

物性研だより

BUSSEIKEN DAYORI

第64巻

第3号

2024年度

熱平衡下における超高速磁化揺らぎの観測に成功
—超高速な乱雑現象の解明に向けた新手法を開発—

多彩なトポロジカルスピン構造を伴う新物質の発見
—トポロジカル数のスイッチングを実証—

反強磁性ワイル半金属ナノ細線の磁気イメージング
—簡易的・高空間分解能の新手法を用いて—

室温で反強磁性磁壁の高速電流駆動を実証
—超高速かつ低消費電力での磁気シフトレジスタの実現へ道—

非磁性キラル絶縁体における熱伝導誘起スピン流生成の理論

日本で唯一のプラチナ系砂白金鉬床と、新鉬物・不知火鉬の発見

DUVレーザーで半導体基板に世界最小の穴あけ加工を実現
—4法人で半導体後工程技術を開発—

(a) SPIN FLUCTUATIONS

| | local in q-space | local in real space | |
|-----------|--|-----------------------|------------------|
| small | Weakly Ferromagnetic(a) & Antiferromagnetic(b) Limit | | |
| Amplitude | MnSi | | |
| | Au ₄ V | α-Mn | |
| | Cr | CrB ₂ | |
| | γ-Mn | MnP | CoS ₂ |
| | Ni | Co | Fe |
| saturated | | Local Moment Limit(c) | |

(a) Sc₃In, ZrZn₂, Ni₃Al, Fe₅Co₅Si, Ni₄₃Pt₅₇, etc...

(b) β-Mn, V₃Se₄, V₃S₄, V₅Se₈, etc...

(c) Magnetic Insulator Compounds, 4f-Metals, Heusler Alloys.



東京大学 物性研究所

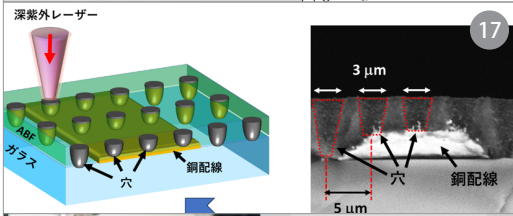
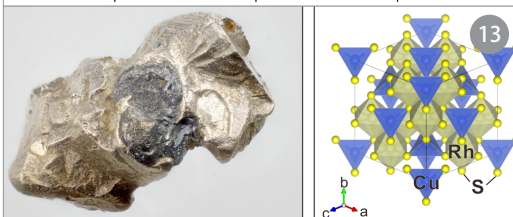
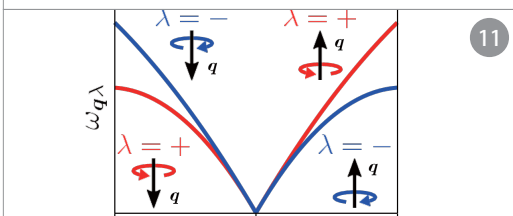
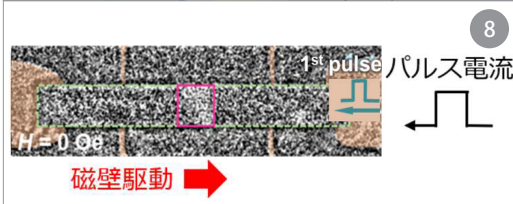
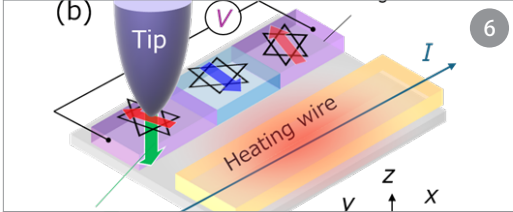
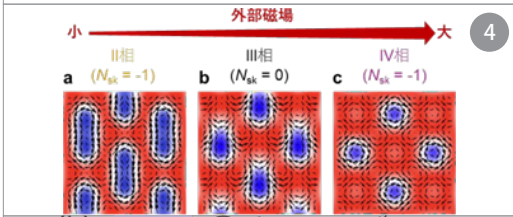
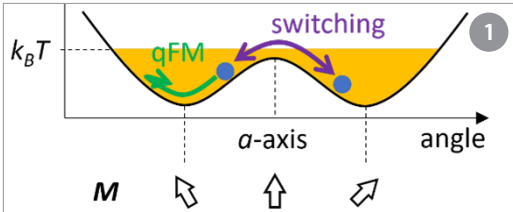
THE INSTITUTE FOR SOLID STATE PHYSICS
THE UNIVERSITY OF TOKYO

Copyright ©2024 Institute for Solid State Physics, The University of Tokyo. All rights Reserved.

ISSN 0385-9843

contents

| | | |
|----|--|-----------------|
| 1 | 熱平衡下における超高速磁化揺らぎの観測に成功 —超高速な乱雑現象の解明に向けた新手法を開発— | 栗原 貴之 |
| 4 | 多彩なトポロジカルスピン構造を伴う新物質の発見 —トポロジカル数のスイッチングを実証— | 高木 里奈、中島 多朗 |
| 6 | 反強磁性ワイル半金属ナノ細線の磁気イメージング —簡易的・高空間分解能の新手法を用いて— | 一色 弘成、大谷 義近 |
| 8 | 室温で反強磁性磁壁の高速電流駆動を実証 —超高速かつ低消費電力での磁気シフトレジスタの実現へ道— | 大谷 義近 |
| 11 | 非磁性キラル絶縁体における熱伝導誘起スピン流生成の理論 | 加藤 岳生 |
| 13 | 日本で唯一のプラチナ系砂白金鉱床と、新鉱物・不知火鉱の発見 | 浜根 大輔 |
| 17 | DUV レーザーで半導体基板に世界最小の穴あけ加工を実現 —4 法人で半導体後工程技術を開発— | 小林 洋平 |
| 20 | 文部科学大臣表彰(研究支援賞)を受賞して | 金井 輝人 |
| 22 | 第 18 回(2024 年)日本物理学会若手奨励賞(領域 7)を受賞して | 今城 周作 |
| 24 | 受賞報告 2024 年日本物理学会若手奨励賞(領域 8) | 池田 暁彦 |
| 25 | 「優秀発表賞 (Best Presentation Award: Silver Prize)」を受賞して | 山田 暉馨 |
| 27 | 分子科学討論会および日本表面真空学会学術講演会における優秀講演賞の受賞に寄せて | 亀山 理紗子 |
| 28 | Winning the IUPAB2024 Student and Early Career Researcher Poster Award Chunyangguang Li | |
| 29 | 物性研に着任して | 高木 里奈 |
| 31 | 外国人客員所員を経験して | Natalia Drichko |
| 32 | 第 69 回物性若手夏の学校開催報告 | 目黒 智成 |
| 36 | 【物性研究所談話会】 | |
| 39 | 【物性研究所セミナー】 【物性研ニュース】 | |
| 58 | ○東京大学物性研究所人事異動一覧 | |
| 59 | ○「Technical report of ISSP」掲載論文のウェブ公開許諾のお願い | 廣井 善二 |
| | 編集後記 | |
| | 物性研だよりの購読について | |



熱平衡下における超高速磁化揺らぎの観測に成功

— 超高速な乱雑現象の解明に向けた新手法を開発 —

物性研究所 板谷研究室助教 栗原 貴之

概要

超高速時間スケールにおける固体中の素励起の運動は、これまで主にポンププローブ法を用いて測定されてきました。ポンププローブ法とは、ポンプパルス光の照射によって生じた系の変化を、プローブパルス光の変化量として検出する摂動的な測定法です。一方で、摂動のない熱平衡状態であっても、有限温度では乱雑な熱揺らぎが常に存在します。例えば室温の熱エネルギーは $k_B T \sim 25$ meV で、これはおよそ 6 THz に相当します。すなわち、THz 帯にモードを持つ多くの素励起は恒常的にランダムな熱運動をしていることとなります。こうした自発的な運動は、摂動応答を測るポンププローブ法とは相性が悪く、従来の光物性ではあまり注目されてきませんでした。

我々は最近、コンスタンツ大学(ドイツ)と共同で、こうした乱雑なダイナミクスを測定を可能とする「フェムト秒ノイズ相関分光法」(Femtosecond noise correlation spectroscopy, FemNoc)を提案・開発し、THz 帯域におけるこうした「揺らぎ」のダイナミクスを実時間領域で観測することに成功しました。この結果、オルソフェライト $\text{Sm}_{0.7}\text{Er}_{0.3}\text{FeO}_3$ のスピン再配列相転移における磁化揺らぎの臨界現象を、フェムト秒時間分解能で初めてとらえ、それが「ランダムテレグラフノイズ」と呼ばれる特殊な運動を表すことを見出しました[1]。

研究手法

測定手法の原理図を図 1 に示します。このシステムでは、測定試料の磁化揺らぎの「自己相関」を検出します。まず高繰り返し(40 MHz)のフェムト秒パルスレーザー(エルビウムドープファイバーレーザーの 2 次高調波)をスペクトル的に二つに分割して片方に時間遅延をつけ、両者をプローブ光として磁性試料に透過させます。試料の平均磁化が面内方向にあるとすると、熱による磁化揺らぎは面直方向に生じます。透過光は試料の熱的な磁化揺らぎを反映してファラデー効果による偏光回転を受けます。この信号は 1/2 波長板、偏光プリズム、バランス検出器により構成された偏光検出器によって、それぞれの色ごとに計測されます。二つのプローブパルスは試料への照射タイミングによ

ってそれぞれ別の偏光回転を生じますが、これらはお互いに完全に独立ではなく、磁化の熱運動のコヒーレンス時間程度の遅延時間の中では有限な相関を持つ点がミソです。つまり、レーザーの繰り返し時間(25 ns)程度の長い時間の中では、パルス毎の偏光回転は完全にランダムですが、光学的な時間遅延(ピコ秒程度)の時間内では一つ目のパルスと二つ目のパルスの偏光回転の間には遅延時間に依存した相関が生じます。このため、各チャンネルで検出されたプローブ偏光応答の中から、繰り返しごとに乱雑に揺らぐ信号成分のみをサブハーモニックロックイン検出[2]によって抽出し($\Delta\theta_N = \theta_N - \theta_{N+1}$)、高速なデジタル処理によって各チャンネルの出力をリアルタイムで掛け合わせて統計平均することで、偏光回転量の相関関数($\langle \Delta\theta_N(t) * \Delta\theta_N(t+\tau) \rangle_N$)を計算することができます。こうした処理によって、「平均値」を測るだけではわからなかった磁化の乱雑な熱揺らぎダイナミクスを、実時間領域で検出できます。

実験試料としてはオルソフェライト(RFeO_3 , R = 希土類+Y)の混晶系である、 $\text{Sm}_{0.7}\text{Er}_{0.3}\text{FeO}_3$ に注目しました。この物質は副格子中の 4 つの Fe^{3+} スピンが反強磁性秩序を形成し、ジャロシンスキー・守谷相互作用により磁化がわずかに傾いて弱強磁性を示す、キャント型反強磁性体と呼ばれるものです。多くのオルソフェライトはスピン再配列相転移(Spin Reorientation Transition, SRT)という相転移を示します。これはある温度領域で Néel ベクトル(磁化方向)が特定の結晶軸から別の軸へと回転するもので、磁気異方性ポテンシャル中の 2 次相転移として解釈できます。相転移点付近では磁気異方性ポテンシャルが平坦化することが知られ、この領域ではポテンシャルの熱分布によって磁化の熱揺らぎが増大することが予想されます。

SRT の温度領域は希土類の種類によって異なり、典型的には室温以下です。しかし熱エネルギーによるノイズを測るうえではなるべく高温で相転移を生じる方が有利と考えられるため、今回の我々の試料では Sm と Er を混ぜることで、室温よりやや上(約 310 – 320 K 近傍)になるよう調整しました。単結晶試料は物性研の結晶合成室に設置されているフローティングゾーン炉を用いて成長しました[3]。



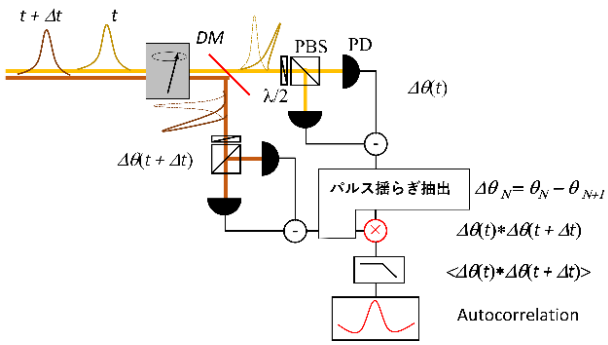


図 1. フェムト秒ノイズ相関分光法の概念図。二つのフェムト秒プローブ光が磁化の揺らぎによって感じる偏光回転のノイズ相関を高速に計測することで、磁化揺らぎのダイナミクスを自己相関として可視化する。PBS: 偏光ビームスプリッター、DM: ダイクロミックミラー、BPD: バランス光検出器。

実験結果

典型的な測定結果を図 2 (a) に示します。すべての温度で、 $t = 0 \text{ ps}$ を中心とした左右対称な波形が得られました。ポンププローブの信号と異なり波形が左右対称であることは、この信号が実際に試料中のダイナミクスの自己相関であることを表しています。観測された波形をよく見ると、数十 ps 程度の振動と数百 ps 程度の長い緩和を含むことがわかります。これらの特徴は温度に対して敏感で、特に SRT の下限温度に当たる $T_L \sim 40^\circ\text{C}$ 付近では、振動周期と緩和時間の劇的な増大が見られました。スピンの再配列相転移ではスピン系の配列方向以外の秩序 (格子構造など) は殆ど変化しないことから、これらの特徴はスピン系の相転移に伴う揺らぎダイナミクスの臨界現象を反映していることとなります。これは、反強磁性体のマグノンにおけるスピンノイズを、ピコ秒という超高速時間領域で観測した初めての実験と考えています。

さて、温度依存性の実験結果をもう少し詳細に解析すると、上記のうち速い振動成分は、過去に通常のパンププローブ分光で調べられてきた、疑似強磁性モード (qFM) の温度依存性 [4] によく一致することがわかりました。これは弱強磁性磁化の歳差運動に対応し、あるいは磁気異方性ポテンシャルの底付近における単振動とも見做せるモードです。他方、観測された「長い緩和成分」に関しては、①調和的振動ではないこと、そして②知られたどのモードよりもかなり遅い運動であること、の2点から、過去に報告されてきたオルソフェライトの固有マグノンモードとは異なるものであり、今回「確率的な運動」が測れるようになったことで見てきた、未知の運動であると考えられました。

そこで、上記の緩和成分がどのようなダイナミクスを反映しているのか理解するために、確率的 Landau-Lifshitz-Gilbert 方程式によるスピンダイナミクス計算を行いました。これは 199³ 個の単位胞に置かれたスピンに対して、熱エネルギーを反映した乱雑な磁場と、お互いの間に働く交換相互作用を組み込んで、系全体の平均磁化のダイナミクスを実時間で計算するというものです。

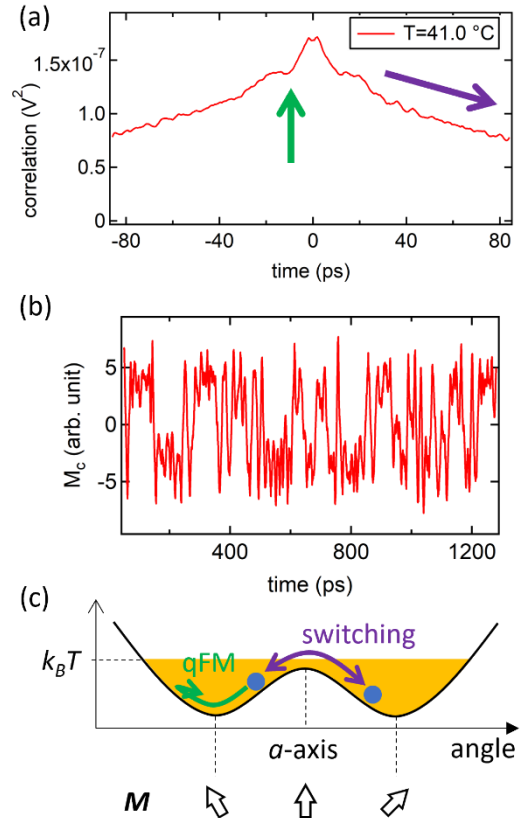


図 2. (a) SRT 温度領域 (41°C) において計測されたスピンノイズの自己相関波形。数 10 ps の比較的早い振動成分に加えて、数百 ps の長い緩和成分が観測された。(b) 確率的 LLG によって計算された、 c 軸方向の平均磁化のダイナミクス。ランダムテレグラフノイズの特徴である、乱雑な「スイッチング」が生じている。(c) 観測された振動成分は単一の準安定状態付近における qFM マグノンモードに相当し、緩和成分は二つの準安定状態間を熱的に飛び越すことで生じる「スイッチング」に対応する。

計算の結果、磁化の相関波形には、実験同様に振動成分と緩和成分の二つが現れることがわかりました。そこで緩和成分が主たる温度領域において計算された c 軸 (面直) 方向磁化の実時間波形をよく見てみると、図 2 (b) のように比較的速いノイズ成分の他に、正負二つの値を飛び飛びに行き来するような運動が存在することがわかります。これはランダムテレグラフノイズ (RTN) と呼ばれる信号であり、ポテンシャル中の二つの準安定状態間を熱的に飛び移る際

に生じることが知られています。つまり、今回観測された「緩和成分」は、再配列相転移温度領域内で二重井戸型になった磁気異方性ポテンシャルの中で、熱励起によって磁化が準安定状態間の「スイッチング」を起こしていることの証左であることがわかりました。スピン系の RTN はこれまで磁気トンネルジャンクションなどのデバイスを用いて数 10 ナノ秒程度の時間スケールで実現されてきましたが[4]、今回観測されたピコ秒領域の RTN はこれを二桁近く上回る速度です。

結論

テラヘルツ帯域における反強磁性体のスピン反転は従来、主に光励起や高強度 THz 励起などを使って、系に強い摂動を与えるという観点から研究されてきました。これに対して今回の我々の結果は、光励起の無い定常状態でも「自発的に」スイッチングが生じていることを明らかにしました。今回開発された超高速ノイズ相関分光法は、スピン系のみにとどまらず、様々な固体における固体素励起の揺らぎに広く応用できる可能性があります。相転移以外にも、量子揺らぎ[5]や熱揺らぎが物性に影響を与える例は多く、今後こうした「インコヒーレントな超高速ダイナミクス」が本質的に重要となる物理現象の研究が進むことを期待しています。

参考文献

- 1) M. A. Weiss, *TK et al., Nature Communications 14, 7651 (2023).
- 2) M. A. Weiss, *TK et al., Review of Scientific Instruments 95, 083005 (2024).
- 3) G. Fitzky, *TK et al., Phys. Rev. Lett. 127, 107401 (2021).
- 4) K. Hayakawa, et al., Phys. Rev. Lett. 126, 117202 (2021).
- 5) Riek, C. et al. Nature 541, 376–379 (2017).



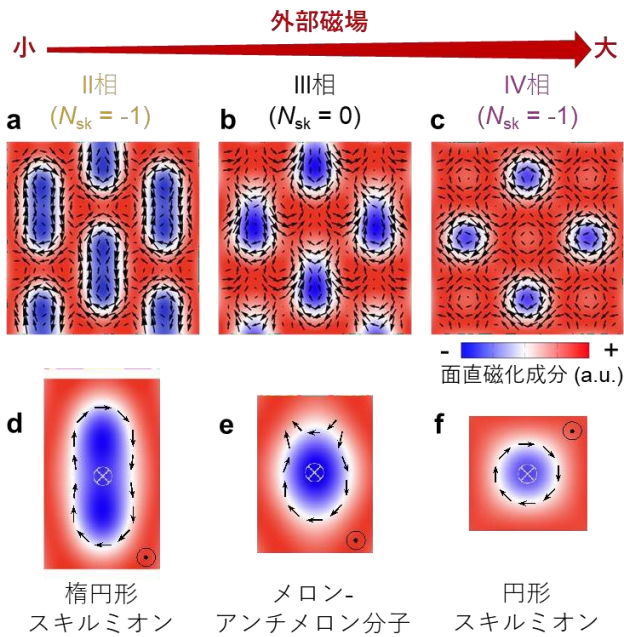


図2 : GdRu₂Ge₂のII, III, IV 相における磁気構造(a-c)および、それぞれのスピン構造の概念図(d-f)。背景色は磁気モーメントの紙面面直成分を表し、矢印は面内成分を示している。外部磁場を大きくしていくと、楕円形スキルミオン、メロン-アンチメロン分子、円形スキルミオンなどの異なるトポジカル数 N_{sk} によって特徴付けられる多彩なスピン構造が発現している。

本研究成果は、ナノメートルサイズの多彩なトポジカルスピン構造を実現するための新しい物質設計指針の確立に繋がることが期待されます。また、本物質で実証した、外部磁場による多彩なトポジカルスピン構造間のスイッチングは、多値メモリ素子などの新しい応用可能性を秘めており、今後さらなる物質探索が進むことで次世代素子としての応用に貢献することが期待されます。

参考文献 : H. Yoshimoch *et al.*, Nat. Phys. 20, 1001–1008 (2024).



