

プログラム名：量子人工脳を量子ネットワークでつなぐ高度知識社会基盤の実現

PM名：山本喜久

プロジェクト名：量子シミュレーション

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平成 29 年度

研究開発課題名：

非平衡アナログ量子シミュレーション超伝導量子ビットシステム

研究開発機関名：

国立研究開発法人理化学研究所

研究開発責任者

蔡 兆申

I 当該年度における計画と成果

1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

今年度は、ボゾンサンプリング回路による量子化学の分光シミュレーションに必要な、マイクロ波光子のスライジングの実験を行う。二つの超伝導共振器に結合した3準位人工原子を使った相関レーズング効果を使い2モードスライジング状態を生成し、トモグラフィを使った評価を行う。回路の最適化を目指し、これまで単光子源に使用してきた磁束量子ビットをトランズモン量子ビットに置き換える。単光子性の純度評価を Hanbury-Brown-Twiss (HBT) 実験で、単光子の同一性評価を Hong-Ou-Mandel (HOM) 実験で行う。

ボゾンサンプリング回路の設計や性能解析をするために、特定の分子のバイブロン分光問題を回路モデルに変換するプロトコルが必要である。幾何学的制限とエラーチャンネルを考慮したソフトウェアを開発し、実用的なサイズの問題に対するエラーの影響やリソースのコストを評価する。

2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

2-1 進捗状況

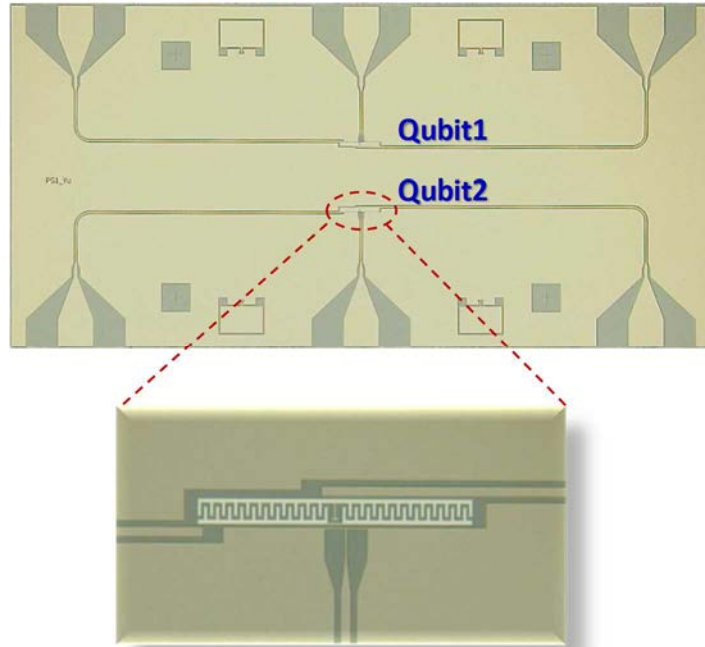
今年度は、ボゾンサンプリング回路による量子化学の分光シミュレーションに必要な、単光子の同一性評価を続けて行なった。現在この研究は、二つの超伝導オンデマンド単光子源を使った Hong-Ou-Mandel (HOM) 実験を行い評価していて、すでに初期的結果を得ている。ボゾンサンプリングでのビームスプリッターとして、複数の超伝導共振器間の結合を実現する装置を開発する。これはマイクロ波モノリシック回路に基づく線形方式と、超伝導量子干渉計 (SQUID) に基づく非線形デバイスの研究を含む。後者を使った場合、プログラム可能で、汎用性の高いボゾンサンプリング回路が実現可能となる。当初計画にあった2モードスライジングと、ボゾンサンプリング回路のエラーの影響やリソースのコストの評価は、研究者の異動のため実行されなかった。

2-2 成果

ボゾンサンプリング回路では多数の高効率の単光子源を集積化する必要がある。今期は2つの単光子源を集積し、その光子生成効率の向上を目指した実験を行った。超伝導量子ビットとして、今までの実験で使ってきた磁束型量子ビットに代わり、設計と操作の比較的簡便なトランズモン型量子ビット (電荷型量子ビットの一種) を使用した。また基板には、これまで使用してきたものに代わり、より低損失なノンドープでダングリングボンドが終端されているシリコン基板を使った。この回路の構成図を下に示す。上図から、2つの単光子源が並列かつ対照的に配置されていることがわかる。下図はトランズモン型量子ビット部分を拡大したものである。

