

トポロジカル物質ナノ構造の輸送現象

藤澤利正 / 東京工業大学大学院理工学研究科 教授

本計画研究「トポロジカル物質ナノ構造の輸送現象」では、半導体ヘテロ構造・低次元ナノ構造や超伝導体・強磁性体のハイブリッド構造をベースとした人工的な「トポロジカル物質ナノ構造」を用いて、個々のバルク母材料にはない新奇なトポロジカル量子現象を引き出し、トポロジカル系に特有なエキゾチックな準粒子の振る舞いを明らかにするとともに、準粒子を用いた新しいトポロジカル物質ナノ構造デバイスの基礎原理を提案し原理実証を行うことを目的としている。

トポロジカル物質ナノ構造では、トポロジーとナノ構造により制限された自由度の下で、対称性・相互作用・近接効果が生む相乗効果により、従来の物質にはない特異な量子現象やエキゾチックな準粒子の発現が期待できる。本計画では、半導体ナノサイエンスで培った技術、すなわち、高純度結晶成長によるヘテロ接合、ゲート電圧によるバンド構造の変調やスピン軌道相互作用の制御、ナノ加工による微細構造デバイスの集積化、超伝導体・磁性体接合（ハイブリッド化）技術、高速電界効果によるキャリアの動的制御技術、極低温低雑音測定による精密計測などの手法を最大限に活かすことにより、人為的制御による新奇なトポロジカル量子現象を引き出すことが大きな特徴である。

実験研究として中心となる材料は、高い電子移動度により明瞭な整数・分数量子ホール効果を示し電界効果によるナノ構造技術も確立している AlGaAs/GaAs

系ヘテロ構造、電界制御によりスピン軌道相互作用の変調が可能で永久スピン旋回状態を得ることができる InGaAs 系ヘテロ構造、電子と正孔の共存を制御できるとともに大きなスピン軌道相互作用によって量子スピンホール効果を得ることができる InAs/GaSb 系ヘテロ構造である。これらの系でのナノ構造やハイブリッド構造の作製により、新奇なトポロジカル量子現象を引き出すことができる。エキゾチックな準粒子（カイラルプラズモン、分数電荷、マヨラナ準粒子など）や電子スピンの幾何学的位相の振る舞いを明らかにすることで、ナノサイエンスの観点からトポロジカル系の物理を切り拓くことを目指す。人工トポロジカル相の創生・制御と、準粒子輸送現象（非平衡状態、動的挙動、量子統計、準粒子干渉、エッジ流、スピン干渉、スピン輸送）の解明を通してトポロジカル物質ナノ構造の基礎学理を確立し、準粒子を用いた新デバイスの基礎原理の構築へとつなげる。

また、理論研究により、原子層二次元系薄膜やワイル半金属などの実験技術の確立していない系でのトポロジカル量子現象や輸送現象に関する研究を進め、将来の実験研究の指針とすることができる。さらに、連携研究者や他の計画研究の研究者との協力により、トポロジカル物質ナノ構造の輸送現象を探求し、トポロジカル物質を用いたデバイスの提案と実証を目指している。

