

2023 年度
創発的研究支援事業 年次報告書

研究担当者	川上恵里加
研究機関名	理化学研究所
所属部署名	開拓研究本部・量子コンピュータ研究センター
役職名	理研白眉研究チームリーダー
研究課題名	ヘリウム表面上の電子を用いた量子ビットの実現
研究実施期間	2023 年 4 月 1 日～2024 年 3 月 31 日

研究成果の概要

- 液体ヘリウム表面上の電子のスピン状態を使用して、誤り耐性のある量子コンピュータを構築する方法を提案する論文が出版された[Erika Kawakami, Jiabao Chen, Monica Benito, and Denis Konstantinov, Phys. Rev. Appl. 20, 054022 (2023).]. 局所的な磁場勾配を生成するために強磁性体で出来た円柱電極を作成し、その上に単一電子を捕獲する。局所的な磁場勾配を導入すると、電荷とスピンの状態がに相互作用が生じ、スピン状態の長いコヒーレンス時間と、電荷状態に影響を与える長距離クーロン相互作用の両方の長所を利用することができるようになる。量子ビットゲートおよび量子非破壊測定を実現する具体的な方法を提示する。我々が提案する方法では、高速な量子ビットゲートを実行でき、スピン状態のコヒーレンス時間を著しく低下させないため、高い忠実度の量子ビットゲートの実現が可能である。
- 液体ヘリウムや固体ネオンの表面上で真空中に浮揚する電子を量子ビットとして用いる可能性と課題についてまとめ、論文として出版された[Asher Jennings, Xianjing Zhou, Ivan Grytsenko, Erika Kawakami, Appl. Phys. Lett. 124, 120501 (2024).]. スピン状態を量子ビット状態として使用することに焦点を当てる。浮揚電子の電荷状態を LC 共振器に結合し、スピン-電荷結合を介してスピン状態の制御と読み出しを実現することについて検討する。固体ネオン上のスピン状態を測定するための新しい方法についても提案した。
- 円盤電極でキャパシタンスを作り、その間に液体ヘリウムを導入し、その表面に 10 の 7 乗個の電子を捕獲した。共鳴マイクロ波を印加することにより、リュードベリ基底状態から第一励起状態に励起せ、前述のキャパシタンスにインダクタンスを接続して作った LC 共振回路からの反射信号を測定し、多数の電子のリュードベリ状態の遷移を検出した。さらに、LC 共振回路のインダクタを超伝導素材で作成したマイクロインダクタに置き換え、Q 値 300 程度を達成した。この改善により、単一電子のリュードベリ状態の遷移を検出できることを見積もった。