反強磁性ワイル半金属ナノ細線の磁気イメージング

－簡易的・高空間分解能の新技术法を用いて－

物性研究所 ナノスケール物性研究部門 一色 弘成、大谷 義近

【背景と目的】

カゴメ格子を持つ反強磁性ワイル半金属 Mn_3Sn は、反強磁性体でありながら異常ホール効果を示す特異な物質であり、次世代スピントロニクス素子の材料として大いに注目されている [1]。 Mn_3Sn の磁気秩序はカゴメ面内のクラスター磁気八極子で表され、磁気的な応答を議論する際にはこれをマクロな磁化として扱うことができる [2]。このような磁気多極子の空間分布を可視化することは、 Mn_3Sn をはじめとするトポロジカル磁性材料の研究において大変重要である。しかし、 Mn_3Sn に適用可能な従来の測定法には空間分解能が低いことや測定原理に由来する制約などさまざまな問題があり、応用上重要なナノ細線化された試料に対しての磁気イメージングは報告されていなかった。

そこで我々は最近、異常ネルンスト効果(ANE)に着目し、 Mn_3Sn ナノ細線にも適用可能な磁気イメージングの新技术法を開発した。ANE は図 1(a)に示すように、自発磁化を持つ強磁性体等の導体に温度勾配を加えると、磁化と温度勾配の直角方向に電場が発生する磁気熱電現象である。我々の測定法では図 1(b)に示すように、原子間力顕微鏡(AFM)の探針を試料に接触させることで局所的な温度勾配を誘起し、その際に生じる ANE の電圧をマッピングする。これにより、約 80 nm の空間分解能で磁気像を得ることができる [3]。この測定法を強磁性 Weyl 半金属 Co_2MnGa でデモンストレーションした成果については、物性研だより第 63 巻 第 2 号の『熱流注入で磁気を観る』の記事でも紹介した。本研究ではこの測定法を Mn_3Sn 多結晶のナノ細線に適用し、クラスター磁気八極子領域の可視化を試みた。

【実験の概要】

本実験に用いたのは、カゴメ面と磁気八極子が膜の面内方向に配向された Mn_3Sn 多結晶膜である。実験のために、図 1(b)に示すような試料細線とヒーターからなる素子を電子線リソグラフィと Ar エッチングにより作製した。我々の測定法では、ヒーターで加熱した試料に AFM 探針を接触させた際、局所的に面直の温度勾配($\nabla_z T$)が誘起

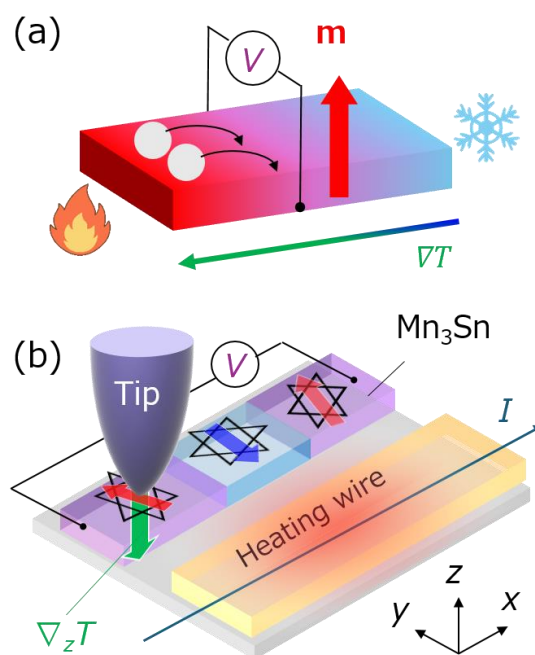


図 1. (a)異常ネルンスト効果。(b)本測定法の概略図。

される。その際、 Mn_3Sn の磁気八極子が細線の幅方向(y 方向)を向いているとき、細線両端で ANE による電圧(V_x)が検出される。したがって、AFM 探針を接触モードでスキャンして ANE による電圧の空間分布をマッピングすることにより、磁気八極子のイメージングが可能である。

図 2(a)には、 Mn_3Sn ナノ細線のトポグラフィ像と、磁場印加前後の ANE の電圧マッピング像を示す。電圧マッピング像の中の赤と青(正の電圧と負の電圧)の領域は、それぞれクラスター磁気八極子が+y 方向および-y 方向を向いている事を示している。図 2(b)に示す磁場印加前の像では、数百ナノメートルサイズの赤と青の磁気八極子領域がランダムに表れていることが見える。この結果は、結晶粒内に閉じ込められた磁気八極子が初期状態でランダムな方向を向いていると解釈できる。磁気的応答を調べるために、+y 方向に外部磁場を印加してクラスター磁気八極子を飽和させた後で外部磁場を取り去り、同じ領域を測定したのが図 2(c)である。磁場印加後、全体的に赤の領域が広

がり、青の領域が完全に消失していることがわかる。これは、外部磁場を取り去った後も Mn_3Sn の磁気八極子がナノ細線の幅方向(+y 方向)に残留することを示している。形状磁気異方性が小さい反強磁性体ならではの結果であるが、ナノ細線で実際に可視化されたのは初めてである。また、図 2(c)で白い領域が見られることは、多結晶の試料においては ANE を発現しない結晶粒が存在することを示している。このように、本測定法を適用することにより、 Mn_3Sn ナノ細線のクラスター磁気八極子領域を可視化することができた。

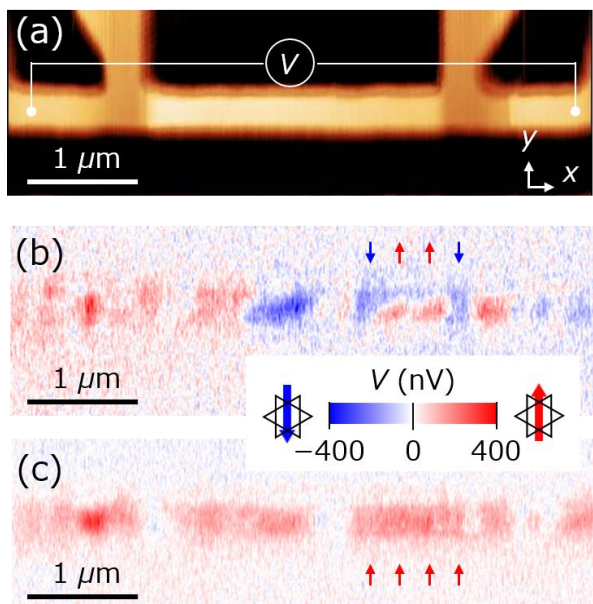


図 2. 多結晶 Mn_3Sn ナノ細線に対する測定結果。(a)試料細線のトポグラフィー像。(b)初期状態に対する異常ネルンスト電圧マッピング像。(c)クラスター磁気八極子を細線幅方向に飽和させた後の異常ネルンスト電圧マッピング像。(b), (c)ではゼーベック効果による非磁気的な信号は取り除いた。

【まとめと今後の展開】

我々は、新しい測定法を用いて Mn_3Sn 多結晶配向膜のナノ細線の磁気イメージングを行った [4]。得られる磁気像は、漏れ磁場を検出する N-V センター磁気測定 [5]とは本質的に異なり、磁気八極子の情報を直接的に反映している。この新手法は、簡易的ながら約 80 nm と比較的高い空間分解能を持ち、異常ネルンスト効果を示す様々な物質に適用可能である。近年、垂直方向の一軸異方性を示す Mn_3Sn エピタキシャル薄膜が作製され、スピン軌道トルクによるクラスター磁気八極子の完全な反転が実現されている [6]。我々の新手法を Mn_3Sn エピタキシャル薄膜に適

用することで、 Mn_3Sn の磁壁構造やスピン軌道トルクの機構を新たな視点から研究できるようになると期待される。

参考文献

- [1] S. Nakatsuji, N. Kiyohara, and T. Higo, *Large Anomalous Hall Effect in a Non-Collinear Antiferromagnet at Room Temperature*, *Nature* **527**, 212 (2015).
- [2] M. T. Suzuki, T. Koretsune, M. Ochi, and R. Arita, *Cluster Multipole Theory for Anomalous Hall Effect in Antiferromagnets*, *Phys. Rev. B* **95**, 1 (2017).
- [3] N. Budai, H. Isshiki, R. Uesugi, Z. Zhu, T. Higo, S. Nakatsuji, and Y. Otani, *High-Resolution Magnetic Imaging by Mapping the Locally Induced Anomalous Nernst Effect Using Atomic Force Microscopy*, *Appl. Phys. Lett.* **122**, 102401 (2023).
- [4] H. Isshiki, N. Budai, A. Kobayashi, R. Uesugi, T. Higo, S. Nakatsuji, and Y. Otani, *Observation of Cluster Magnetic Octupole Domains in the Antiferromagnetic Weyl Semimetal Mn_3Sn Nanowire*, *Phys. Rev. Lett.* **132**, 216702 (2024).
- [5] G. Q. Yan et al., *Quantum Sensing and Imaging of Spin-Orbit - Torque - Driven Spin Dynamics in the Non - Collinear Antiferromagnet Mn_3Sn* , *Adv. Mater.* **34**, (2022).
- [6] T. Higo et al., *Perpendicular Full Switching of Chiral Antiferromagnetic Order by Current*, *Nature* **607**, 474 (2022).

室温で反強磁性磁壁の高速電流駆動を実証

—超高速かつ低消費電力での磁気シフトレジスタの実現へ道—

物性研究所・ナノスケール物性研究部門 大谷 義近

【研究の背景】

磁壁は、電流を印加すると、電流と磁化の相互作用であるスピン移行トルクによって動かすことができる。この磁壁の電流駆動現象は、磁壁の位置で情報を記録する磁気シフトレジスタの基本的な駆動原理となっている。したがって、磁壁の移動速度はシフトレジスタの動作速度に、磁壁の駆動電流値は消費電力に直結する。これまで、強磁性体やフェリ磁性体を用いた研究で、磁壁の高速電流駆動が実証されてきたが、反強磁性体に関しては報告がなかった。

近年、反強磁性体を使うことで、従来の強磁性体よりもはるかに高速で磁壁を駆動できることが理論的に予測されており[1~4]、その実験的な実証が期待されていた。しかし、反強磁性体は一般的に磁化状態を電気的に検出しにくい。そのため、磁壁駆動などの磁化ダイナミクスを解明することが難しかった。

そこで本研究では、最近注目を集めている磁性材料であるカイラル反強磁性体(図1 Mn_3Sn および Mn_3Ge 、Mn はマンガン、Sn はスズ、Ge はゲルマニウム)に着目した。この物質は、特殊なバンド構造を持つワイル磁性体で、反強磁性体でありながら強磁性体のように磁化状態を電気

的・光学的に検出できる。この反強磁性体を用いて、磁壁の電流駆動ダイナミクスを実験的に検証した[5]。

【実験の概要】

最初にカイラル反強磁性体(Mn_3Sn および Mn_3Ge)の単結晶を集束イオンビームで精密加工し、幅 6 μm 、長さ 46 μm 、厚さ約 800 nm の細線に成形した(図 2a)。この加工技術により、反強磁性体の結晶方位に依存する特性を詳細に評価するための微細構造が得られ、これまで困難だった精密な実験が可能となった。

まず、反強磁性細線内に磁壁を導入し(図 2b 上図)、その状態で細線の長手方向にナノ秒単位のパルス電流を印加した。その結果、磁壁の移動が確認され、磁気光学カー効果を用いた磁気イメージング法でその移動過程が可視化された。観測された磁壁の移動方向は、印加したパルス電流の逆方向(電子の流れの方向)であり、これまで強磁性体で報告されてきたスピン移行トルクによる駆動メカニズムと一致する結果となった(図 2)。この発見は、カイラル反強磁性体の磁壁駆動が、強磁性体で確立された理論と同様の物理現象に基づいていることを示唆している。

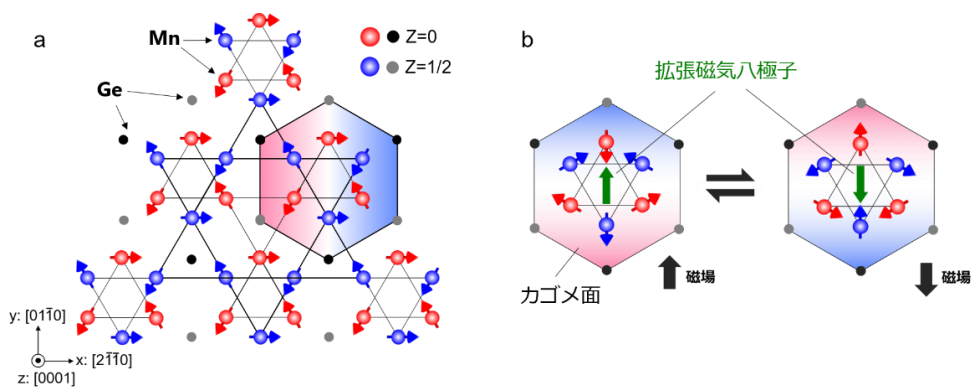


図1 カイラル反強磁性体 Mn_3Ge の磁気構造

- (a) カイラル反強磁性体 Mn_3Ge の磁気構造。Mn 原子が三角格子(カゴメ格子)上に並び、それぞれのスピンは 120 度ずつ傾きながら配置している(カイラル反強磁性秩序)。そのため、正味の磁化は非常に小さな反強磁性体となる。
- (b) 磁場による Mn_3Ge の磁化反転。この反強磁性体の磁化方向は、カゴメ格子上に配置された六つのスピンを一つのユニットとして考えた拡張磁気八極子の向き(緑矢印)として捉えることができる。

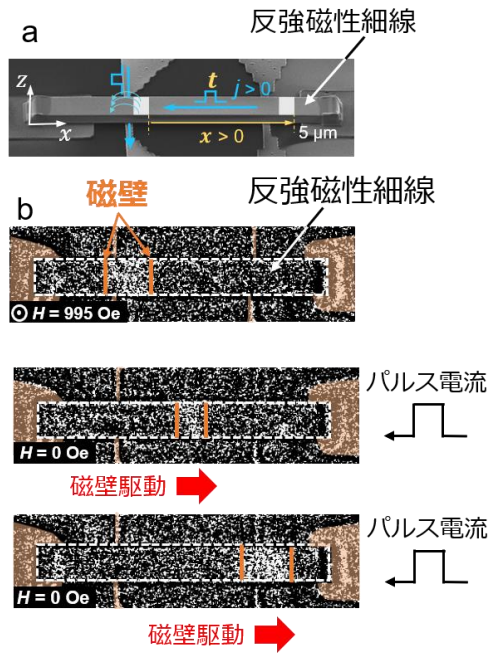


図2 反強磁性細線における磁壁の電流駆動
 (a) カイラル反強磁性体の細線デバイス(走査電子顕微鏡写真)。
 (b) 反強磁性細線における磁壁の電流駆動の様子。上から下にくつれて時間が経過している。

さらに、磁壁の移動速度と電流密度の関係を詳しく調べたところ、強磁性体に比べて約2桁も高い磁壁移動度を示すことが明らかになった(図3a)。移動度とは、単位電流密度あたりの磁壁移動速度を指し、これは材料がより効率的に駆動できる性能指標となる。これにより、磁壁の電流駆動を基本原理とする磁気シフトレジスタの応用において、強磁性体の代替としてカイラル反強磁性体を使用することで、低消費電力でかつ高速な動作が実現できる可能性が示された(図3b)。

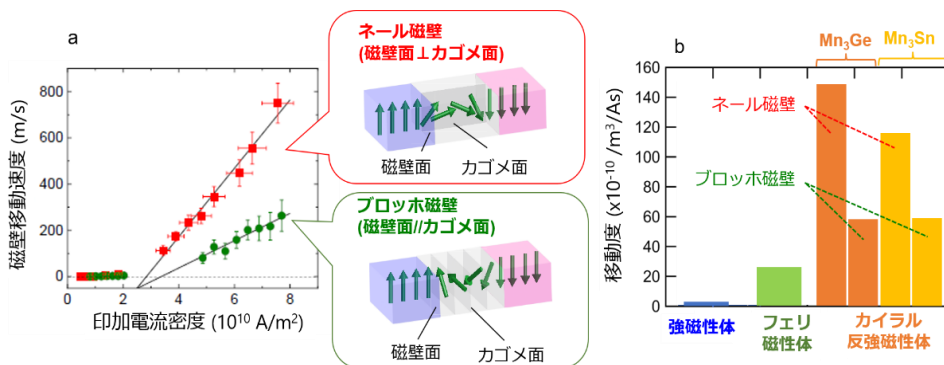


図3 磁壁移動速度の電流密度依存性と磁壁移動度の比較
 (a) 磁壁構造に依存した磁壁移動速度。濃い灰色の四角がカゴメ面を表しており、これが磁壁と直交するか平行になるかで、ネール磁壁かブロッホ磁壁かが決まる。ネール磁壁がブロッホ磁壁よりも移動速度が速い。
 (b) 強磁性体とフェリ磁性体、カイラル反強磁性体の磁壁移動度の比較。カイラル反強磁性体の移動度が高い。

さらに、カイラル反強磁性体のもう一つの特筆すべき特徴は、図1に示すカゴメ格子面(カゴメ面)が磁化容易面である点である。これは、磁気モーメントがこの面内で向きを揃えやすく、拡張磁気八極子がカゴメ面内で回転するため、細線を加工する際に選択する結晶方位によって、異なる磁壁構造を実現できることを意味する(図3a)。具体的には、ネール磁壁とブロッホ磁壁の2種類の磁壁構造を結晶方向と細線方向を揃えることで選択的に生成することが可能であり、これは磁壁の動作特性を調整する上で大きな利点となる。この実験では、ネール磁壁がブロッホ磁壁よりも高い速度で電流駆動されることが確認された(図3a, b)。これらの結果から、カイラル反強磁性体を用いた磁壁駆動の特性は、従来の強磁性体よりも優れた電流駆動性能を持つことが示された。

【まとめと今後の展開】

本研究の成果により、従来の強磁性体やフェリ磁性体を用いたシステムに対して、反強磁性体を使用することで1桁以上高速に駆動可能な磁気シフトレジスタの実現への道が示された。これにより、次世代のスピントロニクスデバイスにおいて、より高速で省エネルギーな動作が期待できる。特に、JST 未来社会創造事業で開発が進められているスピントロニクス光電融合デバイスにおいて、本研究が基盤となる駆動原理として活用される可能性がある。今後の課題としては、カイラル反強磁性体をさらに薄膜化・微細化し、実際のデバイス構造に近い形状での高精度な磁壁駆動の実現が挙げられる。これにより、実際のデバイスに応用できるレベルでの高速磁壁駆動と、それを活用したデバイスの実証が期待されている。この技術が確立さ

れば、スピントロニクスデバイスの性能が飛躍的に向上し、より効率的で高速な情報処理を可能にする未来が見えてくるだろう。

謝辞

本研究は、科学技術振興機構 (JST) 未来社会創造事業大規模プロジェクト型「スピントロニクス光電インターフェースの基盤技術の創成 (研究代表者: 中辻知)」(課題番号: JPMJMI20A1)、同戦略的創造研究推進事業 CREST「電子構造のトポロジーを利用した機能性磁性材料の開発とデバイス創成 (研究代表者: 中辻知)」(課題番号: JPMJCR18T3)、同戦略的創造研究推進事業さきがけ「第一原理計算に基づくトポロジカル磁性材料探索 (研究代表者: 野本拓也)」(課題番号: JPMJPR20L7)、日本学術振興会 (JSPS) 科学研究費助成事業挑戦的研究 (萌芽)「反強磁性ドメインの形成と制御の理論研究 (研究代表者: 鈴木通人)」、同基盤研究 (A)「マルチポロニクスの第一原理物質設計 (研究代表者: 有田亮太郎)」による支援を受けて行われた。

参考文献

- [1] R. Cheng, and Q. Niu, *Phys. Rev. B* **89**, 081105(R) (2014).
- [2] O. Gomonay et al., *Phys. Rev. Lett.* **117**, 017202 (2016).
- [3] T. Shiino et al., *Phys. Rev. Lett.* **117**, 087203 (2016).
- [4] T. Nomoto and R. Arita, *Phys. Rev. Res.* **2**, 012045(R) (2020).
- [5] M. Wu et al., *Nature Communications* **15**, 4305 (2024).



