

量子物質研究グループ

Quantum Materials Group

物性物理学はこれまで、新しい物質、新しい現象、新しい概念の発見によって大きく発展してきた。物性研究所で活発に研究されている強相関電子系は、その顕著な例である。一方、研究のブレークスルーは多くの場合、分野の融合によって実現される。この考えをもとに、本研究グループは量子物質研究のさらなる飛躍を目指し、理論と実験の緊密な連携を核として、従来の研究部門の垣根を超えた共同・連携研究を推進するために新設された。当グループは2つのコアグループと12の連携グループから成り、互いに強く連携しながら、強相関電子系の新しい量子相や新しい機能性物質の開発を目指した研究を進めている。例えば、バルクや薄膜の試料を作製し、その精密物性測定を駆使してスピントロニクス機能の開拓に取り組んでいる。これらの実験研究は、新しいトポロジカルな量子相の開拓を行う理論チームとの協力を通じて、理論手法の開発とともに活発に進められている。

Condensed matter physics has progressed significantly through the discovery of new materials, new phenomena, and new concepts. A prime example is the research on strongly correlated electron systems, a traditional strength of the Institute for Solid State Physics (ISSP). Breakthroughs often occur at the intersection of various research fields. With this in mind, the Quantum Materials Group was established to foster interdisciplinary studies that enhance collaboration between experimental and theoretical groups, transcending traditional research disciplines. The group comprises two core groups and twelve joint groups, all of which vigorously pursue research to discover novel quantum phases and functional materials in correlated electron/spin systems. Their efforts include synthesizing new materials in bulk and thin-film forms and characterizing them using cutting-edge measurement systems. Additionally, device fabrication is undertaken for spintronics applications. These experimental endeavors are complemented by active discussions and close collaboration with theoretical groups, which employ advanced theoretical approaches and numerical methods to explore new topological phases.

グループ主任 三輪 真嗣
Leader MIWA, Shinji

押川研究室

Oshikawa Group

研究テーマ Research Subjects

- 1 場の理論の量子異常と量子相の分類
Anomaly in quantum field theory and classification of quantum phases
- 2 非線形電気伝導の統一的理論
Unified theory of nonlinear electrical conduction
- 3 ネットワーク上の電子状態と輸送現象
Electronic states and transport phenomena on networks
- 4 新奇スピン液体の設計と探求
Design and study of exotic spin liquids



教授 押川 正毅
Professor OSHIKAWA, Masaki

専攻 Course

理学系物理学

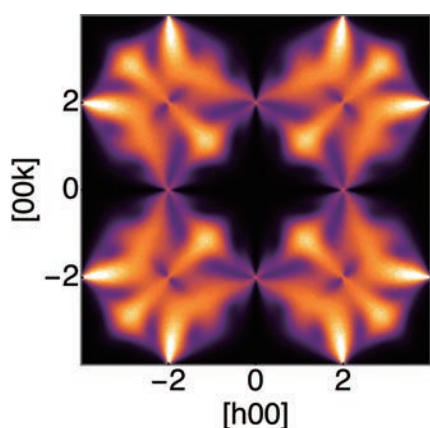
Phys., Sci.



助教 闫 寒
Research Associate
YAN, Han

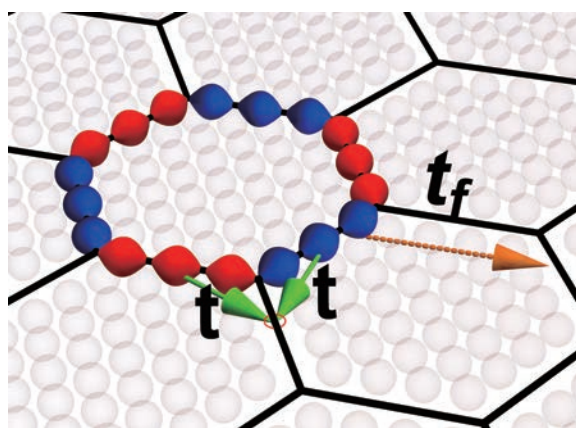
量子多体系の理論を中心として、広範な系で成立する普遍的な概念を探求している。最近の成果の例として、場の理論における量子異常を応用してギャップレスな臨界相の間に新たな分類が生じることを示し、量子相の分類に新たな展開をもたらした。また、理論的な新概念を踏まえて、実験結果の統一的な理解や、新たな実験に対する予言にも取り組んでいる。例えば、電荷密度波物質 1T-TaS₂ の電子状態を記述する量子細線のネットワーク模型を構築し、新たな機構によって対称性に保護される平坦バンドの出現を示した。さらに、フラストレート磁性体における高階ゲージ理論やフラクトントポロジカル相の実現と、その実験的帰結について研究を進めている。これらの研究の多くは、国際共同研究として推進している。

