

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

本研究では、超伝導量子回路を用いた超高感度・高空間分解能な量子センサの実現を目指し研究を進めている。NTT では、超伝導回路を磁化検出器として使い、局所電子スピン共鳴(ESR)の測定を行っている。昨年度は、超伝導磁束量子ビットを用いて1秒間に 400 個の電子スピンを検出可能な感度を実現し、2017 年の研究課題開始当初と比較して約 4 桁の感度向上に成功した。今年度は更なる感度向上に向け、超伝導磁束量子ビットのコヒーレンス時間改善を目指した。容量シャント型磁束量子ビットをノイズ環境のクリーンな 3 次元共振器に設置することで、エネルギー緩和時間 $90 \mu\text{s}$ 、エコーパルスを用いた位相緩和時間 $130 \mu\text{s}$ を達成した(図 1)¹⁾。これらの値は、現在報告されている容量シャント型の磁束量子ビットの中で最高値である。

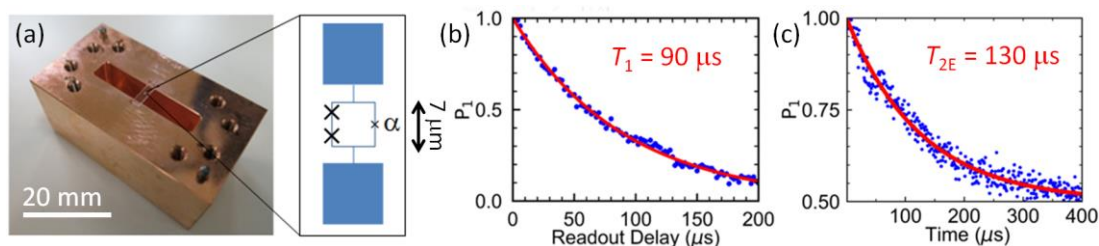


図 1(a) 容量シャント型磁束量子を設置した 3 次元共振器 (b) エネルギー緩和測定結果 (c) 位相緩和測定結果

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 高感度観測を目指して研究を行っている。昨年度、EDMR の低温計測におけるノイズ低減を実現したことを受け、今年度は Si-MOS トランジスタ界面欠陥の EDMR 観測を行い、MOS 界面再結合過程に関与する欠陥種を初めて同定することに成功した(図 2)²⁾。また、信号強度の温度依存性等を調べることで、再結合過程が 2 電子過程であること等、その詳細なメカニズムを明らかにした。

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の一つである緩和現象を抑制する方法を探るために、緩和現象の理解を深める研究を行っている。NMR 技術を用いて外界と相互作用する系（開放系＝緩和をおこす系）のモデルを作り、その系のダイナミクスを理論的・実験的に研究した³⁾。その上で、エンタングルしたセンサをノイズ環境下で使用方法の検証をおこなった（図 3）。今後の研究計画にも関係するが、複合パルスの NMR 装置への有用性を検証した。高分解能 NMR 装置は世界中で創薬や材料開発の分野で広く活用されている。ハード改造のコストなしにソフト的にパルス列を工夫するだけで、高分解能 NMR 装置の性能の向上を図ることができる本研究の成果は大きな社会的なインパクトがあると期待される。

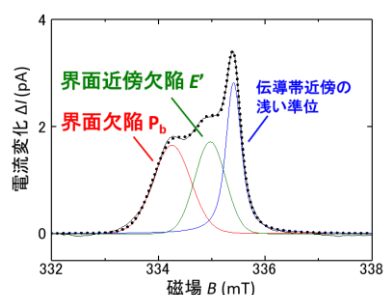


図 2 Si-MOS トランジスタにおける再結合過程で観測される界面欠陥 (P_b センターと E' センター) による EDMR 信号

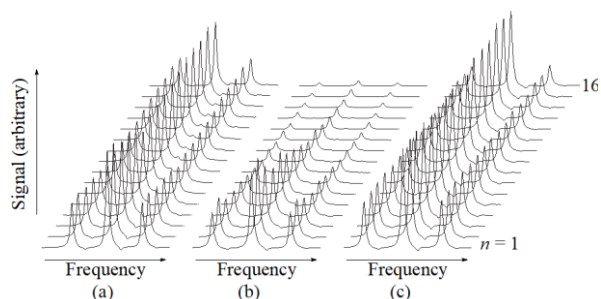


図 3(a) ノイズがない環境でのエンタングルしたセンサの信号の振る舞い、(b)ノイズがあると緩和するが、(c)バンバン制御によって、緩和を抑制できる。

【代表的な原著論文】

1. Leonid Abdurakhimov, Imran Mahboob, Hiraku Toida, Kosuke Kakuyanagi, and Shiro Saito, “A long-lived capacitively shunted flux qubit embedded in a 3D cavity”, Appl. Phys. Lett. Vol. 115, 262601, 2019.
2. Masahiro Hori and Yukinori Ono, “Charge pumping under spin resonance in Si(100) metal-oxide-semiconductor transistors”, Phys. Rev. Applied, Vol. 11, 064064, 2019.
3. Le Bin Ho, Yuichiro Matsuzaki, Masayuki Matsuzaki, Yasushi Kondo, “Realization of controllable open system with NMR”, New J. Phys. Vol. 21, 9, 093008, 2019.

§ 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

(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について