

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

2021 年度
年次報告書

齊藤 志郎

日本電信電話株式会社 NTT 物性科学基礎研究所
上席特別研究員

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、高感度・高空間分解能な電子スピン検出を目指し、長寿命磁束量子ビット(FQ)を開発した。昨年度は、この FQ 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(TLS)を同定することに成功した。今年度は、同じ手法で、TLS の磁場依存性を測定することにより、電場揺らぎを誘発する TLS とジョセフソン接合の臨界電流揺らぎを誘発する TLS を識別することに成功した。2 種類の TLS の存在は予想されていたが、実験的に識別されたのは初めてである。

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、シリコン MOS トランジスタ中のチャンネルに存在するヒ素ドナースピンを EDMR により検出することに成功した。これを踏まえ本年度は、信号の詳細解析を行い、ヒ素ドナーの電子はその近傍に存在する界面欠陥を介して再結合し、その再結合確率がヒ素ドナー電子のスピンの依存することが明らかとなった。また、NTT の高感度電子スピン検出において使用予定である生体細胞試料に対して低温 ESR 測定を実施し、期待通り、細胞中の銅と予想される ESR 信号を検出した。

近畿大学では、量子センサの高感度化を妨げる緩和現象の理解を目指している。今年度は、逆転の発想で緩和現象のセンシングへの応用を考え、ノイズを情報のエンコードに活用する新しい測定方法を提案し、エンタングルした個々の量子ビットに独立して作用するノイズ下でも、測定感度がハイゼンベルグ限界に達する例を示した。次に、FQを用いて電子スピンを冷却する方法を考察し、通常、冷却することが困難な縦緩和時間が長いスピンほど効率良く冷却できる手法を見出した。最後に、量子センサを量子通信と結合させたアーキテクチャの、緩和への耐性について議論し、ノイズ下でもこのアーキテクチャが有用であることを見出した。

§ 2. 研究実施体制

(1) 齊藤グループ

- 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 上席特別研究員)
- 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
 - ・3次元ジョセフソンパラメトリック増幅器の研究
 - ・ハイブリッド温度センサの研究

(2) 小野グループ

- 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) 近藤グループ

- 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
 - ・開放系(ノイズにさらされた量子センサのモデル)のダイナミクスの研究とノイズ抑制法の開発
 - ・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
 - ・量子センサと量子通信の複合プロトコルの提案

【代表的な原著論文情報】

- 1) “Detection of arsenic donor electrons using gate-pulse-induced spin-dependent recombination in silicon transistors”, Appl. Phys. Lett. vol. 118, pp. 263504, 2021.
- 2) “Heisenberg-Limited Quantum Metrology Using Collective Dephasing”, Phys. Rev. Appl. vol. 16, pp. 064026, 2021.
- 3) “Polarizing electron spins with a superconducting flux qubit”, Phys. Rev. A vol. 105, pp. 012613, 2021.
- 4) “Quantum remote sensing under the effect of dephasing”, Phys. Rev. A vol. 104, pp. 062610, 2021.