

2023 年度年次報告書

情報担体とその集積のための材料・デバイス・システム

2021 年度採択研究代表者

米田 淳

東京工業大学 超スマート社会卓越教育院
特任准教授

ネットワーク型シリコン量子プロセッサの開拓

研究成果の概要

本課題は、シリコン量子ビットのネットワーク型量子プロセッサの創出に向けた基盤技術の実証を目指している。本年度は、シリコン量子ビットの位相反転誤り相関とその量子ビット間距離依存性の検証、および極低温配線の基盤技術検証などに関して取り組み、一部計画以上の進展があった。

量子ビット誤りのビット間相関は、シリコン量子プロセッサの量子誤り訂正効率に大きな影響を与える。このことを踏まえて、実際にシリコン量子ビットに誤りをもたらす歳差周波数のゆらぎにおける量子ビット間相関を定量的に評価した。100 nm 程度離れたシリコン量子ビット間で相互相関スペクトルを求めたところ、観測されたゆらぎの量子ビット間相関の強さは 1 Hz において 0.7 程度となり、シリコン量子ビット間において誤り相関が強くなり得るという重要な知見が得られた[1]。また同様の解析手法をスピン交換相互作用のゆらぎとスピン歳差周波数のゆらぎに適用し、この量子ビットの主要な雑音源が電荷雑音であることを直接的に示した。さらに、200 nm 程度離れたシリコン量子ビット間の相互相関スペクトルを評価し、有限の相関を観測した[2]。観測結果は、遮蔽効果のもとで比較的少数の電荷雑音源が影響を与えているものとして解釈できることを見出し、この知見に基づいて量子ビット誤り相関の量子ビット間距離依存性、および電荷雑音源密度の関係性について議論した。一連の成果は、シリコン量子プロセッサの将来設計に大きく貢献すると考えられる。

上記の成果に加えて、シリコン集積回路で培われてきた配線技術であり、大規模量子プロセッサの配線に有用であると期待されるフリップチップ実装と、シリコン量子ビット読み出し技術である高周波反射測定との融合に取り組んだ[3]。さらに、各ノードにおける量子機能向上に資する技術として、量子非破壊測定技術を応用したシリコン量子ビット初期化を実証し、論文にまとめた[4]。

【代表的な原著論文情報】

- 1) J. Yoneda, J. S. Rojas-Arias, P. Stano, K. Takeda, A. Noiri, T. Nakajima, D. Loss, S. Tarucha, Noise-correlation spectrum for a pair of spin qubits in silicon. *Nature Physics* 19, 1793–1798 (2023).
- 2) J. S. Rojas-Arias, A. Noiri, P. Stano, T. Nakajima, J. Yoneda, K. Takeda, T. Kobayashi, A. Sammak, G. Scappucci, D. Loss, S. Tarucha, Spatial noise correlations beyond nearest neighbors in $^{28}\text{Si}/\text{Si-Ge}$ spin qubits. *Physical Review Applied* 20, 054024 (2023).
- 3) T. Futaya, R. Mizokuchi, M. Taguchi, T. Miki, M. Nagata, J. Yoneda, T. Kodera, Cryogenic flip-chip interconnection for silicon qubit devices. *Japanese Journal of Applied Physics* 63, 03SP64 (2024).
- 4) T. Kobayashi, T. Nakajima, K. Takeda, A. Noiri, J. Yoneda, S. Tarucha, Feedback-based active reset of a spin qubit in silicon. *npj Quantum Information* 9:52 (2023).