

A01 量子ホール接続系における分数電荷準粒子の生成・消滅過程の研究

東京工業大学大学院理工学研究科 橋坂 昌幸

分数量子ホール系は代表的な量子多体系であり、固体物性理論の検証の舞台として、重要な実験対象である。本研究では、分数量子ホール系における素励起である分数電荷準粒子に着目し、その生成・消滅過程を明らかにすることを目指した。独自の電流ゆらぎ相互相関測定技術（参考文献1）、および高周波電気測定技術を利用し、量子ホール系における準粒子ダイナミクスの解明に取り組んだ。

1. 局所分数量子ホール系における分数電荷準粒子の生成過程

分数量子ホール（FQH）系における素励起はラフリン準粒子と呼ばれ、素電荷 e よりも小さな分数電荷を持つ。分数電荷準粒子は、2次元電子系全体が FQH 状態を形成する試料において確認されてきた [図 1(a)]。一方本研究では、整数量子ホール系中に局所的に形成された FQH 系に注目した。このような試料は、FQH 系に対し大きな非平衡バイアスを印加する

ことが可能であり、また広い温度範囲で実験が可能など、分数電荷準粒子の発生プロセスを詳しく調べるために優れた性質を持っている。実験により、FQH 系を介して整数量子ホール系間にトンネル電流を発生させたとき、トンネル準粒子として分数電荷準粒子が生成されることを発見した [図 1(b)]。この現象についてバイアス電圧や温度に対する依存性を測定し、分数電荷準粒子の発生メカニズムに量子ホール端状態の朝永・ラッティンジャー液体的性質が深く関係していることを見出した。この成果は、参考文献2、3にまとめられている。

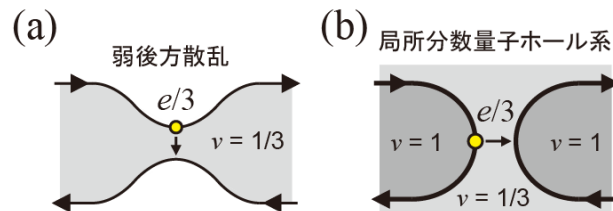


図 1(a) 試料全体が分数量子ホール状態にある系における分数電荷準粒子のトンネル現象。(b) 局所分数量子ホール系における準粒子トンネル現象。

2. 量子ホール端状態に対する新しいエネルギー分光測定法の開発

量子ホール系試料端には、量子ホール端状態と呼ばれる1方向性の1次元伝導状態が生じる。分数電荷準粒子のトンネル現象によって生じる端状態上のエネルギー分布関数を測定することは、局所 FQH 系における分数電荷準粒子の生成・消滅過程を調べるために重要である。

我々は、電流ゆらぎ相関測定を利用した新しいエネルギー分布関数評価手法を考案し、整数量子ホール端状態を用いてその検証実験を行った。量子ホール系研究に必要な強磁場下において、本手法が既存の量子ドットを用いた分光手法と比較してより有効であることが確かめられた。この成果は、参考文献4にまとめられている。

3. 量子ホール朝永・ラッティンジャー液体におけるスピン電荷分離現象の観察

量子ホール端状態の朝永・ラッティンジャー液体的性質を評価した。特に、朝永・ラッテ

インジヤ液体を象徴するスピン電荷分離現象に着目し、独自のスピン分解ポンプ・プローブ法による時間分解測定によって、スピン電荷分離の観測に成功した。

実験では、端状態にスピナップ、またはダウンに偏極した電子集団を入力し、しばらく伝搬させたのち

に出力信号を時間分解測定した。パルス状の電子集団を1つ入力したにもかかわらず、電荷とスピンに相当する2つの信号が異なるタイミングで観測され、かつスピンの向きに応じて一方の信号のみが符号反転する。このことから、電荷波束とスピン波束が空間的に分離されたことを確認できる。また得られた波形の詳細な解析により、量子ホール端状態の朝永・ラッティンジャー液体としての性質を完全に決定することに成功した。この成果は、参考文献5, 6にまとめられている。

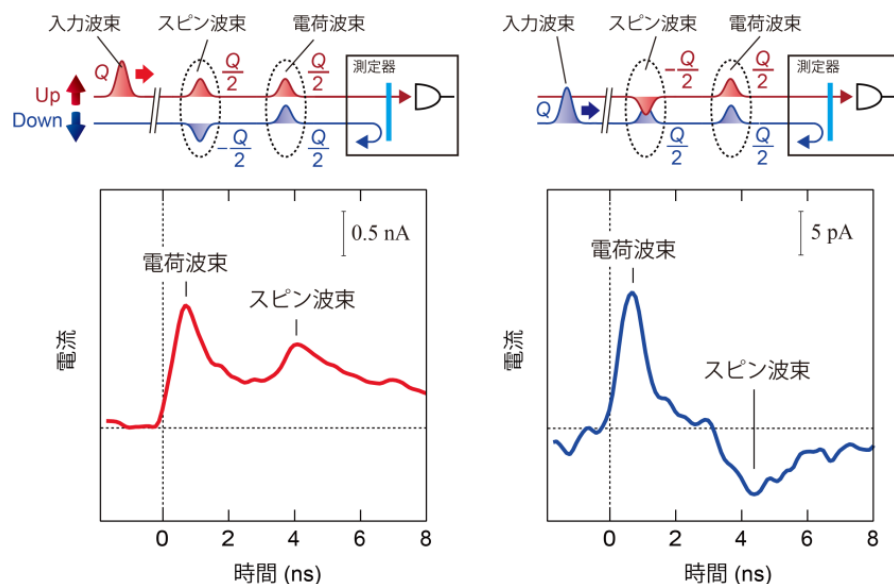


図2 代表的な測定結果。朝永・ラッティンジャー液体にスピン偏極した電子集団を入力すると、電荷とスピンの向きに応じて異なる速度で伝搬し、空間的に分離される様子を観測できる。

4. エッジマグネトプラズモンの Mach-Zehnder 干渉計

量子ホール端状態における伝搬モードは、電荷密度のプラズマ振動（エッジマグネトプラズモン：EMP）として伝搬する。EMPの干渉性を調べるための Mach-Zehnder 干渉計の開発を行った。これは将来、端状態を利用したプラズモニクスの開発に有用なデバイスである。この成果は参考文献7にまとめられている。

参考文献：

- (1) M. Hashisaka, T. Ota, M. Yamagishi, K. Muraki, T. Fujisawa, *Rev. Sci. Instrum.* **85**, 054704 (2014).
- (2) M. Hashisaka, T. Ota, K. Muraki, T. Fujisawa, *Phys. Rev. Lett.* **114**, 056802 (2015).
- (3) 橋坂昌幸、太田智明、村木康二、藤澤利正、*固体物理* vol.51, No.2, 127 (2016).
- (4) T. Ota, M. Hashisaka, K. Muraki, T. Fujisawa, *J. Phys.: Cond. Mat.* **29**, 225302 (2017).
- (5) M. Hashisaka, N. Hiyama, T. Akiho, K. Muraki, T. Fujisawa, *Nat. Phys.* **13**, 559 (2017).
- (6) 橋坂昌幸、藤澤利正、*日本物理学会誌* vol.72, 805 (2017) (表紙掲載)。
- (7) N. Hiyama, M. Hashisaka, K. Muraki, T. Fujisawa, *Appl. Phys. Lett.* **107**, 143101 (2015).