

令和 5 年 5 月 29 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K20891

研究課題名(和文) マイクロ波顕微鏡を用いた単一磁束量子ダイナミクスの実時間計測

研究課題名(英文) Real time observation of vortex dynamics using microwave microscope

研究代表者

前田 京剛 (Maeda, Atsutaka)

東京大学・大学院総合文化研究科・教授

研究者番号：70183605

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は超伝導体磁束量子の運動による散逸過程の解明を目的とした。コロナ禍、ロシアの軍事侵攻による液体Heの入手困難化等により、当初目的の達成はならなかったが以下を得た。(1)液体He中稼働のAFM型マイクロ波顕微鏡を作製した。(2)時間依存のGL方程式により孤立量子渦のフロー状態での駆動力を求め、その起源を明らかにした。(3)量子効果の期待されるクリーンなコアの超伝導体でマイクロ波フラックスフローホール効果を測定した(装置も独自開発)。銅酸化物高温超伝導体では予想通り、大きなホール角が得られたが、鉄系超伝導体FeSeでは、多バンド超伝導体の新効果として非常に小さなホール角を発見した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、摩擦によるエネルギー損失の減少を大目標とし、界面摩擦と同じダイナミクスに従う超伝導体磁束量子格子をモデル系として利用して問題攻略の糸口を探るのを大目的としている。従って、超伝導体磁束量子が運動することによる複雑なエネルギー機構を解明することができれば、より一般的に摩擦によるエネルギー損失の減少につなげることが可能である。

研究成果の概要(英文)：This project aims to clarify the complicated mechanism of the energy dissipation by the driven vortices of superconductors. Because of the Covid-19 issue and the shortage of liquid He caused by the Russian invasion, we have not yet achieved the initial purpose. The achievements are as follows. (1) We have fabricated the AFM-type scanning microwave microscope which works at liquid helium temperature. (2) Using time dependent GL equation, we obtained the driving force acting on a moving vortex and clarified its origin. (3) We developed the microwave Hall effect measurement system for highly conductive materials and investigated the microwave flux-flow Hall effect of high-Tc cuprates and FeSe, all of which are expected to have quantum clean vortex cores. In cuprates, we observed large Hall angles as is theoretically expected. On the other hand, in FeSe, the Hall angle is small because of the cancelation by two different bands. This is a novel phenomenon of a multiband superconductor.

研究分野：固体物理学

キーワード：マイクロ波顕微鏡 フラックスフロー ホール効果 鉄カルコゲナイド BdG方程式 銅酸化物高温超伝導体

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。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

GDPの数パーセントにもなるという摩擦現象によるエネルギー損失を減らすことは、人類の永遠の課題である。その為には、動摩擦の様々な速度依存性を、微視的エネルギー散逸の機構と対応づけて理解することが鍵となる。これは非常に困難な課題だが、界面摩擦と同じ運動方程式をもつ超伝導体磁束量子 $\phi_0 = h/2e$ 格子のダイナミクスはこの為の絶好のモデル系であり[1]、これを用いて上記重要未解決問題攻略の糸口を探るのが、本研究の大目的である。その為には、磁束量子が運動している状態でも、欠陥等のランダムな不完全性と相互作用し、更に、磁束量子同士の相互作用を通じて引き起こされる複雑な過程のエネルギー散逸(動的ピン止め)の詳細を理解しなければならない(現状、全く達成されていない)。もし、駆動された磁束量子一本がピン止め中心と相互作用して不規則な運動をする様子、その変化が周辺の磁束量子に散逸する様子を克明に記録できれば、エネルギー散逸過程の全貌が正確に理解できる。

2. 研究の目的

本研究は、磁束量子一本のダイナミクスを分解検出できるプローブを用いて、動的ピン止めを受けながら運動する磁束量子一本から数本により引き起こされる周辺の電流分布の変化を実時間観測することで、それを主に実験的に実現することを当初の目的としてスタートした。しかし、研究開始時点で、Covid-19 禍最中にあり、研究の進捗は常に遅れ気味であり、研究期間を当初予定の2年間から3年間に延長した。