非磁性キラル絶縁体における熱伝導誘起スピン流生成の理論

物性理論研究部門 加藤 岳生

自然界には鏡に映した形が元の物質に戻らない物質(キラルな物質)が存在する。例えば、らせん構造を持つDNA やアミノ酸・糖はキラルな物質である。最近になって、DNA 上を電子が移動していくと、電子のもつスピンの方向に揃う現象がイスラエルのグループによって報告された [1]。このときの磁石の向きは分子構造のキラリティ(右手系か左手系か)と電子の移動方向により決定される(図 1)。この現象はキラリティ誘起スピン選択性(Chirality-Induced Spin Selectivity, CISS)と呼ばれ、物質のキラリティと磁性が直接結びつく重要な発見となった。現在世界中で活発な研究が行われているが、なぜキラルな物質がスピン選択性を有するのかについて、未だにはっきりとした理由はわかっていない。

固体中でも結晶構造のキラリティと電子スピンの関係する現象が議論されつつある。ごく最近になり、キラル結晶である α -石英(SiO_2)のフォノンによる熱伝導により、図 1(a)に模式的に示すようなスピン流を隣接する常伝導金属に誘起することが報告された[2]。 α -石英は非磁性で、スピン-軌道相互作用を誘起する重元素を含まないので、従来のフォノン輸送による議論ではスピン流生成の理由が説明できない。フォノン輸送によるこの CISS 現象は、原子核のカイラル運動から伝導電子のスピンへの角運動量移動によって素朴に説明されるが、その微視的起源は界面フォノン-スピン変換の基礎となる微視的記述の理解不足のために未解決のままであった。

本研究[3]では、石英のような磁性をもたないキラル物質の絶縁体と金属との間の接合系を理論的に考察した。キラル絶縁体に温度勾配をつけるとフォノンによって熱が運ばれるが、固体中のフォノンモードは局所的に結晶を回転させることに着目した。磁石ではない物質を回転させると、物質中の電子のスピンが揃う現象がすでに知られている[4](図 1(b))。これは「磁気回転効果」と呼ばれ、近年、表面弾性波を用いた実験においてもスピン流生成の起源となることがわかっている[5]。本研究では、固体中のフォノンによって結晶の局所的回転が発生することで磁気回転効果が生まれ、電子のスピンとフォノンが直接結合することを示した。これは従来の理論では見逃されていた機構であり、

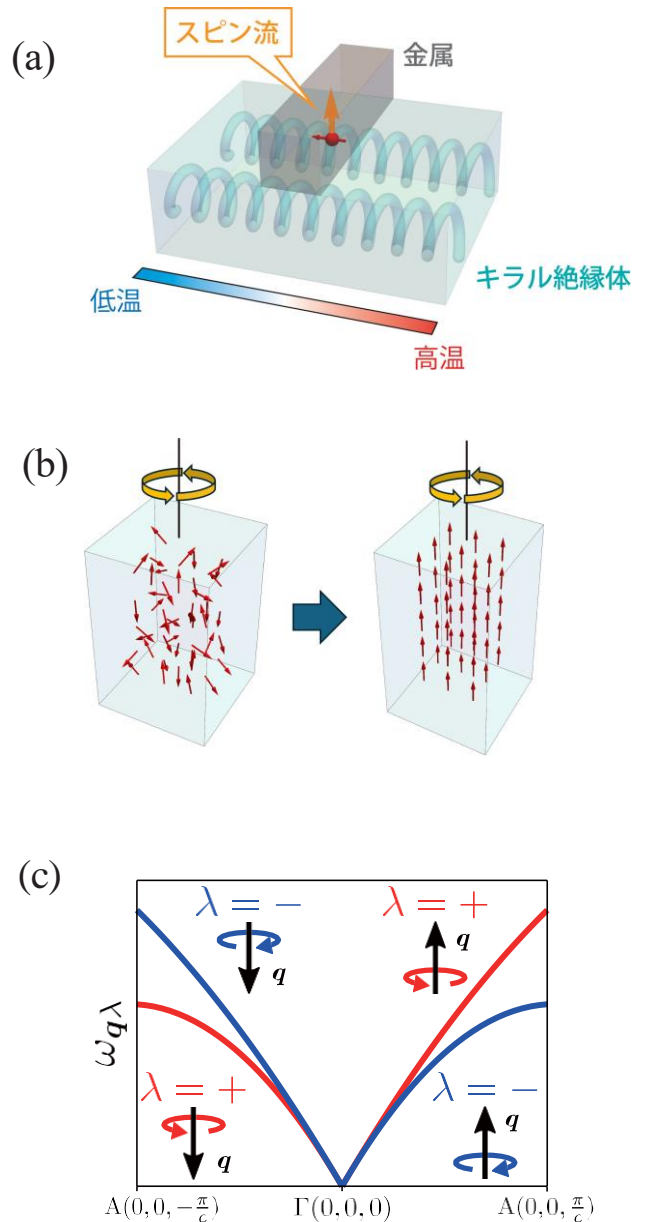


図 1 (a) キラル絶縁体と金属の接合系。キラル絶縁体に温度勾配をつけると、キラル絶縁体から金属へスピン流が生じる。(b) 磁気回転効果の模式図。(c) キラル絶縁体中のフォノン分散。

特に軽元素で重要な役割を果たすと期待される。

本研究ではまず、常伝導金属とキラル絶縁体から成る二層系の微視的模型から出発して、スピン-微小回転結合による電子スピンとカイラルフォノン間の界面結合を記述す

る有効ハミルトニアンを導いた。キラル絶縁体は時間反転対称性の存在と空間反転に関するパリティ(ミラー)対称性の欠如によって特徴付けられる。この特徴は、図 1(c)に模式的に示すように、フォノン分散 $\omega_{q\lambda}$ の分裂によって反映される。ここで、 q は波数、 $\lambda = \pm$ はフォノンのカイラリティである。フォノンがカイラル軸に沿って伝搬するとき、それらのエネルギーは結晶のカイラリティのために異なる ($\omega_{q+} \neq \omega_{q-}$)。フォノン分散はパリティ対称性を欠いている ($\omega_{q\lambda} \neq \omega_{q\bar{\lambda}}$) が、時間反転対称性を保っている ($\omega_{q\lambda} = \omega_{q\bar{\lambda}}$) ここで $\bar{\lambda}$ は λ と反対のカイラリティを表す。

界面における交換相互作用を摂動として取り扱い、キラル絶縁体から常伝導金属に注入されるスピン流を定式化した。カイラルフォノンの非平衡分布(例えば温度勾配)が存在すると、接合界面でスピン流が流れる。温度勾配のもとで緩和時間近似を仮定した計算により、キラル絶縁体から常伝導金属へ流れるスピン流は、

$$I_s^z \propto \sum_{q, q_z > 0} q_z^2 \frac{\partial}{\partial q_z} (\omega_{q+}^4 - \omega_{q-}^4) \left(-\frac{\partial_z T}{T} \right), \quad (1)$$

と計算される。この結果を上述のフォノンのカイラル特性と組み合わせると、物質が反転対称性を持つときにはスピン流はゼロとなり、キラル絶縁体に対してのみスピン流が生じることがわかる。また絶縁体のカイラリティを反転させると、フォノンのモード分散の仕方が逆になり ($\omega_{q\pm} \rightarrow \omega_{q\mp}$)、スピン流の符号が逆転する。さらにこの式を用いて、 α -石英に対する実験を想定した見積もりを行うと、実験結果 [2] を十分に説明しうる程度のスピンの注入量を得た。

これらの結果は、スピン-軌道相互作用のないキラルフォノンによるスピン電流発生の微視的起源を明確に示しており、重元素のないスピントロニクスデバイスの開発におけるブレークスルーにつながる可能性がある。今後の展開が楽しみな研究テーマである。

謝辞 本研究は、船戸匠氏(出版当時、慶應義塾大学グローバルリサーチインスティテュート・スピントロニクス研究開発センター)、松尾衛氏(中国科学院大学カブリ理論科学研究所)との共同研究により行われました。また、文部科学省科学・研究費補助金(課題番号 20K03831, 21H04565, 21H01800, 21H04565, 23H01839) および科学技術振興機構・戦略的創造研究推進事業/CREST(課題番号 MJCR19J4)の支援のもと遂行されました。ここに感謝申し上げます。

参考文献

[1] Göhler *et al.*, Science **331**, 894 (2011).
 [2] K. Ohe, H. Shishido, M. Kato, S. Utsumi, H. Matsuura, and Y. Togawa, Phys. Rev. Lett. **132**, 056302 (2024).
 [3] T. Funato, M. Matsuo, and T. Kato Phys. Rev. Lett. **132**, 236201 (2024).
 [4] S. J. Barnett, Phys. Rev. **6**, 239 (1915).
 [5] D. Kobayashi, T. Yoshikawa, M. Matsuo, R. Iguchi, S. Maekawa, E. Saitoh, Y. Nozaki, Phys. Rev. Lett. **100**, 256802 (2008).



日本で唯一のプラチナ系砂白金鉱床と、新鉱物・不知火鉱の発見

物質設計評価施設電子顕微鏡室 浜根 大輔

ほとんどの元素は石や砂から抽出されている。そのため、有用元素がてんこ盛りの石(砂)は重宝され、その代表例が砂金や砂白金(さばっきん)だろう。砂金は言わずもがな。一方、砂白金というのは白金族元素が主成分の砂であり、白金族元素はそれなくして現代社会は成り立たないと言えるほどの有用元素である。そしてこのたび、我々は砂白金の鉱床を熊本県美里町で発見した。その砂白金鉱床は日本ではこれまで知られていなかった「プラチナ系」の鉱床であり、新種の鉱物(=新鉱物)をいくつも含むという尖った特徴も併せ持っていた。不知火鉱(しらぬいこう、学名: Shiranuite)は美里町の砂白金から発見された新鉱物としては、実はもう3つめになる。ここでは、日本の砂白金の背景やその特徴、そして、新鉱物・不知火鉱について簡単に紹介したい。

白金族元素は第5および第6周期、第8、9、10族に位置する元素のことで、ルテニウム(Ru)、ロジウム(Rh)、パラジウム(Pd)、オスミウム(Os)、イリジウム(Ir)、プラチナ(Pt)から構成される(図1)。物性研ではこれらを扱う場合、縦の関係(族として)で考えることが多い。例えば、物質開発でロジウムを置き換えるなら同族のイリジウムが良いだろうといったぐあいに。そのため天然での元素の挙動もロジウムとイリジウムは共通すると思うかもしれないが、実際はそうならない。天然ではロジウムが多いところにイリジウムはむしろ少なく、逆もまたしかり。天然においては白金族元素の挙動は融点に大きく影響される。ここで融点の高い3元素(ルテニウム、オスミウム、イリジウム)を「イリジウム系」元素、融点の低い3元素(ロジウム、パラジウム、プラチナ)を「プラチナ系」元素と呼んでくると、天然での挙動が見えてくる。地球深部のマントルの中で部分溶融(マグマ)が発生した際、プラチナ系元素はマグマに多く取り込まれ、イリジウム系元素はマントルに取り残されがちとなる。こうして白金族元素の存在度はマントルとマグマで偏る。結果的に砂白金鉱床の特徴もプラチナ系とイリジウム系に二分されることになる。そして、日本の砂白金鉱床はこれまでイリジウム系のものしか知られていなかった。ただし、イリジウム系砂白金鉱床であっても少なからずプラチナ系砂白金も含まれており、逆の場合もまた同じ。

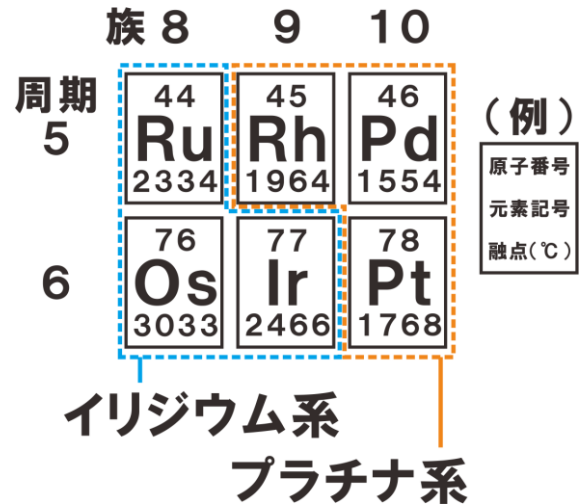


図 1. 白金族元素とその融点。地球という規模で白金族元素の挙動を考えると、融点が重要となる。ここでは便宜的に融点の高い3つをイリジウム系、低い3つをプラチナ系と呼ぶ。

日本の砂白金は明治中期に北海道で発見された。採集されるほとんどの砂白金はイリジウム系砂白金であり、明治後期に登場した万年筆には、ペンポイントとして硬くてさびないイリジウム系砂白金が用いられた。その一方でわずかに採れるプラチナ系砂白金は、その時代は用途が無かった。しかし、時代が下ってプラチナ系元素の触媒作用が明らかになると、ひるがえってプラチナ系砂白金が注目される。ただしそれは、特に戦時中では自国でまかなうしかない資源であった。そのため、わずかにしか採集できないプラチナ系砂白金を求めて数十万人の人々が動員され、北海道の砂白金鉱床は掘りつくされた。しかし、それだけやっても需要をみたすだけの量は確保できなかった。現代に至ってもプラチナ系元素の利用価値とそれゆえの価格は高まる一方であり、とりわけロジウムは昨今で最も高価な白金族元素になっている。現時点でその価格は、同じ重さの金の約2倍、プラチナの約5倍にもなる。

北海道でプラチナ系砂白金鉱床が見つからなかった理由は地質環境にある。北海道にはマントル由来の岩体ばかりが分布しており、それ故にイリジウム系砂白金鉱床しか存在しえない。ではマグマ由来の岩体が分布する地域ではどうか。もし砂白金がそこに存在するならば、もちろんそれ

イソフェロプラチナ鉱が先の鉱物を包みきれず、包みきれなかった部分がコブとして見えていた。そして、そういったコブから新鉱物が見つかった。その一つが不知火鉱である(図3)。

不知火鉱は砂白金粒子にともなうコブとして産出し、 $\text{Cu}^+(\text{Rh}^{3+}\text{Rh}^{4+})\text{S}_4$ の化学組成とスピネル構造を有する鉱物である。コブはもともとバウイー鉱(Bowieite: Rh_2S_3)という鉱物であったが、イソフェロプラチナ鉱に完全に包まれなかったせいで外部環境の影響を被り、不知火鉱へ変化したと結論付けられた[2]。不知火鉱はいわゆる「 CuRh_2S_4 スピネル」と呼ばれている合成物質と等しく、それが天然ではこのような姿かたちで生じる(図3)。また、不知火鉱と全く同様の産状で、さらに二つの新鉱物が先に発見されている(図4)。各種の新鉱物の同定には電子顕微鏡室に設置の走査型電子顕微鏡と透過型電子顕微鏡、光学測定室に設置の顕微ラマン分光測定装置、高压合成室に設置の微小部X線回折計が用いられた。

なんであれ新種には新しく名前を付ける必要があり、もちろん発見者らに命名権がある。生物や化石だとざっくりばらんな命名が可能な分野もあるが、鉱物の命名はきまじめである。それというのも、鉱物名はそれがふさわしいかどうかの審査があり、国際鉱物学連合の新鉱物・鉱物・命名委員会がその審査を担う。委員会は名前とデータを審査し、この審査を経て承認を受けたものだけが新鉱物として名乗りを上げることができる。とりわけ名前の審査には、名称の由来と鉱物との関係性が重視される。そのため、鉱物学に関連のある人物や、採集地の名称にちなむ命名が古くからの通例。不知火鉱も当初は地名から採用しようと考えたが、調べるうちにちょっと変化球を試してみたくなった。

不知火鉱が発見された場所は美里町のなかにあり、美里町は熊本県の一部である。そのため熊本の名称が候補として浮かんだが、熊本は古くは火の国と呼ばれていたことに気が付いた。そして火の国にもまた由来がある。それは日本書紀にも記載がある景行天皇の九州巡幸の事績であり、概要を記すと次のようになる。第12代天皇にあたる景行天皇が九州を巡幸した際に、海上で闇に覆われて危うく方向を失ってしまったが、遠方に火の光が見え、それを頼りに海岸にたどり着いた。その際に天皇は周囲の者に「あの火はなにか」と尋ねたが、皆は「だれが燃やしているかわからない火だ = 知らぬ火」と答えた。そうして「不知火」の名称が生まれた。そしてこれが火の国の由来となり、そう呼ばれた地域の一部が今でいうところの熊本県。そこで、新鉱物名の由来として上記のエピソードを紹介して「不知火鉱」を提案してみた。これは通例から外れた変化球のような命名だったが、不知火鉱(しらぬいこう、学名: Shiranuite)は無事に承認された。

景行天皇が見た「不知火」は、特定条件下で発生する蜃気楼現象の名称となった。しかし今となっては、不知火はもはやそれだけを指す名称にとどまらない。たとえば、相撲、乗り物、地名、果物、ゲーム、漫画、小説などの多様なジャンルに不知火が登場し、ふだんの生活でも目にすることがあるだろう。特に冬場のみかん。今回、不知火鉱の誕生によって鉱物も新たなジャンルとして加わった。それにしても不知火の名称がさまざま波及するのはなぜだろうか。おそらく理由はシンプル。ありていに言って、その字面が魅力的でかっこいいと感じるからだろう。そして「不知火鉱」もほら、やっぱりかっこいい。

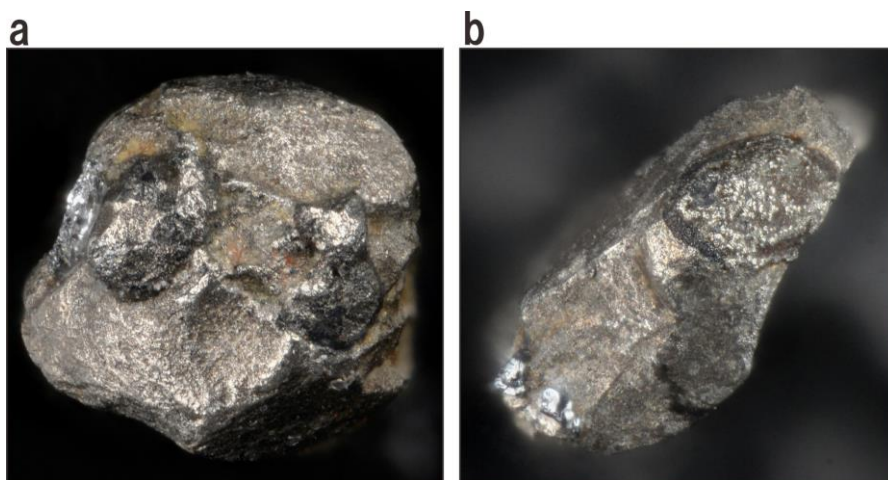


図4. 美里町で最初に発見された新鉱物・皆川鉱(Minakawaite: RhSb)(a)と、二番目に発見された三千年鉱[Michitoshiite-(Cu): $\text{Rh}(\text{Cu}_{1-x}\text{Ge}_x)$ $0 < x \leq 0.5$] (b)。いずれも砂白金粒子に伴うコブとして産出する。学名は愛媛大学の元教授、皆川鉄雄[1]および宮久三千年[3]への献名。

参考文献

- [1] Nishio-Hamane et al., Minakawaite and platinum-group minerals in the placer from the clinopyroxenite area in serpentinite mélange of Kurosegawa belt, Kumamoto Prefecture, Japan. *J. Miner. Petro. Sci.* 114, 252 (2019).
- [2] Nishio-Hamane et al., Shiranuiite, $\text{Cu}^+(\text{Rh}^3+\text{Rh}^{4+})\text{S}_4$, a new mineral in the thiospinel group from Kumamoto, Japan. *J. Miner. Petro. Sci.* 119, 016 (2024).
- [3] Tanaka et al., Michitoshiite-(Cu), a new Ge-containing platinum-group mineral from Kumamoto Prefecture, Japan. *Bull. Natl. Mus. Nat. Sci., Ser. C*, (in press).

DUV レーザーで半導体基板に世界最小の穴あけ加工を実現 ——4 法人で半導体後工程技術を開発——

物性研究所 LASOR 小林 洋平

2024 年 5 月 31 日付で「DUV レーザーで半導体基板に世界最小の穴あけ加工を実現」のプレスリリースをしました。リリースのポイントは以下の 3 つです。

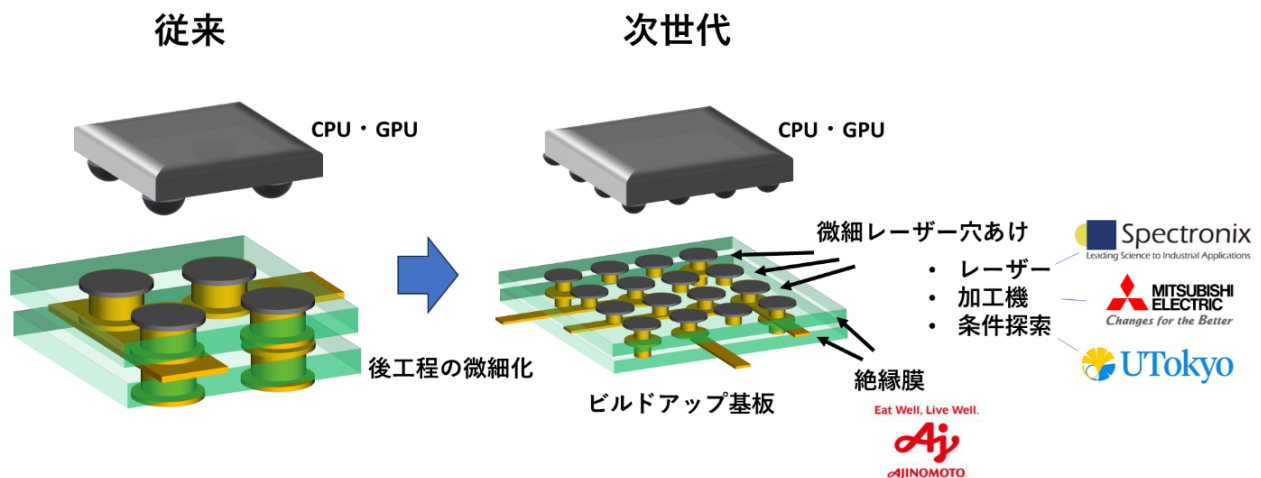
- ◆次世代半導体基板加工技術として不可欠な、深紫外 (DUV) レーザー加工機を用いた層間絶縁膜への直径 3 マイクロメートルの微細穴あけ加工を実現しました。
- ◆現在チップ実装基板の層間配線として用いられているのは、直径 40 マイクロメートル穴であり、一桁小さい微細穴あけ加工技術の実現は、半導体実装基板の高密度化へ貢献します。
- ◆半導体後工程におけるレーザー微細穴あけ加工技術の向上により、次世代チップレットの高機能化が期待されます。

半導体の微細化に伴って必要となる技術開発についての内容となります。概要図を下に示します。近年 EUV 露光技術が進み、半導体チップの配線幅は小さくなってきています。台湾の TSMC が世界で最先端の 3 nm ノードプロセスを市場に出しています。iPhone 15 pro やアップルの M3 を載せた MAC を使っている人はこの最先端のプロセスの恩恵を受けていることになります。ちなみに 3 nm ノードでは 3 nm の線幅の回路と誤解している人がいますが、

型番のようなものです。原子が 10 個しかない電線の心配をする人が物性研にはいるかもしれませんが、そこまで細かい線幅は現在の EUV 露光ではできませんし、この先もそのようなものは計画されていません。

チップのプロセスノードが微細化する一方で、チップのサイズは大きくなってきています。チップのサイズがレチクルサイズを超え、歩留まりが落ちています。一か所でも露光が失敗するとチップが使えないからです。また、300 mm ウエハからとれるチップの数も少なくなり、円形のウエハの無駄も増えます。このような理由で、チップサイズを小さくして基板上で配線する、いわゆるチップレットへの移行が進んでいます。機能ごとに分けられたチップをビルドアップ基板と呼ばれる多層基板の配線で結合する方式の技術開発が進んでいます。