We pursue universal concepts in physics, especially in quantum many-body systems. As an example, based on anomaly in quantum field theory, we introduced a new classification of gapless quantum critical phases in the presence of symmetries. This opened up a new direction in classification of quantum phases. On the other hand, taking advantage of novel theoretical concepts, we also aim to give a unified picture on experimental data and to make testable predictions for experiments. For example, recently we introduced a “network model” of quantum wires in order to describe electronic states in the charge-density-wave material 1T-TaS₂ and demonstrated a realization of flat bands. Unlike most of the known constructions of flat bands, in our novel mechanism, the flatness is protected by symmetries and is robust. Furthermore, we investigate possible realizations of higher-rank gauge theories and fracton topological phases in frustrated magnets and their experimental consequences. Much of our research is carried out in international collaborations.



ブリージングパイロクロア格子上の磁性体のモンテカルロシミュレーションによるスピン構造因子。この模型は高階ゲージ理論を実現する。

Spin structure factor found in Monte Carlo Simulation of a magnet on a Breathing Pyrochlore lattice, which realizes a higher-rank gauge theory.



ネットワーク上の電子状態。対称性に守られた干渉効果により、平坦バンドの安定な出現が保証される。

Electronic states on a network. An interference effect protected by symmetries guarantees the robust appearance of flat bands.



https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/oshikawa_group.html

中辻研究室 Nakatsuji Group

研究テーマ Research Subjects

- 1 トポロジカル磁性体の室温量子伝導
Room-temperature topological transport in magnetic materials
- 2 強相関電子系における異常金属相と新しい超伝導体の開拓
Strange metal behavior and unconventional superconductivity in strongly correlated materials
- 3 トポロジカル量子状態の制御によるスピントロニクスとエネルギーハーベスティング応用
Manipulation of topological states for spintronics and energy harvesting applications



特任教授 中辻 知
Project Professor NAKATSUJI, Satoru

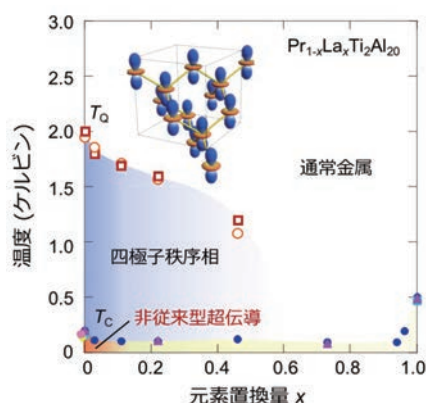
専攻 Course

理学系物理学

Phys., Sci.

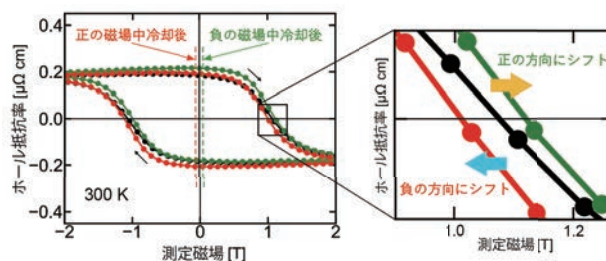
現在、磁性や超伝導、スピントロニクスといった分野が、トポロジーという概念によって再び整理・統合され、多くの新しい物理現象の発見に繋がっている。これらの物性物理の変革には、素粒子論、宇宙論、量子情報などで発展してきた概念が大きく関わっており、既存の分野の枠組みを超えた新しい視点での研究が重要になっている。私達の研究室では、そのような新しい概念を具現化する量子物質を自ら作り出し、世界最高精度の物性測定技術によってその背後にある物理法則の解明を目指して研究を行っている。それだけでなく、量子物質の驚くべき機能性をスピントロニクスやエネルギーハーベスティングに利用するための研究も行っており、産業界からも注目を集めている。

The condensed matter physics is considered one of the most versatile subfields of physics, embracing big ideas from particle physics, cosmology, and quantum information. Recently, the concept of topology has brought up a new era in condensed matter research that integrates a diverse spectrum of fields and topics, bridging basic science with technological innovations. Thus, it is critical to push beyond the traditional disciplines to establish new conceptual framework and to target at the significant problems. Our research activities focus on designing and synthesizing new materials with emergent quantum properties that have never been seen before, then exploring the physics and functionalities of such properties with our world-leading measurement facilities. Our goal is to lead the innovative quest for new quantum materials that bear a far-reaching impact not only on basic science but also on our everyday life in the future.



