

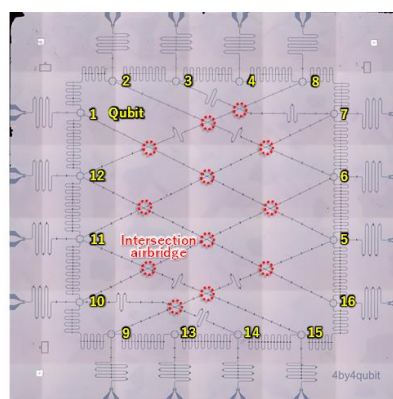
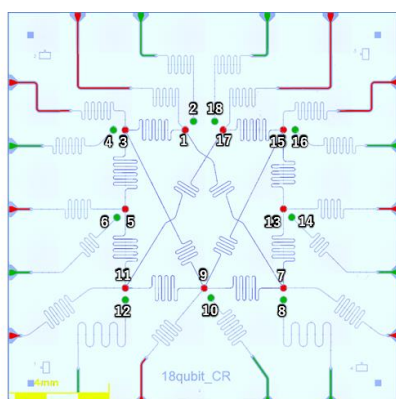
蔡 兆申

学校法人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

**スケラブル集積量子コンピュータチップ設計と作成:** 「擬2次元ネットワーク」を使い、量子コンピュータ用の集積超伝導量子ビットチップを試作した。18量子ビットの3 x 3の量子ビットアレー（一方向計算対応）と16量子ビットの4 x 4量子ビットアレー（表面コードに対応）を実現した（図1）。



18ビット一方向計算対応量子チップ      16ビット表面コード対応量子チップ

図1 試作した疑似2次元ネットワークを使った量子コンピュータチップ写真

**量子ビットのコヒーレンス向上:** OmonとXmonの寿命 $T_1$ は共に10~20 $\mu\text{s}$ 、コヒーレンス時間 $T_2$ は20~30 $\mu\text{s}$ 程度に向上。新規な混成量子ビット $T_1$ は33 $\mu\text{s}$ 、 $T_2$ は34 $\mu\text{s}$ であった。

**高忠実度量子ビット制御実現:** Randomized benchmark 手法によりゲート忠実度を評価した。1量子ビットの状態制御は、ORBIT アルゴリズムを使用することで忠実度  $F = 0.9976(2)$  を達成。また2ビット CNOT ゲートで忠実度  $F = 0.87(2)$  を達成した。

**高忠実度単事象読み出し実現:** 進行波パラメトリックアンプ (TWPA) を使った量子ビットの単

事象読出しで精度95% (忠実度  $F=0.95$ ) を達成。

**高効率単光子源実現:** オンデマンドでエネルギー可変なマイクロ波単光子源の光子生成効率を98%まで高めることに成功した。

**広帯域ジョセフソンパラメトリック増幅器(JPA)開発:** エアブリッジ構造を使った真空キャパシタを使い、帯域幅380 MHz、ゲイン18 dBの量子ビット同時読み出し用JPAを実現。

**高効率量子ビット初期化法の新規提案:** 可変緩和時間共振器を、超伝導/絶縁体/常伝導体/絶縁体/超伝導トンネル素子(SINIS)を用いて実装すると、初期化速度をこれまでの1/4程度に短縮できること示した。

**1次元クラスター状態生成のシミュレーションとIBMQを用いた実験:** 既存の量子ビットを使うと、1次元クラスター状態を時間軸上で5ノード程度実現可能なことをシミュレーションで示し、また空間軸上でも5ビット以上で実現可能なことをIBMQクラウド量子コンピュータ(IBMQ)実験で実証した。

**大型量子ビットチップホルダー試作:** 広帯域配線数(ポート数)20ポート、チップサイズ12.5mm角と15mm角に対応できる大型量子チップサンプルホルダーを試作した。

**Nbサブオキサイド削減による共振器Q値の向上:** 中性粒子ビームエッチング(NBE)を用いてNb共振器表面のサブオキไซด์を削減することによりQ値が一桁向上した。NBEによるさらなるNbサブオキไซด์削減による高品質共振器作製の可能性を示した。

**デコヒーレンスフリー部分空間外のCNOT操作:** 共振器内での複数ターゲットビットを持つCNOTゲートのデコヒーレンスフリー空間外での動作の理論を開発した。この結果は実験的にも実証された。

**超伝導量子ビットの理想的な量子非破壊読み出し:** 共振器のパーセル効果に制限のない、理想的な量子非破壊読み出しの理論提案を行い、これは実験的にも確かめられた。

**超伝導回路を用いた量子ウォーク:** 理論的な量子ウォークの解析を行い、実験的な検証も行われた。

#### 【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”, New Journal of Physics 22 043013, 2020
2. Y. Zhou, Z.H. Peng, Y. Horiuchi, O.V. Astafiev, J.S. Tsai, “Tunable Microwave Single-Photon Source Based on Transmon Qubit with High Efficiency”, Phys. Rev. Applied, 13, 034007, 2020
3. X. Wang, A. Miranowicz, F. Nori, “Ideal Quantum Nondemolition Readout of a Flux Qubit without Purcell Limitations”, Phys. Rev. Applied, 12, 064037, 2019

## § 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 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