

平成26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・研究開発予算

- ◆実施機関 国立大学法人東京大学(幹事者), 日本電信電話株式会社, 国立大学法人東京医科歯科大学, 国立大学法人横浜国立大学
- ◆研究開発期間 平成23年度から平成27年度(5年間)
- ◆研究開発予算 総額176百万円(平成26年度 30.9百万円)

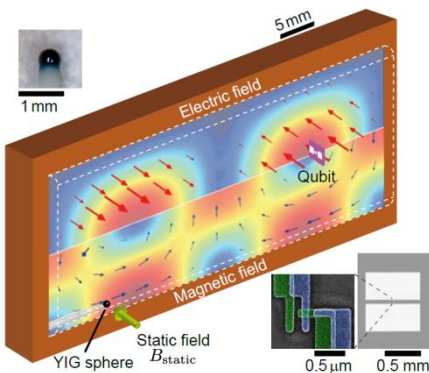
2. 研究開発の目標

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量子トランスデューサ技術

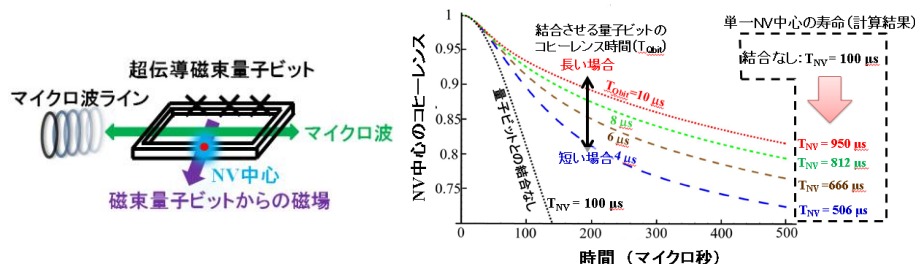
量子情報インターフェイスのための量子トランスデューサ技術として, 強磁性体中の素励起であるマグノンモードを媒介とした方式を検討している. マイクロ波空洞共振器中のマイクロ波モードを介した強磁性絶縁体YIG単結晶中のマグノンモードと超伝導量子ビットのコヒーレントな結合による真空ラビ振動の実証に成功した. 並行して, マグノンモードを介した光-マイクロ波間のコヒーレントな双方向変換の実証も行った.



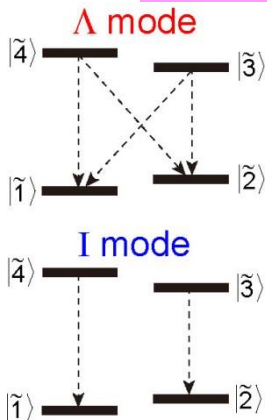
②量子メモリ技術

磁束量子ビットと単一NV中心の結合系

NV中心よりもはるかに短寿命(10µs)な量子ビットと結合させることで, NV中心の寿命が桁違いに長くなる(0.1ms→1ms)という, 常識からは予想できない現象を理論的に見出した.



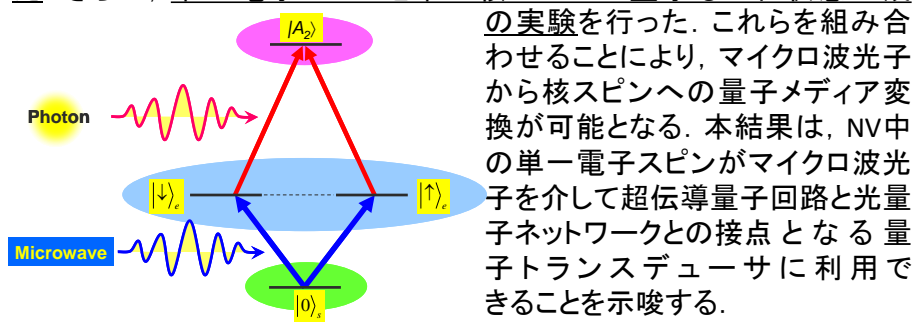
③マイクロ波単一光子測定技術



超伝導量子ビットと共振器との分散結合系は, 適切なドライブ光照射下では単一光子を決定論的に吸収するインピーダンス整合 Λ 系として(Λ モード), ドライブ光照射が無いときには共鳴周波数が量子ビット状態に依存する共振器として(Iモード), それぞれ動作する. この現象とパラメトリック振動子を用いた量子ビットの単一試行読み出しを組み合わせることによって, 70%程度の高効率で単一マイクロ波光子の検出に成功した.

④マイクロ波光子とスピン間の量子メディア変換技術

マイクロ波による単一電子スピンコヒーレンスの読み出しと制御に成功した. さらに, 単一電子スピンと単一核スピンの量子もつれ状態生成の実験を行った. これらを組み合わせることにより, マイクロ波光子から核スピンへの量子メディア変換が可能となる. 本結果は, NV中の単一電子スピンのマイクロ波光子を介して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に利用できることを示唆する.