3. 研究の方法

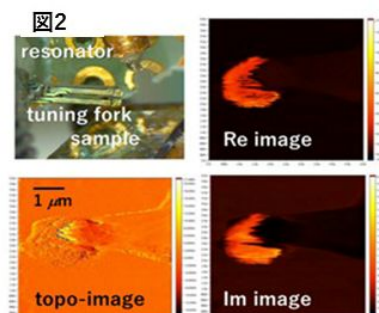
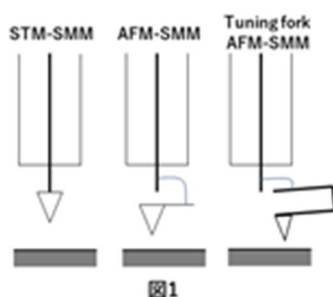
1) 本研究では、磁束量子一本の運動を検出する手段として、自ら開発したマイクロ波顕微鏡を用いる[2]。マイクロ波顕微鏡は、空間分解能 100nm 程度で、試料の局所的なマイクロ波複素伝導度を測定できる。これを空間的に走査するのではなく、ピン止め中心の位置に止めて、その下を磁束量子を運動させ、顕微鏡の共振周波数における透過パワーを時間の関数として追跡し、そのスペクトルを求める。共鳴の高次モードの利用で、スペクトルのマイクロ波周波数依存性も測定できる。磁場 B を変化させて、様々な磁束量子の間隔 ϕ_0/B に対してのデータを揃えることで、動的ピン止めを受けながら運動する磁束量子のダイナミクスの詳細なデータが得られる。また、顕微鏡の針の曲率を変化させて空間分解能をより粗くすることで、さらに多くの磁束量子が関与する過程について、同様のデータを取得することができる。これと、数値シミュレーションで求めた磁束の運動による速度ゆらぎのパワースペクトルを突き合わせ、比較結果をシミュレーションに現れるピン止めポテンシャルの形、強さ等にフィードバックする。このように、本研究では、実験・理論が車の両輪のようにともに重要な役割を演じる。そして、このようなコラボレーションにより、動的ピン止めを受ける磁束量子の運動のゆらぎがどのように周辺の磁束量子へと散逸してゆくのか、その正確な過程の全貌の理解が達成される。物質としては、比較的ピン止めが弱く磁束量子を動かしやすい、銅酸化物高温超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ (BSCCO) でスタートし、後に、Nb 等の動的ピン止めの状況が異なる超伝導体も対象とすることで、得られた知見の普遍性を検証する。ただし、マイクロ波顕微鏡は、絶縁体に対しても働くように、既に製作した STM タイプのもの[2]ではなく、カンチレバー付きの AFM タイプのものに改造する。

2) 以下で述べるような事情から、AFM タイプのマイクロ波顕微鏡完成後の稼働に対して、不可抗力的な制約が加わってしまったため、これらのプロジェクトと並行して進めていた、マイクロ波ホール効果測定による磁束量子の動的散逸の研究にも注力した。

3) これらの実験結果の解釈を助けるべく、ボゴリューボフ・ドジャン(BdG)方程式による磁束量子のダイナミクスの理論研究も行った。

4. 研究成果

1) マイクロ波顕微鏡の改造:
以前 STM タイプのものを制作したが[2]、広いインピーダンス範囲で安定した動作ができる tuning fork を用いた AFM タイプの顕微鏡への改造を行い(図 1,2)、液体ヘリウム中で、トポ像、複素応答の実部および虚部のマッピングが可能になった(図 2)。



2) このように、マイクロ波顕微鏡が完成したのとほぼ同時に、ロシアによるウクライナ侵攻が発生し、その後ヘリウムガス、液体ヘリウムの入手が困難になり、液体ヘリウムを大量に消費する本装置の稼働が実質的に不可能になってしまった。そこでやむなく、マクロな手法で磁束量子の運動によるエネルギー散逸を議論できる新たな方法として注目されるマイクロ波によるフラックスフローのホール効果測定の研究に主なエネルギーがシフトすることになった。フラック

スフローによるホール効果は超伝導転移温度 T_c の近傍ではしばしば直流電気抵抗の測定により議論されてきたが、かなり高温でもピン止めの影響がホール効果の真の姿を隠してしまうことが知られており[3]、マイクロ波による測定が不可欠である。しかるに、これまで伝導度の高い物質では、寒剤中でのマイクロ波によるホール効果測定に成功した例は皆無であった。本研究では、伝導度の高い物質（含超伝導体）において、マイクロ波でホール効果を測定できる手法を開発し、装置も完成させた[4](図3,4)。

