

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

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

シリコン中の深い不純物、その電子スピンを用い室温動作する量子ビットを開発する。既存のシリコン技術の枠内で素子開発を行うことで産業界への速やかな技術移植を目指す。トンネル電界効果トランジスタ(TFET)構造に深い不純物を導入、深い不純物準位を介した素子ソースドレイン電極間のトンネル伝導に現れるスピン閉鎖により量子ビット状態を素子のソースドレイン電流として読み出す。量子ビットの急峻な磁場応答を利用した高感度磁気センサーを開発する。2018年度を試作準備期間、2019-2020年度を実証期間、2021-2022年度を性能向上期間と位置づけ、計画終了時まで最終目標“2種の深い不純物を有するTFETによる室温動作量子ビット素子とその磁気センサー応用”を実現する。2021年度は研究開始3年までの中間目標である“意図的に導入した2種の不純物を有するTFETによる量子ビット素子”を達成することに主眼を置いた。

意図的に導入する2種の不純物として、昨年度までに導入準備を進めてきたSおよびZnを採用。これらを導入したTFET素子について、温度10ケルビン(K)から室温までの温度で伝導特性を評価した。その結果、10Kから室温までの幅広い温度でスピン閉鎖を確認した。スピン閉鎖はゼロ磁場付近の磁気電流特性により同定した。また50Kまでの単一電子スピン共鳴、10Kでの明瞭な量子ビット特性、および地磁気以下の微小磁場の検出に成功した。以上から上記中間目標を達成しただけでなく、性能向上期間にふさわしい、大幅な動作温度の向上に成功したと考える。今後は量子ビット動作の高温化、および室温磁場検出の高感度化を進め、上記最終目標の達成を目指す。

## § 2. 研究実施体制

### (1) 大野グループ

- 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／単一スピンの素子の設計・評価

### (2) 森グループ

- 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
  - ・単一スピンの素子の設計(シミュレーション)・作製・基礎評価

### (3) 森山グループ

- 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
  - ・単一スピンの素子の設計・評価

### 【代表的な原著論文情報】

- 1) K. Kato, et al, “Electron beam lithography with negative tone resist for highly integrated silicon quantum bits”, Nanotechnology vol. 32, 485301 (2021).