この回路では、二つの単光子源とも単光子の発生効率を約98%程度に向上させることに成功した。この度の実験では、これはこれまでの約80%の生成効率に比べて大きな進歩が見えた。また2つの単光子源のエネルギー緩和時間はともに約20ナノ秒であり、2つの類似した波束を持

つ光子が生成できることを示している。効率や緩和率がほぼ同等な単光子源が得られたことは、回路の作成技術の均一性、再現性の良さを反映している。

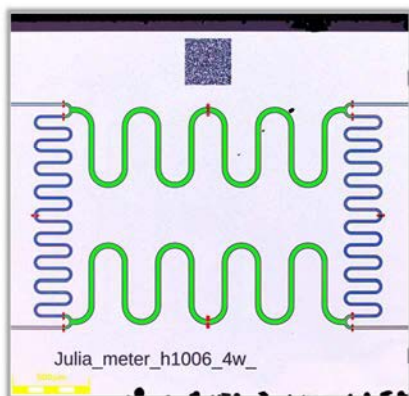


対照的に作成された 2 つのトランズモン型単光子源。下は拡大図

単光子の同一性を示すため、現在この 2 つの単光子源を使った Hong-Ou-Mandel (HOM) の干渉実験を行いデータを集めている。

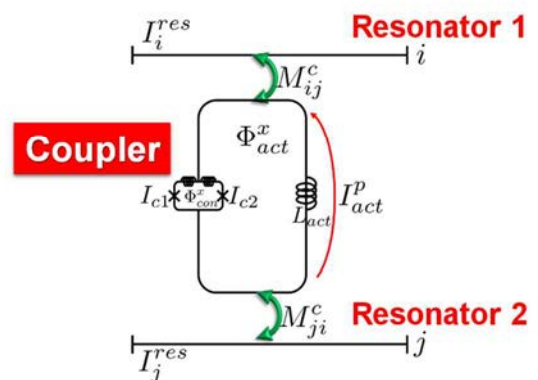
ボゾンサンプリングでのビームスプリッターとして、複数の超伝導共振器間の結合を実現する装置を開発する。これはマイクロ波モノリシック回路に基づく線形方式と、超伝導量子干渉計 (SQUID) に基づく非線形デバイスの研究を含む。この二つの方式を下に示す。

Passive Linear Microwave Splitter



Active SQUID Based Splitter

Programmable beam splitter



左は作成された線形超電導マイクロ波ビームスプリッターの図である。右は非線形な SQUID 回路に基づくアクティブなビームスプリッターの回路図である。後者を使った場合、プログラム可能で、汎用性の高いボゾンサンプリング回路が実現可能となる。

線形超電導マイクロ波ビームスプリッターに関しては、現在作成された異なるデザインの素子の極低温評価を進めている。また非線形なアクティブ超電導マイクロ波ビームスプリッターに関しては、性能評価を行い、100MHz 程度の強度で二つの共振器を結合することができることが分かった。

2-3 新たな課題など

現在進行中の 2 光子の HOM 干渉実験は、単光子の HBT 干渉実験と比べ、格段に膨大なデータを収集し平均をとる必要がある。干渉を示すには、2 次の相関関数を得る必要があるが、ここでの困難さは、HBT 干渉実験では使えた cross-power 自己相関法が使えないことに由来する。したがって、HBT 干渉実験では 35 時間程度のデータ収集・平均で成し遂げた 2 次相関関数実験は、HOM 干渉実験では更に数段長い時間がかかると予想され、ノイズとドリフトとの戦いが課題となっている。

3. アウトリーチ活動報告

東京理科大学内で、高校生を対象としたアウトリーチング活動に参加した。「日本・アジア青少年サイエンス交流事業」さくらサイエンスプラン (2017/5/30) と、グローバルサイエンスキャンパス基礎コース (2018/2/11) である。また日本物理学会主催で行われた一般市民を対象とした市民科学講演会にて講演を行った。