

量子物質研究グループ

Quantum Materials Group

物性物理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きた強相関電子系は、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する。本研究グループは、このような考えのもと、量子物質研究のさらなる飛躍を目指して、理論と実験の緊密な連携を核とし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7つの連携グループからなり、互いに強く連携・協働しながら、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、理論手法の開発を通じて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協力し活発に進めている。

Condensed matter physics has progressed, relying on discoveries of new materials, new phenomena, and new concepts. A good example can be found in the history of research on strongly correlated electron systems, one of the major traditional strengths of ISSP. On the other hand, breakthroughs have often been made at an intersection of various research fields. Aiming at another leap forward, the Quantum Materials Group has been created to promote interdisciplinary studies based on the collaboration between the experimental and theoretical groups beyond the conventional research disciplines. The quantum materials group currently consists of two core groups and seven joint groups. All the groups vigorously conduct collaborative research to discover novel quantum phases and functional materials in correlated electron/spin systems. The activities include new material synthesis in bulk and thin-film forms and their characterization through state-of-the-art measurement systems. Device fabrication is also carried out for spintronics applications. These experiments are conducted through lively discussion and tight collaboration with theory groups, which search for new topological phases by using an advanced theoretical approach and numerical methods.

グループ主任 押川 正毅
Leader OSHIKAWA, Masaki

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 量子細線の接合における伝導と共形場理論
Conduction at a junction of quantum wires and conformal field theory

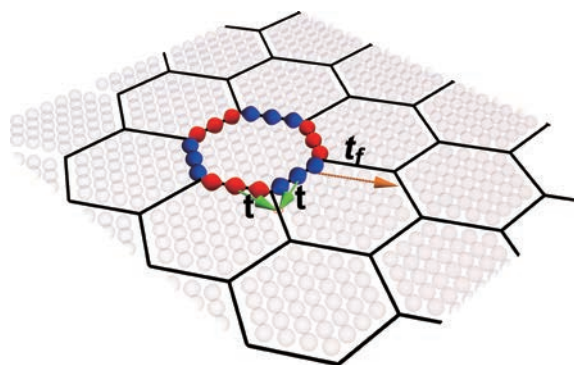
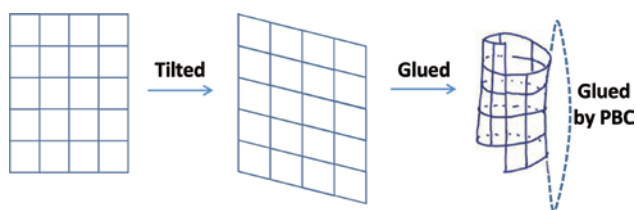


教授 押川 正毅
Professor OSHIKAWA, Masaki

専攻 Course
理学系物理学
Phys., Sci.

量子多体系の理論を中心として研究を行っている。量子多体系と古典統計力学系および場の理論の密接な関係を踏まえ、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、平坦バンドの出現を示した。この新たな機構による平坦バンドは、既知の構成と異なり対称性によって保護され安定である。我々のネットワーク模型は、超伝導や非フェルミ液体など、様々な興味深い物性を発現するための新たなプラットフォームとなることが期待できる。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。

Our main focus is quantum many-body theory. Based on the close correspondence among quantum many-body systems, classical statistical systems, and field theory, we pursue universal concepts in physics. As an example of our recent achievements, 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. 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 other constructions of flat bands, the flatness is protected by symmetries and is robust. The network model will be a new platform to realize many interesting phenomena including superconductivity and non-Fermi liquids. Much of our research is carried out in international collaborations.



格子上の量子多体系に課す「傾いた」周期境界条件。この境界条件を活用して磁束挿入の議論を用いることで、量子異常と Lieb-Schultz-Mattis 定理について新たな知見が得られる。

“Tilted” boundary condition imposed on a quantum many-body system on a lattice. Invoking this boundary condition, we can obtain a new insight into quantum anomaly and Lieb-Schultz-Mattis theorem.

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.



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

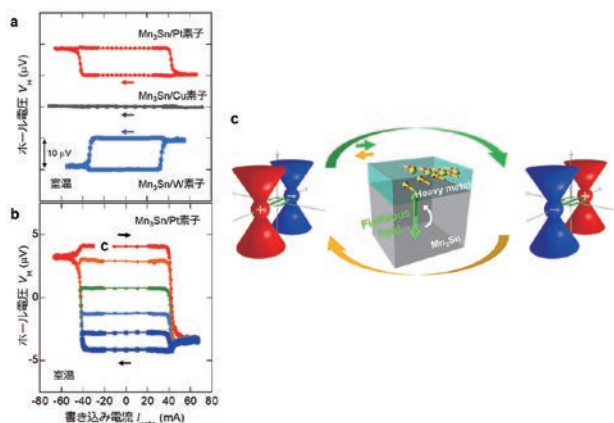


特任教授 中辻 知
Project Professor NAKATSUJI, Satoru

専攻 Course
理学系物理学
Phys., Sci.