$\text{Pr}_{1-x}\text{La}_x\text{Ti}_2\text{Al}_{20}$ の低温相図。非従来型超伝導が強四極子秩序（挿入図）相内で現れる。[Nat. Commun. 16, 2114 (2025)]

Low temperature phase diagram for $\text{Pr}_{1-x}\text{La}_x\text{Ti}_2\text{Al}_{20}$. Unconventional superconductivity appears in the ferro-quadrupole ordered phase (inset). [Nat. Commun. 16, 2114 (2025)]



$\text{Mn}_3\text{Sn}/\text{MnN}$ 積層膜の異常ホール抵抗率の磁場依存性。磁場中冷却後に冷却磁場の方位に依存した横方向のシフトが発生している（挿入図）。[Adv. Mater. 36 2400301 (2024)]

Field dependence of the anomalous Hall resistivity of the $\text{Mn}_3\text{Sn}/\text{MnN}$ bilayer. The horizontal shift is induced after field cooling and its direction is determined by the sign of the cooling field (inset). [Adv. Mater. 36 2400301 (2024)]



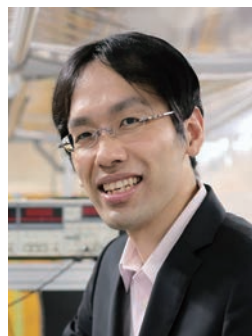
https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/nakatsuji_group.html

三輪研究室

Miwa Group

研究テーマ Research Subjects

- 1 キラル分子スピントロニクス
Chiral molecular spintronics
- 2 量子物質スピントロニクス
Quantum material spintronics
- 3 フェムト秒パルスレーザーや放射光 X 線等のオペランド分光
Operando spectroscopy using pulse laser and synchrotron radiation
- 4 スピンによる脳型コンピューティング
Brain-inspired computing using spintronics



准教授 三輪 真嗣
Associate Professor MIWA, Shinji

専攻 Course

新領域物質系

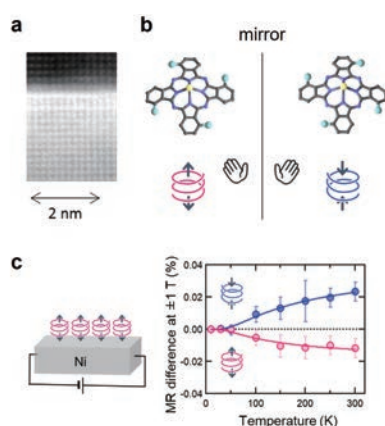
Adv. Mat., Frontier Sci.

特徴的なナノ構造を用いた物性実験研究を行っている。具体的には、半導体工学で発展した超高真空薄膜成長技術を駆使し、異種材料界面を持つ多層膜デバイスを用いて研究を行う。ナノの世界において「スピン」の性質が顕著に現れることに着目し、新物質・材料デバイスが示す新たな物性（物の性質）を見つけて機能化し、物理を把握して室温で大きな効果を示すデバイス物性の創成を目指している。

最近では物質のキラリティを利用した研究に注力している。キラリティは物理学だけでなく、化学、生物学、天文学でも共通して扱われる珍しい性質であり、特に有機分子のキラリティを用いたスピントロニクスデバイスの研究を進めている。また、量子物質であるトポロジカル反強磁性体のデバイス物性、フェムト秒パルスレーザーや X 線分光を用いた「オペランド分光」の開発なども行っている。

