

平成25年度研究開発成果概要書

課題名 : 量子もつれ中継技術に関する研究開発
採択番号 : 158ウ01
個別課題名 : 課題ウ 超伝導技術に基づく多ビット量子もつれ制御と光インターフェース技術
副題 : 量子中継ノードにおける量子演算回路と量子トランスデューサの研究開発

(1) 研究開発の目的

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。

(2) 研究開発期間

平成23年度から平成27年度（5年間）

(3) 委託先

国立大学法人東京大学<幹事者>、日本電信電話（株）、国立大学法人東京医科歯科大学、国立大学法人東北大学

(4) 研究開発予算（契約額）

総額 176百万円（平成25年度 33百万円）
※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発課題と担当

課題ウ-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

ウ-1-1… 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（東大）

ウ-1-2… 超伝導共振器を用いた量子ビット間もつれ制御技術（NTT）

ウ-1-3… 超伝導量子回路における量子もつれ制御理論（東京医歯大）

課題ウ-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

ウ-2-1… マイクロ波-光量子トランスデューサ技術（東大）

ウ-2-2… 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（NTT）

ウ-2-3… エネルギースケールの異なる量子系間の量子トランスデューサ理論（東京医歯大）

ウ-2-4… 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（東北大）

(6) これまで得られた研究開発成果

		(累計) 件	(当該年度) 件
特許出願	国内出願	0	0
	外国出願	0	0
外部発表	研究論文	34	19
	その他研究発表	178	98
	プレスリリース	1	0
	展示会	0	0
	標準化提案	0	0

(7) 具体的な成果実施内容と成果

- (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の開発に関して、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 90%以上の効率で実現した。
- (2) 超伝導量子ビットと共振器とが分散的に結合した系において、量子ビットを外場により駆動すると、外場駆動下での固有状態である「着衣状態」の輻射緩和とパスを自在に制御できる。この「着衣状態エンジニアリング」の理論を構築した。また、この手法により Λ 型三準位系の二つの輻射緩和レートを揃えると、入射波を完全に吸収することのできる「インピーダンス整合 Λ 系」を実現できることを提案するとともに、この系のマイクロ波光学応答を解析し、入射波が Λ 系によるたった一回の反射により完全に下方変換されることを示した。
- (3) 超伝導量子ビットと共振器との結合系において共振器および量子ビットの双方を外場により駆動する「二色分光」の実験が東大グループにおいて行われ、強分散領域の共振器 QED 系特徴的な「光子数分裂スペクトル」に微細構造が見られることなどが発見された。この現象について理論解析した結果、共振器ドライブ周波数における回転座標へと移行すると、本現象は量子ビット状態に依存した二種類の非線形調和振動子間の光学応答として理解できることを理論的に示し、フランクコンドン型の光学遷移が諸現象の物理的起源であることを示した。
- (4) 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ープにより観測することに成功した。
- (5) 量子トランスデューサ技術へ向けたもうひとつの候補として、SiN_x 薄膜を用いたナノメカニカル素子の実験を行った。光学共振器モードと結合した薄膜の固有振動モードをレーザー冷却で冷やすことに成功した。今後、振動基底状態への冷却を目指す。
- (6) 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、この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。このダーク状態は、通常量子メモリに利用する準位よりも 10 倍寿命が長く、長寿命量子メモリへの応用が期待される。
- (7) マイクロ波光子とスピン間の量子メディア変換技術に関して、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。マイクロ波によって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単一電子スピンが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。