

研究開発項目

1. 原子ネットワーク型技術

2023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。

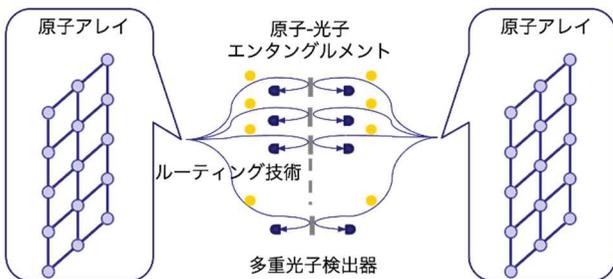


図1 本研究開発テーマの目指すネットワーク型原子量子コンピュータの概念図

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. これまでの主な成果

- (1) Rb 原子アレイの作成と光子検出システムの構築を行い、単一光子検出に成功、これに加えて、論理量子ビット間の Bell 状態蒸留方式を提案
- (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、光量子コンピュータ提案
- (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。2023 年度には、90%を超える検出効率と1カウント/秒を下回る暗計数率の両方を実現しました。従来の常識を打破する新奇構造をもつワイドストリップ型の SWSPD 素子を開発しました。特許出願 11 件
- (4) 超伝導ナノワイヤ光子検出器 (SNSPD) を 12 ch 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 の冷凍機システムの開発に成功し、32ch の SNSPD を搭載し動作確認に成功、90%を超える検出効率も達成しました。

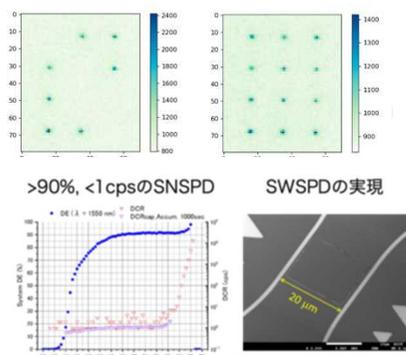


図2 作成した原子アレイの CCD 画像。左：単一/右：積算

図3 新開発の超伝導光子検出素子

前記成果において、(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を接続し、大規模化するための要素技術および提案です。(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。

32 ch SNSPDシステム外観

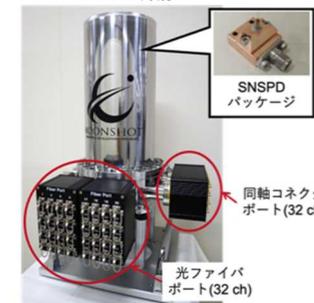


図4 完成した 32ch SNSPD 冷凍システム
SNSPD パッケージを 32 個搭載し、冷却温度 2.12 K に冷却可能。光信号入力と駆動及び信号読み出しのポートを備えています。国内最大・世界最大級。G7 でも展示。

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 ch 規模まで実証しました。今後は、これらを統合して、原子アレイのネットワーク接続による大規模化を目指します。