

情報担体を活用した集積デバイス・システム
2020年度採択研究代表者

2022年度
年次報告書

齊藤 英治

東京大学 大学院工学系研究科
教授

非古典スピン集積システム

主たる共同研究者:

石田 真彦 (日本電気(株) セキュアシステムプラットフォーム研究所 主幹研究員)

齊藤 英治 (東北大学 材料科学高等研究所 客員/委嘱教授)

鈴木 義茂 (大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授)

ペパー フェルディナンド (情報通信研究機構 未来 ICT 研究所脳情報通信融合研究センター 企画室 嘱託)

研究成果の概要

マグノンのパラメトリック励起による磁性体ドットを用いた演算素子開拓では、アニーリング計算に十分な 10^2 オーダーの集積磁性体ドットの試料作成を実現した。この磁性体ドットについて、ドットの発振状態の制御を補助マイクロ波によって効果的に実行できることを実証し、これらの集積パラメトロンシステムにより最適化問題の求解が可能なアルゴリズムの実行方法と、その原理検証の数値計算までを実行した。並行してパラメトリック励起された磁性体ドット中の磁化ダイナミクスを直接実空間・時間分解で観測することに成功し、次年度以降に行う詳細なデバイス設計に至る道筋が示された。さらに、状態トモグラフィ法を時間領域へと拡張することで、パラメトリック発振過程の過渡状態の観測に世界で初めて成功した。パラメトリック励起が発達して熱平衡状態から発振状態に至るまでに磁化ダイナミクスの非線形性に起因するゆらぎの相関が形成されていることが明らかになり、アニーリング動作原理の理論構築に大きく寄与する結果が得られた。

スカーミオンを用いたブラウニアン回路素子の開発では、異方性を電場に依存して変化させる電場効果を用いてスカーミオンの運動方向を制御する技術が確立し、スカーミオン集積デバイスの実現のための大きな技術的障壁が解消されたことで、スカーミオン集積回路の集積デモンストレーションが実現し、2,000 を超すスカーミオンが集積した回路構造の作製に成功した。この集積デバイスで実行する計算についても、スカーミオンがブラウン運動する条件をゲートで制約することで実現するブラウニアン回路では、複数のスカーミオンにより情報を表現することで連続量の表現を可能とした。これは連続量で表現されるニューラルネットワークの重み学習がブラウニアン回路で実現可能になることを意味し、実際に数値計算によりその機能を検証することができた。

【代表的な原著論文情報】

- 1)“Real-space observation of standing spin-wave modes in a magnetic disk”, Tomosato Hioki, Tomonao Araki, Kosuke Umemura, Koujiro Hoshi, Eiji Saitoh, Applied Physics Letters, **121**, 132402 (2022). (査読有) **(Editor’s Pick)**
- 2)“Magnetization State Tomography”, Tomosato Hioki, Hiroki Shimizu, Takahiko Makiuchi, and Eiji Saitoh, Physical Review B **104**, L100419 (2021). (査読有)
- 3)“Switching of magnon parametric oscillation by magnetic field direction”, Sohei Horibe, Hiroki Shimizu, Koujiro Hoshi, Takahiko Makiuchi, Tomosato Hioki, Eiji Saitoh, arXiv:arXiv:2305.12787, 2023.
- 4) “Stochastic dynamics of a metal magnon parametron”, Tomosato Hioki and Eiji Saitoh, Journal of Applied Physics, **132**, 203901 (2022). **(Featured Article)**
- 5)“Spin motive force induced by parametric excitation”, Koujiro Hoshi, Tomosato Hioki, and Eiji Saitoh, Applied Physics Letters, **121**, 212404 (2022)
- 6)“Computation time and thermodynamic uncertainty relation of Brownian circuits”, Y.Utsumi, Y.Ito, D.Golubev, F. Peper, arXiv:2205.10735, 2022.