

「量子状態の高度な制御に基づく革新的量子技術基盤の創出」  
平成29年度採択研究代表者

H29 年度 実績報告書
-----------------

齊藤 志郎

日本電信電話(株)NTT 物性科学基礎研究所  
グループリーダー

超伝導量子ビットを用いた極限量子センシング

## § 1. 研究実施体制

### (1)「NTT」グループ

- ① 研究代表者: 齊藤 志郎 (日本電信電話(株)NTT 物性科学基礎研究所、グループリーダー)
- ② 研究項目
  - ・ジョセフソン分岐増幅器を用いた電子スピン共鳴の測定

### (2)「静岡大学」グループ

- ① 主たる共同研究者: 小野 行徳 (静岡大学 電子工学研究所、教授)
- ② 研究項目
  - ・EDMR 低温系, 低雑音系立ち上げ

### (3)「近畿大学」グループ

- ① 主たる共同研究者: 近藤 康 (近畿大学 理工学部、教授)
- ② 研究項目
  - ・量子センサ実現に向けた理論の開発と NMR による原理実証

## § 2. 研究実施の概要

NTT では、超高感度な磁束計である超伝導量子干渉計(dc-SQUID)を用いて局所的な電子スピン共鳴(ESR)の測定に成功している。Y<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> 結晶中の Er<sup>3+</sup>に起因する電子スピンを測定し、1秒間の測定で 10<sup>6</sup> 個の電子スピンを検出する感度を達成し、マイクロメートルオーダーの空間分解能を実現している。今年度は、dc-SQUID を有するコプレーナ型共振器の非線形性を利用して ESR の検出感度向上を目指した(図 1 参照)。本手法では、ジョセフソン分岐増幅(JBA)と呼ばれる現象を利用し、14,000 スピンを検出する感度を実現した。さらに、Er<sup>3+</sup>:Y<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> の電子スピン特性を詳細に調べ、g 因子・超微細構造定数・核四極子相互作用テンソルを求めると共に、非常に遅いスピン緩和現象を見出した。励起強度と測定温度依存性から、20 mK において約 10 時間という長いスピン緩和時間は、フォノンボトルネック現象によって律速されていることが判明した<sup>(1)</sup>。

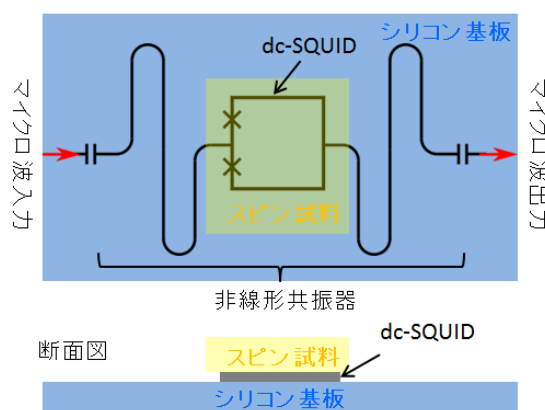


図 1 JBA を用いた局所 ESR 測定系

EDMR (Electrically detected magnetic resonance) の低温系、低雑音系の立上げを行った。具体的には、当該年度前期に導入した ESR 用循環型ヘリウムクライオクーラーをセットアップし、試料温度を 10K-300K の範囲で問題なく変化させることができることを確認した。続いて、可変温度域内において、電流出力端子における雑音を計測し、雑音の発生機構を調べた。その結果、機械的振動が主たる雑音発生源であることを明らかにした。また、雑音対策を施すことにより、系の雑音を、デバイス自身から発生される雑音以下に抑えることに成功した。さらに、今後検討を予定している MOS トランジスタの EDMR 条件下での雑音特性を調べ、その温度依存性等の基礎データを取得した。

近畿大学では、エンタングルした量子ビットによるセンサをシミュレーションするために適した分子 2-プロパノール(図 2)を見だし、シミュレーションのための予備実験を行った。この分子は <sup>13</sup>C(量子ビットに対応する)に着目すると最も簡単な「星」型構造の分子とみなすことができ、炭素鎖の両端の <sup>13</sup>C を容易にエンタングルした状態にすることができる。さらに、水素を選択的にデカップルすることができるので、磁性不純物を混入した試料によって様々なノイズ環境下のエンタングルした量子ビットの振る舞いを実験的に調べる目処がたつた。

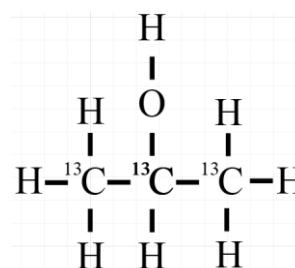


図 2 2-プロパノール

(1) R. P. Budoyo, et al., “Phonon-bottlenecked spin relaxation of Er<sup>3+</sup>:Y<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> at sub-kelvin temperatures”, Appl. Phys. Exp. 11, 043002(2018).