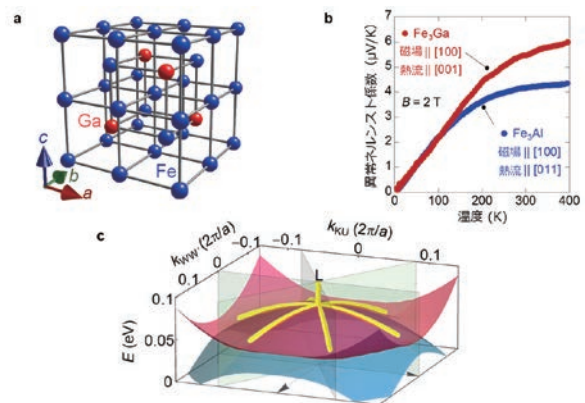
現在、磁性や超伝導、スピントロニクスといった分野が、トポロジーという概念によって再び整理・統合され、多くの新しい物理現象の発見に繋がっている。これらの物性物理の変革には、素粒子論、宇宙論、量子情報などで発展してきた概念が大きく関わっており、既存の分野の枠組みを超えた新しい視点での研究が重要になっている。私達の研究室では、そのような新しい概念を具現化する量子物質を自ら作り出し、世界最高精度の物性測定技術によってその背後にある物理法則の解明を目指して研究を行っている。それだけでなく、量子物質の驚くべき機能性をスピントロニクスやエネルギーハーベスティングに利用するための研究も行っており、産業界からも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

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.



a. Mn_3Sn と Pt, Cu, W との積層膜における、ホール電圧の書き込み電流 I_{write} 依存性。b. 多値記憶の実証実験。c. Mn_3Sn でのスピン軌道トルク磁化反転。[Nature 580, 608 (2020)]

a. Hall voltage vs. write current I_{write} for the $\text{Mn}_3\text{Sn}/\text{Pt}$, Cu , W bilayer devices. b. Illustration of the multi-valued memory device. The multi-valued Hall voltage is achieved by changing the lower limit of the write current, $I_{\text{write}}^{\text{min}}$. c. Spin-orbit torque switching realized in Mn_3Sn . [Nature 580, 608 (2020)]



Fe_3X ($X = \text{Ga}, \text{Al}$) における a. 結晶構造。b. 異常ネルンスト効果の温度依存性。c. ノーダルウェブ構造。[Nature 581, 53 (2020)]

Crystal structure of Fe_3X ($X = \text{Ga}, \text{Al}$). b. Temperature dependence of the anomalous Nernst effect. c. The nodal web in momentum space. [Nature 581, 53 (2020)]



研究テーマ Research Subjects

- 1 量子物質スピントロニクス
Spintronics using a quantum material
- 2 キラル分子スピントロニクス
Spintronics using a chiral molecule
- 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.



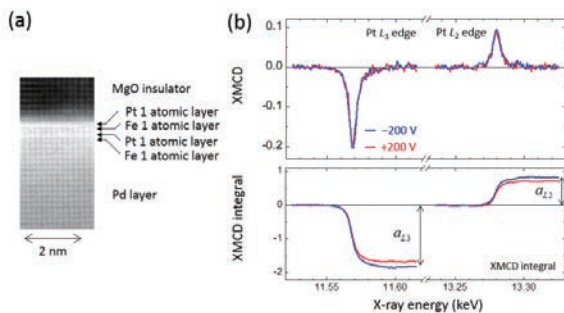
助教 坂本 祥哉
Research Associate
SAKAMOTO, Shoya

高品質かつ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の超高真空薄膜成長技術を金属・絶縁体・有機分子に適用し、異種材料界面を有する多層膜デバイスを用いて研究を行う。ナノの世界で「スピン」の性質が顕著に現れることに着目し、様々な量子スピントロニクス現象を発現するデバイスを創成している。作製した新物質・材料デバイスが示す新たな物性(物の性質)を見つけ、機能化し、応用に供すること研究目的である。

