

# 平成24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24年度 37.6百万円)

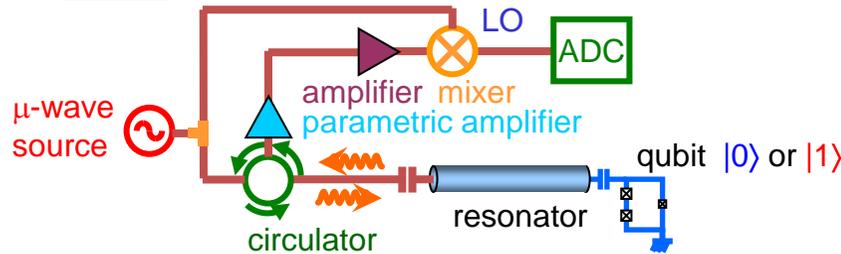
## 2. 研究開発の目標

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

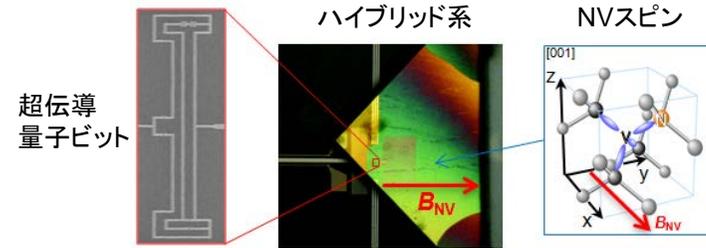
### ①量子ビット非破壊射影測定技術

超伝導磁束量子ビットと超伝導共振器の間の静電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読み出しを実現した。さらにジョセフソンパラメトリック増幅器を用いてS/N比を改善することにより、量子ビットの単一事象非破壊射影読み出しを可能にした。これを用いて量子跳躍の観測も行った。

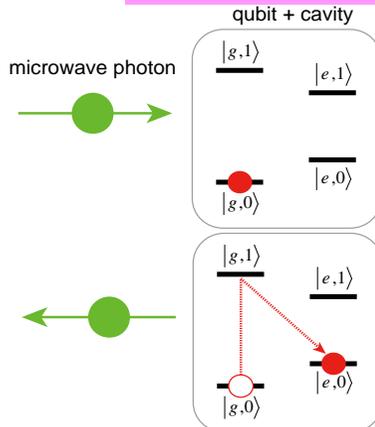


### ②量子メモリ技術

超伝導・ダイヤモンドハイブリッド系に面内磁場を印加することで、ダイヤモンド結晶中の電子スピン集団のコヒーレンス特性が改善した。その結果、超伝導量子ビットに準備した励起状態、あるいは重ね合わせ状態をスピン集団に書き込み、保存し、そして読み出すことに成功した。また、もつれ状態の1ビット分の情報をコヒーレントに保存できることを示した。



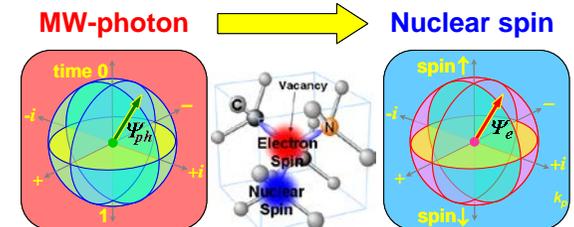
### ③インピーダンス整合したΛ系の実装



マイクロ波で駆動された量子ビットとマイクロ波共振器との結合系は、ポンプ光の周波数および強度の調整により、輻射崩壊レートを自在に制御可能な量子多準位系としてはたらく。特に、励起状態からの二つの崩壊レートを揃え「インピーダンス整合」条件を満足させると、単一の信号マイクロ波光子が確率100%でΛ遷移を引き起こし、量子ビットを励起できる。本現象はマイクロ波領域での単一光子検出に应用可能である。

### ④マイクロ波光子とスピン間の量子メディア変換技術

単一スピン量子メモリとのハイブリッド量子システム構築を目指した量子メディア変換の技術開発を行っている。本年度、マイクロ波光子からダイヤモンドの単一NV中心に付随する単一核スピンへの量子メディア変換について、初年度に考案した基本的手法を実現すべく、具体的実験手法の開発と実験設備の構築を行った。マイクロ波帯のタイムビン光子を用い、電子スピンを介した核スピンへの量子状態転写の具体的手法を開発した。また、マイクロ波によって単一電子スピンをコヒーレントに制御する実験設備を構築し、隣接核スピンとの強い結合を確認した。



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	国際会議 予稿	収録 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)	14 (9)	0 (0)	0 (0)	81 (45)	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。

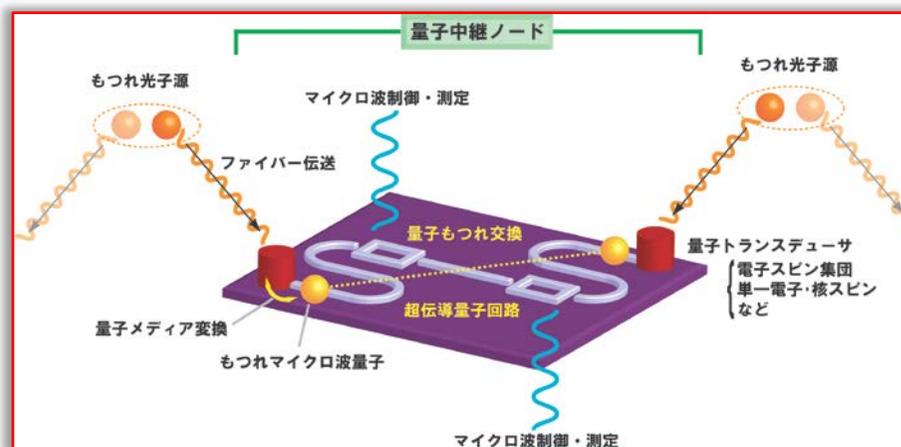
超伝導量子ビットと一次元伝搬モードの相互作用制御

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た基礎実験を行う。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と振動子の基底状態への冷却を目指す。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にも着目する。マイクロ波共振器とのコヒーレントな結合の実証を行う。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

超伝導磁束量子ビットに任意の量子状態を準備し、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、保存し、再び読み出すことに成功した。しかしながら、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、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。

### 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。光量子とスピンとの間の量子状態転写はすでに実現しているため、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。