

1. 研究課題・実施機関・研究開発期間・研究開発予算

- ◆課題名 : 量子もつれ中継技術に関する研究開発
- ◆個別課題名 : 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
- ◆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)

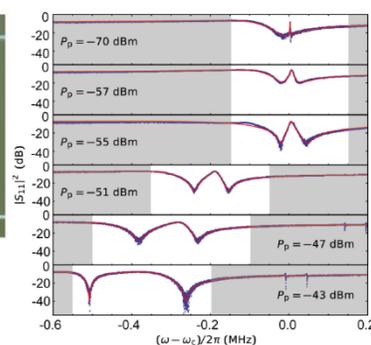
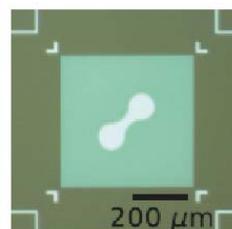
2. 研究開発の目標

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

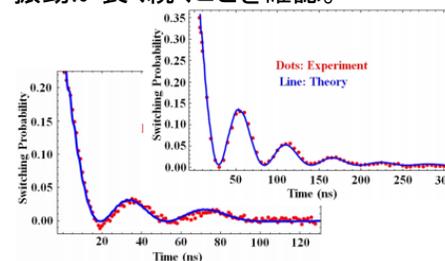
窒化シリコン薄膜を用いたエレクトロメカニカル素子を構築し、マイクロ波共振器と機械振動子の強結合および機械振動モードの基底状態への冷却を実現した。



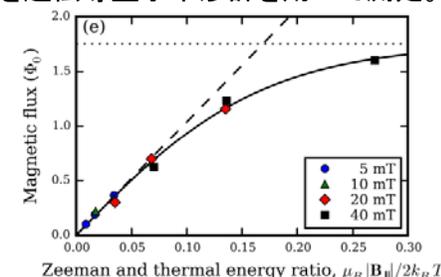
さらにマイクロ波共振器を介した機械振動モード間の強結合制御を実現した。

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

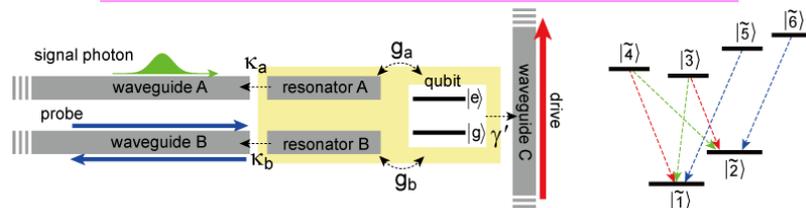
磁場印加により、磁束量子ビット-ダイヤモンドハイブリッド系の真空ラビ振動が長く続くことを確認。



YSO結晶中のEr電子スピンの偏極を超伝導量子干渉計を用いて測定。



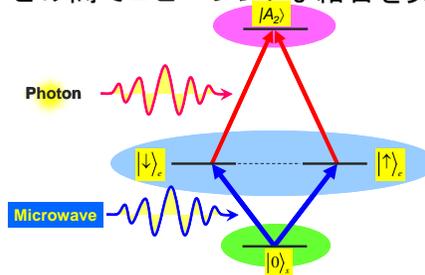
③マイクロ波単一光子測定技術



超伝導量子ビットに光子吸収用および読み出し用の二つの共振器を分散的に結合させ、適切な周波数およびパワーのマイクロ波で量子ビットをドライブすることにより、マイクロ波単一光子の連続的検出が、90%超の検出効率と10メガヘルツ超の検出バンド幅で可能になることを示した。

④マイクロ波光子とスピン間の量子メディア変換技術

マイクロ波光子とダイヤモンド中のNV中心の持つ単一電子/核スピンとの間でコヒーレントな結合を実現し、単一光子から単一核スピンへの量子メディア変換を実証した。



結合効率が低くても決定論的な量子メディア変換ができるよう量子テレポーテーションの原理を利用した。超伝導量子回路と整合性の高いマイクロ波によるデジタルコヒーレント幾何学量子制御技術を開発した。