そのためにはビルドアップ基板で微細な配線をしなければなりません。ビルドアップ基板は多層構造になっています。層間で信号を繋ぐために微細な穴がたくさん空いています。この穴はビアと呼ばれていますが、現在のビアの直径は 40 ミクロン程度です。この穴は炭酸ガスレーザーを用いたレーザー加工機で空けられています。炭酸ガスレーザーは波長が 10 ミクロンですので、これ以上小さい穴をあけるには適していません。ビアの微細化を進めるには波長の短いレーザーを用いる必要があります。



概要図：半導体基板へのレーザー微細穴あけ加工技術

本成果は、半導体業界における後工程ロードマップにおいて重要なマイルストーンとなるものです。レーザー加工機で次世代の微細穴あけ加工が可能であることを示したことで、半導体のさらなる微細化において、低コストで自由度の高い基板加工が可能であることが分かりました。今後さらなる微細化に取り組むとともに、複雑化するチップレットの製造工程における技術課題について、レーザー加工で対応可能な範囲を拡大するための研究・技術開発を進めていきます。また産業応用についても、大手半導体メーカーなどに本技術の周知を進める方針です。

4 法人は今後も連携して、半導体パッケージ基板のさらなる微細化や高品位化を目指し、次世代半導体産業における日本の競争力強化に貢献してまいります。

本成果の技術に関する詳細は、2024年5月28日からアメリカ・デンバーで開催されている国際会議 ECTC2024 で報告されました。

本研究の一部は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)「高輝度・高効率次世代レーザー技術開発」、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「光・量子を活用した Society5.0 実現化技術」および光・量子飛躍フラッグシッププログラム(Q-LEAP)「光量子科学によるものづくり CPS 化拠点(JPMXS0118067246)」の支援により実施されました。

スペクトロニクス株式会社

岡田 穰治 取締役

学会情報

学会名 : ECTC(2024 IEEE 74th Electronic Components and Technology Conference)

題名 : Laser micro drilling of around 3 microns into Ajinomoto Build-up Film

発表者 : Toshio Otsu, Shuntaro Tani, Shoko Nagayama, Ryo Miyamoto, George Okada, Naoyuki Nakamura, Junichi Nishimae, Hiroharu Tamaru, and Yohei Kobayashi

URL: <https://www.ectc.net/program/74-ECTCAdvance-Web-Final.pdf>

発表者・研究者等情報

東京大学

物性研究所

小林 洋平 教授

兼 : 光量子科学連携研究機構

谷 峻太郎 助教 (研究当時)

乙津 聡夫 特任研究員

大学院理学系研究科

田丸 博晴 特任教授

兼 : 光量子科学連携研究機構

味の素ファインテクノ株式会社

真子 玄迅 代表取締役社長

(プロジェクト発足当時 : 電子材料事業部長)

三菱電機株式会社

先端技術総合研究所

湯澤 隆 産業オートメーションシステム技術部 部長

中村 直幸 同 主席研究員



(2) KBBF 結晶による波長変換技術を用いた深紫外光の発生に対する技術的貢献

半導体露光装置用では「ムーアの法則」による半導体の高集積化のために、より短波長の光源が求められる。図 2 に示すように光源の短波長化と高集積化(微細化)は年とともに着実に進んできた。その結果、2000 年代には現存する非線形結晶では発生できない短波長領域のレーザー光源が模索された。

折しも中国科学院の陳博士らが開発した KBBF と称する新しい非線形結晶が真空紫外域(200 nm 以下)の波長変換に適応できるものとして登場した。この結晶を用いて日中共同研究として、次なるトレンドと目されていた F₂ リソグラフィ(波長 157 nm)の発生に筆者は挑戦し、高出力チタンサファイアレーザーの 5 次高調波として発生を成功させた(3)。この光源は非線形結晶による波長変換を 4 回行う複雑な光学系であり、緻密で根気強い実験の成果であった。

一方で、物性科学における強力な研究手法である光電子分光法の分野でも、より高分解能な測定を目指して、ヘリウムランプに代わる、新たな光源が求められていた。真空紫外域への波長変換が可能な KBBF 結晶を利用すれば光電子分光用光源に適用できると考え、筆者はその光源開発に着手し、波長 200 nm で W(ワット)級の高出力な深紫外光発生に成功した(4)。光電子分光用光源としては出力だけでなく、高分解能化のためにレーザー光の狭帯域化と、光電子分光における空間電荷効果の抑制のための高繰り返し化を図り、光子エネルギー 7 eV(波長 177 nm)での真空紫外光の発生を実現し、超高分解能レーザー光電子分光用のための光源利用が開始された。

以上、筆者の学位取得に繋がるとともに、研究の支援に大きく貢献した光源開発について紹介した。

- (3). T. Kanai, T. Kanda, T. Sekikawa, and S. Watanabe “Generation of VUV light below 160nm in KBBF crystal by the 5th harmonic of a single-mode Ti:sapphire laser” J. Opt . Soc. Am. B **21**, 370-375 (2004).
- (4). T. Kanai, X. Wang, S. Adachi, S. Watanabe, and C. Chen “Watt-level tunable deep ultraviolet light source by a KBBF prism-coupled device,” Opt. Express, **17**, 8696

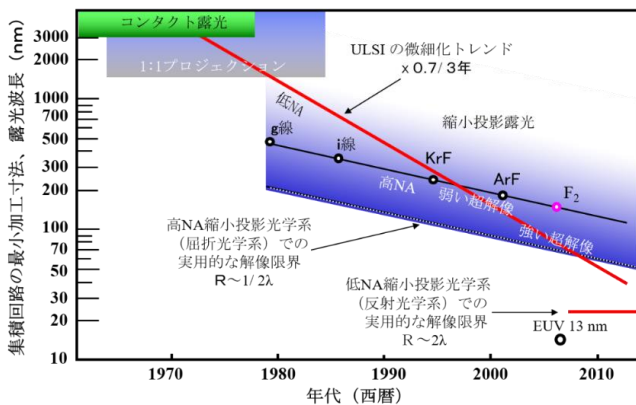


図 2 : 半導体露光装置(ステッパー)の露光用光源の年代別推移。光源の短波長化により、最小加工寸法の縮小が実現してきた(ナトリウム g 線 : 589 nm、ナトリウム i 線 : 365 nm、KrF レーザー : 248 nm、ArF レーザー : 193 nm、F₂ レーザー : 157 nm)。

結婚相手として良い印象を与える場合が多いように感じました。その中で現在の妻に会ったのですが、当然結婚を前提とした出会いであるため、価値観や生活観、気が合うなどがわかってからは非常にスムーズに事は運びました。出会って1ヶ月で交際、3ヶ月で婚約し、6ヶ月でご両親へ挨拶し、8ヶ月目には入籍する運びとなりました。入籍と同時に一緒に居を共にして半年経過した現在、(妻がどう思ってるか分かりませんが)大きな喧嘩もなく楽しい毎日を過ごしています。独身生活は他人の生活への責任がなく、自分のみの趣味・仕事に集中できて非常に楽しかったのですが、一人で約30年築いてきた価値観・生活が異なる刺激が結婚することで得られ、研究スタイルや生活リズムが変わってきました。

私の拙文で長々と紙面を汚してしまいましたが、今後は、ライフプランを考慮した研究の進め方を考えることで、より良い研究環境の構築に繋がれば幸いです。



「優秀発表賞(Best Presentation Award: Silver Prize)」 を受賞して

電気通信大学基盤理工学専攻 特任研究員
物性研究所・附属国際超科学研究施設 ISSPリサーチフェロー 山田 暉馨

本年4月に京都大学桂キャンパスで行われた学術変革領域研究(A)「1000 テスラ超強磁場による化学的カストロフィー：非摂動磁場による化学結合の科学」の第三回領域会議にて優秀発表賞 (Best Presentation Award: Silver Prize) を頂くことができました。発表内容は「High-field transport in three-dimensional Rashba electron systems」で、最近発表した磁場中輸送の基礎理論[1]を複数バンド系へ拡張した結果についてお話ししました。

スピン軌道相互作用は半導体・半金属中でキャリアの電子状態を変調するバンド間効果の一つで、自由電子に対し空間反転対称を破るような摂動としてこの効果を加えることによりスピン分裂した状態を得ることができます(ラシュバ効果)[2]。またこのようなエネルギー分散を持つ電子系はラシュバ電子系と呼ばれ、通常は半導体ヘテロ界面や金属表面においてよく見られますが[3]、最近では反転対称を破った半導体のバルク状態においてもその存在が見つかっています[4]。

ラシュバ電子系は2バンドという極めてシンプルな系ですが、スピン軌道相互作用によるバンド間効果が電子輸送の様子を自由電子とは全く異なるものに変えます。自由電子の磁気伝導度はランダウ量子化した軌道間の遷移に起源をもち、古典的な荷電粒子のサイクロトロン運動への対応付けが可能です。一方ラシュバ電子系の場合、ここにスピン間の遷移による伝導度が加わりますが、これは量子論を考慮することで初めて登場する変わり種です。

今回3次元ラシュバ電子系の磁気伝導度テンソルに含まれる軌道遷移項・スピン遷移項すべてを解析的に計算してみました。するとスピン軌道相互作用が大きいとき、スピン遷移が軌道遷移を凌駕し、ホール伝導度の符号を反転させることが分かりました。さらに興味深いのは強磁場におけるふるまいです。スピン軌道相互作用が大きい場合でも、これに拮抗するエネルギーの磁場を印加することで軌道遷移が優勢となり、自由電子由来のホール伝導度に移り変わることを発見しました。

ラシュバ電子系は、低エネルギー領域にのみ注目するとスピン軌道相互作用の強い極限であるディラック電子に似

た線形分散を持ちますが、高エネルギー領域まで見渡すと(エネルギー分散を遠目から見ると)自由電子のように見えます。言い換えると、スピンの影響は低エネルギー領域に限定されており、そのスケールを超える磁場によって自由電子のふるまいを顕在化させることができます。これとよく似た効果にパッシェン・バック効果があります。原子軌道がスピン軌道相互作用を受けると、準位間の混ざりあいによって微細構造を形成しますが、強磁場下ではこの混ざりあいが顕著ではなくなり、ピュアな磁気モーメント由来の分裂のみが観測されます[5]。バンド電子のホール効果と原子軌道間の励起という全く異なる現象について、スピン軌道相互作用に対する磁場効果が同様の振る舞いを示すというのは大変興味深く、磁場を通して一見とらえどころのない相互作用の普遍的な一面を垣間見た気がしました。

ラシュバ電子系は今や物性物理において知らぬ人のないほど有名になっていますが、ラシュバの原論文[2]を手に入れるのはさほど簡単でないことに気づきました。このご時世にこれほど有名な論文がインターネット上で閲覧困難であるところに驚きましたが、ありがたいことに物性研図書館の書庫で蔵書を見つけることができました。製本された論文集はラシュバのページが特にゴロゴロで、本から切り取られて封入されていたのが印象的でした。1950~70年代のソビエトの物性論文は先駆的なアイデアの宝庫で、物性研図書館の充実したアーカイブには常に助けられました。この場を借りて御礼申し上げます。

結びになりますが、2024年10月をもちまして2年余りお世話になった物性研を離れ、神戸大学理学研究科に異動する運びとなりました。強磁場施設との出会いを与えてく



領域会議にて贈られた賞状

くださった徳永将史先生、学術変革領域のメンバーに採用してくださった松田康弘先生には返しきれないご恩を賜りました。共同研究や研究会などでお世話になる際はお力になれるよう頑張っておりますので、今後とも何卒よろしくお願い致します。また、この度神戸大学理学研究科教授にご栄転される伏屋雄紀先生とは早くも5年余りのお付き合いとなりました。本受賞の研究は電気通信大時代の伏屋研究室における議論から発展したものです。学部4年の時に知った電子輸送理論の奥深さと感動を現在も味わうことができることを大変有難く思います。今後ともご指導のほど何卒よろしくお願い致します。徳永研の近藤助教、阪大花咲研の村川助教からは3次元ランジュバ電子系物質の輸送実験に関して貴重なご意見を頂戴することができました。磁場中輸送の実験について今後ともお二人にはアドバイスを仰ぐ場面も多いかと思いますが、何卒よろしくお願い致します。

(参考文献)

- [1] A. Yamada and Y. Fuseya, *J. Phys.: Condens. Matter* 36, 245702 (2024).
- [2] E. I. Rashba, *Fiz. Tverd. Tela* 2, 1224 (1960).
- [3] G. Bihlmayer, et al., *New J. of Phys.* 17 (2015).
- [4] K. Ishizaka, et al., *Nat. Mater.* 10, 521–526 (2011).
- [5] F. Paschen and E. Back, *Physica* 1, 261 (1921).



分子科学討論会および日本表面真空学会学術講演会 における優秀講演賞の受賞に寄せて

ナノスケール物性研究部門 吉信研究室 博士後期課程3年 亀山 理紗子

この度、2023年開催の第17回分子科学討論会ならびに、2023年度日本表面真空学会学術講演会におけるポスター発表に対して、学生優秀講演賞を受賞しました*。日々の地道な研究が実を結んだこと、それを評価していただいたことを非常に嬉しく思います。

受賞対象となった研究は「2色レーザー誘起空気プラズマによる広帯域赤外パルス光源を用いた振動分光法の開発」です。以下、開発の経緯と手法の特色を紹介します。

私が所属する吉信研究室では、モデル触媒表面における反応機構を研究しています。最近では、テラヘルツパルスを用いた表面反応の駆動を目指して、テラヘルツ分光を専門とする物性研究所松永研究室との共同研究を進めています。今回用いた2色レーザー誘起空気プラズマによるパルス光は、瞬間的に強力な電場を印加できるテラヘルツ光源として知られていますが、0-5000 cm^{-1} にわたる非常に広帯域の赤外(IR)成分をもつことも特徴の一つです¹⁾。

私はこの広帯域性に着目して、分子の振動分光への応用を考えました。今日、表面に吸着した分子の分析手法は数多く存在します。その中でも、振動和周波発生(V-SFG)分光法は、原理的に界面選択的な計測法であり、超短パルス光源を用いればサブピコ秒で発展する高速な分子ダイナミクスの追跡ができます²⁾。私は修士課程での研究経験から、凝縮相の計測データから表面の信号を抜き出すことに困難を感じたため、このV-SFG分光法に魅力を感じていました。

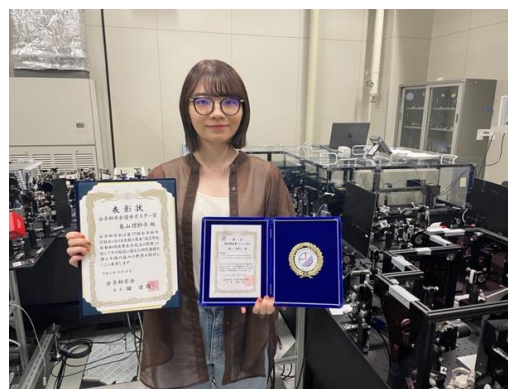
しかし、従来のV-SFG分光法には入射光の性質に基づく課題があります。V-SFG分光法では、分子振動に共鳴する周波数をもつIR光と、単色の可視光を入射光として、その和の周波数をもつ光(SFG光)を検出します。このIR光の発生手法として、固体結晶を用いた差周波発生(DFG)によるものが主流です。この手法で発生できるIR光の周波数帯域は狭いうえに、固体のフォノンが600 cm^{-1} 以下の低周波数領域に多く存在するため、低周波数のIR光発生には不利に働きます。したがって、V-SFG分光法の検出帯域・周波数の下限には制限があります。

上記の問題点2つを克服する手段として、我々は2色レーザー誘起空気プラズマによるIRパルス光を用いた超広帯域

V-SFG分光の提案と原理実証を行いました。学会発表では、アクリル樹脂の振動スペクトル計測から600-3000 cm^{-1} にわたる広帯域V-SFGスペクトルを示しました。現在では、装置の改良を重ねて250-3300 cm^{-1} までのV-SFGスペクトルの取得に成功しています。これにより、従来法では観察されてこなかった振動モードに対してのダイナミクス研究ができるようになることを期待しています。

また、今回開発した手法は広帯域IRパルス光のスペクトル評価にも用いることができます³⁾。つまり、表面分子だけでなくバルク物質の振動分光にも拡張ができます。今後は、開発した計測法をポンプ・プローブ分光法へ応用していき、表面・バルク相で起こるキャリアと分子の相互作用について洞察を深めていきたいと考えています。

以上の研究は、主にJST CREST「革新的反応」のご支援のもと、物性研究所吉信研究室と松永研究室との共同研究にて遂行しました。この場をお借りしまして、日頃よりのご支援・ご指導に心よりの感謝を申し上げます。



参考文献

1. Y. Chen, Y. He, L. Liu, Z. Tian, X.-C. Zhang, and J. Dai, *Photonics Insights* **2**, R06 (2023).
2. Y.-R. Shen, "Second harmonic and sum-frequency generation spectroscopy: Basics and Applications" (WORLD SCIENTIFIC, 2023).
3. R. Kameyama, S. Tanaka, Y. Murotani, T. Matsuda, N. Kanda, R. Matsunaga, and J. Yoshinobu, *Opt. Lett.*, **49**, 3978 (2024).

*受賞対象となったポスターは物性研究所A棟266号室前に掲示しています。

Winning the IUPAB2024 Student and Early Career Researcher Poster Award

Chunyangguang Li, M2, Inoue Laboratory

At the 21st congress of International Union of Pure and Applied Biophysics (IUPAB2024), held at the Kyoto International Conference Center from June 24 to 28, 2024, I was awarded the IUPAB2024 Student and Early Career Researcher Poster Award. This award is given to the most outstanding presentations by students and early-career researchers, selected through a vote by participants.

The award-winning presentation was based on our research on rhodopsins, light-sensitive proteins found in animals, titled “Exploration of the Diversity of Absorption Spectra in Vertebrate Retinal Photoisomerase, RGR.” I would like to briefly introduce this research.

When we see objects, visual rhodopsin in the photoreceptor cells of our eyes functions as a light sensor. Visual rhodopsin binds 11-*cis*-retinal as a chromophore, and upon light absorption, the retinal is isomerized into the all-*trans* form. To detect the next photon, visual rhodopsin needs to rebind an 11-*cis*-retinal molecule. Therefore, a mechanism to supply 11-*cis*-retinal is essential for maintaining the function of visual rhodopsin. The subject of this study, Retinal G-protein-coupled Receptor (RGR), is a type of rhodopsin known as a retinal photo-isomerase. It binds the all-*trans*-retinal that dissociates from visual rhodopsin and uses light energy to isomerize it back to the 11-*cis*-form.

While most vertebrates, including humans, possess RGR, the spectroscopic properties of RGR across different animal species have not been well studied. In this research, we prepared protein samples of RGRs from various species using cultured cells and found that vertebrate RGRs generally act as blue-absorbing pigments. Interestingly, we also discovered that zebrafish, a type of bony (teleost) fish, possess not only blue-light-absorbing RGR but also green-light-absorbing RGR. To elucidate the molecular origin of the difference

in absorption properties, we produced mutants by substituting amino acid residues near the chromophore and analyzed the changes in the absorption spectra. As a result, we identified the amino acid residues involved in the absorption properties of green-light-absorbing RGR and suggested that differences in the twist of the retinal chromophore lead to changes in absorption characteristics. This study is the first to reveal the mechanism of regulation of absorption wavelength in rhodopsins involved in maintaining visual function.

This award was made possible with the support of my co-presenters, Prof. Keiichi Inoue, Dr. Takashi Nagata, and Mr. Naoya Morimoto, a graduate of the Inoue lab. I would like to take this opportunity to express my heartfelt gratitude to them.

