

「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」  
平成28年度採択研究代表者

H29 年度  
実績報告書

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、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（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

## § 2. 研究実施の概要

超伝導量子回路による一方向量子計算方式の、基本アーキテクチャを提案し、その基本回路構成とゲート操作手順を確立した。重要な点は、本回路は3次元クラスター状態生成回路に拡張可能であるため、量子エラー訂正を実行することが可能なことである。操作手順はこれまで多くの研究が積み重なってきたゲート操作と量子ビット読み出しである。また量子ビットを効率的に再利用するための工夫として、量子ビットのリセット操作も行う。最も注目すべきは、本回路方式では2次元レイアウトの量子コンピューターが可能で、従来のゲート方式が必要とする実現困難な広帯域3次元配線が不要となる点である。

一方向量子コンピューティングに関連するいくつかの量子コンピューティングアルゴリズムに関する理論的研究を行い、耐障害性量子計算のためのホロミック表面符号を実装する有利な方法を確認し、量子計算手順の最適化には NP 困難性生が伴うことを示した。ここで研究されている Raussendorf 格子モデルは、一方向量子コンピューターにおいても使われ一般的なモデルである。また量子コンピューティングを実現するためのより良い方法に関する理論的研究もおこない、超伝導回路の改良法に関するいくつかの研究結果を得た。

量子媒体である光子の寿命を保持するため、超伝導共振器の品質を高めることは本量子情報処理回路の性能を高めるために極めて重要である。超伝導体として Nb および Al を用いた共振器を作製し、ベース温度 10 mK の極低温冷凍機で冷却した共振器の Quality factor  $Q$  を測定した。Nb、Al 共振器とも  $10^5$  台の良好な  $Q$  が観測されたが、量子情報処理で重要となる単一光子レベルで比較すると、Nb 共振器の方が約 1.5 倍高い  $Q$  を有することがわかった。また、Nb 共振器の下地絶縁体材料依存性を調べたところ、ノドープ Si ウエハ、CVD 成膜  $\text{SiN}_x$ 、スパッタ成膜 a-Si、熱酸化および CVD 成膜  $\text{SiO}_2$  の順に高い  $Q$  値が得られることが分かった。さらに超伝導膜加工時の反応性イオンエッチング (RIE) において、共振器特性が劣化する現象が観察され、低損傷の中性ビームエッチング (NBE) 法の検討が行われた