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
量子もつれ中継に 関する研究開発	0 (0)	0 (0)	47 (7)	374 (70)	23 (15)	0 (0)	0 (0)

※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

5. 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

ハイブリッド量子系を用いた量子インターフェイスに関しては、強磁性体中のマグノンを用いた研究をさらに推し進める。これまでにマイクロ波側では、超伝導量子ビット・共振器・マグノンモードのコヒーレントな結合を実現しているが、現在ボトルネックとなっているのは、マグノンと光の結合が弱い点である。これを改善すべく、強磁性体の形状の最適化、光共振器の利用、強磁性材料の改良を検討している。マグノンのコヒーレンスの改善も目指す。ナノメカニカル素子を用いた系では、光共振器を介した赤外領域の光子との強結合を実現し、すでに実現しているマイクロ波共振器とのコヒーレントな結合と合わせて、量子トランスデューサの実現を目指す。固体中の集団励起モードの自由度を量子的に制御・観測するという概念の確立は、固体物理の分野に新たに量子光学の知見を持ち込むことにつながった。これまで独立に発展を遂げてきた両分野の間に量子情報科学がもたらした新しい架け橋として、このようなアプローチが花開くことを期待する。物性科学において次々と見つかる新しい量子相が量子光学や量子情報科学における新素材としての応用をもたらしたり、レーザー冷却などの量子光学的手法が物性の理解や制御につながるなどの展開が予想される。量子マグノニクスは、近年発展の著しいスピントロニクスやマグノニクスの分野とも関係が深く、今後互いに刺激となって新しい学問領域への道が開けることを期待する。

超伝導量子回路に関しては、本研究で実現したマイクロ波単一光子発生器や単一光子検出器を組み合わせたマイクロ波光子量子光学系を構築する。さらに超伝導量子ビットとマイクロ波光子モードの間の量子ゲートを実現し、量子ビットを用いたもつれ制御技術を伝搬光子にも適用できるようにする。量子ビット集積化に関しては、本研究で提案した量子もつれゲート方式の実装を行い、高忠実度かつクロストークの少ない集積回路の実現を目指す。超伝導量子回路を用いた量子情報技術はこの5年間で飛躍的な進展を見せている。量子計算や量子アニーリングへ向けた集積化が注目を集めている一方、本研究開発でも取り組んだ基盤的な量子もつれ制御技術や量子ゲートの高精度化の向上が著しい。今回の成果で掲げたような高精度な量子ビット制御と、伝搬マイクロ波光子の制御・観測技術を用いて、従来、光を用いて行われてきた量子光学実験が回路上のマイクロ波で実現できるようになる。

ダイヤモンド中のNV中心を用いた量子インターフェイスは、優れたコヒーレンスや、高い忠実度、伝令つきの動作などの利点を持つ。伝搬マイクロ波や伝搬光との結合効率を上げるため、マイクロ波共振器や光共振器との結合を行う予定である。

量子トランスデューサは、通信応用だけでなく、計測応用でもその価値を発揮する可能性がある。たとえば微弱な電気信号を光の信号に変換することにより、電気的な増幅器の熱雑音を避け、光のショット(量子)雑音限界で決まる低雑音の信号計測が可能になると期待される。ダイヤモンドのNV中心は計測分野でも大きな注目を集めており、関連した量子状態制御やもつれ制御あるいは量子メディア変換の技術は、そこでも重要な役割を果たすことが期待される。この研究領域は、応用技術への距離が近く、5年以内にも実用的な装置が生まれる可能性がある。室温環境にある試料に対する高感度な磁気共鳴信号の検出、高い空間分解能を持つ磁気センサ、電荷センサなどへの応用が期待される。