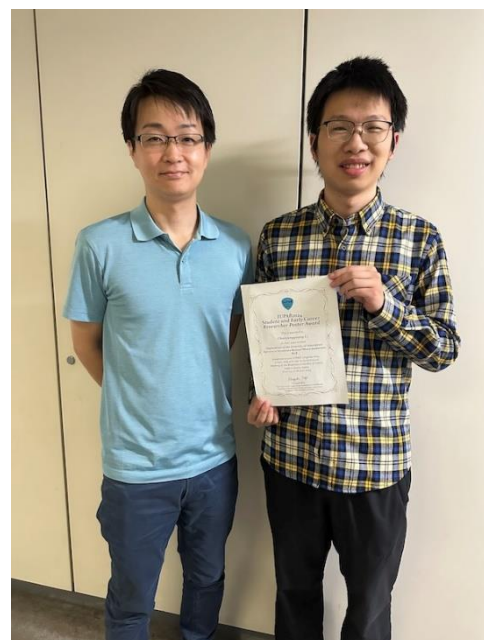


Figure 1. I (right) holding the award certificate and Dr. Nagata

物性研に着任して

凝縮系物性研究部門 高木 里奈

2023年4月に物性研に着任し、研究室の立ち上げという大きな転機を迎えました。この1年半を振り返ると、時間がさらさらと通り過ぎていったような感覚で、遠い過去のようにぼんやりとした記憶だけが残っています。

記憶を辿るなかで、小さい頃のことを思い出しました。一人っ子で両親共働きだったこともあってか、私は割とマイペースな子どもだったようです。保育園の昼寝の時間になっても昼食が食べ終わらず、ひとりポツンと食事を続けながらぼんやりしていることがよくありました。また、文字に興味を持ってからは、保育園から帰る前に下駄箱に書いてある60人くらいの名前をすべて読まない、その場を動かなかったそうです。小児喘息で病弱だった小学生時代は、一人で寝転がりながらベランダの先の空を眺める時間が長かったように思います。環境破壊や地球温暖化について知るようになると、大気汚染で喘息が悪化するのも、空が汚れるのも嫌だなど、環境問題の解決に携わる仕事がしたいと考えるようになりました。その後、東大の理一に進学し、1、2年生のときに環境問題に関係しそうな分野の授業を取り、迷った末に工学部物理工学科への進学を決めました。元々、ものづくり(工学)に興味があったこと、普遍的な物理法則をもとに全く新しい材料や技術を実現することに魅力を感じたからです。しかし、いざ初日のガイダンスに行ってみると、同級生の中に女性は私一人だけ、そして教授も全員男性という状況でした。さすがに先行きに不安を覚え、もし耐えられなくなったら大学院で他の専攻に移ろうと決めることで心を落ち着かせて、卒業までの2年間は勉強に集中することにしました。物性研で研究室を立ち上げるまで物性物理の研究を続けるとは、当時は全く想像していませんでした。

研究室配属に際し、省エネにつながる新しい電子材料が実現できるのではと、強相関電子系が示す量子多体现象に興味を持ちました。卒論研究では酸化物、大学院時代は分子性導体、ポスドク以降は金属間化合物と、対象物質は移り変わっていますが、研究を進めるにつれ、共通の物理があることがわかってきました。物質の多様性の中にある普遍性を見出す面白さは、今も研究の礎となっています。

これまで研究生活の大半は本郷で過ごしてきましたが、

物性研に着任するにあたり実験装置も自宅も柏に移ってきました。自分より背の高い道端の雑草、目覚まし時計よりも早起きの鳥の鳴き声、真っ暗な夜道で際立つ月明かりなど、周囲の自然に触れる機会は格段に増えました。また、物性研ではサッカー、テニス、ラジオ体操と、体を動かすことに積極的な雰囲気が素敵だと感じており、触発されて6階で(なるべく)毎朝、筋トレするようになりました。小1から続けているクラシックバレエでは、体幹や筋力の向上を感じていますが、研究活動への効果については引き続きデータ収集・解析していくつもりです。

昨年4月の研究室立ち上げに続き、人生の大きな出来事として昨年9月に出産を経験しました。着任直前の2月、3月は悪阻のためか、食べ物の匂いで吐き気と頭痛がしていたため、学生居室や食堂、カフェ、コンビニなど、どこにいるのも辛く、頭も体も働かない、ほぼ何もできない状態でした。4月に入って体調は徐々に回復したものの、妊娠中で力仕事ができず、実験装置の移設や組み立てなど、周囲の方々には本当に多くのサポートをいただきました。また、物性研で産休取得は初めてとのことで、総務係をはじめ関係各所にも大変お世話になりました。この場を借りて、心から感謝いたします。

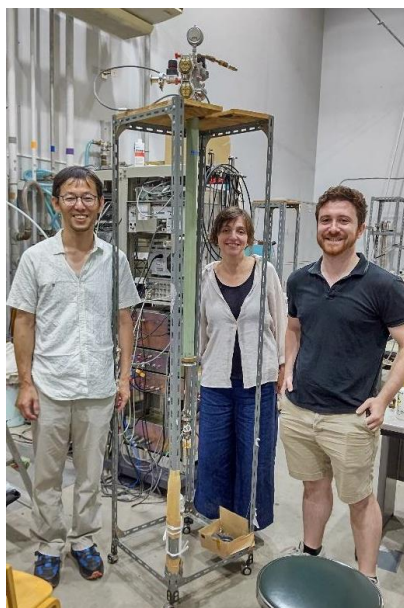
育児が始まり、研究時間の確保がまだ解の見えていない課題の一つで、これまでとは異なる研究スタイルを模索しています。学生・ポスドク時代は結婚後も同業者である夫の理解があったため、研究中心の生活をしてきました。終電まで実験したり、土日も好きな時に解析や執筆作業を進めたり、また結婚式の3日後から2週間ほど出張実験に行ったりと、いわゆる「男性的な」働き方をしてきたと思います。一方、今では出張実験、研究会、打合せなどを予定する際、子どもを帯同するか、保育園の送り迎えをどうするか、当日に子供が発熱したらどうするか、など検討事項が増え、時間の制約に頭を抱えることも少なくありません。招待講演を辞退したり、授賞式を欠席したり、出張実験を共同研究者に任せたりすることが重なると、申し訳ない、残念な気持ちが募ってきます。ただ、子どもと接していると、しばらくは「まあいいか」と思えるようになります。また、育児は自分を見つめ直す機会にもなっています。

仰向けで寝ているだけだったのが、うつ伏せ、お座り、ハイハイ、つかまり立ち、と一つ一つできることが増えていく過程で、(少なくとも我が家の)子どもはじっと観察し、試し、失敗してまた挑戦する、を繰り返しています。新しい能力や視点を獲得する時のひたむきさや、乗り越えた先でまた挑戦を始める姿勢に尊さを感じるとともに、研究も焦らず一つ一つ進めていこうと思えるようになってきました。こうした日々の中で、いま自分は初めて「女性的な」働き方をしているのではと感じています。これまで「女性研究者」として周囲から見られる価値や意味が自分にあるのかと悩んでいましたが、最近では、いわゆる「男性的な」働き方の研究者とは異なる方向性や視点で研究ができるかもしれないと考えています。

この1年半は、私にとって大きな変化を伴う時間でした。これからも変化と挑戦を続けながら、自分のペースで進んでいこうと思います。

外国人客員所員を経験して

Natalia Drichko
Johns Hopkins University, USA
drichko@jhu.edu



In May - July 2024 I had an opportunity to stay at ISSP hosted by Professor Minoru Yamashita. We extended and strengthened a collaboration that we started a few years ago with my first visiting professor 6-month stay at ISSP. This time our research was aimed on the study of the phase diagram of two-dimensional organic Mott insulators using resistivity measurements. We used uniaxial strain to tune the properties of materials from Mott insulator into a ferroelectric state. Prof. Yamashita and Dr. Takeda were amazing hosts and mentors to my graduate student Jesse Liebman who joined the project. We tested a strain device designed by Jesse and applied it to the resistivity measurements at Prof. Yamashita's lab. Our first results demonstrate the tuning of the temperature of the Mott insulating phase transition in κ -(BEDT-TTF)₂Hg(SCN)₂Br to low temperatures on the application of strain which increases the anisotropy of triangular lattice. The success of the application of our strain device to the resistivity measurements in fragile

crystals of organic Mott insulators gives a promise for the future science we can do using uniaxial strain as a tuning parameter of these materials.

ISSP provides an inspiring scientific environment which I enjoyed during my stay. I have strengthened collaboration and enjoyed discussions with Prof. Mori. Theory seminars and discussions with Prof. Oshikawa and his guests were another highlight of my stay.



I took the advantage of the excellent spectroscopic equipment in Spectroscopy Lab at ISSP. Here I could perform infrared reflectivity and transmission measurements of small crystals in a wide spectral range. I would like to thank Prof. Matsunaga for his support in using the Spectroscopy Lab.

While staying at ISSP I had excellent discussions and visits to the other parts of the University of Tokyo. I had an opportunity to give a seminar at Hongo Campus and discuss joint projects with Prof. Nakatsuji.

As a whole, these two months were an extremely fruitful time for my research, and I am looking forward to the future scientific exchange with my colleagues from ISSP.



第 69 回物性若手夏の学校開催報告

九州大学大学院理学府物理学専攻 修士 2 年 目黒 智成

1. はじめに

物性若手夏の学校は、理論・実験、Soft・Solid を問わず、広く物性物理学の様々な分野における大学院生や若手研究者が集う、日本最大級のサマースクールである。今年の夏の学校は、著名な講師陣による基礎から最先端の内容までをカバーした講義および集中ゼミという学習の場、学会形式の口頭発表およびポスターセッションという研究発表の場、分野や学年、また参加者・講師かを問わずに自由に議論していただく交流の場という三つの場を提供することにより、若手研究者の養成を行うことを目的とした。

第 69 回物性若手夏の学校は、2024 年 8 月 2 日から 8 月 6 日までの 5 日間、愛知県蒲郡市にある西浦温泉ホテルたつきにて対面で開催された。参加者としては、学部生・修士・博士・既卒者を含め 200 名、講師の先生方として 17 名の総勢 217 名が現地に集い、本夏の学校を大いに盛り上げた。

2. 各企画の紹介

第 69 回物性若手夏の学校のプログラムは以下の表 1 のとおりである。以降、各企画の開催概要について詳述する。

表 1. 開催プログラム

| | 8月2日(金) | 8月3日(土) | 8月4日(日) |
|-----|----------|-----------|-----------|
| 午前 | - | 講義 | 講義 |
| 午後1 | 開校式 | ポスターセッション | ポスターセッション |
| 午後2 | グループセミナー | 分科会 | 集中ゼミ |
| 夜 | 懇談会 | 懇談会 | 座談会・懇談会 |

| | 8月5日(月) | 8月6日(火) |
|-----|----------|---------|
| 午前 | 講義 | 解散・帰宅 |
| 午後1 | フリーセッション | - |
| 午後2 | 集中ゼミ | - |
| 夜 | 閉校式・懇談会 | - |

2.1. 講義・集中ゼミ

参加者の学習の場として、講義・集中ゼミが行われた。「講義」は、3 時間×3 日間の合計 9 時間で、その分野の基礎事項から現在の状況までを体系的に学ぶことのできるものであり、板書形式、スライド形式、またはその併用など、様々な講義スタイルが見られた。招聘した講師は 6 名で、そのお名前・講義タイトルは以下の表 2 に示されている。また、講義概要に関しては夏学 HP*を参照されたい。参加者は、6 つの講義から興味のある 1 つを選択して受講する。どれも非常に魅力的な講義であり、開始前から「どの講義を受けるか」、「自分はこの講義を受けるつもりだが、そちらも気になる、講義ノートを見せてくれないか...」などなど、いわば「贅沢な悩み」を持った参加者が至る所で見られた。「集中ゼミ」は 3 日目に「集中ゼミ 1」、4 日目に「集中ゼミ 2」と、各日異なるテーマで開催された。各々 3 時間で最先端の研究内容をセミナーしていただくものであり、合計 12 名(内 1 名はオンラインにて講義)の講師を招聘した。講師氏名およびタイトルは表 1 の通りである。こちらも夏学 HP に概要があるため、各ゼミの詳細が気になる読者はそちらを参照されたい。

(*: <https://cmpss.jp>)

表 2. 講義・集中ゼミのプログラム

| | 講師氏名(敬称略) | 講演題目 |
|--------|---|---|
| 講義 | 横内 智行 求 幸年 花栗 哲郎 植村 卓史 辻 直人 早川 龍 | 磁気スキルミオンの基礎と応用 スピン液体の物理 分光イメージング走査型トンネル顕微鏡 多孔性金属錯体(MOF)の開発と応用 非平衡超伝導の物理 量子アルゴリズムと量子計算複雑性理論入門 |
| 集中ゼミ 1 | 蘆田 祐人 望月 維人 森 初果 林 久美子 大熊 哲 遠藤 傑 | 量子測定と相転移・臨界現象 磁気スキルミオンが示す電流駆動ダイナミクスの理論 物性発現のための有機物デザイン モータータンパク質の生物医学物理 超伝導渦糸系が拓く非平衡物理学 量子エラー抑制とその周辺分野について |
| 集中ゼミ 2 | 川口 由紀 磯部 大樹 笠原 裕一 畝山 多加志 中山 尚子 吉岡 信行 | 実空間トポロジカル構造の生成と制御 ディラック模型からはじめる多バンド電子物性理論 量子スピン液体におけるエキゾチック準粒子励起とその実験的検証 高分子レオロジーの粗視化分子モデル グローバルで行こう！ -非平衡視点の熱力学再検討がもたらす大域熱力学- 物性物理のための誤り耐性量子計算 |

2.2. 分科会・ポスターセッション

参加者の研究発表の場として、分科会・ポスターセッションが行われた。2 日目に開催された「分科会」は、量子情報・計測、統計力学、超伝導・密度波、磁性・強相関電子系、構造物性、光物性・メゾスコピック系、原子分子、トポロジカル物性、トポロジカル超伝導、ソフトマター・生物物理・化学物理の全 10 分野から、参加者自身で発表する領域を選択し、スライドを用いて口頭発表を行うものである。進行形式についても、発表の後には、次の発表者の座長を務めるというシステムをとっており、口頭発表、並びに座長の両方を経験することができる。また、pdf にて配布された夏学のおしおりに分科会発表者の氏名・所属・発表タイトルが記されており、聴講者はそれを参照することで聞きたい講演を選択する。分科会開催当日は、総勢 70 名が発表し、どの会場も大変盛況であったようで、各々の講演に種々の質問・議論がなされた。学生同士であるという事実が、気軽に質問・議論できる空気を作り、このような活発な討論につながったのだと思われる。2・3 日目の「ポスターセッション」は、両日ともに 3 時間開催され、88 名の参加者がポスター発表を行った。こちらについても、夏学しおりに各発表者の情報が記されており、参加者および講師はそれを参照して自由に聴講することができる。当日は、200~300 人は入る大きなホールにポスターが整然と並べられ、時間いっぱい議論がなされた。人数の多さであろうが、当日の会場は冷房の気温など関係なく、文字通り「熱い(暑い)」発表会となっていた。上述したように、発表者は学生だが、聴講者は学生および講義・集中ゼミの講師陣であった。故に、発表者にとっては自らの研究内容を事細かに先生方へプレゼンできるという、稀有な機会となっていた。以下の図 1 に、開催当日のポスターセッションの様子を示す。



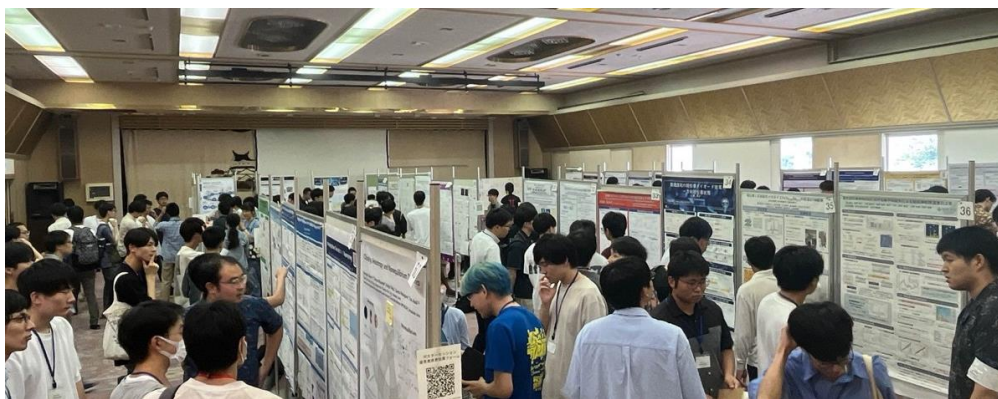


図 1. ポスターセッションの様子

2.3. グループセミナー

1 日目の開校式後に行われた「グループセミナー」は、4 人 1 組で各人の研究を見せ合う議論形式のセミナーである。集められた 4 人の学年・専門分野は完全にランダムであり、専門外にも分かるように研究内容を伝えるという力が試される。スピーカーの 1 人は、スライドや印刷しておいたプリント、ホワイトボードなどを用いて、自身の研究内容をできる限り伝えようと努力し、またそれに応えるように、他の 3 人も様々な質問や指摘を行っていた。その結果として、どのグループも絶えず議論が続いていたようで、大変盛況した企画となった。また、研究発表という面以外にも、夏学プログラム最初の企画ということで、このグループセミナーで友人を作った参加者も多いようである。自身の所属する研究室、または大学以外にコミュニティが広がっていくのを、各人実感したであろう。

2.4. 懇談会・座談会

夏学開催期間中、毎夜開催された「懇談会」は、お酒・ソフトドリンク・スナックが用意され、参加者同士の交流の場として機能した。参加者は、それらのドリンク類、菓子類を飲み、食べながら、研究の話や自身の悩み事、これからの将来のことなど、実に多種多様な話題で盛り上がっていた。中には会場にノートパソコンを持ってきている参加者もあり、上述のグループセミナーの延長戦とでもいべき議論で盛り上がっていた。毎夜、学生のみならず講師の先生方も参加され、お酒の席なのもあってか不思議と距離も近くなり、種々の話題に花を咲かせていた。3 日目の夜に開催された「座談会」は、講義担当の先生方を囲んで、ご自身のキャリアパスや研究における喜び、悩み、そしてその打開策といった様々な質問に答えていただく会である。事前アンケートにて募集した質問に加えて、その場において挙手制で質問を募集した。先生方には、1 つ 1 つ丁寧に、またご自身の経験を交えて答えていただいた。学生側も、先生方のいわば人生観とでもいべきものを聞き逃すまいと、熱心に耳を傾けていた。以下の図 2 に、懇談会、座談会の様子を示す。どちらも非常に多くの学生・講師の方々が参加され、盛況した様子が見て取れる。

(a) 懇談会の様子



(b) 座談会の様子



図 2. (a)懇談会、および(b)座談会の様子

3. 総括・そして次の夏学へ

第 69 回物性若手夏の学校では、2019 年以來となる、全日程対面における開催が実現した。本夏学は、著名な講師陣による講義・集中ゼミを通して体系的に、かつ最先端の研究を学べる場を、また各人の研究を口頭で、もしくはポスターで多くの参加者に対して発表できる場を提供した。さらに各会場では、場所や時間を問わない熱い(暑い)議論が交わされたようで、多様なバックグラウンドを持つ参加者が交流する場としても、この夏学は機能した。参加者や講師の先生方からは、参加して良かったとの声を現地にて、また開催後アンケートにていただいております、大盛況のうちに今年の夏学を終えることができたと考えている。

結果として今年の夏学を綺麗に終えることができたが、思い返せば、今年の夏学の準備はいばらの道であったように思える。年明け前は近年の物価高および宿泊費の高騰が原因で、開催資金集めに頭を抱えた。東京大学物性研究所様をはじめとした各支援機関・財団様にご援助をいただくことに加えて、現地における企業ポスターの展示や講義テキストファイルの配布など、協賛方法を工夫することで、この困難を乗り越えることができた。しかしその次、年明け後は、現地における開催プログラムの考案、作成に悩んだ。例年のプログラム案はもちろん存在し、引き継がれているが、実際の現地での動きや時間感覚、タイムスケジュールのノウハウはほとんど失われていたといっても過言ではなく、詳細な調整に苦労した。円滑な開催のために準備を重ねてきたつもりだが、事実として、当日、各所で起こったトラブルのいくつかには、対応が後手後手になってしまった。参加者・講師の先生方、また実際現地でその対応をしてくれた準備局スタッフにご迷惑をお掛けしたことは反省点である。それらの点を修正・調整すべく連日ミーティングを重ね、各企画の運営をブラッシュアップすることができた。最終日の朝、満足した顔で帰っていく参加者の方々を見送っていると、それらの苦労が報われたように思えた。

上述のような反省点はあったが、これらは全て次回以降の夏学へ活かされると考えている。第 70 回物性若手夏の学校の準備局スタッフは決まっております、その準備もすでに開始している。コロナ禍でのオンライン開催のノウハウ、また今回の対面開催のノウハウを引き継ぎ、より素晴らしい夏学が開催されることを祈念し、総括を終える。

4. おわりに

ご多忙の中ご講演を引き受けてくださった講師の先生方に心より感謝申し上げます。また第 69 回物性若手夏の学校を開催する上で、京都大学基礎物理学研究所・東京大学物性研究所・材料科学技術振興財団・東北大学金属材料研究所・公益財団法人中辻創智社・協賛企業・個人協賛の方々からのご支援、および日本物理学会・応用物理学会・日本化学会からのご後援をいただきました。準備局一同、厚く御礼申し上げます。また、約 1 年の間、誠心誠意運営に取り組まれたスタッフの皆様にも深く感謝申し上げます。誰一人として欠けても、今年の夏学は実現できなかったと思います。そして最後になりましたが、今年の夏学を大いに盛り上げてくださった参加者の皆様にも御礼申し上げます。



図 3. 閉校式での集合写真



物性研究所談話会

標題：大きな高圧力発生装置と新物質相開拓

日時：2024年7月5日(金) 午後4時～午後5時

場所：物性研究所本館 大講義室 (A632) 及び Online

講師：北川 健太郎

要旨：

高圧力は、構造相転移や高圧高温合成を通して新物質相を創生する手段であるとともに、基底状態を連続的に変化させ量子相転移やエキゾチック量子電子相を研究するための重要な物性研究ツールです。これまでに様々な超高压発生装置が開発され、10 万気圧を超えるような高圧下実験環境はかなり普及してきました。特に、近年の水素化合物超伝導やニッケル酸化物高温超伝導候補物質の発見は、ダイヤモンドアンビルセル(DAC)による測定技術の成熟によると思われます。一方で、DAC は極端に小さな試料を圧す装置であることから実験上の制約が大きく、実践的な電子物性研究のためにより幅広いアプローチが求められています。我々は、大きな試料室体積、容易な配線と光学測定を両立する高圧力発生装置を開発し、10 万気圧級の核磁気共鳴測定と精密磁化測定を実現してきました。これらの技術は、圧力誘起のエキゾチック超伝導や量子スピン液体研究にある程度有用でしたが、たくさんの候補物質から新電子相を発見するには、より機能的で機動的な高圧装置／測定技術が必要と考えます。本講演では、これまでの研究内容に加え、現在建造中の、巨大な試料室と先端測定手法を兼ね備えた装置を紹介します。ここ数年で高圧下でも実用性が示されつつある光検出磁気共鳴法を組み合わせることにより、超伝導相探索や量子磁性研究を大きく加速させる予定です。

【講師紹介】

北川健太郎先生は4月に物性研に着任されました。過去には、物性研瀧川研究室でポスドク研究員としても研究しておられ、この度古巣に帰ってこられた、という形になります。北川先生は、独自開発の高圧力発生装置と光学・磁気共鳴測定技術を組み合わせ、超高压力下でのオリジナリティの高い新電子相の研究を行っておられます。今回は着任の機会に、ご研究分野の紹介とともに、物性研での研究の展開に関する抱負をお話いただきました。

標題：Kitaev and kagome quantum spin liquids

日時：2024年7月31日(水) 午後3時

場所：柏図書館メディアホール

講師：松田 祐司

要旨：

Quantum spin liquids (QSLs) represent an exotic state of matter where quantum spins interact strongly yet avoid forming long-range magnetic order down to absolute zero temperature. QSLs exhibit nonlocal quantum entanglement, giving rise to fractionalized quasiparticle excitations with novel emergent properties. This talk will explore the rich phenomenology of QSL phases, with a particular focus on the Kitaev and kagome materials which have garnered significant recent interest.