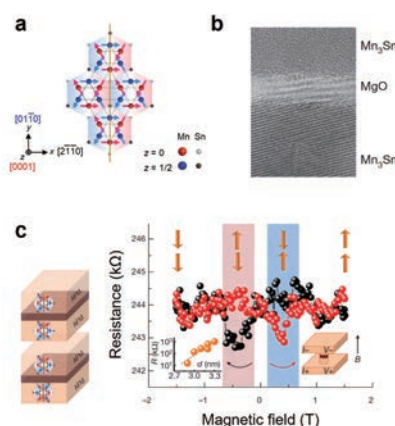
We are conducting experimental research on the physical properties of unique nanostructures. Specifically, we utilize ultrahigh vacuum thin film growth technology, a development from semiconductor engineering, to study multilayer devices composed of interfaces between different materials. Our focus is on the properties of “spin”, which become pronounced at the nanoscale. Our goal is to uncover new physical properties exhibited by novel material devices, to functionalize these properties, and to understand the underlying physics for creating device properties with significant effects at room temperature.

Recently, our research has concentrated on the chirality of materials. Chirality is a property that finds relevance not only in physics but also in chemistry, biology, and astronomy. We are especially progressing in research on spintronic devices that exploit the chirality of organic molecules. Additionally, we are investigating the device properties of topological antiferromagnetic materials—quantum materials—and developing “operando spectroscopy” techniques using femtosecond pulse lasers and X-ray spectroscopy.



キラル分子スピントロニクス: a, 特徴的なナノ構造の例。b, キラル分子と対称性。c, キラル誘起スピン選択性 (Chirality-induced spin selectivity: CISS) による熱励起スピン偏極の実証結果。

Chiral molecular spintronics: a, An example of a unique nanostructure. b, Chiral molecule and symmetry. c, Thermally driven spin polarization induced by chirality-induced spin selectivity (CISS).



量子物質スピントロニクス: a, トポロジカル反強磁性体 Mn_3Sn のスピン及び結晶構造。b, 分子線エビタキシー法により作製した多層膜構造の電子顕微鏡写真。c, トポロジカル反強磁性体によるトンネル磁気抵抗効果。

Quantum materials spintronics: a, Spin and crystal structure of the topological antiferromagnet Mn_3Sn . b, Transmission electron microscope image of the multilayer structure of Mn_3Sn prepared by molecular beam epitaxy. c, Tunnel magnetoresistance of the topological antiferromagnet.





外国人客員教授 パク ビョングック
Visiting Professor PARK, Byong-Guk

私たちの研究室はスピントロニクス材料及びデバイスの研究に注力しており、磁性ナノ構造における基礎物理の解明を進めている。スピントロニクスには、低消費電力の不揮発性メモリ、再構成可能なロジック、IoTセンサーなど、多くの魅力的な応用が存在する。特に、私たちは「スピン軌道トルク (spin-orbit torques: SOTs)」と呼ばれる技術を研究している。これは磁気ランダムアクセスメモリ (magnetic random-access memory: MRAM) で用いられ、超高速かつ低エネルギー消費による磁化反転を可能にする。これまでに、強磁性 / 非磁性の二層膜を利用して、新たなスピン流生成材料を提案し、垂直磁化膜の無磁場反転を可能にする面直方向にスピン偏極を有する非自明な SOTs を実現した。そして、この技術をセキュリティデバイスや確率計算に応用している。

SOTs 以外にも、材料やデバイス開発を通じて、スピントロニクスデバイスの性能指数や機能性の向上に取り組んでいる。私たちは軌道流によるスピントルクや磁化の電界制御、スピン熱電効果、スピン Hall ナノ発振器、そして他の新興技術の研究も進めている。

Our laboratory focuses on developing spintronic materials and devices and exploring the underlying physics of magnetic nanostructures. Spintronics offers exciting opportunities for various device applications including ultra-low power non-volatile memory, reconfigurable logic, IoT sensors, and so on. In particular, we investigate spin-orbit torques (SOTs), which enable ultrafast and energy-efficient magnetization switching, providing an effective writing scheme for magnetic random-access memory (MRAM). We have proposed new spin current source materials based on ferromagnet/non-magnet bilayers that generate unconventional SOTs with out-of-plane spin polarization, enabling field-free SOT switching of perpendicular magnetization. Furthermore, we have exploited this technology to implement spintronic security devices and probabilistic computing.

Beyond SOTs, we further develop novel materials and devices to enhance the spintronic device performance and functionality. Our research includes orbital current-induced spin torques, electric field control of the magnetization, spin thermoelectrics, spin Hall nano-oscillators, and other emerging technologies.

