

対称性に基づいた新奇なトポロジカル相の探求

佐藤 宇史 / 東北大学大学院理学研究科 准教授

本計画研究「対称性に基づいた新奇なトポロジカル相の探求」の目的は、対称性とスピン軌道相互作用を起源とする新しい種類のトポロジカル物質を探索するとともに、トポロジカル物質が発現する新奇量子現象やエキゾチック準粒子の性質を解明することである。

具体的には、時間・空間・結晶点群対称性などの様々な対称性やスピン軌道相互作用を積極的に活用・制御することで、トポロジカル絶縁体、ディラック半金属、ワイル半金属、トポロジカル超伝導体、トポロジカル結晶超伝導体などの新奇なトポロジカル物質を世界に先駆けて発見し、高分解能スピン分解光電子分光やトンネル分光などの先端分光技術などを駆使して、そのエッジ・表面およびバルクにおける電子構造の完全決定を目指す。また、高品質のバルク・薄膜単結晶の作製に加えて、分子線エピタキシー (MBE) 法や接合デバイス作製技術を用いてトポロジカル超伝導候補物質の各種接合を作製することによって、新奇トポロジカル量子現象の観測・解明を行う。これらの研究は、以下の5つの項目を中心に据えて行う。

(1) トポロジカル量子相転移の解明：

トポロジカル絶縁体の量子相転移近傍における電子状態の変化を明らかにする。高分解能スピン分解 ARPES 装置と薄膜試料高真空輸送システムを開発することで、ディラック電子のバンド構造とスピントクスチャを完全決定する。

(2) ディラック・ワイル半金属相の実現：

3次元ディラック半金属およびワイル半金属の候補物質のバルク・薄膜単結晶を合成し、組成・物性の制御とバンド構造の測定により、電子状態の全貌を明らかにする。

(3) 表面・界面のディラック電子制御による新奇物性発現：

トポロジカル絶縁体を含む超格子構造や強磁性トポロジカル絶縁体薄膜などにおいて表面と界面のディラック電子を制御し、その電子構造を決定する。これにより、表面・界面における空間反転対称性の破れと電子状態との関連を明らかにする。さらに、異常量子ホール効果などの新奇量子現象の実現をめざす。

(4) トポロジカル超伝導体の開発と検証：

トポロジカル絶縁体とトポロジカル結晶絶縁体にキャリアをドーブして超伝導を実現し、そのトポロジカル超伝導性を検証する。トポロジカル超伝導体の候補物質に関して、トポロジカルな性質を決定するペアポテンシャルの位相構造を明らかにする。

(5) エッジ流・奇周波数電子対・マヨラナ準粒子の検証：

トポロジカル絶縁体・超伝導体、および強磁性体を含む高品質の接合を作製し、トポロジカル超伝導性に由来するエッジスピン流、奇周波数ペア、およびマヨラナ準粒子の存在を実験と理論の両面から多角的に検証する。

上記の研究の多くは A01, C01 および D01 班の研究テーマとも密接に関係しているため、他の計画研究との有機的な研究交流によって、概念共有を深めた研究展開も図る。さらに、トポロジカル量子現象特有の準粒子を探索・実証し、その背後に横たわる量子凝縮相の物理を解明することを目指す新学術領域全体の目的遂行にも寄与する。