【講師紹介】

松田祐司氏は1987年に東大で学位を取得後、北大やプリンストン大学を経て1997年に物性研の准教授に着任し、様々な超伝導体の研究に取り組みました。2004年に京都大学に教授として異動され、鉄系超伝導体や人工超格子における超伝導の研究を発展させ、さらに二次元三角格子反強磁性体やカゴメ格子反強磁性体、キタエフ磁性体における量子スピ

ン液体状態の研究でも大きな成果を挙げられました。これらの優れた業績により、仁科記念賞(2014)、カマリナーオンネス賞(2018)、文部科学大臣表彰・科学技術賞(2019)、第21回本多フロンティア賞(2024)など、数々の表彰を受賞されています。

標題：先端構造物性研究－物理と化学の狭間で－

日時：2024年10月11日(金) 午後3時

場所：物性研究所本館6階 大講義室 (A632)

講師：澤 博

要旨：

現代社会におけるテクノロジーの多くは、多様な機能をもつ基礎材料に支えられている。持続可能な社会の発展を支えるには、物質の機能のより効率的な利用や新機能の創出が必要である。こうした社会的要請に対して、我々は物質の構造や機能を量子力学的に理解すること、さらに新しい機能性物質のデザインを提案することを目標に研究を行っている。この「構造物性」研究は化学と物理学の狭間を扱っており、そのアプローチの違いは実空間か波数空間かの差異である。例えば、銅酸化物高温超伝導体の発見の際にはブロック層の探索という実空間の視点が多くの新物質を生み出し、この知見がその後発見された鉄系超伝導体の探索にも大いに活用された。実際、結晶構造を組み立てることで超伝導の転移温度を自在に操れそうに期待させる実空間研究スタイルは実に夢溢れる。一方で、ミクロな物性の発現機構に興味を抱くと必然的に波数空間・エネルギー空間を扱うことになるが、構造物性研究においては手薄であった。我々は、放射光回折実験を極め、匠の技を用いた価電子密度分布解析を実現した。実験的に得られる実空間情報をどのように活かすのか、第一原理計算との比較・検討がどのように物性の理解へと導くかについて問題提起した。

【講師紹介】

澤教授は、長年構造物性研究の分野で第一線級の活躍をされております。1989年に青山学院大学の助手に着任し様々な超伝導体の構造決定に尽力され、1991年に物性研究所の助手に着任後は分子性導体の研究を強力に推進されました。1996年に千葉大学の助教授、2001年に高エネルギー加速器研究機構の助教授、同教授を経て、2008年に名古屋大学に教授として着任されています。物性研究所以降のキャリアでは、放射光を用いた研究を継続的に発展させており、特に最近では精緻な価電子密度分布解析を実現されています。今回、結晶構造という最も基本的な情報を、どのようにして精緻な物性の議論に繋げるのかの技術も含めて談話会でご講演いただけることになりました。

標題：Unravelling the molecular origin of water/ice anomaly with scanning probe microscopy

日時：2024年10月15日(火) 午後3時30分

場所：物性研究所本館6階 大講義室 (A632)

講師：Ying Jiang

要旨：

Despite its ubiquity in nature, water is one of most complicated condensed matters. The understanding of water structure and phase transition is far from satisfactory, and many unusual properties of water remain as puzzles. The main reason arises from the many-body hydrogen (H)-bonding interaction between the water molecules. Moreover, the light H nuclei can exhibit prominent quantum effects, in terms of tunneling and zero-point motion. The so-called nuclear quantum effects (NQE) add additional complexity to water and ice. In the past decade, we have steadily continued to improve accuracies of imaging and spectroscopic methods based on scanning probe microscopy (SPM), which acquire unprecedentedly high sensitivity to the H of single water molecule in a nearly non-invasive manner. In this talk, I will showcase the application of those techniques to probe water clusters, ion hydrates, two-dimensional



ices and bulk ices, with increasing complexity. The obtained results provide molecular insights into various water/ice anomaly, including quantum nature of H bond [1-3], ultrafast water and ion transport under confinement [4-7], premelting and phase transition [8], etc.

References:

Meng et al., Nature Physics 11, 235 (2015).
Guo et al., Science 352, 321 (2016).
Tian et al., Science 377, 315 (2022).
Peng et al., Nature 557, 701 (2018).
Ma et al., Nature 577, 60 (2020).
Tian et al., Nature Nanotechnology 19, 479 (2024).
Wu et al., Science 384, 1254 (2024).
Hong et al., Nature 630, 375 (2024).

【講師紹介】

Ying Jiang 氏は 2008 年に中国科学院物理研究所で学位を取得後、ユーリッヒ研究所やカリフォルニア大学アーバイン校を経て、2010 年に北京大学に着任され、走査プローブ顕微鏡を用いた様々な研究に取り組みました。特に、水分子の膜生成、配向、量子現象の分子レベルでの実空間観察による研究は高く評価されており、2019 年にアメリカ物理学会フェロー、2020 年仁科アジア賞、同年 Sir Martin Wood China 賞等を受賞されています。最近では、パルスレーザーと組み合わせた時間分解計測、ダイヤモンド NV センターによる量子計測でも顕著な成果を挙げており、今、最も注目される若手研究者です。

物性研究所セミナー

標題: AI meets Theoretical Physics: machine learning assisted solution of a difficult problem in frustrated magnetism

日時: 2024年6月10日(月) 午後4時~午後5時

場所: 物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師: Prof. Nic Shannon

所属: Okinawa Institute of Science and Technology

要旨:

Much has been made of the potential of AI to revolutionize the workplace. The range of tasks which can be performed by machines is expanding rapidly, and in many easily-defined tasks, such as playing chess, machines now comfortably out-perform humans. AI also brings the opportunity to automate many of the routine, repeated, tasks which arise in scientific research. But how AI will impact on the creative, conceptual, and problem-solving aspects of science, remains an open question.

In this talk we examine how AI contributed to the solution of a difficult problem in frustrated magnetism: the phase transition from a spin liquid described by a tensor gauge theory into a previously unknown form of magnetic order. This problem, which had defied conventional numerical simulation, was solved through a generative use of support vector machine (SVM), without prior training on related problems. However, neither the contributions of the SVM, nor that of the human researchers, proved decisive by themselves. Rather, success followed from a process resembling a collaboration between man and machine. We argue that this kind of “collaboration” may become the norm, especially in research involving large sets of data.

[1] “Identification of emergent constraints and hidden order in frustrated magnets using tensorial kernel methods of machine learning” J. Greitemann et al., Phys. Rev. B 100, 174408 (2019).

[2] “Human-machine collaboration: ordering mechanism of rank-2 spin liquid on breathing pyrochlore lattice”, N. Sadoune et al., arXiv:2402.10658

標題: Theory, prediction and detection for topological and chiral phonons

日時: 2024年6月10日(月) 午前10時~

場所: 物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師: Prof. Tiantian Zhang

所属: Theoretical Institute of Physics, Chinese academy of sciences, Beijing, China

要旨:

The effective control of phonon cannot only provide a new perspective for the understanding of physical processes such as thermal conductivity and electroacoustic coupling, but also promote the realization of related applications. However, the fundamental properties of “zero spin” and electrical neutrality make the means of manipulation of phonons very limited. Around 2018, with the popularization of topological band theory to solid phonon spectrum, and the establishment of a first-principles method to calculate topological phonon in real material systems [1], the degree of freedom of “topology” was successfully introduced into phonon systems, and it offers a way to modulate phonons. In the first part of the talk, I will introduce the theoretical and experimental results of several topological phonon

materials, such as the double-Weyl phonon material FeSi [1-2], the twofold quadruple Weyl phonon material BaPtGe [3-4], and the node-line phonon material MoB2 [5].

In addition to “topology”, phonon can also have a degree of freedom called “chirality”. For example, chiral phonons with non-zero circular polarization play an important role in the inter/intra-valley scattering of electron valleys and the light selection transition in the system that breaks the time-space inversion symmetry. However, in the past, most of the studies on chiral phonons were limited to two-dimensional systems, and the carrying group velocity was zero, which is not conducive to the practical application of chiral phonon in information dissemination [6]. Therefore, the second part of the report focuses on extending chiral phonon research to three-dimensional chiral crystal systems [7], and verifies the existence of chiral phonon at the center of BZ with high group velocity in α -HgS and elemental Te [8-9]. Finally, the talk will also explore the relationship between Weyl phonon and chiral phonon [9], as shown in the Figure below.

標題：高分解能レーザー励起光電子顕微鏡を使った物性研究

日時：2024年6月13日(木) 午後4時～午後5時

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：谷内 敏之

所属：東京大学 マテリアルイノベーション研究センター・新領域創成科学研究科

要旨：

光電子顕微鏡(PEEM)は一般的な電子顕微鏡とは異なり、励起源として光を利用することにより、物性の情報を直接可視化できる顕微手法であり、非破壊・電子状態に敏感なコントラスト・適度な検出深さ・高いスループットといった特長を持っている。特に光源の波長と偏光性を制御することで物質中の元素・価数・原子/分子配向・キャリア濃度・電子スピンといった様々な電子状態の可視化が可能な強力なツールとして基礎研究での顕微手法として利用されている。しかしながら PEEM は空間分解能が最高で 10 nm 程度、通常は 20 nm と他の電子顕微鏡と比較しかなり劣っていた。講演者は、PEEM の分解能を制限している主な要素は電子レンズ系の球面収差・色収差、および放出した光電子の空間電荷効果であることを明らかにし、電子ミラー型の収差補正器と連続波の深紫外レーザーを組み合わせたシステム(レーザーPEEM)を建設した。またレーザー光源には光強度 1017 photons/s、光子エネルギー4.66 eV のレーザーを用いることで世界最高となる空間分解能 2.6 nm を達成した[1]。

本講演では装置開発に加え、レーザーPEEM を用いた応用研究例を紹介する。上述のレーザー光源では放出される光電子の運動エネルギーが非常に小さいため(閾値光電子)、光電子が物質中を伝搬する距離(平均自由行程)が大きくなる。これにより厚さ 10 nm 以上の材料の下に埋もれたナノ構造を高い分解能で可視化することも可能である。埋もれたナノ構造観察の実施例として、上部にキャップ層が堆積された磁性薄膜、および酸化物ヘテロ界面で特異に発現する界面強磁性相の磁気イメージング、また電子デバイス構造の非破壊観察を試みたのでその結果を紹介しつつ、レーザーPEEM の可能性について議論した。

標題：AI Techniques for Materials Synthesis

日時：2024年6月17日(月) 午前10時～午後0時30分

場所：物性研究所本館6階 第2セミナー室 (A612)

講師：Dr. Ryo Tamura/Prof. Mikk Lippmaa

所属：NIMS: Data-driven Algorithm Team, Team Leader/ISSP: Professor

要旨：

Dr. Ryo Tamura/NIMS: Data-driven Algorithm Team, Team Leader

“Black-box optimization using annealing machines for automated materials exploration”

Mikk Lippmaa/ISSP

“How to Autonomize Synthesis”

Lab tour (semi-autonomous PLD tools)

標題：Energy relaxation and dynamics in strongly correlated materials

日時：2024年6月19日(水) 午前10時～午前11時

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：N. Peter Armitage

所属：Johns Hopkins University

要旨：

If a physical system is perturbed from equilibrium, the rate that it equilibrates is an important measure of its physics. In condensed matter physics, we are used to measuring such rates in the context of linear response to electromagnetic fields. For instance, the rate that current decays in a metal after an electric field impulse can be related to the width of its low-frequency “Drude” response in the optical conductivity. The rate that polarization decays after polling a liquid with an E field corresponds to the width of the broad peak in the Debye relaxational functional form. In contrast, the rate of energy relaxation is a fundamental rate that governs many processes in solids, but which is unfortunately not measured straightforwardly via conventional electrodynamic linear response. However quite generically, this rate can be measured in various non-linear χ_3 spectroscopies. I will discuss recent technical developments in the form of THz range 2D coherent spectroscopy (and its relatives) that allow us to get new information about energy relaxation in correlated and topological metals, as well as disordered electron glasses. I will discuss a number of systems and phenomena in which unconventional dynamics and energy relaxation govern their low energy behavior. I will give number of examples of the power of these new techniques to strongly interacting metals, Dirac semimetals, collective modes in superconductors, electron glasses, and 1D spin chains.

標題：Generation scheme of symmetry-adapted closest Wannier model

日時：2024年6月21日(金) 午後4時～午後5時

場所：物性研究所6階第5セミナー室 (A615) 及び Online (Hybrid)

講師：Rikuto Oiwa

所属：RIKEN CEMS

要旨：

T.Ozaki has recently developed a new method to construct the closest Wannier (CW) orbitals to a given set of localized guiding orbitals [1]. In the CW formalism, the disentanglement of bands is achieved with no iterative calculations, significantly reducing computational costs. In this talk, I will present a generation scheme of the CW

model that respects the symmetry of the system by introducing the post-processing symmetrization step based on the symmetry-adapted multipole basis (SAMB) [2]. Since the symmetry properties of the CW orbital and its guiding atomic orbital are equivalent, we can define SAMBs as the complete and orthonormal matrix basis set in the Hilbert space of the CW orbitals. It is shown that the CW Hamiltonian can be expressed as a linear combination of SAMBs belonging to the identity irreducible representation, and the symmetry of the model is fully recovered. We demonstrate how our method works in the case of Nb. We further show an additional usefulness of the present method by modeling the chiral Tellurium crystal. We show that the weight of the electric toroidal quadrupole (G_u) is most dominant and much larger than that of the electric toroidal monopole (G_0), and G_u plays an important role in stabilizing the helical structure of Tellurium. The present method is implemented in the open-source Python library, `SymClosestWannier` [3].

標題：紫外可視過渡吸収分光測定を用いたイオンポンプロドプシンの機構研究 / 超高速レーザー分光によるハライドペロブスカイト半導体ナノ構造の光物性開拓

日時：2024年6月24日(月) 午後1時～午後3時

場所：物性研究所 本館 6階 第1会議室 (A636) および Online (Hybrid)

講師：1. 加藤 善隆 氏 2. 湯本 郷 氏

要旨：講師：加藤 善隆 氏 (物性研究所 井上研究室 特任助教)

題目：紫外可視過渡吸収分光測定を用いたイオンポンプロドプシンの機構研究

概要：

光受容膜タンパク質ロドプシンは、神経科学分野や医療への応用が期待されている。現在、ゲノム・メタゲノム解析の発展により数万種類を超える微生物ロドプシンが発見されており、我々はその分子機能、物性の解明、および改良に取り組んでいる。私は特に光駆動イオンポンプ機能を有するロドプシンに着目し、紫外可視過渡吸収分光測定を用いた機構解明に取り組んできた。本講演では、ナトリウムポンプのプロトン-ナトリウム競合取込みモデル、内向きプロトンポンプのイオン輸送モデルに関する研究を紹介する[1-3]。

[1] Y. Kato et al., *J. Phys. Chem. Lett.* 6, 5111–5115 (2015).

[2] K. Inoue et al., *Nat. Commun.* 7, 13415 (2016).

[3] K. Inoue et al., *J. Phys. Chem. B* 122, 6453–6461 (2018).

講師：湯本 郷 氏 (物性研究所 松永研究室 特任助教)

題目：超高速レーザー分光によるハライドペロブスカイト半導体ナノ構造の光物性開拓

概要：

ハライドペロブスカイト半導体は優れた光電特性を示す新たな直接遷移型半導体であり、高効率な光電変換デバイスへの応用などが期待されている。近年、ナノ粒子や二次元層状物質などのハライドペロブスカイト半導体ナノ構造が作製され、低次元系特有の物性に加え、三次元バルク結晶の優れた光学特性を反映した現象が現れる新たな半導体ナノ材料として大きな注目を集めている[1]。本講演では、超高速レーザー分光手法に加え偏光分解測定や顕微分光測定を駆使することにより明らかになった、ハライドペロブスカイト半導体ナノ構造の非線形光学特性[2,3]や光スピン物性[4]を議論した。

標題：Machine Learning for Quantum Materials

日時：2024年6月24日(月) 午後4時～午後5時

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615) および Online

講師：Prof. Eun-Ah Kim

所属：Cornell University

要旨：

Decades of efforts by the quantum materials research community drove a “data revolution.” Modern experimental modalities produce high-dimensional data in large volumes. Unprecedented control and new facilities imply new dimension and new knobs, such as time-resolved probing or scanning probing. Moreover, massive amounts of high-throughput ab-initio data and curated experimental data are becoming accessible to researchers. Much needed are data-centric approaches that accelerate discoveries from these data through synergetic interaction with expert human researchers’ insights. A synergy between data science and quantum materials research is essential for such endeavors to result in scientific progress. I will present cases of fruitful collaborations that led to new insights and started to shape an approach to data sets of the new era. Specifically, I will discuss how to use unsupervised learning to discover new physics from large volumes of evolving data and how to use supervised learning to uncover descriptors of emergent properties from limited volume of expertly curated data. If time permits, I will discuss new efforts to using language models for routine calculations such as Hartree-Fock mean field theory.

標題：Non-Abelian Hopf-Euler insulators

日時：2024年6月26日(水) 午前10時～

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：Morris, Arthur Samuel

所属：King’s College, University of Cambridge, Cambridge

要旨：

Many free-fermion topological phases of matter such as the Chern insulator are characterised by topological quantum numbers assigned to single isolated bands. While such single-band phases are now well understood, intriguing features remain to be explored within topological band theory. I will explain how nodes in real Bloch Hamiltonians carry non-Abelian topological charges which arise from the geometry of the classifying space. Moreover, by braiding these nodes around each other in reciprocal space, it is possible to induce a ‘multi-band’ topological phase, where the two band subspace supporting the nodes is labelled with an integer, the Euler class. Another example of a multi-band topological invariant is the Hopf invariant, which characterises three dimensional complex phases and provides a solid state realisation of the Hopf fibration. Such systems can also host Chern numbers on each coordinate plane within the Brillouin zone; I will describe how the presence of such subdimensional invariants influences the bulk Hopf invariant. Finally, I will discuss a real topological phase in 3D which possesses a bulk Hopf invariant and 2D Euler classes. These systems have nontrivial quantum geometry, and appear to host unusual nodal line structures.

[1] arXiv:2405.17305 (2024).

[2] Nat. Phys. 16, 1137–1143 (2020).

[3] Phys. Rev. Lett. 101, 186805 (2008).

[4] Phys. Rev. B 94, 035137 (2016).

[5] Phys. Rev. B 108, 125101 (2023).



標題：Network topology reveals robust adaptation phenomena in biochemical systems

日時：2024年6月28日(金) 午後4時～午後5時

場所：物性研究所6階第5セミナー室 (A615) 及び Online (Hybrid)

講師：広野 雄士

所属：大阪大学

要旨：

Maintaining stability is a critical issue for living systems. Robust perfect adaptation (RPA) is a control-theoretical mechanism that enables certain output variables to attain and sustain desired values despite external disturbances in a robust manner. RPA helps the survival of living systems in unpredictable environments, and as such there are numerous examples of biological implementations of this feature. However, identifying RPA properties and associated regulatory mechanisms is a highly nontrivial problem given the complexity of biological systems.

In this talk, we aim to elucidate the essential role of network topology in the phenomenon of RPA [1]. We have recently shown that the RPA properties in a deterministic chemical reaction system can be characterized by topological characteristics of subnetworks. This connection allows us to enumerate all the RPA properties implemented in a reaction network efficiently. Furthermore, we explicitly identify the integral controllers that work in concert to realize each RPA property.

Reference:

[1] Yuji Hirono, Ankit Gupta, Mustafa Khammash,

“Complete characterization of robust perfect adaptation in biochemical reaction networks,”

標題：Witnessing Disorder in Spin Chains

日時：2024年7月3日(水) 午前10時～午前11時

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：Snigdha Sabharwal

所属：Okinawa Institute of Science and Technology

要旨：

There are no clean samples in nature. Therefore, can one meaningfully quantify the effects of disorder on the entanglement structure of quantum states? In this talk, we investigate the entanglement structure of Tomonaga-Luttinger liquids (TLL) and random singlet (RS) states in an antiferromagnetically interacting Heisenberg spin chain. We make use of entanglement witness based measures like concurrence, tangle and quantum Fisher information (QFI), for this task, which can be related to experimentally accessible observables like spin correlations. Using quantum Fisher information (QFI), we demonstrate that both TLL and RS states exhibit multipartite entanglement. This result for the RS state, we attribute to the localization of multipartite entanglement below the crossover length. Additionally, we show that the order of disorder average matters for measures like concurrence and tangle, and this can lead to false inferences when ruling out RS states. Finally, we show that the low-temperature behavior of these witnesses can be utilized to characterize the effects of disorder. From the low-temperature behavior of concurrence, we extract the central charge information for the TLL state and conjecture this could be done for the RS state as well. Furthermore, using the equal-time structure factor as a multipartite entanglement witness, we demonstrate a distinct growth in multipartite entanglement in the two states.