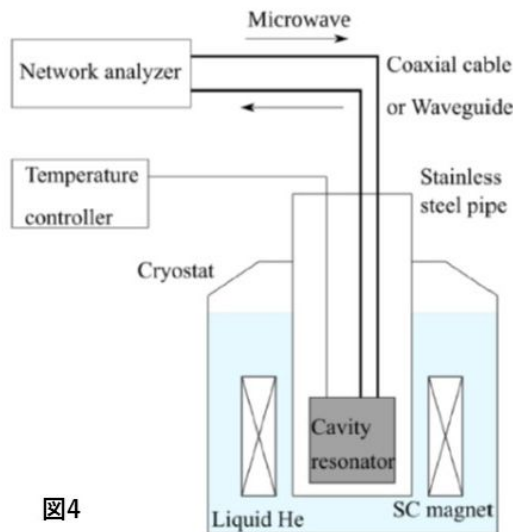
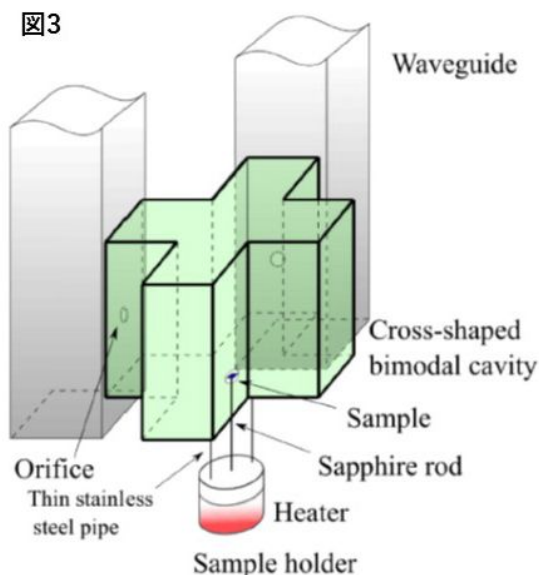


図4

3) 同装置を用いて、磁束渦糸コアがクリーンである（量子効果が期待できる）と考えられる超伝導体、具体的には銅酸化物高温超伝導体 YBCO ならびに BSCCO[5]、鉄系超伝導体 FeSe[6]において、フラックスフローによるホール効果を初めて測定することに成功した。(a)銅酸化物高温超伝導体においては、低温でホール角が1 - 3と、従前の実効粘性係数測定から求められていた値[7,8]よりも一桁程大きな値が得られ、理論的に予想された値により近い結果が得られた(図5)。一方で、なぜ、実効粘性係数測定ではそれよりも一桁小さい値が得られるのかということは別の新たな問題であり、現時点で明確な理解には至っていないが、磁束量子が運動するときの粘性係数の非線形性、これまで知られていない、新たな散逸の機構の存在などが候補として考えられている。

(b)鉄系超伝導体 FeSe では、銅酸化物超伝導体とは対照的に、得られたホール角は、従前の実効粘性係数測定から得られていた値[9]と同等もしくはむしろ小さいという結果となった(図6)。これは同物質が電子バンドとホールバンドの両方が寄与する多バンド超伝導体であり、運動する磁束量子に働く力が、電子バンドからの寄与とホールバンドからの寄与で相殺することの帰結と理解された。このように、FeSe においては、多バンド超伝導体の磁束量子のフローにおいて、新しい効果が発見することができた。

