

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

2020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)だけでなく、2粒子干渉(2量子ビット操作)を検証できるような実験系を構築した。また、3-4端子系を用いた電子の位相測定について理論的に考察を行い、実験と整合する結果を得た。これと並行して、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行った。周波数コムを用いた10-20ピコ秒程度の幅の精密なパルス生成手法や、フオトスイッチを用いた1ピコ秒幅のパルス生成手法の実装を目指した技術開発を進めた。また、電気パルスで生成された波束の干渉計におけるコヒーレント伝導特性を実験的に調べた。波束の結合チャンネル間のコヒーレント振動を初めて観測したことに加え、チャンネルの出入口を狭窄することによって波束の伝搬モードや伝搬速度を変調できることなどを明らかにした。これらの研究開発の過程では、単一電子の軌道飛行量子ビットの実証や時間依存する系の量子伝導シミュレーターTKWANTの開発などの成果も得た。

局在-非局在ハイブリッド量子系に関しては、電子波を介した離れた局在スピンの結合(2不純物近藤効果)を実証するための実験試料の作製と測定系の立ち上げを行った。また、近藤雲形成のダイナミクスを明らかにする実験の理論的な考察と試料の設計を行った。

## § 2. 研究実施体制

### (1) 理研グループ

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 ユニットリーダー)

#### 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) 産総研グループ

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) 慶應大グループ

- ① 主たる共同研究者: 江藤幹雄 (慶應義塾大学工学部 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

(4) NEEL グループ

- ① 仏研究代表者: Christopher Bäuerle (仏国立科学研究所 NEEL DR1; Head of Quantum Coherence Group)
- ② 研究項目
  - ・ 忠実度の高い単一量子ビット演算
  - ・ レビトンのコヒーレント伝導の実証と評価
  - ・ 単一準粒子励起の評価
  - ・ 極短パルス長のレビトンの励起手法の開発
  - ・ 近藤雲形成のダイナミクス解明

(5) INAC (CEA) グループ

- ① 仏共同研究者: Xavier Waintal (仏原子力・代替エネルギー庁 INAC-SPSMS Head of the theoretical physics lab)
- ② 研究項目
  - ・ レビトンのコヒーレント伝導の実証と評価
  - ・ 数値計算によるレビトン伝導とレビトン間の結合評価

【代表的な原著論文情報】

- 1) R. Ito, S. Takada, A. Ludwig, A. D. Wieck, S. Tarucha, and M. Yamamoto, “Coherent beam splitting of flying electrons driven by a surface acoustic wave”, Phys. Rev. Lett. 126, 070501 (2021).
- 2) T. Kloss, J. Weston, B. Gaury, B. Rossignol, C. Groth and X. Waintal, “Tkwant: a software package for time-dependent quantum transport”, New J. Phys. 23 023025 (2021).
- 3) Mikio Eto and Rui Sakano, “Fano-Kondo resonance versus Kondo plateau in an Aharonov-Bohm ring with an embedded quantum dot,” Phys. Rev. B 102, 245402 (2020).
- 4) Yoshimichi Teratani, Rui Sakano, and Akira Oguri, “Fermi liquid theory for nonlinear transport through a multilevel Anderson impurity,” Phys. Rev. Lett. 125, 216801 (2020).