

量子状態の高度な制御に基づく革新的量子技術基盤の創出  
2018 年度採択研究代表者

2021 年度  
年次報告書

山本 倫久

理化学研究所 創発物性科学研究センター  
チームリーダー

半導体非局在量子ビットの量子制御

## § 1. 研究成果の概要

本研究では、電子間相互作用などによるデコヒーレンスを受けない準粒子「レビトン」を用いた電子の飛行量子ビット(非局在量子ビット)の高精度制御に関する研究や、局在スピンと電子波の結合制御に基づいた局在-非局在ハイブリッド量子系の設計指針の開発を行っている。

飛行量子ビットの研究では、同量子ビット制御のプラットフォームとなる量子干渉計の試作と評価を継続して行った。当年度は、同干渉計において単一粒子干渉(1 量子ビット操作)と 2 粒子干渉(2 量子ビット操作)の実証実験を行った。経路上にトップゲートを配することによって 1 粒子干渉の可視度が改善することを確認した。また、干渉計に 2 電子を注入する実験では、2粒子干渉(量子もつれ)によって 1 粒子干渉による電流の振動が予想通り消失する結果を得た。また、4端子系の輸送特性を明らかにするために、干渉計における2本の量子細線からなる電子波干渉計をタイトバインディングモデルで表し、その輸送特性を数値的に調べた。これらと並行して、飛行量子ビットを定義する電子波束レビトンの生成に関する技術開発を継続して行った。周波数コムを用いた幅 20 ピコ秒精密なパルス生成手法を完成させた。また、フェムト秒レーザーとフォトスイッチを用いて幅 3 ピコ秒のパルス生成を低温で実現した。更に、電気パルスで生成された波束の伝導特性を調べ、それを基に量子回路・干渉計の設計指針を検討した。

局在-非局在ハイブリッド量子系に関しては、予備実験として近藤箱問題に取り組み、スピンの多体状態が有限サイズ効果によって変調されることを確認した。また、近藤雲形成ダイナミクスを調べる実験に用いる試料の作製を行った。特に非平衡系に着目し、近藤雲のダイナミクスに関する理論的な考察も進めた。

## § 2. 研究実施体制

### (1) 山本グループ

- ① 研究代表者: 山本 倫久 (理化学研究所創発物性科学研究センター チームリーダー)
- ② 研究項目
  - ・ 忠実度の高い単一量子ビット演算
  - ・ 2 量子ビット演算の実証
  - ・ レビトンの 1 量子ビット演算
  - ・ 離れた量子ドット間のスピン相関の実証
  - ・ 近藤雲形成のダイナミクス解明

### (2) 金子グループ

- ① 主たる共同研究者: 金子 晋久 (産業技術総合研究所物理計測標準研究部門 首席研究員)
- ② 研究項目
  - ・ 忠実度の高い単一量子ビット演算
  - ・ 単一準粒子励起の評価
  - ・ レビトンのコヒーレント伝導の実証と評価
  - ・ 近藤雲形成のダイナミクス解明

### (3) 江藤グループ

- ① 主たる共同研究者: 江藤 幹雄 (慶應義塾大学理工学部 教授)
- ② 研究項目
  - ・ 電子波干渉計の理論設計
  - ・ スピン結合に関する理論解明

### 【代表的な原著論文情報】

- 1) S. Takada, G. Georgiou, E. Arrighi, H. Edlbauer, Y. Okazaki, S. Nakamura, A. Ludwig, A. D. Wieck, M. Yamamoto, C. Bäuerle, and N. Kaneko, "Heat-Driven Electron-Motion in a Nanoscale Electronic Circuit", *Journal of the Physical Society of Japan* 90, 113707 (2021).
- 2) Yujie Zhang, Rui Sakano, and Mikio Eto, "Kondo effect and phase measurement in double quantum dot in Parallel," *Journal of the Physical Society of Japan*, 91, 014703 (2022).
- 3) Tokuro Hata, Yoshimichi Teratani, Tomonori Arakawa, Sanghyun Lee, Meydi Ferrier, Richard Deblock, Rui Sakano, Akira Oguri, and Kensuke Kobayashi, "Three-body correlations in nonlinear response of correlated quantum liquid," *Nature Communications* 12, 3233 (2021).