

研究開発項目

4. 超伝導ネットワーク型技術

2023年度までの進捗状況

1. 概要

超伝導方式の量子コンピュータのネットワーク化技術に向けた「量子トランスデューサー」を開発します。超伝導量子ビットの量子情報「マイクロ波光子」を極低温において光波長の光子へ変換するトランスデューサーに注力して研究を行います。トランスデューサーの媒体として、ダイヤモンド結晶中の窒素空孔中心 (NV 中心) の電子スピン集団によるマイクロ波遷移と光遷移を利用し、レーザー励起により波長変換を行います。

この達成に向けては、バルクダイヤモンド結晶を含んだ光共振器の実装、極低温における光共振器の安定動作、およびマイクロ波共振器との複合化等が課題となっており、この点を挑戦的テーマとして取り組んでいます。この課題を達成するために、振動が非常に低レベルで特殊な仕様の冷凍機を考案・設計して使用しています。

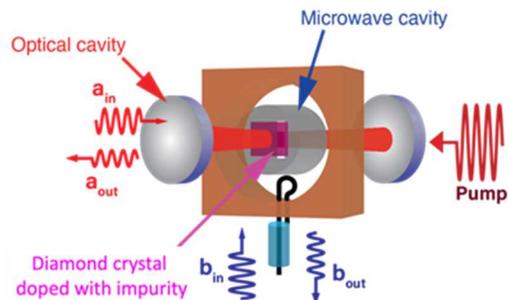


図 1 本研究開発テーマの目指す量子トランスデューサーの概念図。

2. これまでの主な成果

① 無冷媒希釈冷凍機中に設置した光共振器を極低温にお

いても安定的に動作させることに成功しました。

- ② 片側に反射防止膜、もう片側に高反射膜をコートしたバルクダイヤモンド結晶が光共振器中に置かれた状態でも光共振器を極低温において安定動作させることに成功しました。
- ③ マイクロ波—光複合共振器デバイスの設計・試作・評価を極低温において行いました。
- ④ 本研究開発で取り組んでいる量子トランスデューサーのシミュレーションを行いました。

上記において、①は超伝導や半導体方式の量子コンピュータに必須な極低温環境を実現する無冷媒希釈冷凍機内で光共振器を動作させることに成功しました(図2)。無冷媒希釈冷凍機内ではコールドヘッドのパルス管が振動するので、パルス管を運転した状態で光共振器を安定的に動作させることは難易度が高いとされていましたが、これを実証しました。②はバルクのダイヤモンドが内部に置かれた光共振器が安定的に動作することを実証し、本研究開発で取り組んでいる量子トランスデューサーの方式が原理上動作

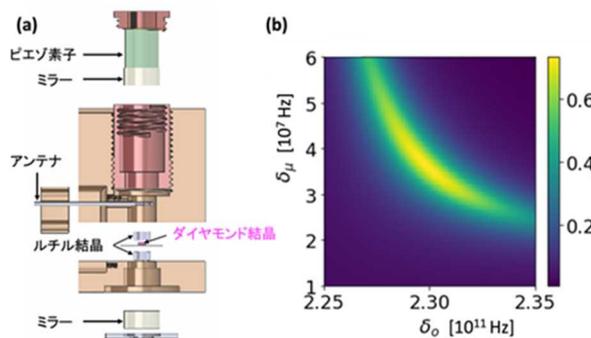


図 2 (a) 複合共振器デバイス。(b) 本研究開発で取り組んでいる量子トランスデューサーの変換効率のシミュレーションの一例。変換効率がマイクロ波と光の周波数離調に対して色プロットされている。

することを示すことができました。③は本研究開発で取り組んでいる量子トランスデューサーデバイスの設計そのものです。ダイヤモンド結晶をマイクロ波と光共振器の両方のモード内に置く必要があるため、これを実現する複合共振器デバイスを設計・試作・評価しました(図2)。また、極低温においてこの複合共振器デバイスを用いて電子スピン共鳴の実験を行い、スピン集団との強結合や緩和時間測定に成功しました(図3)。④は本研究開発で取り組んでいる量子トランスデューサーのマイクロ波—光変換の理論を構築し、変換効率をシミュレーションしました(図2)。

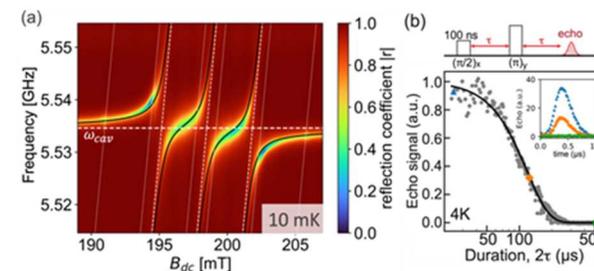


図 3 (a) 複合共振器デバイスのマイクロ波共振器とダイヤモンド中の窒素不純物アンサンブルとの強結合。(b) パルス測定の一例。ラジカル電子スピンの位相緩和と時間測定の一例。

3. 今後の展開

今後、本研究開発で進めている量子トランスデューサーデバイスを用いて、微弱なコヒーレントマイクロ波信号および光信号のマイクロ波-光変換を実証します。超伝導量子ビットの量子状態測定や、超伝導量子ビットで生成した量子状態の光変換を実現し、超伝導量子コンピュータのネットワーク化に貢献します。また超伝導量子コンピュータプロジェクトの山本剛 PM、Q-LEAP「超伝導量子コンピュータの研究開発」の中村チームリーダーらと連携し、量子コンピュータの実用化に向けた取り組みを加速していきます。