4. これまで得られた成果(特許出願や論文発表等)

	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 報道	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)	39 (7)	254 (69)	15 (14)	0 (0)	0 (0)

※成果数は累計件数, ()内は当該年度の件数です.

5. 今後の研究開発計画

今後の研究開発計画について右に示す計画の全体像に基づいて説明する。

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

これまでに実現した、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と、高感度のジョセフソンパラメトリック増幅器・発振器を用いた量子ビット非破壊射影読み出しを利用して、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、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。

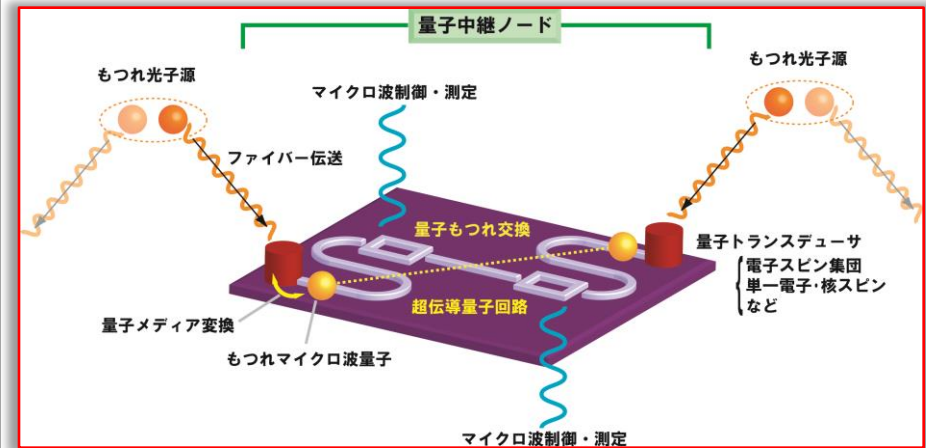
超伝導量子ビットと一次元伝搬モードの相互作用制御

昨年度は伝播マイクロ波光子の高効率検出に成功したが、これには被検出光子の時間的情報(到着時間・パルス長)が既知である必要があった。本年度は、量子ビットに二つの共振器が結合した系を使って、マイクロ波光子の連続的モニタリングを目指す。また、入射光子として二種類の周波数を量子的に重ねたマイクロ波光子を用いると、たった一回の反射によって決定論的に光子と超伝導量子ビットの量子状態が交換できる。本年度はこの現象に基づく量子交換ゲートや量子メディア変換の実証を目指す。

次ページに続く

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。



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。

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の開発

マイクロ波－光量子トランスデューサ技術

ナノメカニクスにおける機械的振動子を利用したマイクロ波－光トランスデューサ技術の開発に向け、光共振器を用いたレーザー冷却によるSiNx薄膜振動モードの基底状態への冷却を目指す。並行して、超伝導LC共振回路と結合したSiNx薄膜の機械的振動モードと超伝導量子ビットとのコヒーレントな結合の実現を目指す。さらに両者を統合した光－マイクロ波量子インターフェイスの構築に取り組む。一方、マイクロ波－光トランスデューサ技術の別の候補として、強磁性絶縁体の強磁性共鳴モードを用いた光－マイクロ波間のコヒーレント変換効率を向上するために、光共振器との結合や材料の最適化などに取り組む。

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とNV中心間の真空ラビ振動の理論的な解析に取り組む。昨年度までの成果で、外部磁場を印加することで真空ラビ振動の寿命が二倍弱程度まで改善することが実験的に確認されているが、その起源は不明であった。そこで我々の開発した理論モデルを用いてシミュレートを行い、真空ラビ振動の実験結果を再現できるようなパラメータを探す。そして、外部磁場の印加がどのデコヒーレンス要因を抑制しているのか、その起源を探る。真空ラビ振動の寿命は、超伝導磁束量子ビットとNV中心間の状態転写の忠実度を決定する主要因であるため、その改善の原因を解明することは量子デバイスの実現のために重要である。

マイクロ波光子とスピン間の量子メディア変換技術

マイクロ波光子とダイヤモンド中のNV中心などの持つ単一核スピンとの間でコヒーレントな結合を実現する準備として、今年度までにマイクロ波と単一電子スピンのコヒーレントな結合を実現してきた。来年度は、単一電子スピンと単一核スピンの量子もつれ状態を生成し、マイクロ波から単一核スピンへのコヒーレントな結合を実現する。また、超伝導量子回路のマイクロ波制御技術を生かし、高い結合効率を得られるための結合構造を検討する。