

研究開発テーマ名

# ピエゾマイクロ波共振器

## 2022年度までの進捗状況

### 1. 概要

量子コンピュータの最有力候補は超伝導量子ビット方式ですが、膨大な配線数など集積化には限界があります。本プロジェクトでは、超伝導量子ビットを通信光子でつなぐ量子インターフェースを開発し、大規模な分散型超伝導量子コンピュータの実現を目指します。本研究開発テーマでは、その構成部品となるピエゾマイクロ波共振器の開発を行います(図1)。これまでに、ダイヤモンド表面弾性波素子を作製して音子(弾性波)を生成し、その音子によりNV中心量子メモリの量子操作に成功しています。

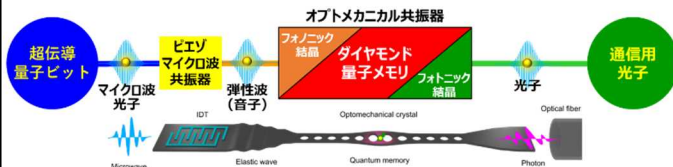


図1. 量子IFにおけるピエゾマイクロ波共振器の役割

### 2. 2022年度までの成果

#### 研究開発課題1：ピエゾマイクロ波共振器の研究開発

・ピエゾマイクロ波共振器の材料探索、構造設計

マイクロ波光子を波長が5桁短い通信光子と同程度の波長(～1mm)の音子に変換するため、ピエゾ材料の窒化アルミニウム(AlN)をダイヤモンド上に形成し、ダイヤモンド表面弾性波素子を作製しました(図2)。

・マイクロ波から音子への変換

超伝導量子ビットと整合性の高い5GHzのマイクロ波から音子を生成し、その音子によりNV中心量子メモリの量子操作に成功しました(図2a)。

・マイクロ波による量子メモリの量子操作

マイクロ波の電場によるNV中心量子メモリの量子操作

にも成功しました(図2b)。また、さらなる高効率化に向けてQ値8,000のマイクロ波共振器を作製しました。

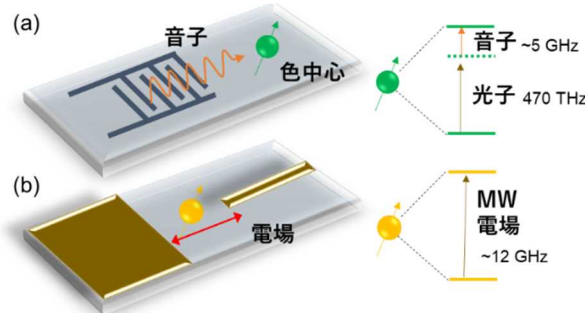


図2. (a) 音子、(b) 電場による量子メモリ制御の概要

#### 研究開発課題2：量子制御電子集積回路の研究開発

・量子回路を極低温において高速かつ高忠実に量子制御するために、任意振幅のマイクロ波を発生することができる超伝導マイクロ波パルス発信器を開発しました。単一磁束量子(SFQ)回路を用いて100GHzの密度変調されたSFQパルス列を発生し、超伝導フィルタで5GHzのマイクロ波パルスを生成します。これまでに、基本構成要素である100GHz SFQパルス発生器と超伝導フィルタの基本動作を実証しました(図3)。

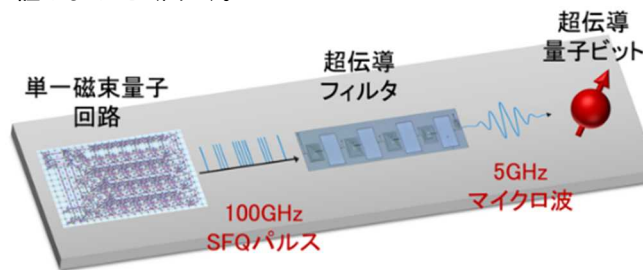


図3. 超伝導回路による4K動作5GHzマイクロ波パルス発信器

#### 研究開発課題3：量子インターフェースの理論研究

・超伝導量子ビットからマイクロ波光子量子ビットへの量子メディア変換について、超伝導量子ビット—通信波長帯光子量子ビット間インターフェースの第一歩という観点から理論研究を行いました。超伝導量子ビットと周波数にエンコードしたマイクロ波光子量子ビットとの状態交換(SWAP)ゲートを、単一光子レベルの微弱な古典マイクロ波パルスを用いて実証する方法を理論提案し、双方向の量子状態転写が起きていることを確認しました。状態転写の忠実度は、マイクロ波光子から超伝導量子ビット方向で0.829、超伝導量子ビットからマイクロ波光子方向で0.801に達しました(図4)。

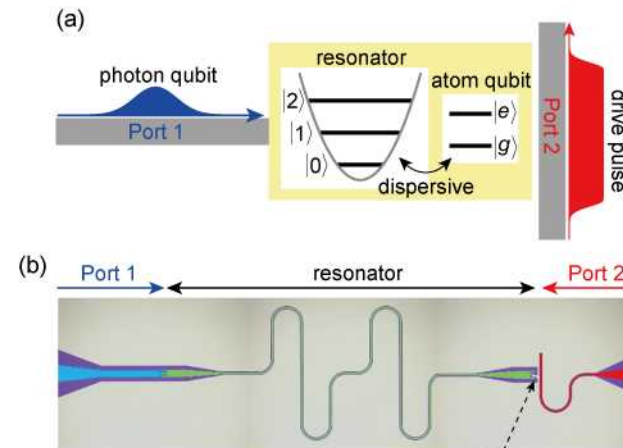


図4. 超伝導量子ビット—マイクロ波光子量子ビット間交換ゲート。(a) 概念図、(b) デバイスの顕微鏡写真

### 3. 今後の展開

ピエゾマイクロ波共振器の性能向上を図るとともに、量子メモリを備えたオプトメカニカル共振器との融合を図り、超伝導量子インターフェースの実証を目指します。