標題：Exploring Membrane Topology Transformations using Polymer Field Theory

日時：2024年7月5日(金) 午後2時～午後3時

場所：物性研究所 本館6階第5セミナー室(A615号室)及び Online (Hybrid)

講師：Dr. Russell Spencer

所属：ゲッティンゲン大学

要旨：

Membrane remodeling, including fusion and fission, plays a crucial role in various cellular processes. However, understanding the intricacies of these topological changes can be challenging due to the involvement of large-scale membrane rearrangements and their sensitivity to small-scale molecular behavior. Moreover, these remodeling events face significant free-energy barriers that necessitate the presence of catalytic proteins. In this work, we utilize self-consistent field theory (SCFT) in combination with the string method to identify the Minimum Free Energy Path (MFEP). We thereby determine the most probable pathway for specific remodeling transitions implicated in cellular signaling and organelle division. This approach has allowed us to discover a new pathway by which the fusion of membranes may catalyze their fission. Furthermore, we extend conventional SCFT methods, introducing proteins inspired by the dynamin family. These proteins facilitate fission by constricting membrane tubes. We find that the free energy barrier to fission depends strongly on membrane tension and constriction. In addition to simply constricting the membrane, dynamin's PH domains are inserted between lipid head groups, inducing membrane distortion. Our results emphasize the crucial role of this distortion in reducing the free energy barrier to fission. This research sheds light on the underlying mechanisms of membrane remodeling and provide insights into cellular processes involving topological changes.

標題：SO(5)-symmetric deconfined quantum critical point in the extended JQ-model

日時：2024年7月12日(金) 午後4時～午後5時

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：高橋 惇

所属：東京大学物性研究所

要旨：

Since its original proposal [1], the existence and microscopic realization of deconfined quantum critical (DQC) points with lattice models has been under extensive debate. Field-theoretic arguments for DQC provide a plausible scenario where the quantum phase transition between a Neel phase and a valence-bond solid phase — two most basic phases of matter in quantum magnetism — will generically be critical (and is dubbed DQC), despite the fact that they are both spontaneous symmetry breaking phases with a priori completely unrelated symmetries. The so-called JQ model has always been a prominent candidate for a microscopic model exhibiting DQC, but anomalous finite-size scalings and violations with conformal bootstrap bounds had hindered conclusive resolution.

In this talk, I will present our recent efforts to clarify this situation. By examining various correlation functions in the JQ model, we show that the DQC point actually has an additional relevant field, which implies the need for extra parameter tuning to arrive at the true DQC point [2]. After observing a clearly first-order transition with emergent SO(5) symmetry in a related JQ-type model [3], we recently conducted a large-scale numerical experiment for the JQ model with an additional parameter that extends the phase diagram [4]. Our results are consistent with the existence of an SO(5) symmetric DQC point in the extended JQ model phase diagram, but only in the sign-problematic region for quantum Monte Carlo. Although the true DQC point is not directly observable, we show how the extrapolated critical exponents match very well with recently calculated values from sophisticated conformal field theoretic fuzzy



sphere calculations [5].

- [1] T. Senthil et al., Science 303, 1490 (2004).
- [2] B. Zhao, JT, and A. Sandvik, PRL 125, 257204 (2020).
- [3] JT and A. Sandvik, PRR 2, 033459 (2020).
- [4] JT, S. Hui, B. Zhao, W. Guo, and A. Sandvik, arXiv:2405.06607 (2024).
- [5] Z. Zhou, L. Hu, W. Zhu, Y-C. He, arXiv:2306.16435 (2023).

標題：Anomalous crystal shapes of topological materials

日時：2024年7月16日(火) 午後2時45分～午後3時45分

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)、および Online (ハイブリッド)

講師：田中 悠太郎

所属：国立研究開発法人理化学研究所 創発物性科学研究センター

要旨：

Understanding crystal shapes is a fundamental subject in surface science. It is now well-studied how chemical bondings determine crystal shapes via the dependence of surface energies on surface orientations. Meanwhile, discoveries of topological materials have led us to a new paradigm in surface science, and one can expect that topological surface states may affect surface energies and crystal facets in an unconventional way.

In this talk, we show that the surface energy of glide-symmetric topological crystalline insulators (TCI) depends on the surface orientation in a singular way via the parity of the Miller index. This singular surface energy of the TCI affects equilibrium crystal shapes, resulting in the emergence of unique crystal facets of the TCI [1]. Furthermore, we study the equilibrium crystal shapes of a topological insulator (TI), a TCI protected by mirror symmetry, and a second-order topological insulator (SOTI) protected by inversion symmetry. In terms of the calculations of the simple tight-binding model, we show that the various boundary states of the TI, TCI, and SOTI affect the emergence of the specific facets [2].

Reference

- [1] Y. Tanaka, T. Zhang, M. Uwaha, and S. Murakami, Phys. Rev. Lett. 129, 046802 (2022).
- [2] Y. Tanaka and S. Murakami, Phys. Rev. B 107, 245148 (2023).

標題：General criterion for non-Hermitian skin effects and Fock space skin effects

日時：2024年7月16日(火) 午後1時30分～午後2時30分

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)、および Online (ハイブリッド)

講師：下村 顕士

所属：京都大学 基礎物理学研究所

要旨：

Non-hermiticity of evolution operators appears in a wide range of physics, from classical to quantum systems [1]. Non-Hermiticity enables macroscopic accumulation of bulk states, named non-Hermitian skin effects [2]. They are well-established for single-particle systems, but their proper characterization for general systems is elusive.

In this talk, we propose a general criterion of non-Hermitian skin effects, which works for any finite-dimensional system evolved by a linear operator [3]. The applicable systems include many-body systems. A system meeting the criterion exhibits enhanced non-normality of the evolution operator [4], accompanied by exceptional characteristics

intrinsic to non-Hermitian systems. Applying the criterion, we discover a new type of non-Hermitian skin effect in many-body systems, which we dub the Fock space skin effect. In particular, we investigate the interacting Hatano-Nelson model to illustrate this concept, and find a difference in the behavior of non-normality in the single-particle case and in the many-body case. We also discuss the Fock space skin effect-induced slow transient dynamics, which gives an experimental signal for the Fock space skin effect.

[1] Y. Ashida, Z. Gong, and M. Ueda, *Adv. Phys.* 69, 249, (2020).

[2] S. Yao and Z. Wang, *Phys. Rev. Lett.* 121, 086803 (2018).

[3] K. Shimomura and M. Sato, arXiv:2403.13595 (2024).

[4] Y. O. Nakai, N. Okuma, D. Nakamura, K. Shimomura, and M. Sato, *Phys. Rev. B* 109, 144203 (2024).

標題：物性科学研究におけるオープンソースライセンスと著作権

日時：2024年7月17日(水) 午後4時～午後5時

場所：物性研究所 A612 (第2セミナー室) および Online

講師：本山 裕一

所属：東大物性研

要旨：

ソフトウェアのオープンソースライセンスは、特定の条件のもとで、再頒布や改変などの著作権で保護された利用行為を認めるものである。これにより、既存のソフトウェアやライブラリを自由に活用でき、迅速かつ安定したソフトウェア開発を通じて社会の発展が期待される。物性科学研究においても、多くのオープンソースソフトウェアが活用されており、また近年のオープンサイエンスの潮流の中で、再現性の確保のために使用したプログラムやデータの公開がますます重要になっている。オープンソースライセンスと著作権の理解は、これからの研究において不可欠である。

本講演では、オープンソースライセンスの基盤となる著作権の基本概念を説明し、ソフトウェア開発における主要なライセンスの種類やその特徴、特に物性科学研究においてよく利用されるオープンソースライセンスについて解説した。

標題：Scale-invariant transport in the cuprate superconductors

日時：2024年7月17日(水) 午前10時～午前11時

場所：Online

講師：Dr. Arkady Shekhter

所属：National High Magnetic Field Facility, Los Alamos National Laboratory

要旨：

Strange-metal state in the cuprate superconductors is defined by its T-linear resistivity in a broad range of temperatures. Such behavior is can be understood in the general language of quantum criticality where the intrinsic infrared cutoff energy scale depends on doping and vanishes near critical doping : near critical doping, the strange metal behavior extends to the lowest temperatures.

To explore such quantum critical picture, we have performed an-plane transport – longitudinal and Hall – measurements on LSCO cuprate near critical doping in a broad range of magnetic fields, up to 90 T. The observed temperature and magnetic field dependence of resistivity reveal scale-invariant behavior where temperature and magnetic field compete to set the infrared cutoff of critical fluctuations. Hall resistivity crosses over to a scale-invariant behavior at very high magnetic fields.



標題：超高速エレクトロニクスを用いたグラフェン電荷ダイナミクスのテラヘルツオンチップ計測

日時：2024年7月18日(木) 午前10時～午前11時30分

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：吉岡 克将

所属：NTT 物性科学基礎研究所

要旨：

超高速レーザー分光技術の発達は、フェムト秒の時間スケールにおいて固体中の電子状態を観測・制御することを可能にした。我々は、そのような超高速応答を使ったデバイスあるいは信号処理の実現に向けて研究を進めている。具体的には、オンチップテラヘルツ分光[1]や酸化亜鉛ゲート構造[2]を応用することで、220 GHz の動作速度に達するグラフェン光検出器による超高速光電変換[3]、さらにはグラフェンにおけるピコ秒電子波束のオンチップ計測によるプラズモン伝搬[4]に成功した。当日は詳細な物理機構についても議論した。

標題：Exploring the interface between biophysics and nonequilibrium statistical physics

日時：2024年7月19日(金) 午後4時～午後5時

場所：物性研究所6階第5セミナー室 (A615) 及び Online

講師：島山 哲央

所属：東京工業大学地球生命研究所

要旨：

What biophysics studies are life phenomena, and therefore in most cases they are nonequilibrium. The central topic of statistical physics is also shifting towards nonequilibrium phenomena. However, the connections between biophysics and nonequilibrium statistical physics are still limited. One reason for this is that both fields have increasingly specialized in different directions: In biophysics, experimental techniques allow us to measure increasing amounts of data, so we are able to study more and more complex phenomena, while in nonequilibrium statistical physics, recent developments in mathematical techniques have led to increasingly rigorous mathematical approaches. Thus, few attempts have been made to find “right size” phenomena that can serve as an interface between the two fields. If a theory at the interface is found, the exchange between the two fields will progress and physics may be able to enter a new phase.

In this seminar, I would like to introduce two examples of our attempts to explore the interface between biophysics and nonequilibrium statistical physics. One is the mitochondrial alignment. Mitochondria are critical organelles in eukaryotes that produce the energy currency ATP. In nerve axons, mitochondria are known to align at almost regular intervals to maintain a constant ATP concentration, but little is known about the mechanism. We show that ATP production and ATP-dependent nondirectional movement of mitochondria are sufficient for alignment, even without an explicit repulsive force between them. This is similar to thermodynamic forces driven by thermal fluctuations, even generated by nonequilibrium processes.

Also, I introduce the new theoretical concept, the Enzymatic Mpemba effect. Increasing the enzyme concentration generally speeds up enzymatic reactions. However, I show that increasing the enzyme concentration can also slow down the relaxation to the equilibrium state, and mechanism for this slowing is similar the Mpemba effect.

標題 : Dynamics in the non-equilibrium state: Towards a more complete understanding how the charge, spin, and lattice degrees of freedom interact

日時 : 2024年7月22日(月) 午後1時~午後3時

場所 : 物性研究所本館6階 第1会議室 (A636) および Online (Hybrid)

講師 : Uwe Bovensiepen 氏

所属 : University of Duisburg-Essen

要旨 :

One key challenge in the analysis of ultrafast experiments is the assignment of a particular pump-induced observation to a specific degree of freedom that may cooperate or compete with another one. A seminal example is the analysis of e-ph interaction by Allen [1]. Using specific probing and resonant pumping methods, which are typically available in the experimental toolbox nowadays, very detailed microscopic understanding was developed, see, for example, the work on the interface hybrid phonons regarding energy transfer across metal-oxide interfaces [2] and hot electron injection and transport in heterostructures [3]. In this talk recent developments exploiting ultrafast soft x-ray spectroscopy carried out at the femtoslicing facility at BESSY II, Berlin, and the spectroscopy and coherent scattering (SCS) instrument at the European XFEL, Hamburg, will be presented. The experimental opportunities and related challenges [4], key observations of ultrafast spectral changes at Ni or Fe L3 and O K absorption edges in metals [5,6], charge transfer insulators [7], and films of Fe(II) spin-crossover complexes [8] will be discussed. Thereby, the manifold scientific opportunities which exploit the element and site specificity of the spectroscopy to shed light on non-equilibrium dynamics in condensed matter will be highlighted. Moreover, dichroic experiments, which provide specific access to broken symmetry ground states, will be addressed.

[1] P. B. Allen, Phys. Rev. Lett. 59, 1460 (1987).

[2] N. Rothenbach et al., Phys. Rev. B 100, 174301 (2019).

[3] M. Heckschen et al., PRX Energy 2, 043009 (2023).

[4] L. Le Guyader et al., J. Synchrotron Rad. 30, 284 (2023).

[5] R. Y. Engel et al., Struct. Dyn. 10, 054501 (2023).

[6] T. Lojewski et al., Mater. Res. Lett. 11, 655 (2023).

[7] T. Lojewski et al., arXiv:2305.10145.

[8] L. Kämmerer et al., arXiv:2312.01483.

Acknowledgement: Funding by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG, German Research Foundation) – Project-ID 278162697 – SFB 1242 is gratefully acknowledged.

標題 : ONEDAY WORKSHOP ON TDDFT

日時 : 2024年7月23日(火) 午前10時30分~午後5時

場所 : 物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

要旨 :

◇0:30-11:00 矢花 一浩 筑波大学

TDDFT for nonlinear/nonlocal light-matter interaction

◇11:00-11:30 佐藤 駿丞 筑波大学

First-principles electron dynamics calculations for attosecond phenomena and nonlinear optics

◇11:30-12:00 加藤 洋生 東京大学

Gauge problem in light-matter interaction



◇13:00-13:30 佐藤 健 東京大学

Simulations of intense laser-driven multielectron dynamics using classical and quantum computers

◇13:30-14:00 小杉 太一 株式会社 Quemix/東京大学

Efficient qubit encoding using a Lorentzian basis set for molecular orbitals in real space

◇14:00-14:30 明石 遼介 量子科学技術研究開発機構

Eliashberg theory in the uniform electron gas revisited

◇14:30-15:00 鈴木 康光 聖光学院中学校高等学校

Machine learning exchange-correlation potential in time-dependent density-functional theory

◇16:00-17:00 金井 陽介 ノースカロライナ大学

【Theory Seminar】 Coupled Quantum Dynamics of Electrons and Protons in Heterogeneous Environments

標題 : Coupled Quantum Dynamics of Electrons and Protons in Heterogeneous Environments

日時 : 2024年7月23日(火) 午後4時~午後5時

場所 : 物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師 : 金井 陽介

所属 : ノースカロライナ大学チャペルヒル校

要旨 :

The coupled quantum dynamics of electrons and protons is ubiquitous in many dynamical processes involving light-matter interaction including solar energy conversion in artificial photocatalytic devices and photosynthesis. A first-principles description of such nuclear-electronic quantum dynamics requires not only the time-dependent treatment of nonequilibrium electron dynamics but also that of quantum protons. We discuss new real-time nuclear-electronic orbital time-dependent density functional theory (RT-NEO-TDDFT) approach to study such dynamics in complex extended systems. We apply the new first-principles method to studying coupled quantum dynamics of electrons and protons in complex heterogeneous systems such as semiconductor-molecule interfaces and photoactive molecules in water. Developing the fundamental understanding for such quantum dynamical processes at the atomistic level is central to photocatalytic CO₂ reduction, as pursued in the U.S. Department of Energy's Energy Innovation Hub, Center for Hybrid Approaches in Solar Energy to Liquid Fuels (CHASE) headquartered at the University of North Carolina at Chapel Hill (UNC). Our work articulates how atomistic environments such as hydrogen-bonding water molecules and an extended material surface impact the coupled quantum dynamical process. I will conclude by discussing outstanding challenges and other related method development efforts from my research group at UNC.

標題 : 行列積状態のゲージ自由度とその応用について

日時 : 日時 : 7月29日(月) 午前10時30分~午後4時45分 / 7月30日(火) 午前10時30分~午後4時45分

場所 : 東京大学 理学部1号館207号室 (本郷キャンパス)

講師 : 塩崎 謙

所属 : 京都大学 基礎物理学研究所

要旨 :

概要 : 行列積状態(MPS)とは、空間1次元系における量子状態の表現方法のひとつである。密度行列くりこみ群法(DMRG)など実用的な数値計算法として重要なみならず、対称性によって保護されたトポロジカル相の数学的記述においても重要な役割を果たす。本講義では、MPSの数理物理学的な側面に焦点を当て、いくつか重要な帰結について議論したい。内容は以下を予定している。

- 1, MPS の導出
- 2, スペクトルギャップと面積則
- 3, MPS のゲージ不定性定理
- 4, 対称性によって保護されたトポロジカル相
- 5, 断熱サイクルと高次 Berry 曲率

標題: New Topological Invariants for Band Topology

日時: 2024年8月1日(木) 午後4時~午後5時

場所: 物性研究所本館6階 第6セミナー室 (A616)、及び Online (ハイブリッド)

講師: Ken Shiozaki

所属: Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto University

要旨:

The surface states of insulators and fully gapped superconductors can be detected by topological invariants in momentum space (k-space). Well-known topological invariants include the Chern number, winding number, and the number of irreducible representations at high-symmetry points. However, many topological invariants remain unknown in the presence of crystalline symmetry, representing a significant challenge in the search for topological materials.

In this talk, I will discuss an attempt to systematically and comprehensively construct topological invariants using K-theory and spectral sequences[1]. During the spectral sequence calculation, k-space is divided into high-symmetry points, lines, polygons, and fundamental domain. Each region is provided with an appropriate set of irreducible representations for the construction of topological invariants. We propose a method to construct topological invariants defined on one-dimensional subspaces of momentum space from the spectral sequence data[2].

In particular, for time-reversal symmetric superconductors with trivial point group representations of the gap function, detecting topological superconductors by counting the number of irreducible representations (symmetry indicators) is silent, although many topological phases exist[3]. Using our one-dimensional subspace invariants, many classes of topological superconductors can be numerically detected. In the seminar, I will introduce the construction method and discuss its practical applications.

標題: Field-induced Deconfined Quantum Criticality in SrCu₂(BO₃)₂

日時: 2024年8月2日(金) 午前11時~午後0時

場所: Online

講師: Prof. Weiqiang Yu

所属: Renmin University of China

要旨:

Landau theory predicts no continuous quantum phase transition between two ordered states with different types of symmetry breaking. However, in recent years, field theories and many-body computations based on some specifically designed models support the existence of a second-order phase transition through a deconfined quantum critical point (DQCP), accompanied by enhanced symmetries and fractional excitations [1]. In this talk, I present our recent NMR evidence of a proximate DQCP [2] revealed in a Shastry-Sutherland compound SrCu₂(BO₃)₂ [3]. A pressure-induced quantum phase transition from a dimerized state (DS) to a plaquette singlet (PS) state [4-7] is confirmed at pressure above 1.8 GPa. With applied field, a weakly first-order quantum phase transition emerges from the PS to the

antiferromagnetic (AFM) state through Bose-Einstein condensation. Duality in the power-law scaling of transition temperatures and an anomalous quantum critical scaling in the spin-lattice relaxation rates are revealed near the critical field. These results establish concrete experimental existence of a proximate DQCP, and provide a platform for further investigation of the properties of deconfined quantum criticality.

標題：Revealing unique light-matter interaction of the amplitude Higgs mode in superconductors by terahertz nonlinear spectroscopy

日時：2024年8月26日(月) 午後1時～午後3時

場所：物性研究所本館6階 第1会議室 (A636) 及び Online (Hybrid)

講師：勝見 恒太

所属：New York University

要旨：

Light-matter interaction in quantum materials is a critical aspect that elucidate their intriguing properties. In particular, the terahertz (THz) frequency range is of great interest as it is the natural energy scale of quantum many-body interaction between charge, spin, orbital, and lattice degrees of freedom. Recent advancements in generating an intense THz pulse enabled the investigations of nonlinear light-matter interaction, which can provide information unreachable by linear light-matter coupling. However, the study of nonlinear light-matter interactions is still in its infancy, and experimental investigation is required.

Here, we will present the recent results of THz nonlinear spectroscopy applied to superconductors. Using THz two-dimensional coherent spectroscopy (2DCS), we identified a unique paramagnetic nonlinear response of the amplitude collective mode of the superconducting order parameter, namely the Higgs mode, in conventional superconductors NbN [1]. Our findings demonstrate the ability of THz 2DCS to explore collective excitations inaccessible in other spectroscopies. We will further discuss the results of THz 2DCS in the case of a multi-gap superconductor MgB₂. Finally, given the situation that the paramagnetic light-matter interaction plays an essential role in the THz nonlinearity in superconductors, we reexamine our previous THz pump-probe experiments in high-temperature cuprate superconductors Bi₂Sr₂CaCu₂O_{8+x} [2].

