

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

大野 圭司

理化学研究所 開拓研究本部
専任研究員

シリコン技術に立脚した室温動作スピン量子ビット

§ 1. 研究成果の概要

深い不純物の電子スピンにより室温動作量子ビットを実現し、その急峻な磁場応答を磁気センサーとして応用することを目的とする。素子の試作を産総研グループ、評価を理研・電大両グループが担当する。計画開始時において、トンネル電界効果トランジスタ(TFET)素子構造に深い不純物(AI-N 対)を導入し室温までの単一電子伝導(SET)特性と温度 10K までの量子ビット動作を確認しており、新素子の開発はこの既存素子を基準として行った。また並行して既存素子の評価を継続し、地磁気レベルの微小磁場検出に成功するなど磁気センサー応用が有望であることを示した。

深い不純物である Be、S、および Zn をシリコン技術に沿った形で、かつ既存素子同様の濃度プロファイルで素子へ導入した。Be 導入素子において室温 SET 特性と低温でのスピン量子ビット動作を確認した。S および Zn に関しては、ミリ秒アニール技術の採用により目標とする濃度プロファイルを実現、DLTS 法で深い不純物準位の存在を確認した。2021 年 3 月現在、S・Zn の両者を導入した素子の評価を続けており、スピン閉鎖を示唆するゼロ磁場近傍の急峻な伝導の変化が温度 150K まで観測されるなど、室温動作に向けた進捗が得られている。

§ 2. 研究実施体制

(1) 理研グループ

- ① 研究代表者: 大野圭司(理化学研究所研究開発本部 専任研究員)
- ② 研究項目
 - ・研究統括/単一スピン素子の設計・評価

(2) 産総研グループ

- ① 主たる共同研究者: 森貴洋(産業技術総合研究所ナノエレクトロニクス研究部門 主任研究員)
- ② 研究項目
 - ・単一スピン素子の設計(シミュレーション)・作製・基礎評価

(3) 電機大グループ

- ① 主たる共同研究者: 森山悟士(東京電機大学工学部電気電子工学科 准教授)
- ② 研究項目
 - ・単一スピン素子の設計・評価

【代表的な原著論文情報】

- 1) Shota Iizuka, Hidehiro Asai, Junichi Hattori, Koichi Fukuda, and Takahiro Mori, "Implementation of Coulomb blockade transport on a semiconductor device simulator and its application to tunnel-FET-based quantum dot devices," Jpn. J. Appl. Phys. 59, S11E02, 2020 .
- 2) K. Ono, S. N. Shevchenko, T. Mori, S. Moriyama, Franco Nori, "Analog of a Quantum Heat Engine Using a Single-Spin Qubit", Phys. Rev. Lett. 125, 166802, 2020.
- 3) S. Iizuka, H. Asai, K. Kato, J. Hattori, K. Fukuda, T. Mori, "Mechanism of extraordinary gate-length dependence of quantum dot operation in isoelectronic-trap-assisted tunnel FETs", Applied Physics Express 13, 114001, 2020.
- 4) Y. Ban, K. Kato, S. Iizuka, S. Moriyama, K. Ishibashi, K. Ono, T. Mori, "ON current enhancement and variability suppression in tunnel FETs by the isoelectronic trap impurity of beryllium", Jpn. J. Appl. Phys 60, SBBA01, 2021.