

平成25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 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176百万円(平成25年度 32.9百万円)

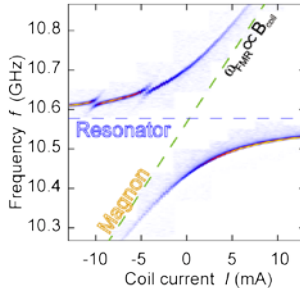
2. 研究開発の目標

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

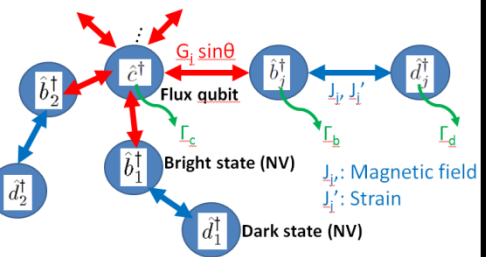
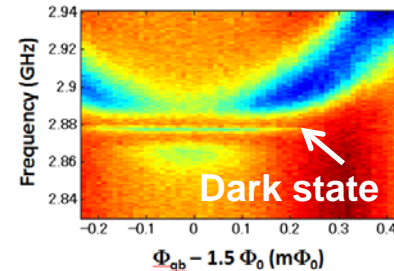
①量子トランスデューサ技術

マイクロ波領域で動作する超伝導量子ビット回路と通信波長帯の光子の間の量子情報インターフェイスを実現する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。その可能性を実証するために、マイクロ波空洞共振器中のマイクロ波モードと強磁性絶縁体YIG単結晶中のマグノンモードのコヒーレントな結合およびマイクロ波共振器モードを介した超伝導量子ビットとマグノンモードのコヒーレントな結合の様子を、マイクロ波スペクトロスコピーにより観測することに成功した。

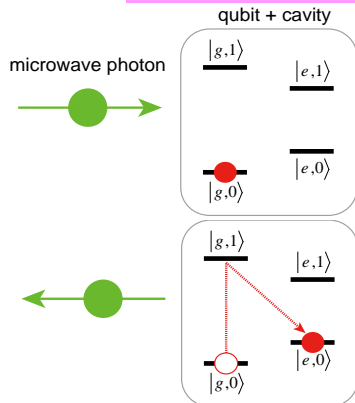


②量子メモリ技術

超伝導・ダイヤモンドハイブリッド系の分光測定において線幅の狭い長寿命なエネルギー準位を見出し、理論解析により、その起源が**集団的なダーク状態**であることを明らかにした。通常、ダーク状態は量子干渉性のため検出困難であるが、ダイヤモンド結晶中の歪や磁場ノイズによって干渉が完全には働かず、検出可能となっていることが判明した。



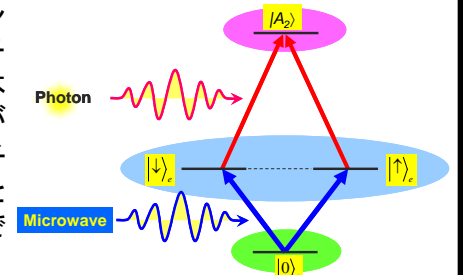
③マイクロ波単一光子測定技術



外場により駆動された量子ビットと共振器との結合系における**着衣状態エンジニアリング**の手法により、結合系の輻射崩壊パスを制御して、マイクロ波光子を完全に吸収する**インピーダンス整合Λ系**の実装に成功した。また、パラメトリック振動子を用いた新しい高忠実度量子ビット読み出し技術を提案・実証し、**量子ビット非破壊読み出し**を**90%以上の高効率**で実現した。量子ビットのコヒーレンスの向上により、さらなる効率の改善が期待される。

④マイクロ波光子とスピン間の量子メディア変換技術

マイクロ波光子からダイヤモンド中のNV中心などの持つ単一核スピンへの量子メディア変換の基礎実証として、**マイクロ波のコヒーレンスをNV中心の単一電子スピンのコヒーレンスに転写**できることを実証した。マイクロ波により生成した単一電子スピンの量子状態は、吸収する単一光子の偏光状態によって読み出した。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) ※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	34 (19)	178 (98)	1 (0)	0 (0)	0 (0)

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。

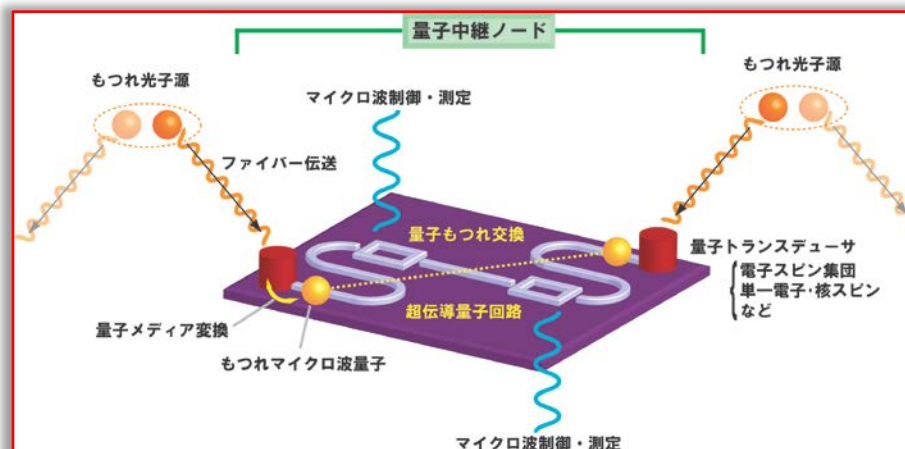
超伝導量子ビットと一次元伝搬モードの相互作用制御

昨年度の研究により、ドライブされた超伝導量子ビットと共振器との結合系が、輻射崩壊レートを制御可能な量子発光体として動作し「インピーダンス整合条件」を満たしうることを確認できた。これにより、単一マイクロ波光子による超伝導量子ビットの決定論的スイッチングが可能になる。本年度は、この技術を応用した単一マイクロ波光子検出器の開発と、三体以上の超伝導量子ビットの間に量子もつれを生成することを目指す。

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、光共振器を結合させ、レーザー冷却の手法を用いて振動モードの基底状態への冷却を目指す。同時にSiNx薄膜の機械的振動モードと超伝導LC共振回路との結合の実現を目指す。また光とSiNx薄膜の機械的振動モードとの結合にも着手する。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の時間領域における量子状態制御実験に取り組む。また光による観測・制御方式についても検討する。

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

長寿命な集団的ダーク状態の存在が明らかになったので、今後は、実際にこの状態を量子メモリに応用する技術を検討する。また、昨年度、量子状態の書き込みに成功したブライト状態のコヒーレンス向上に引き続き取り組む。ブライト状態への書き込み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NV中心の作製方法の検討、スピンの密度や結晶方位・磁場印加方向の最適化、他の材料中のスピン集団を用いた実験等に取り組む、コヒーレンスと転写過程の忠実度の改善を図り、長寿命量子メモリの実現を目指す。

マイクロ波光子とスピン間の量子メディア変換技術

最終目標として掲げた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のコヒーレントな結合の実現へ向け、電子スピンと核スピンの間の超微細相互作用による量子もつれを利用した、マイクロ波による単一核スピンコヒーレンスの生成を目指す。また、マイクロ波光子と単一電子スピンとの高い結合効率が得られるためのマイクロ波フォトニック結合構造についても検討を始める。