References:

[1] K. Katsumi et al., Phys. Rev. Lett. 132, 256903 (2024)

[2] K. Katsumi et al., Phys. Rev. Lett. 120, 117001 (2018)

標題：オープンアクセス実現に向けた研究データの公開戦略

日時：2024年8月29日(木) 午後4時～午後5時

場所：物性研究所本館6階 A612 及び Online

講師：吉見 一慶

所属：物性研究所

要旨：

2024年2月、内閣府は学術論文等の即時オープンアクセスの実現に向けた基本方針を提示した。この方針により、公的資金を受給する競争的研究費を対象に、該当する学術論文および根拠データの即時公開が義務付けられている。対象は2025年度から新たに公募を行う研究費である。これにより、多くの研究者や研究機関にとって、オープンアクセス化への対応が喫緊の課題となっているのではなかろうか。

本講演では、東京大学が運用する東京大学学術機関リポジトリ、物性研究所で2021年より運用しているISSPデータリポジトリ、そして物質・材料機構のMaterials Data Repository (MDR)など、いくつかのデータリポジトリを紹介する。さらに、これらのリポジトリを活用したオープンアクセス化の具体的な方法について提案する。これらの例を通じて、参加者全員と共にオープンアクセス化に向けた効果的なデータ管理方法について議論し、最適なアプローチを模索した。

標題：高温超伝導体単結晶を用いたテラヘルツ波発生

日時：2024年8月30日(金) 午前11時～午後0時

場所：Online

講師：柏木 隆成 講師

所属：筑波大学数理物質系

要旨：

テラヘルツ帯の電磁波技術は、次世代の電波技術として注目され、通信・医療・非破壊検査といった多岐にわたる分野への適用が検討されている。このような応用技術の確立には、要素技術の開発は欠かすことができない。例えば、小型テラヘルツ波発振素子においては、半導体固体素子を中心に開発が進められており、 ~ 0.5 THz でミリワットレベルの発振素子が近年実現されている。我々のグループでは、高温超伝導体の単結晶自体に自然に内包される固有ジョセフソン接合を用いたテラヘルツ発生技術について、この15年程度研究を行っている。この発振素子は、交流ジョセフソン効果に基づいた素子であるため、素子への電圧で発生周波数が調整可能である。例えば、発振出力は一定ではないが、1つの素子で0.5から2.4 THz程度の範囲の発振を示す素子などがある。現在は、この特徴を活かしながら、特に発振出力の向上に向けた素子及び材料開発を行なっている。本セミナーでは、テラヘルツ帯の発振素子の一般的な現状を述べるとともに、我々の素子の発振原理から開発経緯、現状の取り組みについて発表した。

標題：Correlation versus dissipation in a non-Hermitian Anderson impurity model

日時：2024年9月6日(金) 午後4時～午後5時

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：山本 和樹

所属：東京工業大学

要旨：

Strong correlations give rise to exotic phenomena which typically originate from the electron-electron interactions in quantum materials. One of the central problems that reflect strong correlations is the Kondo effect, where localized impurity spins are screened by conduction electrons realizing the Kondo singlet. Meanwhile, open quantum systems have witnessed a remarkable development in recent years. In particular, non-Hermitian (NH) physics naturally arises such as systems with gain and loss and has been intensively investigated thanks to the advancement in dissipation engineering with ultracold atoms. As the many-body physics of the Kondo effect in closed systems is well understood, here we ask the following question for open systems: how does the renormalization effect due to strong correlations affect the nature of dissipation?

In this talk, we analyze the competition between strong correlations and dissipation in quantum impurity systems from the Kondo regime to the valence fluctuation regime by developing a slave-boson theory for a non-Hermitian Anderson impurity model with one-body loss [1]. Notably, in the non-Hermitian Kondo regime, strong correlations qualitatively change the nature of dissipation through renormalization effects, where the effective one-body loss is suppressed and emergent many-body dissipation characterized by the complex-valued hybridization is generated. We unveil the mechanism of a dissipative quantum phase transition of the Kondo state on the basis of this renormalization

effect, which counterintuitively enhances the lifetime of the impurity against loss. We also find a crossover from the non-Hermitian Kondo regime to the valence fluctuation regime dominated by one-body dissipation. Our results can be tested in a wide variety of setups such as quantum dots coupled to electronic leads and quantum point contacts in ultracold Fermi gases.

[1] Kazuki Yamamoto, Masaya Nakagawa, and Norio Kawakami arXiv:2408.XXXXX to be submitted.

標題：Wave function geometry for bulk photovoltaics

日時：2024年9月11日(水) 午前10時～

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：Aris Alexandradinata

所属：University of California Santa Cruz

要旨：

Steady illumination of a non-centrosymmetric semiconductor results in a bulk photovoltaic current, which is contributed by real-space displacements ('shifts') of charged quasiparticles as they transit between Bloch states. The shift induced by interband excitation via absorption of photons has received the prevailing attention. However, this excitation-induced shift can be far outweighed (\ll) by the shift induced by intraband relaxation, or by the shift induced by radiative recombination of electron-hole pairs. This outweighing (\ll) is attributed to (i) time-reversal-symmetric, intraband Berry curvature, which results in an anomalous shift of quasiparticles as they scatter with phonons, as well as to (ii) topological singularities in the interband Berry phase ('optical vortices'), which makes the photovoltaic current extraordinarily sensitive to the linear polarization vector of the light source. Both (i-ii) potentially lead to nonlinear conductivities of order mA/V^2 , without finetuning of the incident radiation frequency, band gap, or joint density of states. A case study of BiTeI showcases the anomalous shift and optical vorticity in a realistic material.

標題：Exact renormalization flow for Matrix Product Density Operators

日時：2024年9月30日(月) 午後3時30分～午後4時30分

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：加藤 晃太郎

所属：名古屋大学

要旨：

Matrix Product Density Operators (MPDOs) provide an efficient tensor-network representation of mixed states in one-dimensional quantum many-body systems, often used to describe thermal states and steady states in dissipative dynamics. While MPDOs generalize Matrix Product States (MPS), which effectively describe 1D pure states and are associated with gapped ground states, the renormalization properties of MPDOs are more complex. In this work, we investigate real-space renormalization group (RG) transformations of MPDOs, modeled as circuits of local quantum channels. We impose that the renormalization flow must exactly preserve correlations between coarse-grained sites, ensuring that it is invertible through other local quantum channels. We first show that unlike MPS, which always admit well-defined isometric renormalization flows, MPDOs generally do not exhibit such exact flows. We introduce a subclass of MPDOs with well-defined renormalization flows, showing that these states possess a coalgebra structure and obey generalized symmetries described by Matrix Product Operator (MPO) algebras. Additionally, we explore the fixed points of these renormalization flows, providing insights into the classification of mixed-state quantum phases and the role of non-invertible symmetries in this subclass of MPDOs.

標題：ハイスループット計算ツール moller の紹介

日時：2024 年 10 月 7 日(月) 午後 4 時～午後 5 時

場所：物性研究所 6 階 A612 及び Online

講師：青山 龍美

所属：東京大学物性研究所

要旨：

moller は、パラメータサーチなど一連の計算を網羅的に実行する際に、スーパーコンピュータやクラスター計算機を活用して一括計算(バルク実行)を行うための Python パッケージです。通常のジョブ実行スクリプトとほぼ同じ内容を記述したインプットファイルを用意して moller に入力すると、複数のジョブを GNU Parallel を利用して並列実行するジョブスクリプトが生成されます。現在は物性研スパコンに対応するほか、一般のワークステーションやクラスター計算機で利用できます。また、国内の主要なスーパーコンピュータシステムへの展開を計画しています。今回の物性アプリオープンフォーラムでは、moller の機能や開発、moller を用いたハイスループット計算について紹介した。

標題：Specifics of spin excitations in centrosymmetric helimagnets

日時：2024 年 10 月 8 日(火) 午後 3 時～午後 4 時

場所：物性研究所本館 6 階 第 2 セミナー室 (A612) 及び Online

講師：Dmytro Inosov

所属：Neutron Spectroscopy of Condensed Matter, Technische Universität Dresden

要旨：

Noncollinear long-range ordered magnetic structures that break chiral symmetry can arise either as a result of Dzyaloshinskii-Moriya interactions in lattices with broken inversion symmetry or as a result of bond frustration in structurally centrosymmetric crystals. While in the former case the spin chirality is uniquely chosen by the lattice symmetry, in the latter case the chiral symmetry is broken spontaneously, so that both right- and left-handed magnetic domains can coexist. Using inelastic neutron scattering, we have studied spin waves in a number of centrosymmetric helimagnets with different magnetic ground states. The cubic spinel ZnCr_2Se_4 is described by frustrated interactions and represents a perfect model system for studying the Heisenberg model on the perfect pyrochlore lattice. Here, an emergent energy scale of the pseudo-Goldstone magnon gap leads to highly nontrivial thermodynamic and thermal transport properties and to the appearance of a field-induced spiral spin liquid state. The iron perovskite compounds SrFeO_3 and $\text{Sr}_3\text{Fe}_2\text{O}_7$, on the other hand, avoid the simple spin-spiral state and form multiple-q orders of various types, whose spin-wave spectrum is still a challenge for theoretical calculations. At elevated temperatures, all the mentioned compounds exhibit an intense quasielastic spin-fluctuation spectrum in neutron spectroscopy, which coexists with the sharp collective spin-wave excitations and could be a universal feature of the centrosymmetric helimagnets in general. It is possible that its origin is connected with the dynamics of domain walls that separate helimagnetic domains of opposite chirality.



標題：パルス強磁場・高圧力下磁化率測定プローブによる三角格子磁性体の圧力下磁場誘起相転移の研究

日時：2024年10月18日(金) 午前11時～午後0時

場所：Online

講師：二本木 克旭 基礎科学特別研究員

所属：理化学研究所 創発物性科学研究センター 創発物性計測研究チーム

要旨：

強磁場・高圧力・極低温環境を同時に実現した複合極限環境は、電子のもつ内部自由度(スピン、電荷、軌道、格子)を直接変化させることで、新奇な物理現象の発現が期待できる。しかし、高い磁場を発生可能なパルス強磁場中では、速い磁場掃引速度によって圧力装置の金属部分に渦電流を発生させるため、電磁ノイズによる測定感度の低下やジュール発熱による試料温度の上昇といった技術的な問題がある。

阪大先端強磁場では、大型コンデンサバンクとミッドパルスマグネットによるパルス強磁場中で使用可能な金属製圧力セルの開発及びLC共振回路における磁化率測定手法を導入した。その結果、最低温度1.4 Kにおいて最大磁場55 T、最高圧力2.1 GPaで磁化率測定を実現[1]して、低温環境が必要な低次元磁性体の圧力下強磁場磁性を明らかにしてきた[2,3]。

本セミナーでは、三角格子磁性体 CsCuCl₃ および CsFeCl₃ の圧力下磁場誘起相転移の研究成果を基に本測定装置の現状及び今後の展開について報告した。

[1] K. Nihongi et al., Rev. Sci. Instrum. 94, 113903 (2023).

[2] K. Nihongi et al., Phys. Rev. B 105, 184416 (2022).

[3] K. Nihongi et al., J. Phys. Soc. Jpn. 93, 084704 (2024).

標題：Unveiling the Nexus Between Real and Momentum Space skyrmion in Correlated Systems

日時：2024年10月18日(金) 午後1時30分～

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：Dr. Shizeng Lin

所属：Theoretical Division and Center for Integrated Nanotechnologies, Los Alamos National Laboratory

要旨：
In this talk, I will explore the emergent physics resulting from the complex interaction between real-space and momentum-space topology in strongly correlated quantum materials, with a particular focus on skyrmions. Using quantum Hall and quantum spin Hall insulators as key examples, I will explain the mechanisms behind skyrmion formation through electron doping in these correlated and gapped topological systems. We provide a detailed analysis of the phase diagrams and the formation of skyrmion lattices within the Kane-Mele-Hubbard model, supported by calculations from both the unrestricted real-space Hartree-Fock and density matrix renormalization group methods. In these systems, the doped electron and skyrmion form a composite object whose density is governed by the doped electron density. This electron-skyrmion bound state is stabilized by the coupling between the orbital magnetization of the Chern band and the emergent magnetic flux generated by the skyrmion. Moreover, we find that doping induces quantum anomalous Hall crystals, which exhibit quantized Hall conductance and broken translational symmetry. Our theory offers an intrinsic mechanism for the experimentally observed robust quantum anomalous Hall insulator over an extended doping range near a filling factor of $\nu = 1$ in twisted transition metal moiré superlattices.

Reference: Miguel Gonçalves and Shi-Zeng Lin, arXiv:2407.12198

標題：Chiral phononics: Controlling materials with a twist

日時：2024年10月18日(金) 午後4時～午後5時

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：Dominik Maximilian Juraschek

所属：School of Physics and Astronomy, Tel Aviv University

要旨：

Chiral phononics is an emerging field, in which the angular momentum of circularly polarized lattice vibrations is utilized to control the properties of materials. When chiral phonons are driven coherently with an ultrashort laser pulse, the light makes the ions in the material behave like electromagnetic coils, producing circular ionic currents around their equilibrium positions in the crystal. This induces real and effective magnetic fields that can reach the tesla scale, providing an unprecedented means for the manipulation of magnetic order. Here, I present our recent theoretical predictions of novel phenomena arising from chiral phonon excitation, specifically light-induced magnetization in antiferromagnets and light-induced multiferroicity in nonmagnetic nonpolar materials. Furthermore, I will show how light can be used to make achiral materials chiral through a phononic rectification process that breaks all improper rotation symmetries of the crystal structure. These predictions highlight phonon chirality as a fundamental tool to create new functional properties in solids.

標題：Critical spin models from holographic disorder

日時：2024年10月29日(火) 午後1時～午後2時

場所：物性研究所本館6階 第5セミナー室 (A615)

講師：Alexander Jahn

所属：Freie Universität Berlin

要旨：

Discrete models of holographic dualities, typically modeled by tensor networks on hyperbolic tilings, produce quantum states with a characteristic quasiperiodic disorder not present in continuum holography. In this work, we study the behavior of XXZ spin chains with such symmetries, showing that lessons learned from previous non-interacting (matchgate) tensor networks generalize to more generic Hamiltonians under holographic disorder: While the disorder breaks translation invariance, site-averaged correlations and entanglement of the disorder-free critical phase are preserved at a plateau of nonzero disorder even at large system sizes. In particular, we show numerically that the entanglement entropy curves in this disordered phase follow the expected scaling of a conformal field theory (CFT) in the continuum limit. This property is shown to be non-generic for other types of quasiperiodic disorder, only appearing when our boundary disorder ansatz is described by a “dual” bulk hyperbolic tiling. Our results therefore suggest the existence of a whole class of critical phases whose symmetries are derived from models of discrete holography. [arXiv:2409.17235]



東京大学物性研究所人事異動一覧

【研究部門等】

| 発令日 | 氏名 | 部門・施設名等 | 職名 | 備考 |
|-----|----|---------|----|----|
|-----|----|---------|----|----|

〈採用〉

| | | | | |
|---------|---------------------------------|----------------|------------|--|
| R6.5.1 | 乾 幸地 | データ統合型材料物性研究部門 | 特任准教授 | 大学院工学系研究科 特任助教より |
| R6.5.1 | 高橋 惇 | 附属物質設計評価施設 | 助教 | ニューメキシコ大学 Postdoctoral Fellow より |
| R6.5.15 | DRICHKO NATALIA VLADIMIROVNA | 凝縮系物性研究部門 | 特任教授 | ジョンズホプキンス大学 研究教授より |
| R6.7.1 | 巖 正輝 | 附属国際超強磁場科学研究施設 | 助教 | 理化学研究所創発物性科学研究センター 基礎科学特別研究員より |
| R6.7.1 | Chaudhary Swati | 機能物性研究グループ | 特任助教 | テキサス大学オースティン校 Postdoctoral Researcher より |
| R6.8.1 | 佐藤 洋介 | ナノスケール物性研究部門 | 助教 | Centre for Nanoscience and Nanotechnology, Postdoctoral Researcher から |
| R6.9.1 | 佐々木 貴子 | 低温液化室 | 一般技術 職員 | 低温液化室 技術補佐員から |

〈兼務〉

| | | | | |
|--------|-------|------------------------------|-------|--|
| R6.7.1 | 木村 隆志 | データ統合型材料物性研究部門 (社会連携研究部門) | 特任准教授 | |
|--------|-------|------------------------------|-------|--|

〈客員：テーマ提案型〉

〈任期満了〉

| | | | | |
|---------|---------------------------------|-----------|------|-------------------|
| R6.7.14 | DRICHKO NATALIA VLADIMIROVNA | 凝縮系物性研究部門 | 特任教授 | ジョンズホプキンス大学 研究教授へ |
|---------|---------------------------------|-----------|------|-------------------|

〈辞職〉

| | | | | |
|---------|-------|---------------------|------------|--------------------------|
| R6.6.30 | 清水 未来 | 低温液化室 | 一般技術 職員 | 転出先未定 |
| R6.8.31 | 辻川 夕貴 | 附属極限コヒーレント光科学研究センター | 特任助教 | 慶応義塾大学工学部 助教へ |
| R6.9.30 | 一色 弘成 | ナノスケール物性研究部門 | 助教 | 日本原子力研究開発機構 任期付き研究 員へ |
| R6.9.30 | 田縁 俊光 | 凝縮系物性研究部門 | 助教 | 富山県立大学工学部電気電子工学科 准教授へ |

「Technical report of ISSP」掲載論文のウェブ公開許諾 のお願い

2024年7月1日

東京大学物性研究所長
廣井 善二

東京大学物性研究所では、研究所で発行した資料を電子化し、インターネットを介して広く公開する取り組みを進めております。これまでに、所内刊行物である「物性研だより」「Activity Report」「要覧」などを順次ウェブ公開して参りました。

このたび、「Technical report of ISSP」に掲載の論文を全て電子化し、本学の機関リポジトリ (UTokyo Repository) にて公開することを予定しているところですが、そのためには著者ならびに著作権継承者の皆様に、著作物の電子的な「複製」およびインターネットによる「公衆送信」を行うことへのご承諾をいただく必要があります。

「Technical report of ISSP」の著者ならびに著作権継承者の皆様におかれましては、別紙をご一読いただきまして、リポジトリを通じた公開にご賛同くださり、著作の利用についてご理解とご協力を賜りますようお願い申し上げます。



<別紙>

「Technical report of ISSP」ウェブ公開許諾のご案内

「Technical report of ISSP」に著作物を掲載された著者ならびにその著作権継承者の皆様におかれましては、以下の2点について、ご承諾をいただきますようお願いいたします。

1. 次の2誌

『Technical report of ISSP. Series A』 No.1-3702 (1959-2003)

『Technical report of ISSP. Series B』 No.1-26 (1960-2000)

に掲載された著作物について、その紙面を電子的に複製すること（複製権*1の利用）を、物性研究所に許可する。

2. 1.で作成された電子的な複製物を、東京大学学術機関リポジトリ等を通して公開すること（公衆送信権*2の利用）を、物性研究所に許可する。

*1, 2: 「複製権」と「公衆送信権」は、いずれも著作権の中の諸権利の一つです。

上記2点の承諾は、物性研究所に著作権を譲渡するものではありません。当該著作物の著作権の帰属そのものは変更されません。

もし、他誌に著作権を譲渡されている図表などを含む論文がございましたら、該当する論文を執筆された方は、恐れ入りますが下記連絡先へご一報いただけますと幸いです。

著作物のウェブ公開へのご異議やご質問等がある場合には、令和7(2025)年6月27日(金)までに、下記連絡先へお知らせください。

期間内にご異議のお申し出がなかった著作物につきましては、東京大学機関リポジトリでの公開をご承諾いただいたものと判断いたします。

なお、便宜的に上記の日にちを包括的な処理の期限といたしました。それ以降にお申し出いただいた場合も、個別に対応させていただきますことを申し添えます。

● 本件連絡先：

〒277-8581 千葉県柏市柏の葉5-1-5
東京大学物性研究所 図書室
電話 04-7136-3210 / FAX 04-7136-3218
メール issp-lib@issp.u-tokyo.ac.jp

● 「Technical report of ISSP」公開 利用許諾案内ウェブサイト

https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/labs/tosyo/technical_report_copyright/

※収録論文のタイトル・著者名リストをご覧いただけます。

編集後記

最近朝晩冷え込むことも多くなってきました。気が付けば師走がすぐそこに迫って来ている 11 月月末にこの編集後記を書いております。

今回の物性研だよりの表紙には、今年 8 月にご逝去された守谷元所長の物性研だより(第 21 巻第 2 号)の記事から、スピンのゆらぎの発想の筋道になった図が転載されています。先生のご冥福をお祈り致します。

本号の内容ですが、今回は 7 件というたくさんの研究紹介記事が掲載されていて充実したものとなっております。1 件目はオルソフェライト $\text{Sm}_{0.7}\text{Er}_{0.3}\text{FeO}_3$ の超高速磁化揺らぎをフェムト秒ノイズ相関分光法によって観測した成果で、2 件目は多彩なトポロジカルスピン構造を示す GdRu_2Ge_2 の輸送特性や中性子散乱実験結果の紹介です。3 件目と 4 件目はカイラル反強磁性体 Mn_3Sn や Mn_3Ge の話題で、それぞれ原子間力顕微鏡による局所的な温度勾配とネルンスト効果を利用したクラスター磁気八極子ドメインのイメージングの研究と集束イオンビームによって精密加工された細線デバイスにおける高速電流駆動を実証した研究になります。ここまで磁性体の話題が続きますが、5 件目もスピンと関連する研究で、非磁性キラル絶縁体において温度勾配によってスピン流が励起されることを理論的に示した成果です。6 件目は日本で唯一のプラチナ系砂白金鉬床と不知火鉬という新鉬物の発見の成果です。7 件目は DUV レーザーで半導体基板に直径 3 マイクロメートルという世界最小の穴あけ加工を実現した成果の紹介になります。その後、受賞報告記事や高木里奈先生の「物性研に着任して」、Natalia Drichko 先生 (Johns Hopkins University) の「外国人客員所員を経験して」が続きます。

各々大変興味深い内容ですので、是非ご一読ください。

井手上 敏也

物性研だよりの購読について

物性研だより発行のメール連絡を希望される方は共同利用係まで連絡願います。

また、物性研だよりの送付について下記の変更がある場合は、お手数ですが共同利用係まで連絡願います。

記

1. 送付先住所変更 (勤務先⇔自宅等)
2. 所属・職名変更
3. 氏名修正 (誤字脱字等)
4. 配信停止
5. 送付冊数変更 (機関送付分)
6. メール配信への変更

変更連絡先：東京大学物性研究所共同利用係

〒277-8581 柏市柏の葉 5-1-5

メール：issp-kyodo@issp.u-tokyo.ac.jp