2025 年度年次報告書

先端国際共同研究推進事業
【2025 年度採択　次世代のための ASPIRE　量子分野】

【研究課題名】
固体ネオン上の浮揚電子を用いたスピン量子ビットの実現

研究代表者：
川上 恵里加　(理化学研究所 量子コンピュータ研究センター 理研白眉研究チームリーダー)

相手側研究代表者：
モニカ ベニート　(アウクスブルク大学 物理学研究所 教授)
ダフェイ ジン　(ノートルダム大学 物理天文学部 准教授)
シャンジン ジョウ　(フロリダ州立大学 機械宇宙工学科 助教)

1. 研究進捗状況と成果

① 研究構想

＜進捗状況＞

電荷量子ビットの実験結果の検討を行い、各電極との結合強度から電子の位置を解析した。実験面では、表面が平坦なネオン薄膜を形成するため、He^3冷凍機内において凝華法による成膜を実施するための装置開発を行った。具体的には、ネオンガス導入用のキャピラリーライン内に高抵抗導線を用いたヒーターを設置した。さらに、ネオン膜厚の正確な測定のため水晶振動子マイクロバランス法（QCM）を導入し、超伝導共振器と水晶振動子を同一セットアップ上に配置した測定系を構築した。

また、希釈冷凍機内で磁場印加が可能となるよう、測定系のセットアップを行った。

＜成果＞

解析の結果、電子の位置を特定し、現在の電子配置においてもスピン状態の読み出し・操作が十分可能であると考えられ、ゲート忠実度も高い値が期待されることを見積もった。

また、凝華法によるネオン成膜に成功し、水晶振動子マイクロバランスによりネオンの堆積（凝華）を検出することができた。なお、膜厚や成膜均一性に関する詳細な解析は今後の課題である。

② 国際頭脳循環の促進

＜進捗状況＞

日本側研究代表者 川上 恵里加および理研研究員 Jun Wang は、2026 年 3 月 16 日～3 月 20 日に米国デンバーで開催された APS Global Summit（the annual meeting of the American Physical Society）に参加し、口頭発表を行い研究の進捗を共有した。また、Washington University in St. Louis（米国）および University of New South Wales（オーストラリア）の研究者と、ネオン表面上の電子に関する実験技術および将来性について意見交換を行った。

3 月 21 日～3 月 25 日に日本側研究代表者 川上 恵里加と理研研究員 Jun Wang は、アメリカ South bend にある University of Notre dame の相手側研究代表者 Dafei Jin 教授の研究室を訪問し、と実験の議論や人材派遣に関する議論を進めた。

＜成果＞

米国で開催された APS Global Summit への参加を通じて、ネオン表面上電子に関する国際コミュニティと広く意見交換を行い、各国における最新の研究動向を把握した。

University of Notre Dame への訪問では、今後理研への派遣を予定している学生と直接面談し、研究内容や受入計画について具体的な議論を行った。あわせて、ネオン表面の平坦性向上に向けた成膜手法（neon deposition）に関する技術的議論を行い、日本側で進めている電荷量子ビットの実験結果についても共有し、今後の共同研究の方向性について理解を深めた。さらに、理研への派遣予定学生と対面で議論を行うことで、研究テーマのすり合わせや今後の研究計画について具体的なイメージを共有することができ、人材交流の実効性を高める上で有意義な機会となった。

2. 代表的な成果事例

1. **Tian, Y., Grytsenko, I., Jennings, A., Wang, J., Ikegami, H., Zhou, X., Tamate, S., Terai, H., Kutsuma, H., Jin, D., Benito, M., Kawakami, E.,**
Nb-Ti-N nanowire resonators and prospects for spin-photon coupling with electrons on solid neon. *Phys. Rev. Applied*, **25**, 024011 (2026).

概要：
本論文では、将来的な固体ネオン上電子を用いたスピン量子ビットの実現に向けて、超伝導共振器と組み合わせた系の実現可能性を検証した。NbTiN ナノワイヤ共振器は、ネオン堆積および電子導入後も約10^5の高い品質係数を維持できることを実証し、本プラットフォームへの適用性を示した。さらに、マイクロマグネット設計および結合手法を理論的に検討し、スピン–光子結合実現に向けた指針を提示した。その結果、電荷スイートスポットにおいて、単一量子ビットで 99.99%以上、2 量子ビットで 99.9%の高忠実度ゲートが達成可能であることを示した。

ASPIRE 共同研究という枠組みでは、日本側が実験・解析を担当し、Mónica Benito（アウクスブルク大学）がスピン量子ビットゲートの忠実度評価を担当し、Dafei Jin（ノートルダム大学）および Xianjing Zhou（フロリダ州立大学）がネオン薄膜形成と電子導入に関する技術的支援を担っている。

2. Hochan Chung (理化学研究所 研修生・東京理科大学 学部生)
第 2 回 量子技術異分野交流会議 ベストポスター賞
「極低温浮揚電子による量子メモリ創生への礎」

3. Hochan Chung (理化学研究所 研修生・東京理科大学 学部生)
2025 年度 東京理科大学 理学部第一部物理学科 卒業研究発表会 優秀卒研発表賞
「水晶振動子マイクロバランスを用いた固体ネオン薄膜のナノスケール評価」

4. 川上 恵里加
応用物理学会 2025 年度 女性研究者奨励賞（D&I 賞）
「浮揚電子を用いた量子情報処理基盤の研究」