

研究開発テーマ名

原子ネットワーク型技術

2022年度までの進捗状況

1. 概要

本研究開発テーマでは、周期律表にあるような自然に存在する原子を量子ビットとして用いて構成した原子量子コンピュータをネットワーク接続するための量子インターフェースやそれに必要な光子検出技術を開発します。この研究開発テーマの達成により、原子量子コンピュータをはじめ、様々な量子コンピュータの大規模化に向けたネットワーク接続の要素技術が確立し、プロジェクトの目指すネットワーク型量子コンピュータによる量子コンピュータの大規模化の実現、ムーンショット目標6で目指す誤り耐性汎用量子コンピュータの実現に貢献します。

この達成に向けては、原子と光子の量子もつれを大規模に用意してネットワーク接続することが課題となっており、この点を挑戦的テーマとして取り組んでいます。従来、1量子ビット対1量子ビットの接続のみの実証にとどまっていた量子ビット接続を多量子ビット対多量子ビットで実現する発想で、原子、光回路、光子検出器などの要素技術を多重化する試みに取り組んでいます。

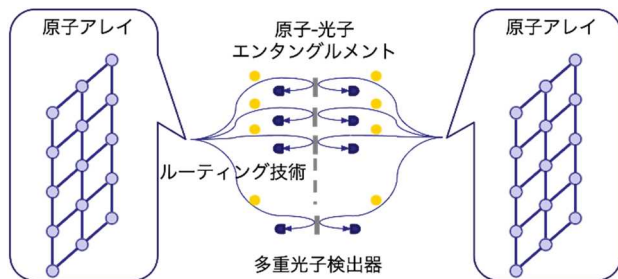


図1 本研究開発テーマの目指すネットワーク型原子量子コンピュータの概念図

これらの開発した要素技術のうち、他の研究開発テーマや他のプロジェクトで利用可能なものは、積極的に連携して、ムーンショット目標6全体の達成に貢献します。

2. 2022年度までの成果

- (1) Rb 原子アレイの作成と光子検出システムの構築および論理量子ビット間の Bell 状態蒸留の提案
- (2) 多重化ネットワーク接続のための“Optical frequency tweezers”の提案と実証および光量子コンピュータの提案
- (3) 波長 710nm、780nm、850nm 帯に対応する超伝導ナノワイヤ光子検出器 (SNSPD) 素子の開発を実施し、各波長帯において 70%を超える検出効率、1 カウント/秒を下回る暗計数率を達成。特許出願6件
- (4) 超伝導ナノワイヤ光子検出器 (SNSPD) を 12 チャンネル搭載し 2.3K 以下まで冷却するための冷凍機システムを開発。更に 32ch チャンネルの冷凍機システムの開発に成功。

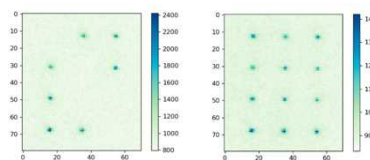


図2 作成した原子アレイの CCD 画像。
左：単一/右：積算

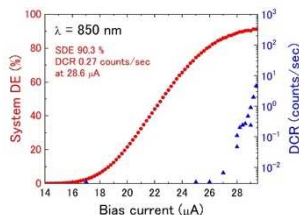


図3 波長 850nm 帯 SNSPD の検出効率、暗計数特性

上記において、(1)は量子プロセッサとして動作する原子量子ビットのアレイの実現と光との量子もつれを確認するための光子検出システムおよび量子プロセッサ間の量子もつ

れ蒸留プロトコルの提案です。(2)はネットワーク接続するための光子のルーティング技術のための要素技術、(3)は各量子プロセッサと量子もつれにある光子に対して、Bell 測定を行うための高効率かつ低暗計数率の超伝導ナノワイヤ光子検出器 (SNSPD) 素子の開発、(4)は多重化された光子を検出するための多重化された SNSPD 素子のシステム開発として研究開発を推進しています。



図4 G7にて展示した 32ch SNSPD 冷凍システム SNSPD パッケージを 32 個搭載し、冷却温度 2.12 K に冷却可能な SNSPD 冷凍システムを開発。光信号入力と駆動及び信号読み出しのポートを備える。

3. 今後の展開

これまでの研究成果において、原子アレイの量子プロセッサの要素技術の獲得および量子プロトコルの提案、多重化された光子源からの光子をルーティングする技術の動作原理の実証、SNSPD の対応波長の拡大と高性能化、SNSPD の多重化に対応した冷凍機システムを 32 チャンネル規模（世界最大規模）まで実証しました。今後は、これらによるネットワーク化を目指します。