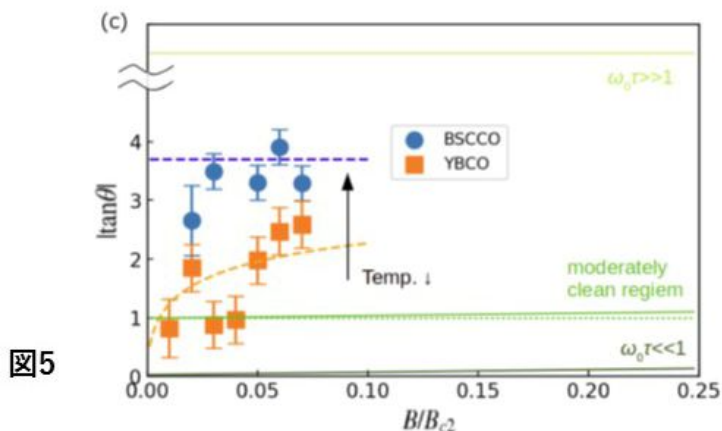
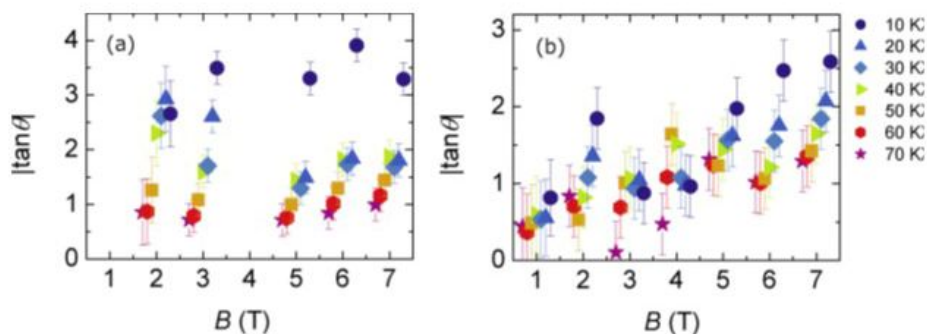


図5

が、電子バンドからの寄与とホールバンドからの寄与で相殺することの帰結と理解された。このように、FeSe においては、多バンド超伝導体の磁束量子のフローにおいて、新しい効果が発見することができた。

4) 時間依存の GL 方程式により孤立量子渦のフロー状態での駆動力を求め、その起源を明らかにした。とくに3次元系における Abrikosov 量子渦だけでなく2次元系の Pearl 量子渦についても駆動力の起源と流体力と電磁気学的な力に基づき考察した。磁場侵入長が、それよりも桁違いに長い Pearl 長で置き換えられる Pearl 量子渦についても電磁気学的な力の寄与は有意であることを示した。また孤立量子渦にかかる駆動力の起源に関して、Squid 顕微鏡を用いた検証法を提案した。

