

平成23年度「量子もつれ中継技術に関する研究開発」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 独立行政法人理化学研究所(幹事者)、日本電信電話株式会社、東京医科歯科大学、東北大学
- ◆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177百万円(平成23年度 40百万円)

2. 研究開発の目標

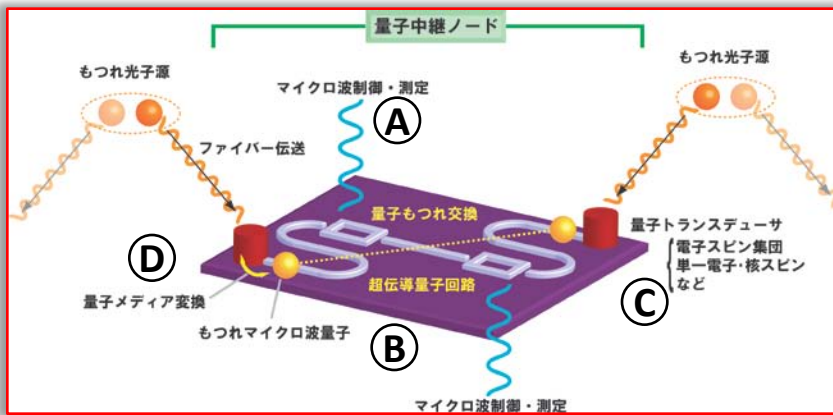
量子中継システム構成に必要とされる量子中継ノード上での量子もつれ制御および配信技術について、超伝導量子回路技術を核とした方式を開発し、基盤技術を確立する。また超伝導量子回路と光量子ネットワークとの接点となる量子トランスデューサの要素技術を実現する。

3. 研究開発の成果

①超伝導量子回路を用いた量子もつれ制御および配信技術

チップ上の超伝導量子回路内のエンタングルメントを高忠実度で制御・観測する。

- A 超伝導量子回路を用いたマイクロ波光子もつれ制御技術
- B 超伝導量子回路における量子もつれ制御理論



②超伝導量子回路と異種量子メディア間の量子トランスデューサ技術

超伝導回路中のマイクロ波量子と通信用の光量子との間で量子情報を受け渡す。

- C 超伝導量子ビットとスピン集団の間の量子トランスデューサ技術
- D スピンと超伝導量子ビットの間の量子メディア変換技術

A: 研究開発成果: 超伝導量子ビット制御・測定技術

超伝導量子回路上で量子もつれを高い忠実度で制御・観測するために、超伝導量子ビットと超伝導共振器回路のあいだの強い結合が必要である。本年度は、超伝導磁束量子ビットと共振器の間の容量を介した新しい結合方式を実証し、量子ビットとマイクロ波の分散的相互作用を利用した高精度の状態測定を実現した。より高感度の増幅器を用いることで完全な射影測定の実現を目指す。

B: 研究開発成果: 超伝導量子回路のマイクロ波量子光学理論

超伝導量子ビットと一次元マイクロ波電磁場伝搬モードからなる「回路量子電磁力学系」は量子もつれ制御の候補であり、自在な量子操作のためには更なる制御自由度が必要となってくる。本年度は超伝導量子回路を対象にマイクロ波領域における量子光学理論に取り組み、マイクロ波伝送路の可変境界条件・マイクロ波駆動場による量子ビットの量子修飾の二つの自由度を、それぞれ超伝導量子ビットのマイクロ波応答特性制御に活用できることを理論提案した。

C: 研究開発成果: 超伝導量子ビット・スピン集団間の量子状態転写

超伝導磁束量子ビットの持つ任意の量子状態をダイヤモンド結晶中の多数のNV中心から構成される電子スピン集団に転写可能なこと、更に超伝導磁束量子ビットへ再転写可能なことを実験で確認した。この現象を量子トランスデューサで実際に使える技術とするためには、スピン集団に転写された量子状態の保持時間及びこの転写過程の忠実度を改良することが今後の課題である。

D: マイクロ波光子とスピン間の量子メディア変換技術

ダイヤモンド中のNV中心などの持つ単一電子スピンは、光およびマイクロ波それぞれの帯域での遷移を持つとともに、これに付随した核スピンは長いコヒーレンス時間を持つ。光とスピンの間の量子状態転写はすでに実現しており、マイクロ波との結合を実現できれば非常に強力なハイブリッド量子システムとなる。本年度、マイクロ波光子からダイヤモンド中のNV中心などの持つ単一電子スピンあるいは核スピンへの量子メディア変換の基本的手法を検討した。

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
量子もつれ中継技術に関する研究開発	0 (0)	0 (0)	6 (6)	35 (35)	1 (1)	0 (0)	0 (0)

5. 今後の研究開発計画

超伝導量子回路を用いた量子もつれ制御および配信技術の開発

超伝導量子回路を用いたマイクロ波光子もつれ制御技術

超伝導磁束量子ビットと共振器の間の容量を介した新しい結合方式により、超伝導量子ビットと超伝導共振器回路のあいだの強い分散的相互作用が可能になり、高精度の状態測定を実現することができた。今後、超伝導量子回路上で量子もつれを高い忠実度で制御・観測するために、2量子ビットゲートを組み込むとともに、より高感度のジョセフソンパラメトリック増幅器を用いてS/N比の向上した量子ビットの読み出しを行い、量子もつれ交換に向けた完全なベル状態射影測定の実現を目指す。

超伝導量子ビットと一次元伝搬モードの相互作用制御

超伝導量子ビットと一次元マイクロ波電磁場伝搬モードからなる系において、量子光学理論に基づいた解析を行い、マイクロ波伝送路の可変境界条件により、量子ビットとマイクロ波伝搬モードの結合をオンオフできること、マイクロ波駆動場による量子ビットの量子修飾を用いた超伝導量子ビットのマイクロ波応答特性制御を理論提案し、後者に関しては実験との比較によりよい一致を見た。今後は、量子ビットからのマイクロ波単一光子の発生や捕捉、検出といった基盤技術を確立することを目指す。

超伝導量子回路と異種量子メディア間の量子トランスデューサ技術の開発

超伝導量子ビットとスピン集団の間の量子トランスデューサ技術

超伝導磁束量子ビットの持つ任意の量子状態をダイヤモンド結晶中の多数のNV中心から構成される電子スピン集団に転写し、更に超伝導磁束量子ビットへ再転写可能なことを世界に先駆けて実証することができた。まだスピン集団におけるコヒーレンス保持時間が限られていることが課題である。今後、この現象を量子トランスデューサで実際に使える技術とするために、ダイヤモンド中のスピンの密度や分布を変えた試料や、他の材料中のスピン集団を用いた同様の実験に取り組み、コヒーレンスと転写過程の忠実度の改善を図る。また他の物理系も含め、マイクロ波量子と光量子の双方と量子情報を受け渡し可能な構成を量子トランスデューサの実現に向けて理論的に検討する。

単一スピンと超伝導量子ビットの間の量子メディア変換技術

ダイヤモンド中のNV中心などの持つ単一電子スピンは、光およびマイクロ波それぞれの帯域での遷移を持つとともに、これに付随した核スピンは長いコヒーレンス時間を持つ。光量子とスピンの間の量子状態転写はすでに実現しているので、マイクロ波量子との結合を可能にすることで強力なハイブリッド量子システムを実現することを目指す。今後、マイクロ波光子からダイヤモンド中のNV中心などの持つ単一電子スピンあるいは核スピンへの量子メディア変換の基本的手法を引き続き検討する。