

# 平成23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23年度 45百万円）

## 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

**研究開発目標**

### 研究開発成果

**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)**  
 全量子的な量子中継器を実現するためには、固体によるハイブリッド構成の量子ゲートや量子メモリーの間での量子メディア変換を実現することが不可欠。  
 ●本研究開発では、室温で長時間メモリーの得られる**ダイヤモンドNV中心**を固体素子とし、伝送に光子、ゲートに電子スピン、メモリーに核スピンを用いる。  
 ●本年度、**量子テレポーテーションを原理とし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世界で初めて考案した。**

**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ーが不可欠。  
 ●本年度、実験条件の探索・最適化により、本年度の目標である電子スピンによる**量子ゲート時間を15ns以下**にすることに成功。  
 ●スピン緩和時間の見積もりをもとに、次年度以降に行う**量子もつれ検出のための装置設計**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)

ディスパーシブなイジング型結合による電子スピンと15N核スピン間の量子もつれを形成する為の制御位相ゲートを検討した。最大もつれ状態は数百nsecで達成され、振動磁場無しに制御NOTゲート/SWAPゲートを構成できる。核スピンの操作は超微細相互作用の交換項を用いた方がより効率的である。  
 ●本研究開発では、これによりすべての操作が原理的に**90%以上のゲート忠実度で実行可能**であることを示した。

### 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、システム化可能な光モジュール素子設計が課題。  
 ●本研究開発では共振器の損失やノイズを解析し、エンタングルメント配信における動作の安定性を解析した。またゲートの実現性、共振器作製の技術的な難易度も考慮し、**片面共振器で実現性、動作安定性の高いモデルを構築。**

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)	2 (2)	20 (20)	0 (0)	0 (0)	0 (0)

特許出願件数は産業財産権一覧表の件数を、また論文発表等の件数は様式2-6に記載した結果が様式2-6の【成果報告書(概要版)、成果概要図 集計】に集約されていますので、その件数を転記してください。

5. 研究成果発表会等の開催について

(1)「湘南会議」国際セミナーを開催

「ハイブリッド量子システム」をテーマとして、平成23年11月6日から9日にかけて、湘南国際村センターにて第6回「湘南会議」国際セミナーを開催し、サブテーマとして「超伝導システム」、「光学」、「ハイブリッドシステム」、「固体量子メモリ」、「ダイヤモンドシステム」、「光学機械システム」の6つについて全体のレビュー講演と参加者による最新の成果、研究方針に関して議論した。参加者は招待研究者のみで24名(オーガナイザ4名、根本、都倉、Gerard Milburn (UQ), Joerg Schmidmayer (TUV)を含む)である。

6. 今後の研究開発計画

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準備を行う。

・課題イ-1-2...量子メディア変換技術

今年度考案した量子テレポーテーションを原理とし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を実現するための具体的なパルスシーケンスを開発する。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工夫を行う。

・課題イ-1-3...複合システム動作技術

課題イ-2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。

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未満で実現することを平成25年度末までの目標としているが、平成24年度中に前倒して達成できるようにする。具体的にはNV中心にラジオ波を効率的に照射するための金配線構造の設計等により更なる実験条件の最適化を行い、目標達成を目指す。

・課題イ-2-2...量子もつれ検出技術

完全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、立ち上げを行う。75%以上の忠実度を平成25年度末での目標としているが、平成24年度中に忠実度の評価ができるまでに装置の立ち上げを完了させ、平成24年度末までに実験条件の最適化を開始する。

・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。

## 6. 今後の研究開発計画（つづき）

### 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%以上の忠実度で約1マイクロ秒で電子スピン・核スピン転写操作(SWAPとCNOT)を実現する現実的なパラメタを決定する。また高い忠実度での電子スピン／核スピンによる単一量子ビット操作、初期化及び検出に掛かる最適な時間スケールを決定する。

他ドナー系検討: 課題目標のハイブリッド量子中継の為のデバイスを実現する他の通信波長帯に発光周波数を持つドナー系を検討する。特に希土類イオンドープ光学結晶やシリコン中の銅等電子中心等からの発光の検討結果を纏める。

#### 課題イ-3-2 研究開発成果: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、物理的誤りのゲートへの影響を解析・検討する。課題イ-3-1と協力して光デバイスとして統合する。