

大野圭司

理化学研究所研究開拓本部
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

2018 年度は、既存の量子ビット素子(動作温度 10 ケルビン)を用いた予備検討と並行し、新たな素子の TEG(Test Element Group)を作製することを計画した。

産総研試作ライン改廃に伴い新たな試作ラインを用いたプロセスの整備を行った。Al-N 不純物対の形成技術は問題なく移植され、さらにチャネル幅の微細化(既存素子 10 μm に対し新素子では最小で 0.2 μm)にも成功した。これらの素子は理研・物材において評価され、既存素子と同等な単一電子輸送特性および単一電子スピン共鳴特性が観測された。また新試作ラインの小回りの効く試作体制を生かし、計画に記したものと同等もしくはそれ以上のペースで TEG 作製がなされている。

従来素子で実績のある Al-N 不純物対以外の深い不純物を素子へ導入するための基礎実験を行った。この基礎実験は計画では 2019 年度から実施する予定であったが、順調な進捗のため前倒しで実施した。具体的にはシリコン中に深い準位を作ることが知られている Zn および S の導入を検討した。イオン注入条件、および注入後のアニール条件の最適化を進めており、断面 TEM 評価により欠陥のない良好な状態が確認できている。さらに S について SIMS 分析を行い、S がシリコン結晶中に注入されていることを確認できた。

素子の低温伝導特性評価にかかる時間を短縮し評価のスループットを改善するため、新たに素子評価システムを開発した。これにより 1 日あたりに評価できる素子数を従来の 1-2 個程度から 9-18 個まで増やすことができた。このスループットの向上により、プロセス条件の迅速なフィードバックが可能となった。

磁気センサー以外の量子ビット単体応用の可能性を探るため、単一の量子ビットを用いた量子シミュレーションを行った。超伝導量子ビットを用いミリケルビン温度域で行われた先行研究に対し、高温動作スピン量子ビットを用いた我々の単一量子ビット量子シミュレーションは温度 1.5K でなされ、motional averaging 現象を含む広範な量子干渉効果を実験的にシミュレートすることに成

功した。

以上のように、2018 年度計画に記載された項目を実施できたうえ、一部を前倒しで進めることができた。さらに計画時からの状況変化に対応し計画に記載していない項目についても実施しているため、当初の計画以上に進展していると考ええる。

Al-N 対導入 TFET 素子における室温までの単一電子伝導特性と 10K までのスピン量子ビット動作は Scientific reports 誌に、単一量子ビット量子シミュレーション実験についてまとめた論文は Phys. Rev. Lett. 誌に掲載された。

【代表的な原著論文】

- [1] K. Ono, S. N. Shevchenko, T. Mori, S. Moriyama, F. Nori, Quantum interferometry with a g-factor-tunable spin qubit, Phys. Rev. Lett. **122**, 207703 (2019).
- [2] K. Ono, T. Mori, S. Moriyama, High-temperature operation of a silicon qubit, Scientific reports **9**, 469 (2019).

§ 2. 研究実施体制

(1) 理研グループ(研究機関別)

- 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) 産総研グループ(研究機関別)

- ① 主たる共同研究者:森 貴洋 (産業技術総合研究所エレクトロニクス製造領域 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)
 - ・単一スピンの素子の作製・基礎評価

(3) 物材グループ(研究機関別)

- ① 主たる共同研究者:森山 悟士 (物質・材料研究機構国際ナノアーキテクト研究拠点 主任研究員)
- ② 研究項目
 - ・単一スピンの素子の設計・評価