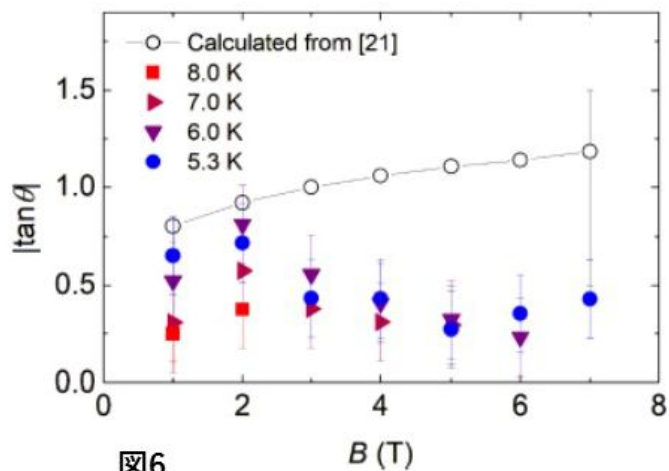


図6

< 引用文献 >

- [1] A. Maeda *et al.*: Phys. Rev. Lett. 94(2005)077001/1-4.
- [2] H. Takahashi, Y. Imai, and A. Maeda: Rev. Sci. Inst. 87 (2016) 063706/1-6.
- [3] R. Ogawa *et al.*: J. Phys. Conf. Ser. 1054 (2018) 012021/1-7.
- [4] R. Ogawa *et al.*: J. Appl. Phys. 129 (2021) 015102/1-14.
- [5] R. Ogawa *et al.*: Phys. Rev. B104 (2021) L020503/1-6.
- [6] R. Ogawa, F. Nabeshima and A. Maeda: J. Phys. Soc. Jpn. 92 (2023) 064707/1-5.
- [7] Y. Tsuchiya *et al.*: Phys. Rev. B63 (2001) 184517/1-9.
- [8] A. Maeda *et al.*: J. Phys. Soc. Jpn. 76 (2007) 094708/1-11.
- [9] T. Okada *et al.*: J. Phys. Soc. Jpn. 90 (2021) 094704/1-7.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Ogawa, R., Nabeshima, F., Nishizaki, T., Maeda, A.	4. 巻 104
2. 論文標題 Large Hall angle of vortex motion in high- T_c cuprate superconductors revealed by microwave flux-flow Hall effect	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L020503/1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.104.L020503	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 Sugai, S., Kurosawa, N., Kato, Y.	4. 巻 104
2. 論文標題 Driving force on flowing quantum vortices in type-II superconductors with finite Ginzburg-Landau parameter	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 064516/1-20
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.104.064516	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 Taira, T., Kato, Y., Ichioka, M., Adachi, H.	4. 巻 103
2. 論文標題 Spin Hall effect generated by fluctuating vortices in type-II superconductors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 134417/1-12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.103.134417	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 Okada, T., Imai, Y., Kitagawa, K., Matsubayashi, K., Nakajima, M., Iyo, A., Uwatoko, Y., Eisaki, H., Maeda, A.	4. 巻 10
2. 論文標題 Superconducting-Gap Anisotropy of Iron Pnictides Investigated via Combinatorial Microwave Measurements	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-020-63304-0	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 Nabeshima, F., Ishikawa, T., Shikama, N., Maeda, A.	4. 巻 101
2. 論文標題 Correlation between superconducting transition temperatures and carrier densities in Te- and S-substituted FeSe thin films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 184517/1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.184517	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 Kurokawa H., Kinoshita Y., Nabeshima F., Tokunaga M., Maeda A.	4. 巻 116
2. 論文標題 Dynamic evolution of flux distributions in a pulse-driven superconductor by high-speed magneto-optical imaging	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 262601 ~ 262601
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0015113	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 Shikama, Naoki., Sakishita, Y., Nabeshima, F., Katayama, Y., Ueno, K., Maeda, A.	4. 巻 13
2. 論文標題 Enhancement of superconducting transition temperature in electrochemically etched FeSe/LaAlO ₃ films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 083006 ~ 083006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/aba649	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 Shikama, N., Sakishita, Y., Nabeshima, F., Maeda, A.	4. 巻 1590
2. 論文標題 Chemical pressure effect of the electron-doped FeSe films with an electric double-layer-transistor structure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012012 ~ 012012
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1590/1/012012	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 Ogawa, R., Okada, T., Takahashi, H., Nabeshima, F., Maeda, A.	4. 巻 129
2. 論文標題 Microwave Hall effect measurement for materials in the skin depth region	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 015102 - 015102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0033777	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 Maeda, A.	4. 巻 66
2. 論文標題 Volatile and non-volatile superconductivity in cuprate by ionic liquid gating opens novel roads for superconductivity research	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science Bulletin	6. 最初と最後の頁 1 - 2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scib.2020.10.007	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 Nakayama, K., Tsubono, R., Phan, G. N., Nabeshima, F., Shikama, N., Ishikawa, T., Sakishita, Y., Ideta, S., Tanaka, K., Maeda, A., Takahashi, T., Sato, T.	4. 巻 3
2. 論文標題 Orbital mixing at the onset of high-temperature superconductivity in FeSe _{1-x} Te _x /CaF ₂	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.3.L012007	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 Konno, T., Kurokawa, H., Nabeshima, F., Sakishita, Y., Ogawa, R., Hosako, I., Maeda, A.	4. 巻 103
2. 論文標題 Deep learning model for finding new superconductors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 014509/1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.014509	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 Okada, T., Imai, Y., Urata, T., Tanabe, Y., Tanigaki, K., Maeda, A.	4. 巻 90
2. 論文標題 Electronic States and Energy Dissipations of Vortex Core in Pure FeSe Single Crystals Investigated by Microwave Surface Impedance Measurements	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Phys. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 094704/1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.90.094704	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 Ogawa, R., Nabeshima, F., Maeda, A.	4. 巻 92
2. 論文標題 Microwave flux-flow Hall effect in a multi-band superconductor FeSe	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 J. Phys. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 064707/1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.48550/arXiv.2212.00645	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 Watanabe, A., Adachi, H., Kato, Y.	4. 巻 106
2. 論文標題 Fluctuation contribution to Spin Hall Effect in Superconductors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 104504/1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.106.104504	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 Heyl, M., Adachi, K., Itahashi, Y. M., Nakagawa, Y., Kasahara, Y., List-Kratochvil, E. J. W., Kato, Y., Iwasa, Y.	4. 巻 13
2. 論文標題 Vortex dynamics in the two-dimensional BCS-BEC crossover	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 6986/1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-022-34756-x	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30件(うち招待講演 0件/うち国際学会 11件)

