

2023 年度年次報告書

量子・古典の異分野融合による共創型フロンティアの開拓

2023 年度採択研究代表者

野入 亮人

理化学研究所 創発物性科学研究センター
研究員

大規模化可能なシリコン量子コンピュータ単位構造の開発

研究成果の概要

本年度は、離れた量子ビット間での高忠実 2 量子ビット操作の実証に向けて、多重量子ドット列および大きな量子ドット列の設計と作製を行った。初めに、多重量子ドット列として作製した試料において電荷状態の制御性、量子ドットの安定性、トンネル結合の制御性、および電荷計の感度において問題が無いことを確認した。続いて、各量子ドットに閉じ込めた個別の量子ビットを独立に操作する単一量子ビット操作の確認と各量子ビットのコヒーレンス時間を評価した。何もしない場合およびエコーパルスを用いた場合の位相緩和時間を評価したところ、最先端のシリコン量子ビットで報告されているコヒーレンス時間と同等程度の値を得た。これは、作製した試料が雑音の少ない高安定な試料であることを意味している。次に、隣接 2 量子ビット間の交換結合の制御性を評価した。結合制御用のゲート電極の電圧で 3 桁以上交換結合がパルス的に変調可能であり、かつ、最大の交換結合として、高忠実 2 量子ビット操作に必要な 10 MHz 以上を達成可能であることを確認した。また、高忠実な読み出しと 2 量子ビット操作の実現にも貢献した。一方で、この試料では各量子ドットにおける電子スピンのバレー分離が小さく、操作や初期化等の動作時にバレーの励起状態の影響を排除することが困難で、離れた量子ビット間での高忠実 2 量子ビット操作の実証には至らなかった。バレー分離は量子井戸基板の成長時に決定するので、今後はバレー分離が大きい基板を探し出し試料を再作製する。

これと並行して、シャトリングチャネルに使用する大きな量子ドットの作製と評価を行った。量子ドットの閉じ込めを作るゲート電極の大きさが通常の 50 nm から 200 nm の大きさの範囲の試料を作製し、その特性評価を行った。ゲート電極の大きさが 170 nm 以下では単一の量子ドットの形成に成功した。現時点では 1 つの試料しか測定できていないため、今後再現性を確認する。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Takeda, K. Noiri, A. Nakajima, T. Camenzind, L. C. Kobayashi, T. Sammak, A. Scappucci, G. Tarucha, S. Rapid single-shot parity spin readout in a silicon double quantum dot with fidelity exceeding 99%, *npj Quantum Information* **10**, 22 (2024)
- 2) Wu, Y. Camenzind, L. C. Noiri, A. Takeda, K. Nakajima, T. Kobayashi, T. Chang, C. Sammak, A. Scappucci, G. Goan, H. Tarucha, S. Hamiltonian phase error in resonantly driven CNOT gate above the fault-tolerant threshold, *npj Quantum Information* **10**, 8 (2024)