

平成24年度「遠隔ノード間での量子もつれ純粋化技術」の研究開発目標・成果と今後の研究計画

1. 実施機関・研究開発期間・研究開発費

- ◆実施機関 東北大学（幹事者）、大阪大学、日本電信電話株式会社、情報・システム研究機構
- ◆研究開発期間 平成23年度から平成27年度（5年間）
- ◆研究開発費 総額200百万円（平成24年度 42百万円）

2. 研究開発の目標

・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。

3. 研究開発の成果

量子中継技術

研究開発成果：ハイブリッド量子中継基幹技術の開発（東北大学）
 固体デバイス内の決定論的な相互作用を利用した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の機構を開発している。ダイヤモンド中のNV中心を用いた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の機構を考案し、これを実証する磁気光学パルス二重共鳴の実験装置の立ち上げを行った。また、課題イ-2-3とも協力し、量子メディア変換、量子ゲート、量子メモリを組み合わせたハイブリッド動作の問題点を克服する仕組みの提案を行った。

研究開発成果：ハイブリッド量子中継純粋化技術の開発（大阪大学）
 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13ns以下にすることに成功した。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。

要素課題

研究開発成果：ハイブリッドゲート操作設計（NTT）
 高忠実度の15N核スピンと電子スピンとの間の基本操作が可能であることをシミュレーション計算によって明らかにした。13C核スピンの場合には忠実度の上限は0.98となり、15N核スピンが有利との方針を示す。光通信波長帯との結合を視野にEr3+イオンの利用の有望性を示唆。また、コヒーレンス時間が短い量子メモリを利用しても機能すると期待される「時間反転量子中継方式」を考案した。

研究開発成果：ハイブリッド光モジュール設計（NII）
 量子中継技術の主要技術となるエンタングルメント配信には光素子が不可欠で、NVダイヤモンドセンターを統合したモジュールが必要。NVダイヤモンドセンターにおいて、電子スピンと13Nと最近接13C核スピン間の系を中心に相互作用の解析から、光からの情報伝達、処理のための相互作用を解析した。光を用いた電子スピンの測定について必要とされる忠誠度達成のための条件と、測定による統合系への影響について解析した。

4. これまで得られた成果(特許出願や論文発表等) ※成果数は累計件数と()内の当該年度件数です。

	国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	プレスリリース	展示会	標準化提案
遠隔ノード間での量子もつれ純粋化技術研究開発	0 (0)	0 (0)	8 (6)	60 (36)	0 (0)	0 (0)	0 (0)

5. 研究成果発表会等の開催について

(1)産学官連携のための〇〇〇〇運営会議を毎年主催し、All Japanの取り組みを牽引

(2)国際〇〇〇〇会議を開催(共催:IPA、AIST)

6. 今後の研究開発計画

この成果により、今後、どのような研究を行うのかを例示を上げながら、具体的、かつ簡潔に記載して下さい。

・課題イ-1 ハイブリッド量子中継基幹技術の開発(東北大学)

・課題イ-1-1...量子トモグラフィ技術

下記課題イ-1-2の評価手法として、光子から核スピンへの量子メディア変換の量子過程を量子トモグラフィ評価するための基盤技術を開発する。

・課題イ-1-2...量子メディア変換技術

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の基礎技術を確立する。この際、光子検出を用いたポストセレクションにより、量子メディア変換が成功した事象だけを抽出する仕組みを内蔵する。ポストセレクションによる純粋化後の量子メディア変換の忠実度90%以上を目標とする。

・課題イ-1-3...複合システム動作技術

課題イ-2とも協力して、量子メディア変換、量子ゲート、量子メモリを組み合わせたハイブリッド動作の際に生じる種々の問題点を克服する手法を開発し、最終年度の実証実験へ向けて準備を行う。

6. 今後の研究開発計画（つづき）

・課題イ-2 ハイブリッド量子中継純粋化技術の開発(大阪大学)

・課題イ-2-1...量子ゲート操作技術

電子スピンによる量子ゲート時間を10ns未満とする。

・課題イ-2-2...量子もつれ検出技術

核スピン量子メモリ間の高忠実度の量子もつれ相関検出技術を確立する。装置の立ち上げと実験条件の最適化を行って完全ベル測定をシングルショットで行い、90%以上の忠実度を実現することを目標としているが、平成25年9月末時点では少なくとも75%以上の忠実度を目標とする。

・課題イ-2-3...量子メモリ分離技術

実際に適用できそうなデカップリングの手法について、動作の問題点を抽出し、整理する。具体的な数値計算を行い、有望な手法について整理することにより最終的な実証実験へ向けて準備する。

・課題イ-3 ハイブリッド量子中継デバイス設計技術の開発

・課題イ-3-1...ハイブリッドゲート操作設計(NTT)

デカップリング: 課題イ-3-2と協力し90%以上の電子・核スピン間のゲート操作の忠実度を実現し、高い効率で量子情報転写を行う現実的な条件を明らかにし、その性能を評価する。

他ドナー系検討: ハイブリッド素子に利用可能な他のドナー系を検討し、特に通信波長帯でも動作するシステムの可能性を明らかにする。

・課題イ-3-2...ハイブリッド光モジュール設計(NII)

モジュール設計: スケーラビリティと集積性を保証するよう、またキャビティを用いない場合とも比較しながら、モジュール化した光デバイスの最適設計を提案する。光と物質の間の相互作用の効率と精度について、キャビティを用いない場合とも比較して、デバイスの性能を分析する。