

トポロジカルエレクトロニクス

川崎研究室では、近年大きくクローズアップされている固体中の電子が持つトポロジーの概念を新しいエレクトロニクスに展開する可能性を探っています。

現代社会の発展は、半導体エレクトロニクスに支えられていると言っても過言ではありません。日本は「電子技術立国」として、前世紀末までは世界の半導体産業を牽引していました。しかし、ゲームチェンジの機会に影響力を失いつつあります。このようにプレーヤーが変遷することは今に始まったことではなく、繊維や鉄鋼などのかつての基幹産業にも見られ、新たな、あるいはより高付加価値の産業構造を日本は次々と生み出してきました。次世代の日本を「量子技術立国」で盛り上げる機運が高まっています。そこで活躍するのは、これから専門研究に邁進する諸君です。

半導体デバイスでは、電子の電荷のみが注目され、量子力学を頭わには取り入れなくて電子同士の相関を考えない一体近似でデバイスの動作は理解できます。一方で、量子物質と呼ばれる物質群の電子では、量子力学がダイレクトに作用し、スピンや軌道の効果が顕著になります。物性物理学としては学理の大きなジャンプなわけですが、川崎研ではさらに一歩進んで機能デバイスに活用する可能性を探っています。その基本にあるのは、「原子レベルで制御した薄膜界面」を作製することで、量子現象を設計・制御する要素技術を明らかにし、さらに、超低消費電力デバイスや新しい創エネルギーデバイスの概念実証研究までを一貫して行っています。

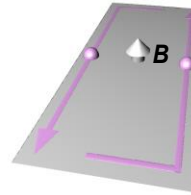
トポロジーの概念が頭わになったのは量子ホール効果の発見とその後の理論的な解明に遡ります。様々な物質群で試料を流れる非散逸なトポロジカル電子流を作り出し、その性質を調べています。また、実空間でのトポロジカルスピンの構造に注目して、新たなデバイス機能を可能にする要素技術も開発しています。

真っ白なキャンパスに自分で絵を描いて世界を変えてみたい方は、きっと楽しく研究を進めることができます。

Topological phases



Quantum Hall systems



Skyrmion states

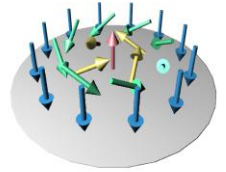
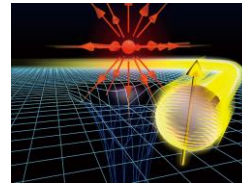
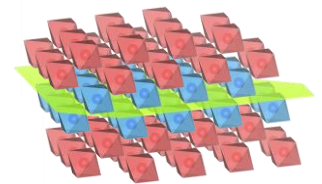


図1. トポロジカルな性質を持つ状態の模式図

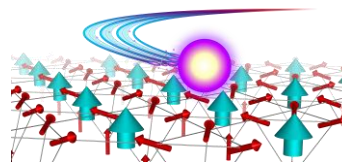
High-mobility spin-polarized electron gas



Topological metal at heterointerface



Berry phase emerging from spin-ice state



Robust shift current at broken inversion-symmetry

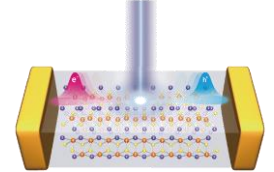


図2. トポロジカルな性質を示す物質系

代表的な研究成果

1. Y. Tokura, M. Kaswasaki, N. Nagaosa, *Nature Phys.* **13**, 1056 (2017).
2. M. Nakamura et al., *Nat. Commun.* **15**, 9672 (2024).
3. M. Ohno et al., *Sci. Adv.* **10**, eadk6308 (2024).
4. L. Zhang et al., *Commun. Matter.* **5**, 35 (2024).
5. K. S. Takahashi et al., *Phys. Rev. B* **109**, 035158 (2024).
6. T. C. Fujita et al., *APL* **125**, 011602 (2024).
7. M. Kawamura et al., *Nature Phys.* **19**, 333 (2023).
8. D. Maryenko et al., *APL Mater.* **11**, 061102 (2023).
9. N. Takahara et al., *APL Mater.* **11**, 031101 (2023).
10. Falson et al., *Nature Mater.* **21**, 311 (2022).
11. T. C. Fujita et al., *APL Mater.* **10**, 051112 (2022).
12. D. Maryenko et al., *Nat. Commun.* **12**, 3180 (2021).