

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 |
|-----------------|

仙場 浩一

情報通信研究機構
上席研究員

超伝導量子メタマテリアルの創成と制御

§ 1. 研究成果の概要

今期は、本研究課題の遂行に重要な技術や理論に顕著な進展があった。

- ① 量子極限増幅変調技術:ポンプ-プローブ分光法を用いて超(深)強結合系でのコヒーレンス時間測定から結合強度とコヒーレンス時間の相関を明らかにした。
- ② 高コヒーレンス窒化物超伝導薄膜技術:Si 基板上に直径 0.27 ミクロンまでの微小 NbN/AlN/NbN エピタキシャル接合作製技術の開発に成功した。
- ③ π 接合を含む超伝導量子融合素子:磁性ジョセフソン接合を用いた π 位相シフターの開発に成功した。この技術を用いて共振器と強結合した 0-接合, π -接合全窒化物 flux-qubit を Si 基板上に実現し qubit と強結合した共振回路を介した分散測定に成功した。
- ④ 深強結合回路 QED 技術:磁束量子ビット共振回路結合系の正準ハミルトニアンを導出し, 2準位近似された Rabi ハミルトニアンとの対応関係を明らかにした。
- ⑤ 超伝導量子メタマテリアルの量子光学応答理論:回路 QED 系の深強結合領域では, 低エネルギーハミルトニアンやエネルギー固有状態のゲージ対称性が破れており, 系の安定性や光学応答が, 環境や導波路との結合様式(容量的/誘導的)に強く依存する。その結果, パリティ由来の禁制遷移と異なる, 結合様式に依存する新たな禁制遷移を発見した。導波路と強く結合した振動子の量子的光学応答について, 全系を厳密対角化する手法(ファノ対角化)を用いて解析した。その結果, 従来は完全な等速円運動であると思われてきた複素振幅の位相空間上での運動が, 反回転項を介した駆動のために一般には楕円運動となり, 特に超強結合領域では離心率の大きな楕円形となることを発見した。本研究結果は, 非常に緩和の強い状況下での量子開放系理論の開拓に有用である。

§ 2. 研究実施体制

(1) NICT グループ

研究代表者:仙場浩一(情報通信研究機構未来 ICT 研究所 上席研究員/大阪大学大学院基礎工学研究科 招へい教授/大阪大学先導的学際研究機構量子情報量子生命研究部門 招へい教授兼任)

研究項目:超伝導量子メタマテリアルの創成とそのコヒーレント制御を目的とした

- ①量子極限増幅変調技術の研究
- ②高コヒーレンス窒化物超伝導薄膜技術の開発
- ③ π 接合を含む超伝導量子融合素子の開発
- ④深強結合回路 QED 技術の研究

(2) 東京医科歯科大グループ

主たる共同研究者:越野和樹(東京医科歯科大学教養部 准教授)

研究項目

⑤ 超伝導量子メタマテリアルの量子光学応答理論

【代表的な原著論文情報】

- 1) Wei Qiu and Hiroataka Terai, ‘Fabrication of deep-sub-micrometer NbN/AlN/NbN epitaxial junctions on a Si-substrate’, Appl. Phys. Express 13 126501 (2020).
- 2) Taro Yamashita, Sunmi Kim, Haruki Kato, Wei Qiu, Kouichi Semba, Akira Fujimaki & Hiroataka Terai, ‘ π phase shifter based on NbN-based ferromagnetic Josephson junction on a silicon substrate’, Scientific Reports volume 10, 13687 (2020).
- 3) Kazuki Koshino, ‘Elliptical rotation of a bosonic oscillator in ultrastrong waveguide QED’, Phys. Rev. Research 3, 023060 (2021).