壱晟、中村瞭弥、吉田紘行、新見康洋
2. 発表標題 量子スピン三角格子反強磁性体Ag ₂ CoO ₂ 薄膜における磁気伝導特性
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 黒川開斗、太田智陽、山神光平、岡田佳憲、新見康洋
2. 発表標題 原子層磁性体 (Fe _{1-x} Co _x) ₅ -GeTe ₂ における電気輸送測定
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 太田智陽、中村瞭弥、徳田将志、島本雄介、高阪勇輔、戸川欣彦、新見康洋
2. 発表標題 カイラル磁性体を用いたジョセフソン接合素子作製の試み
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 藤原浩司、中村瞭弥、渡邊杜、新見康洋
2. 発表標題 表面弾性波照射によるNbSe ₃ 薄膜における電荷密度波特性の変調
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 徳田将志、中尾舞、渡邊杜、中村瞭弥、前田将輝、Sanghyun Lee、Yue Di、青山和司、水島健、Jin Xiao-Feng、小林研介、新見康洋
2. 発表標題 Bi/Ni薄膜の超伝導秩序変数
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 前田将輝、徳田将志、中村瞭弥、高木健輔、工藤一貴、新見康洋
2. 発表標題 SeドーパPtBi ₂ 薄膜の超伝導特性
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 Mori Watanabe, Ryotaro Asama, Masashi Tokuda, Shota Suzuki, Hiroyuki Yoshida, Yasuhiro Niimi
2. 発表標題 Magnetotransport measurements in triangular antiferromagnet Ag ₂ CrO ₂ thin films up to 8 T
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 M. Watanabe, S.-H. Lee, T. Asano, T. Ibe, M. Tokuda, H. Taniguchi, D.Ueta, Y. Okada, K. Kobayashi, and Y. Niimi
2. 発表標題 Coexistence of Quantum Oscillation and Magnetic Hysteresis in CeTe ₃ Thin Films
3. 学会等名 65th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Ohta, K. Sakai, H. Taniguchi, B. Driesen, Y. Okada, K. Kobayashi, and Y. Niimi
2. 発表標題 Enhancement of Coercive Field in van der Waals Ferromagnet Fe ₅ GeTe ₂
3. 学会等名 65th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 太田智陽、坂井康介、谷口祐紀、Benjamin Driesen、岡田佳憲、小林研介、新見康洋
2. 発表標題 ファンデルワールス強磁性金属Fe ₅ GeTe ₂ における垂直磁気異方性の評価
3. 学会等名 Spin-RNJ若手オンライン研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 新見康洋
2. 発表標題 ナノメートルの世界の物理
3. 学会等名 大阪大学理学部能動性懇談会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 新見康洋
2. 発表標題 新奇ナノスケール物性の開拓とスピン流物理の学理の構築
3. 学会等名 物性研究所ワークショップ「ナノスケール物性科学の最先端と新展開」（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 太田智陽、坂井康介、谷口祐紀、Benjamin Driesen、岡田佳憲、小林研介、新見康洋
2. 発表標題 ファンデルワールス強磁性金属Fe ₅ GeTe ₂ における垂直磁気異方性の評価
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐々木壱晟、太田智陽、川原遼馬、谷口祐紀、荒川智紀、乾皓人、島本雄介、高阪勇輔、戸川欣彦、小林研介、新見康洋
2. 発表標題 カイラル磁性体CrNb ₃ S ₆ 薄膜における逆スピンホール効果の観測
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩切秀一、杉本聡志、大湊友也、加藤岳生、松尾衛、新見康洋、葛西伸哉、小林研介
2. 発表標題 磁気トンネル接合における非線形輸送
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 荒川智紀、新見康洋
2. 発表標題 円偏波空洞共振器を用いた動的伝導度測定による量子ホール効果の研究
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤原浩司、岩切秀一、横井雅彦、渡邊杜、小林研介、新見康洋
2. 発表標題 NbSe ₃ 薄膜における電荷密度波スライディング特性
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 花田尚輝、岩切秀一、浅野拓也、松井朋裕、福山寛、小林研介、新見康洋
2. 発表標題 エッチンググラフェンにおける弱局在効果の増幅
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 徳田将志、中尾舞、岩切秀一、Yue Di、Jin Xiao-Feng、小林研介、新見康洋
2. 発表標題 Bi/Ni超伝導薄膜のパラ伝導度の解析
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中尾舞、徳田将志、Yue Di、Jin Xiao-Feng、小林研介、新見康洋
2. 発表標題 Bi/Ni超伝導薄膜の上部臨界磁場の解析
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 新見康洋
2. 発表標題 Switching of the phase of supercurrent in a chiral superconductor Bi/Ni ring
3. 学会等名 名古屋大学・大学院工学研究科・応用物理学専攻・量子理工学講座・物性基礎工学研究グループ・セミナー（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 新見康洋
2. 発表標題 原子層ナノデバイス
3. 学会等名 第25回半導体におけるスピン工学の基礎と応用（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 新見康洋
2. 発表標題 スピン流を用いた微小磁性体における磁気ゆらぎの検出
3. 学会等名 第10回酸化物研究の新機軸に向けた学際討論会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 新見康洋
2. 発表標題 新しい原子層磁性体の開拓とそのスピン物性
3. 学会等名 第68回化合物新磁性材料専門研究会「低次元カルコゲナイドの新機能・物性・デバイス 研究」（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩切秀一、杉本聡志、新見康洋、葛西伸哉、小林研介
2. 発表標題 金属超薄膜における電場侵入効果
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木将太、佐々木壱晟、太田智陽、川原遼馬、谷口祐紀、荒川智紀、乾皓人、島本雄介、高阪勇輔、戸川欣彦、小林研介、新見康洋
2. 発表標題 カイラル磁性体CrNb ₃ S ₆ 薄膜におけるスピン輸送測定
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 太田智陽、藤原浩司、大星和毅、山神光平、岡田佳憲、小林研介、新見康洋
2. 発表標題 原子層強磁性体/超伝導体ヘテロ接合における輸送特性
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村瞭弥、渡邊杜、徳田将志、坂井康介、中島正道、小林研介、新見康洋
2. 発表標題 FeTe _{0.6} Se _{0.4} 薄膜素子の輸送特性
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 徳田将志、中尾舞、渡邊杜、S.-H. Lee、中村瞭弥、Yue Di、Jin Xiao-Feng、小林研介、新見康洋
2. 発表標題 Bi/Ni超伝導薄膜の上部臨界磁場測定2
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大星和毅、花田尚輝、岩切秀一、松井朋裕、福山寛、小林研介、新見康洋
2. 発表標題 グラフェンアンチドット格子における弱局在効果の変調
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 勝村亮太、太田智陽、坂井康介、鈴木将太、小林研介、新見康洋
2. 発表標題 磁性トポロジカル絶縁体MnSb ₂ Te ₄ 薄膜における輸送特性
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

原子層超伝導体に振動外場を加えて負の抵抗が実現！ 新しい超伝導デバイスへの道
<https://www.sci.osaka-u.ac.jp/ja/topics/8683/>

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

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------