

2022年度（第47回）学術研究振興資金 学術研究報告

学 校 名	沖 縄 科 学 技 術 大 学 院 大 学	研究所名等	サイエンス・テクノロジー・ グループ
研 究 課 題	スピンを用いた極低温・超低雑音マイクロ波増幅 -古くて新しい量子技術の確立を目指して-	研究分野	工 学
キ ー ワ ー ド	①量子技術, ②量子デバイス, ③量子情報科学, ④スピン共鳴, ⑤ハイブリッド量子系, ⑥量子コンピュータ, ⑦極低温物性		

○研究代表者

氏 名	所 属	職 名	役 割 分 担
久 保 結 丸	サイエンス・テクノロジー・ グループ	サイエンス・ テクノロジー・ アソシエイト	研究総括

○研究分担者

氏 名	所 属	職 名	役 割 分 担
バ ッ タ チ ャ ラ ル パ ッ ク	沖縄科学技術大学院大学 サイエンス・テクノロジー・ グループ	博士 研究員	デバイス作成・測定・データ解析
太 田 守 洋	沖縄科学技術大学院大学 量子情報物理実験ユニット	博 士 課 程 生	デバイス作成・測定・データ解析
寺 井 弘 高	国立研究開発法人 情報通信研究機構 未来 ICT 研究所	上 席 研 究 員	デバイス作成補助
濱 元 樹	沖縄科学技術大学院大学 量子情報物理実験ユニット	博 士 課 程 生	デバイス作成・測定・データ解析
高 橋 優 樹	沖縄科学技術大学院大学 量子情報物理実験ユニット	准 教 授	データ解析補助

スピンを用いた極低温・超低雑音マイクロ波増幅 —古くて新しい量子技術の確立を目指して—

1. 研究の目的

(1) 量子情報技術

量子情報科学の分野で開発・蓄積された技術を産業化する気運が高まっている。これらは総称して「量子技術」と呼ばれ、第4次産業革命及びSociety 5.0時代の基幹技術として期待されている。その最たる例が量子コンピュータであり、開発研究が世界中で繰り広げられている。さらに、Google、Intel、IBM、Microsoft、アリババ集団などの主要なIT企業による大型投資も始まり、多くのスタートアップ企業も創設されている。

(2) 極低温マイクロ波量子技術

この背景には、マイクロ波周波数帯で動作する固体量子デバイスの目覚ましい進展がある。そして、その根幹をなす技術が極低温(約10 mK)における**超微弱なマイクロ波信号の増幅**である。これを可能にしたのが**超伝導パラメトリック増幅器**で、雑音を重畳することなく無散逸で信号を増幅する優れたデバイスである。しかし、パラメトリック増幅器が抱える重大な問題点、すなわち**微弱な飽和パワーはいまだ本質的には解決されていない**。現在までに報告されている最高値はわずか0.1 pWである。また、パラメトリック増幅器は磁場中では動作に支障が出るので、量子センシングやイメージング応用の弊害にもなる。

(3) スピンメーザー増幅

研究代表者らは最近、スピンメーザー(誘導放出によるマイクロ波増幅)を用いた量子マイクロ波増幅器を実現し、極めて高い飽和パワーを持ちながらも超低雑音を実現されていることを示した[特許申請済、論文準備中]。そこで本研究では、このメーザー増幅器を発展させ、超高感度スピン共鳴や量子ビットへの測定に有用であることを実証し、スピンメーザーという「古くて新しい」汎用的量子技術を確立する。

2. 研究の計画

(1) 微小な導波路の作成

①初年度の成果で述べたように、超伝導導波路の幅を1-数ミクロン程度に狭める。このために、研究代表者の所属機関に存在する電子線描画装置、もしくは研究分担者(寺井)の所属機関(NICT)に存在するマスクレス高精度光学描画装置を使用する。

(2) 強磁性体薄膜による局所磁場の印加

①初年度で見出した最適動作点の磁場が導波路付近に印加されるように強磁性体薄膜の位置と形状を設計して試作する。強磁性体薄膜はルビー上、もしくは導波路がパターンされている超伝導回路上にスパッタして堆積させる。

(3) パッケージ化

上記の強磁性体を組み込んだデバイスの形状が出来上がり次第、導波路、ルビー結晶を内蔵し、外側を磁気シールドで覆ったパッケージデバイスを試作し、極低温において動作確認する。この際、磁気シールドの素材として磁性を持った軟鋼を使用する。

3. 研究の成果

(1) 微小な導波路の作成

①微小導波路デバイスの作製を開始した。磁場への耐性があるNbTiNの超伝導体薄膜をサファイア基板にスパッタ堆積させ、光学リソグラフィと反応性イオンエッチングを用いて2次元超伝導導波路を設計及び試作した。NbTiNの成膜に関して日本随一の経験及び設備を誇る情報通信研究機構(NICT)の寺井弘高博士と共同研究を開始した。

②設計を進めていく過程で、強度が強いポンプマイクロ波によって信号線に熱雑音が発生してしまう恐れがあるため、微弱なマイクロ波信号とは別の経路でメーザー増幅導波路に送ることが望ましいことを理論的に見出した。このため、ダイプレキサ(低周波と高周波の結合器または分流器)を超伝導体でチップ上に作り込むことが必要になった。これを実

現するために企業（オリエントマイクロウェーブ）と共同研究を開始し、電磁界シミュレータを用いての試作品の設計をした。

(2) 強磁性体薄膜による局所磁場の印加

①強磁性体薄膜をデバイスに追加する前に超伝導薄膜上に堆積させるには特殊な装置をノウハウが必要なことが判明し、また上記のダイプレキサの設計・試作が研究の工程に新たに加わったためにこの項目は延期した。

(3) パッケージ化

(1)-②のオンチップのダイプレキサ設計と同時にパッケージデザインも終え、試作にとりかかった。この項目に関しては少し遅れている。

4. 研究の反省・考察

(1) 微小な導波路の作成

②に関して、常伝導体を用いることに起因する発熱量を見積もっておくべきであった。これによりオンチップのダイプレキサデバイスの作製に早くから着手することが可能になったはずであり、計画がより早く進展していただろう。

5. 研究発表

(1) 学会誌等

特になし

(2) 口頭発表

① Yuimaru Kubo, “A “masing” Spin Ensemble: Maser for Quantum Information Technologies”, 招待講演, On-line Colloquium at City University of Hong Kong, 2022/10/19

② Yuimaru Kubo, “Thermally Induced Negative Temperature in Diamond,” OIST Center for Quantum Technologies Mini Symposium, OIST, 2022/11/9

③ Yuimaru Kubo, “Towards Thermally Pumped Maser Oscillation in Diamond,” Spins in London, University College London, 2022/11/24

④ Yuimaru Kubo, “Towards Thermally Driven Maser Oscillation,” 招待講演, NanoFrontier Materials Conference 2022 (NFM2022), NIMS Tsukuba, 2022/12/28

(3) 出版物

特になし