最近の具体的な研究テーマは、ワイル磁性体をはじめとした量子物質のスピントロニクス応用やキラル分子を用いたスピントロニクス研究等である。特に電流電圧を印加しながらフェムト秒パルスレーザー分光や X 線吸収分光を行う「オペランド分光」を用いて様々なスピントロニクス現象の機構解明を行っている。そして分光研究で得た知見を用いて、実際に室温巨大効果を示すデバイスの創成を目指している。

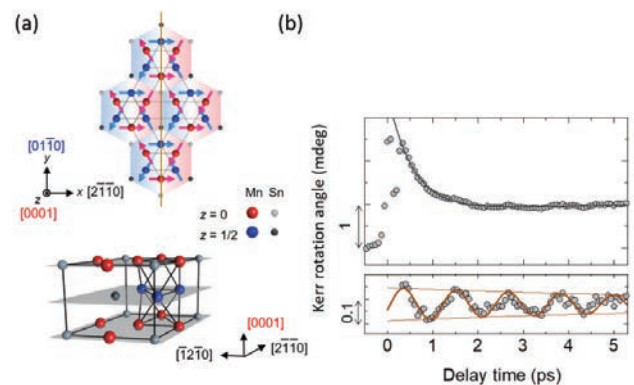
We study the experimental condensed matter and material physics using high-quality and unique nanostructures. We employ the ultrahigh vacuum technique, which has been used for semiconductor engineering, for the multilayer fabrication with metals, insulators, and organic molecules. We focus on spin and orbital properties, which can be pronounced in nano-structure, and fabricate quantum spintronics devices. Our research purpose is to characterize the novel physical properties of such devices and use them for application.

Recently, we study a spintronics device using a quantum material such as Weyl and line-node magnets. We also study a spintronics device using a chiral molecule. We reveal the microscopic origin of the various spintronics phenomena using operando spectroscopy with a femtosecond pulse laser system and synchrotron radiation. Using the obtained knowledge, we design and fabricate spintronics devices showing large effects at room temperature.



(a) 特徴的なナノ構造の例。(b) オペランド放射光 X 線分光の例。高品質薄膜デバイス研究と X 線分光研究の融合により、次世代不揮発性メモリの駆動技術として重要な電気磁気効果の物理機構を解明した。

(a) An example of a unique nano-structure. (b) An example of operando synchrotron X-ray spectroscopy. The origin of the voltage-controlled magnetic anisotropy, which is important for future non-volatile random access memory, has been revealed.



(a) ワイル反強磁性体 Mn_3Sn のスピン及び結晶構造。(b) 拡張磁気八極子の特性を利用することにより、フェムト秒パルスレーザーを用いて反強磁性金属の実時間スピン振動の観測に初めて成功した。

(a) Spin and crystal structures of Weyl antiferromagnet Mn_3Sn . (b) Using a property of the cluster magnetic octupole, we have succeeded in observing the time-resolved spin oscillation of a metallic antiferromagnet by employing a pulse laser system.





客員准教授 多田 靖啓
Visiting Associate Professor TADA, Yasuhiro

量子多体系を対称性の観点から理論的に研究している。中でも特に、非自明な対称性の性質や対称性から生じる非自明な状態に興味を持っている。例えば、非常に小さい磁場中では、並進対称性が素朴に期待される以上に非自明となる。この対称性から、磁場がないときの量子多体系の低エネルギースペクトルの振る舞いを理解することができる。また、空間的対称性が非自明な量子状態を導くこともあり、gapless 性とトポロジカル非自明な gapped 性が共存するような状態を理論的に実現させることができる。このような状態が実験的にどのように観測されるのかも興味深い問題であり、その解明を目指している。対称性それ自体は物理学の基本概念であり、多くの事柄が知られている。しかし、まだまだ未知の性質が隠れており、物性研究所の方々との協力の下、それらを通して新しい量子物性を開拓していきたいと考えている。

We theoretically study quantum many-body systems from the view point of symmetry. Especially, we are interested in nature of non-trivial symmetries and quantum states arising from symmetries. For example, translation symmetry becomes more non-trivial than naively expected under a tiny magnetic field. Based on this symmetry, one can understand behaviors of the low energy spectrum of a quantum many-body system in absence of a magnetic field. Besides, spatial symmetries could lead to non-trivial quantum states, and for example, one can theoretically describe a quantum state where both gapless nature and topologically gapped nature coexist. An experimental observation of such a state is also interesting, and we investigate possible outcomes from non-trivial quantum states. Symmetry itself is a fundamental concept and there are already established works on this issue. However, there are still much to be explored, and we wish to have fruitful collaborations with various people in ISSP to uncover novel physics through such hidden properties.

