ここから、新・未来へ
MOONSHOT RESEARCH & DEVELOPMENT PROGRAM

研究開発項目

4. 小規模回路による量子演算

2023年度までの進捗状況

1. 概要

本研究開発テーマは、大規模なシリコン量子ビットアレイ構造の開発と並行して、将来的にその一部を構成する小規模実験回路を活用することにより、量子コンピュータ実現に向けた課題の早期抽出を目指しています。

図１に示すような、量子ビットとしての動作が確立している小規模実験回路を用いて、量子ビットの初期化、読み出し、コヒーレント制御といった基本動作の高性能化を追究し、それらを組み合わせた量子演算操作を実証します。大規模な系での誤り耐性量子計算の実現可能性や、アレイ構造と両立する量子ビットの演算方式を検証し、プロジェクトの目指す大規模アレイ構造の設計指針を与えることを目指します。

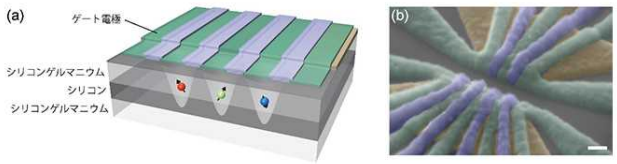

図１　３つのシリコン量子ビットを制御可能な Si/SiGe 型の三重量子ドット試料の模式図(左)および電子顕微鏡写真(右)。スケールバーは 100 nm(1 千万分の 1 メートル)。

2. これまでの主な成果

①アレイ構造内部の量子ビットの初期化および読み出し手法を確立
②３つの量子ビットに対する汎用的な制御を実現
③誤り耐性閾値を上回る高精度２量子ビット操作を実現
④量子ビット制御の高速化とエラー低減の関係性を解明
⑤３つの量子ビットによる位相誤り訂正操作を実証
⑥量子ビット間で強い誤り相関を観測

上記において、①は一次元シリコン量子ビットアレイ構造内部の量子ビットの初期化および読み出し手法を確立するものです。隣の量子ビットと状態を入れ替える SWAP 操作により、これまで困難だったアレイ内部の量子ビットの初期化・読み出し操作を実証しました。

②では、３つのシリコン量子ビットに対する汎用的な(ユニバーサルな) 量子操作の実証に成功しました。高い忠実度 (88%) で３つのシリコン量子ビットの量子もつれ状態を生成できていることを世界で初めて確認しました。

③、④では、これまで量子ビット制御のボトルネックとなっていた２つの量子ビット間の制御 NOT 操作の高忠実度化を実現しました。誤り耐性量子計算の実現に十分な 99.5%という高忠実度を実証し、雑音の低減によるさらなる高精度化に向けた研究開発の指針を得ました。

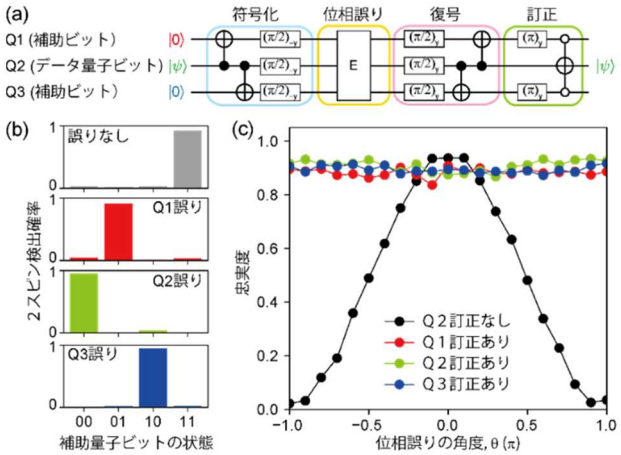

図２　シリコン３量子ビットを用いた位相誤り訂正実験。

⑤では、３つの量子ビットの高忠実度制御を組み合わせることで、位相誤りの訂正回路をシリコン量子ビットで初めて実証しました(図 2)。これにより、シリコン量子ビットを用いた誤り耐性量子コンピュータの開発に向けた重要なマイルストーンを達成したと言えます。

⑥では、アレイ構造における量子誤り訂正で課題となる、量子ビット間の誤り相関を評価しました。シリコン量子ビットに誤りをもたらす位相回転速度のゆらぎの測定 (図 3) から、隣接サイト同士でシリコン量子ビット間の誤り相関が強くなりうるという、シリコン量子コンピュータの将来設計と性能向上に資する重要な知見が得られました。

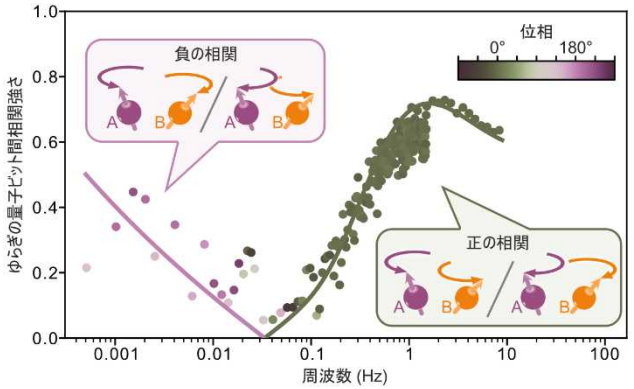

図３　シリコン量子ビット間のゆらぎの相関測定結果。

3. 今後の展開

誤り耐性量子コンピュータの実現に向けて、これまでの高忠実度制御のパフォーマンスを損なわずに大規模化を図る方策の開発に取り組んでいきます。シリコン量子ビットおよびアレイ構造の特徴、特性、制約等を踏まえて、シャトリング等を用いた遠隔量子ビットの結合、アレイ構造と両立する初期化、読み出しを検討し、大規模アレイ構造への適用を目指します。

国立研究開発法人 科学技術振興機構 Japan Science and Technology Agency