

蔡 兆申

東京理科大学理学部第一部
教授

超伝導人工原子を使った光子ベースの量子情報処理

§ 1. 研究成果の概要

従来のゲートモデル型超伝導量子コンピュータの実現を困難にする大きな障害の一つは、回路の3次元的な実装技術である。従来の表面コードに基づくゲートモデル型万能量子コンピュータの2次元アレー構成のマイクロアーキテクチャに替わる新規な回路を提案した[1]。この回路では、量子ビット間がエアブリッジを含んだ「疑似2次元結合回路」により接続される。これ以外の外部よりの制御・読み出し配線は、すべて従来型の2次元広帯域配線技術で実装可能となる。

提案した新規な回路方式の重要な利点は、2次元レイアウトでの量子コンピュータが実現可能で、

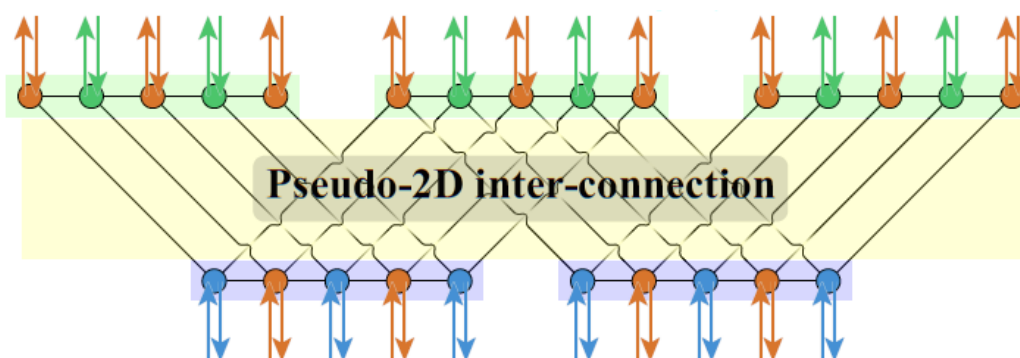


図 1 疑似 2 次元の表面コード型量子コンピュータ回路

現在研究されている複雑で厄介な広帯域3次元配線が不要となることである。従来の集積回路技術を使い量子コンピュータを実現することが可能となるので、この回路方式の波及効果は大きい。

この新規回路アーキテクチャは、一方向量子計算を効率的に実行することに応用でき、同時に表面コード量子計算が可能であるので、この回路方式を採用した超伝導量子集積回路の作成に

に向けた研究を行っている。

超伝導量子ビットの実験に関して、いくつかのタイプを使った、1量子ビットゲートと2量子ビットゲートの動作実験を行っている。比較的コヒーレンスを保つ時間が長いC-shunt型磁束量子ビットと、Xmon型電荷量子ビットの実験を特に進めている。2ビットの量子論理ゲートの実験はXmonを使って行い、二つのXmonを近接して配置しキャパシティブに直接結合するゲートと、量子ビット間を共振器で結びゲート方式の研究を行っている。最終的には両方のゲート方式を併用する回路を実装することを目指している。

一方向量子に向けた理論的研究では、大きな量子ビットが導波路の異なる部分で結合することで、量子ビットをデコヒーレンスから保護する回路を提案した[2]。また、異なる周波数の光子間にBell状態とGreenberger-Horne-Zeilinger状態を決定論的に作成するための単純で多用途な2段階プロトコルを提案した[3]。

量子ビットと共振器の高品質化を目指した新規な加工法の一連の実験を行い、共振器の Q 値測定することで、ドライエッチングが超伝導共振器特性に与える影響を調べた。その結果、Q 値の光子数依存性がほぼフラットになる大変ユニークな現象が観測された。この現象の理由を解明できれば、超伝導共振器 Q 値の大幅改善が期待できると考えられる。

【代表的な原著論文】

1. H. Mukai, K. Sakata, S.J. Devitt, R. Wang, Y. Zhou, Y. Nakajima, J.S. Tsai, “Pseudo-2D superconducting quantum computing circuit for the surface code”, arXiv:1902.07911
2. Anton Frisk Kockum, Göran Johansson, and Franco Nori, “Decoherence-Free Interaction between Giant Atoms in Waveguide Quantum Electrodynamics”, Phys. Rev. Lett. 120, 140404, 2018
3. Vincenzo Macrì, Franco Nori, and Anton Frisk Kockum, “Simple preparation of Bell and Greenberger-Horne-Zeilinger states using ultrastrong-coupling circuit QED”, Phys. Rev. A 98, 062327, 2018

§ 2. 研究実施体制

(1) 研究代表者グループ

- ① 研究代表者： 蔡 兆申（学校法人東京理科大学・理学部第一部物理学科、教授）
- ② 研究項目
 - ・超伝導量子回路

(2) 共同研究グループ(1)

- ① 主たる共同研究者： NORI FRANCO(ノリ フランコ)（国立研究開発法人理化学研究所・開拓研究本部・Nori 理論量子物理研究室、グループディレクター）
- ② 研究項目
 - ・量子情報理論

共同研究グループ(2)

- ① 主たる共同研究者： 日高 睦夫（国立研究開発法人産業技術総合研究所・ナノエレクトロニクス研究部門・超伝導分光エレクトロニクスグループ、招聘研究員）
- ② 研究項目
 - ・超伝導集積化プロセス

共同研究グループ(3)

- ① 主たる共同研究者： 寒川 誠二（国立大学法人東北大学・流体科学研究所・未到エネルギー研究センター・グリーンナノテクノロジー研究分野、教授）
- ② 研究項目
 - ・超低損傷プロセス