

課題番号 : F-15-IT-0025
利用形態 : 技術代行
利用課題名(日本語) : 半導体人工量子系による朝永-ラuttinger流体の実験的研究
Program Title (English) : Experimental study on Tomonaga-Luttinger liquids using semiconductor nanostructures
利用者名(日本語) : 橋坂昌幸, 藤澤利正
Username (English) : M. Hashisaka, T. Fujisawa
所属名(日本語) : 東京工業大学 大学院理工学研究科 物性物理学専攻
Affiliation (English) : Department of Physics, Tokyo Institute of Technology

1. 概要(Summary)

半導体人工量子系における電子ダイナミクスを調べるため、東京工業大学量子ナノエレクトロニクス研究センターの設備を利用して微細加工、及び、作製された試料の観察を行った。本研究では、2次元電子系に垂直磁場を印加して形成される量子ホール系に着目した。微細加工を用いて、量子ホール系エッジ状態において電子励起や観測を行うための人工量子素子を作製した。これらの素子を利用してエッジ状態の1次元電子系としての振る舞いを調べ、朝永-ラuttinger流体(TLL)モデルに基づく様々な物理現象を解明した。

具体的には①エッジ状態を用いて実現される人工的TLLにおける非平衡準安定状態の観察、②TLL特有のスピンの電荷分離現象の時間分解測定、③エッジ状態間をトンネル効果によって運ばれる分数電荷準粒子の観察、④エッジマグネトプラズモンのMach-Zehnder型干渉計の開発、の4つのサブテーマに取り組んだ。これらの成果を総合すると、1次元電子系の電子ダイナミクスの制御・観測技術を大いに進展させることができたと言える。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

電子ビーム露光装置、電子ビーム露光データ加工ソフトウェア、走査型電子顕微鏡

【実験方法】

AlGaAs/GaAsヘテロ界面の2次元電子系中に、量子ポイント接合、量子ドットなどを形成した。試料に垂直磁場を印加し、量子ホール系を形成した。これらの人工量子素子を高精度・高速エレクトロニクスを駆使して動作させ、エッジ状態における電子ダイナミクスの観測を行った。上記の実験方法のうち、人工量子素子を形成するための微細構造作製と、その構造観察について、ナノプラットフォーム事業に支援をいただいた。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

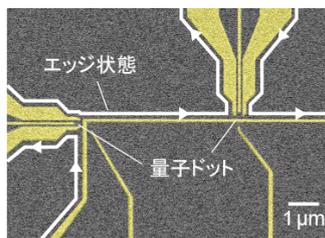


Fig. 1 Colored scanning electron micrograph of a typical device. Quantum dots are connected to edge channels.

2次元電子系に対してゲート電極として動作する幅50 nm ~ 2 μmの金属微細構造を作製できた。これらを使ってエッジ状態と結合するように作製された人工量子素子は、エッジ状態における電子励起発生器、あるいは検出器として動作した。これらを利用することで、エッジ状態におけるTLLモデルに基づく様々な物理現象を観察することに成功した。本研究の成果を利用することで、今後さらに1次元電子系における物理の実験研究が進むとともに、TLL固有の物性を利用した新しい機能デバイスの提案など応用面でも発展が期待できる。

4. その他・特記事項(Others)

- ・科研費基盤研究(A)「量子ホールエッジチャネルの非平衡電荷ダイナミクス」
- ・科研費新学術領域研究「トポロジカル物質ナノ構造の輸送現象」
- ・科研費新学術領域研究「量子ホール接合系における分数電荷準粒子の生成・消滅過程の研究」
- ・共同研究者:NTT 物性科学基礎研究所 村木康二様、秋保貴史様、筑波大学 都倉康弘様

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) K. Washio *et al.*, Phys. Rev. B **93**, 075304 (2016).
- (2) N. Hiyama *et al.*, Appl. Phys. Lett. **107**, 143101 (2015).

6. 関連特許(Patent)

なし。