

トポロジカル材料科学に基づく革新的機能を
有する材料・デバイスの創出
2020年度採択研究代表者

2022年度
年次報告書

江澤 雅彦

東京大学 大学院工学系研究科
講師

電気回路によるトポロジカル量子計算方法の創生

主たる共同研究者:

川村 稔 (理化学研究所 創発物性科学研究センター 専任研究員)

齊藤 英治 (東京大学 大学院工学系研究科 教授)

三田 吉郎 (東京大学 大学院工学系研究科(工学部) 教授)

研究成果の概要

[1] 座屈した平板 MEMS (Micro-Electro-Mechanical System)を用いたイジング型メモリーとアニーリング・マシンの理論提案した。この提案では左右の双安定な状態をイジング型自由度として用いる。電圧をかける事により、自然にアニーリングが行われる。これは量子アニーリング・マシンが低温と磁場必要な事に対し、本提案では室温で磁場無しに動作するのがメリットである。

[2] 座屈した平板 NEMS を用いた量子ビットとユニバーサル量子計算方法を提案した。左右の双安定な状態を量子ビットの 0 と 1 に割り当て、電圧と平板に加える圧力を時間制御する事で、ユニバーサル量子計算に必要な Pauli X ゲート、Pauli Z ゲート、イジングゲートを構成できる事を、シュレディンガー方程式を解く事によって導いた。

[3] カーボン・ナノチューブに金属板を張り付けて電圧制御する事で量子ビットを作製し、ユニバーサル量子計算が実行可能である事を示した。Mathieu 方程式の拡張である Whittaker-Hill 方程式を数値解析する事により、ユニバーサル量子計算に必要な Pauli X ゲート、Pauli Z ゲート、イジングゲートを構成できる事を、シュレディンガー方程式を解く事によって導いた。

[4] マヨラナ粒子をエッジ状態として持つ最も基本的なモデルであるキタエフ・トポロジカル超伝導体モデルを集積回路で実装し、エッジ状態をインピーダンス共鳴により観測した。また、トポロジカル相とトリビアル相を切り替えるスイッチを回路に組み込むことによりマヨラナ状態の位置を制御できる事を示した。更にトポロジカル集積回路科学という概念を提出した。

[5] フラストレート磁性体中の Skyrmion のヘリシティの右回りと左回りを量子ビットの 0 と 1 に対応させることで、ナノサイズの Skyrmion を量子ビットとして用いる事が可能であり、ユニバーサル量子計算を実行できる事を示した。

[6] 磁性円盤中に存在する Meron と呼ばれる Skyrmion 数が 1/2 の値に量子化するトポロジカル・ソリトン量子ビットとして用いる事ができる事を示した。Dzyaloshinskii-Moriya 相互作用がある場合には渦のコアスピンの上下と円盤の端の巻き付き方が関連している。そこで、コアスピンの上下を量子ビットの 0 と 1 に割り当てる。磁場やスピン流でユニバーサル量子計算に必要な量子ゲートを全て作成できる事を示した。

【代表的な原著論文情報】

1) Motohiko Ezawa, Eric Lebrasseur and Yoshio Mita, *Nonvolatile bistable memory and Ising machine based on Micro-Electro-Mechanical Systems*,

J. Phys. Soc. Jpn. 91, 114601 (2022).

2) Motohiko Ezawa, Shun Yasunaga, Akio Higo, Tetsuya Iizuka, Yoshio Mita, *Universal quantum computation based on Nano-Electro-Mechanical Systems*,

Physical Review Research 5 (2), 023130 (2023).

3) Motohiko Ezawa, Shun Yasunaga, Tetsuya Iizuka, Akio Higo, Yoshio Mita, *Universal quantum computer based on Carbon Nanotube Rotators*,

Japanese Journal of Applied Physics, 62, SG0806 (2023).

4) Tetsuya Iizuka, Haochen Yuan, Yoshio Mita, Akio Higo, Shun Yasunaga, Motohiko Ezawa,

Experimental demonstration of position-controllable topological interface states in high-frequency

topological integrated circuits,

arXiv:2301.02438

5) Jing Xia, Xichao Zhang, Xiaoxi Liu, Yan Zhou, Motohiko Ezawa, *Universal quantum computation based on nanoscale skyrmion helicity qubits in frustrated magnets,* Phys. Rev. Lett. 130, 106701 (2023).

6) Jing Xia, Xichao Zhang, Xiaoxi Liu, Yan Zhou, Motohiko Ezawa, *Qubits based on merons in magnetic nanodisks,* Communications Materials 3, 88 (2022).