1. 発表者名 小川亮, 鍋島冬樹, 前田京剛
2. 発表標題 鉄系超伝導体FeSeにおけるフラックスフローHall効果
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会(オンライン開催) 21aF1-8
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryo Ogawa, Fuyuki Nabeshima, Terukazu Nishizaki, Atsutaka Maeda
2. 発表標題 Investigation of the nature of the quasiparticles state in the vortex core by means of the flux-flow Hall effect measurements
3. 学会等名 ISS 2021 PC5-3 (Dec. 1, 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平拓也, 加藤雄介, 市岡優典, 安立裕人
2. 発表標題 Vortexスピンホール効果とその実験的検出方法
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会(オンライン開催) 21aC2-5
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 足立景亮, 加藤雄介, Max Heyl, 岩佐義宏
2. 発表標題 BCS-BECクロスオーバー領域における渦糸のホール効果:理論
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会(オンライン開催) 21aF1-11
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 滝澤 和輝、岡田 達典、淡路 智、色摩 直樹、鍋島 冬樹、前田 京剛、一瀬 中、中岡 晃一、和泉 輝郎
2. 発表標題 中間層最表面にCaF ₂ を用いた FeSe _{1-x} Tex コート線材の臨界電流特性
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 色摩 直樹、崎下 雄稀、鍋島 冬樹、片山 裕美子、上野 和紀、前田 京剛
2. 発表標題 電子ドープFeSe/LaAlO ₃ 薄膜における超伝導特性のゲート電圧依存性
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 黒川 穂高、木下 雄斗、鍋島 冬樹、徳永 将史、前田 京剛
2. 発表標題 高速磁気光学イメージングによるパルス電流駆動力下の磁束量子ダイナミクスの観測
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鍋島 冬樹、黒川 穂高、中村 奏太、色摩 直樹、崎下 雄稀、小林 友輝、孫 悦、北野 晴久、前田 京剛
2. 発表標題 Fe(Se,Te)薄膜の磁場侵入長の組成依存性
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 磯山和基, 吉川尚孝, 勝見恒太, Jeremy Wong, 色摩直樹, 崎下雄稀, 鍋島冬樹, 前田京剛, 島野亮
2. 発表標題 鉄系超伝導体FeSe _{0.5} Te _{0.5} における光誘起超伝導増強
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 小川亮, 鍋島冬樹, 西寄照和, 前田京剛
2. 発表標題 高温超伝導体におけるマイクロ波フラックスフローHall効果
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 黒川穂高, 中村奏太, 趙嘉輝, 色摩直樹, 崎下雄斗, 孫悦, 鍋島冬樹, 北野晴久, 前田京剛
2. 発表標題 Fe(Se, Te)薄膜の複素電気伝導度の組成依存性
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 中山耕輔, 坪野竜治, 大和田健太, 鍋島冬樹, 色摩直樹, 石川智也, 崎下雄稀, 前田京剛, 高橋隆, 佐藤宇史
2. 発表標題 Fe(Se, Te)高温超伝導薄膜の高分解能ARPES
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 色摩直樹, 崎下雄稀, 鍋島冬樹, 片山裕美子, 上野和紀, 前田京剛
2. 発表標題 低ゲート電圧で電気化学的エッチングしたFeSe薄膜におけるTczeroの増大
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 鍋島冬樹, 河合優茉, 色摩直樹, 崎下雄稀, A. Suter, パクサンウン, 小宮世紀, 一瀬中, 足立匡, 前田京剛
2. 発表標題 高濃度S置換Fe(Se, S)薄膜における磁気秩序
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 Hodaka Kurokawa, Sota Nakamura, Jiahui Zhao, Naoki Shikama, Yuki Sakishita, Yue Sun, Fuyuki Nabesima, Yoshinori Imai, Haruhisa Kitano, Atsutaka Maeda
2. 発表標題 Complex conductivity of FeSe _{1-x} Tex (x = 0.1-0.5) film
3. 学会等名 33rd International Symposium on Superconductivity (ISS 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Naoki Shikama, Yuki Sakishita, Fuyuki Nabeshima, Yumiko Katayama, Kazunori Ueno, Atsutaka Maeda
2. 発表標題 Enhancement of superconducting transition temperature in electrochemically etched FeSe/LaAlO ₃ films
3. 学会等名 American Physical Society March Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hodaka Kurokawa, Sota Nakamura, Zhao Jiahui, Naoki Shikama, Yuki Sakishita, Yue Sun, Fuyuki Nabeshima, Yoshinori Imai, Haruhisa Kitano, Atsutaka Maeda
