

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
2017年度採択研究代表者

2020年度 年次報告書

齊藤 志郎

日本電信電話(株) NTT 物性科学基礎研究所
特別研究員

超伝導量子ビットを用いた極限量子センシング

§ 1. 研究成果の概要

NTT では、超伝導量子回路を用いた高感度・高空間分解能な量子センサの実現を目指している。応用例として、局所電子スピン共鳴(ESR)測定系を開発した。本年度は磁束量子ビットを検出器として使い、ジョセフソン分岐増幅器を用いた高速読み出し法を適用することで、検出感度20 スピンを達成し、2017 年の研究課題開始当初と比較して約 5 桁の感度向上に成功した。さらなる高感度化を目指して開発した容量シャント型磁束量子ビットにおいて、スピンロッキング法を用いることで、量子ビットの緩和の原因となる量子 2 準位系を同定することに成功した。

静岡大学では、シリコン中の欠陥やドーパント原子の ESR、EDMR の高感度測定を目指している。昨年度は、Si-MOSトランジスタの界面欠陥の EDMR 測定を行い、MOS 界面の再結合過程に関与する欠陥種(構造)を同定した。この結果を受け、今年度は Si-MOSトランジスタ中のドーパントの検出を行い、チャンネル端に存在するヒ素ドナーの検出に成功した。また、NTT の超伝導量子ビットセンサで測定予定のスピン試料(生体試料、および、ビスマスを注入したシリコン試料)の低温 ESR を測定し、期待通りの ESR 信号を取得、スピン密度を算定した。

近畿大学では、量子センサの高感度化を妨げる最大の要因である緩和現象の理解を深める研究を行っている。昨年度は、磁性不純物を用いて緩和の性質(非マルコフ性)を制御し、その環境下でのエンタングルした量子センサの振る舞いを調べた。本年度は、外場により連続的に非マルコフ性を制御することに成功した。この知見は、緩和を抑制するだけでなく、緩和現象を測定に活用する方法を考える上で有用である。その他、位相緩和するエンタングルしたセンサをスケールリングの観点から考察した。また、ポスト・セレクションを用いた多数パラメータの同時推定を考察した。

§ 2. 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 特別研究員)
- ② 研究項目
 - ・超伝導磁束量子ビットを用いた電子スピン共鳴の測定
 - ・容量シャント型磁束量子ビットの研究

(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
 - ・高感度 EDMR の開発
 - ・高感度 ESR によるスピン試料評価

(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

- NTT で開発している ESR 顕微鏡の性能向上を図るための複合パルスの開発
- 量子センサ性能向上を図るための拘束条件付制御パルスの最適化の研究
- ノイズ下のセンサなどの開放系のダイナミクスの研究とノイズ抑制方法の開発
- Flux Qubit を用いたスピン系の冷却など Flux Qubit の新しい応用の提案

【代表的な原著論文情報】

- 1) Rangga P. Budoyo, Kosuke Kakuyanagi, Hiraku Toida, Yuichiro Matsuzaki, and Shiro Saito, “Electron Spin Resonance with up to 20 Spin Sensitivity Measured using a Superconducting Flux Qubit”, Appl. Phys. Lett. vol. 116, pp.194001, 2020.
- 2) Leonid V. Abdurakhimov, Imran Mahboob, Hiraku Toida, Kosuke Kakuyanagi, Yuichiro Matsuzaki, and Shiro Saito, “Driven-state relaxation of a coupled qubit-defect system in spin-locking measurements”, Phys. Phys. B vol. 102, pp.100502(R), 2020.
- 3) Ivan Yakoupov, Yuichiro Matsuzaki, William J. Munro, and Shiro Saito, “Sequential nonabsorbing microwave single-photon detector”, Phys. Rev. Research vol. 2, pp.033238, 2020.
- 4) Le Bin Ho, Yuichiro Matsuzaki, Masayuki Matsuzaki, and Yasushi Kondo, “Nuclear Magnetic Resonance Model of an Entangled Sensor under Noise”, J. Phys. Soc. Jpn. vol. 89, pp. 054001, 2020.
- 5) Le Bin Ho, Hideaki Hakoshima, Yuichiro Matsuzaki, Masayuki Matsuzaki, and Yasushi Kondo “Multiparameter quantum estimation under dephasing noise”, Phys. Rev. A vol. 102, 022602, 2020.
- 6) Shingo Kukita, Yasushi Kondo and Mikio Nakahara, “Controllable non-Markovianity in phase relaxation”, New J. Phys. vol. 22, pp. 103048, 2020.
- 7) Le Bin Ho and Yasushi Kondo, “Multiparameter quantum metrology with postselection measurements”, J. Math. Phys. vol. 62, pp. 012102-1, 2020.