

【基盤研究(S)】

大区分B



研究課題名 メゾスコピック量子ホール系の低次元準粒子制御と非平衡現象

東京工業大学・理学院・教授

ふじさわ としまさ
藤澤 利正

研究課題番号： 19H05603 研究者番号： 20212186

キーワード： メゾスコピック系、量子ホール系、低次元準粒子、非平衡現象

【研究の背景・目的】

物性物理学において、準粒子は重要な役割をなす。一電子描像では捉えがたい集団運動を、相互作用に起因する準粒子の描像によって美しく説明できる。本研究の対象である量子ホール系は、強磁場中の二次元電子に現れる二次元トポロジカル絶縁体であり、絶縁化されたバルクにおける特徴的な励起状態や、カイラルエッジにおける一方向伝導など興味深い現象を示す。これらは、図1に示すように、二次元系(バルク)の分数電荷準粒子($e/3$, $e/5$ など)や電子スピンの旋回構造であるスカーミオン、一次元エッジの集団的電荷励起(プラズモン)や集団的スピン励起(スピノン)などの低次元準粒子によって説明することができる。これらの特徴的な準粒子の非平衡状態を制御することで、新しい応用の開拓が期待されている。

本研究の目的は、低次元準粒子の非平衡ダイナミクスを探求することで、量子ホール熱機関やトポロジカル量子工学への応用指針を得ることである。本基盤研究で特に注目する点は、ブレイディング(組紐)操作や量子ホール熱機関に向けた準粒子制御にある。

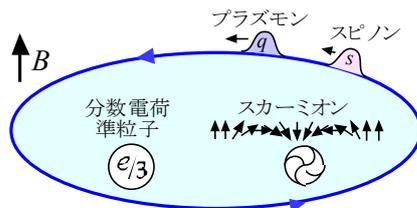


図1 低次元準粒子

【研究の方法】

本研究では、AlGaAs/GaAs 半導体テロ構造の量子ホール系を微細加工したメゾスコピック量子ホール系により、非平衡準粒子の制御と応用に関する研究を進める。図2のように、量子ポイント接合(QPC)、量子ドット(QD)、量子アンチドットなどの機能的な素子を集積化し、一次元・二次元系準粒子の“測定系”を構成することで、低次元系特有の準粒子(プラズモン・スピノン・分数電荷・スカーミオンなど)の非平衡状態を評価し、輸送特性(電荷流・スピン流・熱流など)を明らかにする。

例えば、準粒子に起因する電荷・スピン・熱の輸送を走査型偏光分光顕微鏡などの手法を用いて解析する。量子ドットにパルスを印加することで波束を発生し、量子ドット分光器、時間分解電荷測定、雑

音測定などにより多角的な解析を行うことで、準粒子の非平衡ダイナミクスを制御・観測する。また、分数量子ホール領域におけるエッジ構造を明らかにすることや、単一準粒子の制御によってブレイディング(組紐)操作などを設計できる。さらに、熱と仕事の効率的な変換を設計することで、量子ホール熱機関を構築することができる。

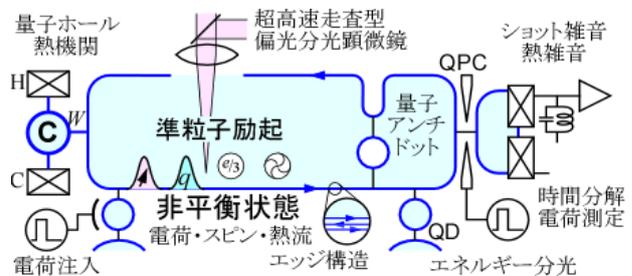


図2 メゾスコピック量子ホール系

【期待される成果と意義】

メゾスコピック量子ホール系の実験研究と理論研究により低次元準粒子の非平衡ダイナミクスを探求する。トポロジカル量子工学や量子ホール熱機関に活用することのできる低次元準粒子の操作手法を開拓する計画である。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- K. Itoh, R. Nakazawa, T. Ota, M. Hashisaka, K. Muraki, and T. Fujisawa, "Signatures of a nonthermal metastable state in copropagating quantum Hall edge channels", Phys. Rev. Lett. 120, 197701-1-5 (2018).
- M. Hashisaka, N. Hiyama, T. Akiho, K. Muraki and T. Fujisawa, "Waveform measurement of charge- and spin-density wavepackets in a chiral Tomonaga-Luttinger liquid", Nature Physics 13, 559-562 (2017).

【研究期間と研究経費】

令和元年度～令和5年度
153,500千円

【ホームページ等】

<http://fujisawa.phys.titech.ac.jp>
fujisawa@phys.titech.ac.jp