2. 発表標題 Complex conductivity of the FeSe _{1-x} Te _x films
3. 学会等名 American Physical Society March Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Fuyuki Nabeshima, Yuma Kawai, Naoki Shikama, Yuki Sakishita, Andreas Suter, Sang Eun Park, Tadashi Adachi, Atsutaka Maeda
2. 発表標題 Sulfur-induced magnetism in iron-chalcogenide thin films
3. 学会等名 American Physical Society March Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 趙嘉輝, 黒川穂高, 小林友輝, 崎下雄稀, 色摩直樹, 鍋島冬樹, 前田京剛
2. 発表標題 空洞共振器による鉄カルコゲナイド薄膜の複素伝導度測定
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 鍋島冬樹, 色摩直樹, 小林友輝, 崎下雄稀, 前田京剛
2. 発表標題 Fe(Se,S)薄膜における磁気秩序の歪依存性
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 黒川穂高, 鍋島冬樹, 前田京剛
2. 発表標題 第一原理計算によるネマティック相と非ネマティック相におけるFe(Se,Te)のバンド分散の評価
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 黒川 穂高、木下 雄斗、鍋島 冬樹、徳永 将史、前田 京剛
2. 発表標題 高速磁気光学イメージングによる パルス電流駆動力下の磁束量子ダイナミクスの観測
3. 学会等名 2021年第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 滝澤和輝、岡田 達典、淡路 智、色摩 直樹、鍋島 冬樹、前田 京剛、中岡 晃一、和泉 輝郎
2. 発表標題 FeSe _{1-x} Te _x コート線材における臨界温度の一軸ひずみ依存性
3. 学会等名 2021年第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鍋島 冬樹、河合 優茉、色摩 直樹、崎下 雄稀、Suter Andreas、Prokscha Thomas、パク サンウン、小宮 世紀、一瀬 中、足立 匡、前田 京剛
2. 発表標題 高濃度S置換Fe(Se,S)薄膜における磁気秩序の観測
3. 学会等名 2021年第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Max Heyl, Kyosuke Adachi, Yusuke Kato, Emil List-Kratochvil, Yoshihiro Iwasa
2. 発表標題 Vortex Hall effect in the BCS-BEC crossover: Experiment
3. 学会等名 APS March Meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Max Heyl, Kyosuke Adachi, Yusuke Kato, Emil List-Kratochvil, Yoshihiro Iwasa
2. 発表標題 Vortex Hall effect in the BCS-BEC crossover: Theory
3. 学会等名 APS March Meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 H. Adachi, T. Taira, Y. Yamamoto, Y. Kato, and M. Ichioka
2. 発表標題 Spin transport using antiferromagnetic magnons and superconducting vortices
3. 学会等名 Spin Caloritronics XI (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takuya Taira, Yusuke Kato, Masanori Ichioka, and Hiroto Adachi
2. 発表標題 Spin Hall effect in the superconducting vortex state
3. 学会等名 LT29 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuta Suzuki and Yusuke Kato
2. 発表標題 Spin Polarization, Spin Diffusion, and Spin-Charge conversion in Chiral Metals
3. 学会等名 LT29 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroto Adachi, Takuya Taira, Yusuke Kato, and Masanori Ichioka
2. 発表標題 Moving spins by superconducting vortices
3. 学会等名 Superconducting Spintronics 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

前田研究室HP https://sites.google.com/g.ecc.u-tokyo.ac.jp/maedalab/ 加藤研究室HP http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/kato-yusuke-lab/
--

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	加藤 雄介 (Kato Yusuke) (20261547)	東京大学・大学院総合文化研究科・教授 (12601)	

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	小川亮 (Ogawa Ryo)	東京大学・大学院総合文化研究科・助教 (12601)	

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