

平成25年度研究開発成果概要書

課題名 : 量子もつれ中継技術の研究開発
採択番号 : 158 イ 01
個別課題名 : 課題イ 遠隔ノード間での量子もつれ純粋化技術
副題 : ハイブリッド量子中継器へ向けた研究開発

(1) 研究開発の目的

広域量子通信ネットワークの中核となる量子中継システムの構成に必要な、遠隔ノード間での量子もつれの全量子的な純粋化を行うため、量子メディア変換の技術を核としてハイブリッド構成の量子中継システムを構築するための基盤技術を確立する。

(2) 研究開発期間

平成23年度から平成27年度(5年間)

(3) 委託先

国立大学法人 東北大学<幹事>
国立大学法人 大阪大学
日本電信電話株式会社
大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構

(4) 研究開発予算(契約額)

総額 200 百万円(平成25年度 40 百万円)
※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発課題と担当

課題イ: 遠隔ノード間での量子もつれ純粋化技術

1. ハイブリッド量子中継基幹技術の開発(東北大学)
2. ハイブリッド量子中継純粋化技術の開発(大阪大学)
3. ハイブリッドゲート操作設計(日本電信電話株式会社(NTT))
4. ハイブリッド光モジュール設計(国立情報学研究所(NII))

(6) これまで得られた研究開発成果

		(累計) 件	(当該年度) 件
特許出願	国内出願	0	0
	外国出願	0	0
外部発表	研究論文	15	8
	その他研究発表	90	51
	プレスリリース	0	0
	展示会	0	0
	標準化提案	0	0

(7) 具体的な成果実施内容と成果

- (1) 固体デバイス内の決定論的な相互作用を利用して量子もつれ純粋化を行うため、受光による光子から固体内量子メモリへの量子メディア変換だけでなく、受光による光子と量子メモリとの間の量子もつれ検出の機構を開発している。ダイヤモンド中の NV 中心を用い、入射光子の偏光状態に一对一に対応して電子スピンを任意状態に純粋化することが 90%以上の忠実度で実現できるとの知見を得た。また、任意状態に純粋化された電子スピンと任意状態で入射する光子偏光との間の受光による相関検出の量子過程をトモグラフィ評価した結果、90%以上の忠実度で量子もつれ状態に純粋化されるとの知見を得た。本結果は、光子から電子スピンを介した核スピンへの量子メディア変換が、受光によるポストセレクションで純粋化され、90%以上の忠実度で実現できることを示唆する。さらに、課題イ-2-3 とも協力し、スケーラブルなハイブリッド量子中継に不可欠な、量子非破壊検出による量子スワップ動作の仕組み提案を行った。
- (2) 量子中継器の動作のためには高速・高忠実度の量子ゲート操作技術と量子もつれ検出、及び長時間量子メモリが不可欠である。本年度、実験条件の探索・最適化により、昨年度よりも高速化することに成功し、電子スピンによる量子ゲート時間を 10ns 以下にすることに成功。また、ベル測定をシングルショットで行うための装置の設計に基づき、部品を購入し、装置立ち上げを行った。
- (3) 我々の提案になる電子スピン-核スピンのデカップリング統合制御の枠組みを、課題 3-2 で検討されていたハイブリッド量子中継デバイスの全体の操作の流れの中に組み込んだ。電子スピンの位相緩和時間の改善によって、より単純に回路を構成できることを見出した。また、他ドナー系として YSO 光学結晶中のエルビウムイオンと共振器との結合についての検討を開始した。この場合、スピンの $1/2$ ではないため共振器との効率的な結合は必ずしも容易ではなく、さらなる検討が必要である。さらに、量子メモリに対して、多くの要請を課さないための量子中継方式の可能性を探った。特に、全光型量子中継方式 [K. Azuma, K. Tamaki, H.-K. Lo, arXiv:1309.7207] の根底にある「時間反転型量子中継方式」を、物質量子メモリを用いて実装する可能性を考察した。
- (4) ダイヤモンド NV センターを用いて、量子中継のためのモジュール化した光デバイスの設計を 2 つの方向、単一 NV センターに 20mT の

磁場を印加する方法と、 ^{13}C 核スピンを加えたNVC系を用いる場合について提案、検討した。NVC系の量子ゲートの精度とエラーモデルの詳細検討を行い、ゲートの達成可能な精度と、ハイブリッド光モジュールとしての精度を数値的に検討した。