

平成 26 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) 実施機関

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、国立大学法人横浜国立大学

(4) 研究開発予算(契約額)

総額 176 百万円(平成 26 年度 31 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) これまで得られた成果(特許出願や論文発表等)

		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	39	7
	その他研究発表	254	69
	プレスリリース・報道	15	14
	展示会	0	0
	標準化提案	0	0

(7) 具体的な実施内容と成果

- (1) 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、量子ビットを適切にドライブすると「インピーダンス整合系」が構成され、単一マイクロ波光子が量子ビットを決定論的に基底状態から励起状態に遷移させる。この現象と量子ビットの単一試行非破壊読み出しを組み合わせ、マイクロ波光子に対する単一光子検出を行い、約 70%という高い検出効率を達成した。また、超伝導量子ビットに共振器が二つ結合した系を用いることにより、マイクロ波光子の連続モニタリングが可能になることを理論的に示した。
- (2) インピーダンス整合系に周波数領域における重ね合わせ光子を入力することで、光子と超伝導量子ビットの量子状態をたった一回の反射により交換することができることを理論的に示し、決定論的な量子交換ゲートあるいは量子メディア変換への応用可能性を指摘した。
- (3) 超伝導量子ビットとダイヤモンド NV 中心上の単一の電子スピンの結合する系の理論的検討を行った。その結果、ゼロ磁場において、電子スピンよりもコヒーレンス時間が短い磁束量子ビットと結合することで、電子スピンのコヒーレンス時間がけた違いに長くなるという現象を理論的に見出した。これは、電子スピンの量子ビットと結合することで、前述のダーク状態が、ブライツ状態とエネルギー的に分離され、安定化することによるものである。
- (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。マイクロ波空洞共振器中のマイクロ波モードを媒介とした、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間の真空ラビ振動を、時間領域測定で観測することに成功した。一方、室温環境下の実験において、マイクロ波共振器中に置かれた YIG 単結晶を用い、マグノンモードを介したファラデー効果やマグノンブリルアン散乱による光 - マイクロ波間のコヒーレントな双方向変換を実証した。
- (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、SiNx 薄膜を用いたオプト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のレーザー冷却を行い、室温から約 50 mK まで 3 桁近く冷やすことに成功した。今後、He クライオスタット中での実験を行い、振動基底状態への冷却を目指す。並行して、同様の SiNx 薄膜をマイクロ波共振器と結合した系で、エレクトロメカニクス系を構築した。希釈冷凍機中でのマイクロ波のサイドバンド冷却実験において、薄膜の固有振動モードの平均フォノン占有数を 1 以下まで下げることに成功した。今後、光領域とマイクロ波領域の実験の融合を図り、量子インターフェイスの実現を目指す。
- (6) 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の間のコヒーレントな結合の実現を目指した研究を行い、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 中心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。