

量子状態の高度な制御に基づく革新的量子技術基盤の創出
2016 年度採択研究代表者

2020 年度 年次報告書

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

時間領域1D クラスタ状態生成に成功

時間領域での1D クラスタ状態の生成に成功した。2つの物理的量子ビットのみにより、4量子ビットの相当の線形クラスタ状態を、59%の高忠実度をもって生成することに成功した。生成された4量子ビットは完全多体エンタングルメント(GME)状態にあることを projector witness の期待値より確認した。

交差共鳴ゲートによって CNOT ゲートを実装した。ダイナミカルデカップリングによって効率的な初期値推定を行い、CNOT の精度改善に成功し、忠実度 0.967 を達成した。新規な SINIS 接合を用いた高速初期化手法の研究も進めた。

量子ビットや共振器の高性能化・長寿命化に関しては、バファード弗酸 (BHF) 後処理技術により、量子ビットで約 3 ~ 4 倍、共振器では約 5 倍の長寿命化を達成した。

集中定数型 LC 共振器の研究では、静電容量をよりコンパクトにするために、平行平板静電容量の製造プロセスを新たに開発した。この新規な小型共振器の大きさは、従来のタイプの約30分の1の大きさである。新規なオンチップのマイクロ波方向性結合器・サーキュレータに関する基本回路方式の提案も行った。

理論研究では、分散結合量子バスを用いて量子ビットペアを接続するスケーラブルなアーキテクチャ、混合状態の固有状態を段階的に再構成する効率的量子状態トモグラフィ、光と物質の超強結合現象を強結合系でのシミュレーション、超強・深強結合領域のラビモデルの非古典的基底状態高速生成法、超伝導巨大原子とジョセフソンフォトリック結晶導波路の調整可能なキラル束縛状態などの研究を達成した。

超伝導集積回路の研究では、中性粒子ビームエッチングを用いて、共振器 Q 値の高性能化の研究を行った。その結果、表面の酸化膜を制御することで、 8×10^5 の 5 乗という、室温スパッタ成膜 Nb 共振器として最高の Q 値を達成した。

§ 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（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)（理化学研究所開拓研究本部 Nori 理論量子物理研究室 主任研究員）
- 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 (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 (東北大学流体科学研究所未到達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

【代表的な原著論文情報】

1. H. Mukai, K. Sakata, S.J. Devitt, R. Wang, Y. Zhou, Y. Nakajima, and J.S. Tsai, “Pseudo-2D superconducting quantum computing circuit for the surfacecode: proposal and preliminary tests”, *New Journal of Physics*, 22 043013, doi.org/10.1088/1367-2630/ab7d7d, 2020
2. R. Stassi, M. Cirio, F. Nori, “Scalable quantum computer with superconducting circuits in the ultrastrong coupling regime”, *npj Quantum Information* 6, 67, doi.org/10.1038/s41534-020-00294-x, 2020
3. L. Garziano, A. Ridolfo, A. Miranowicz, G. Falci, S. Savasta, F. Nori, “Atoms in separated resonators can jointly absorb a single photon”, *Scientific Reports* 10, 21660, doi.org/10.1038/s41598-020-78299-x, 2020
4. X. Wang, T. Liu, A.F. Kockum, H.R. Li, F. Nori, “Tunable Chiral Bound States with Giant Atoms”, *Phys. Rev. Lett.* 126, 043602, doi.org/10.1103/PhysRevLett.126.043602, 2021
5. S. Kwon, A. Tomonaga, G. Lakshmi Bhai, S.J. Devitt, and J.S. Tsai, “Gate-based superconducting quantum computing”, *Journal of Applied Physics Tutorial*, doi.org/10.1063/5.0029735, 2021