

2024 年度年次報告書

未踏探索空間における革新的物質の開発

2022 年度採択研究代表者

田畑 仁

東京大学 大学院工学系研究科
教授

環境ゆらぎ援用革新的機能を有する酸化物材料の創製

主たる共同研究者:

小口 多美夫 (大阪大学 大学院基礎工学研究科 特任教授)

川山 巖 (京都大学 大学院エネルギー科学研究科 准教授)

関 宗俊 (東京大学 大学院工学系研究科 准教授)

研究成果の概要

未踏の探索空間としてナノ空間傾斜格子歪場(空間反転対称性破れ)を活用することで、結晶場/点群制約を超えて新規物性 (Flexoelectricity: 堯電性)を創発し、電気とスピン両双極子共存を目指している。さらに磁性体におけるスピゆらぎの制御により、室温以上でのスピングラスを実現し、堯電性と組み合わせることで低エネルギー動作可能な脳機能模倣型情報処理素子を実現する
(設計・計算 G)

チーム内連携で逆スピネル構造を有する MgFe_2O_4 に対して、多階層連結シミュレーションによりスピン凍結温度の配置依存性を評価し、四面体配位への Mg 部分占有によるスピン凍結温度低下を明らかにした。また正弦波状の変位構造を有するスーパーセルを仮定した傾斜格子歪のモデルを構築し、変位による電気分極の空間変化を計算することでフレクソエレクトリシティ係数を予測できる手法を開発し、最初の例としてペロブスカイト系に適用した。

(実証 G: 新規材料創製)

圧縮及び引張歪みを受けた希土類鉄ガーネット薄膜(フレクソエレクトリシティ系)において、臨界膜厚付近で空間反転対称性が低下し、軌道磁気モーメントの増大を明らかにした。また引張歪み系では約 3%の大きな格子不整合存在下でも格子緩和せず転位発生が抑制され、高効率なスピン波伝搬を維持していた。マグノニックデバイス応用への発展が期待される。

(評価 G)

広帯域テラヘルツ分光法により、GGG、YIG、SGGG の各種ガーネットの光学フォノン分散の温度依存性を測定し、設計・計算 G の理論計算と比較することにより、陽イオン置換や温度変化による共鳴周波数シフトに関する因子の寄与を分離し定量的に分析することに成功した。また、Si 基板上に作製された $(\text{Hf}, \text{Zr})\text{O}_2$ 薄膜により誘起された Si 表面ポテンシャルの変化を、独自に開発したテラヘルツ放射分光法により非接触かつ定量的に見積もることに成功した。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Tamio Oguchi, “Crystal structure map for materials classification and modeling”, Sci. Technol. Adv. Mater.: Methods 4, 2355860(1-16), (2024), DOI: 10.1080/27660400.2024.2355860
- 2) EMK Ikball Ahamed, Hiroyasu Yamahara, Md Shamim Sarker, Haining Li, Kazuo Morikawa, Kohei Yamagami, Masaki Kobayashi, Munetoshi Seki, and Hitoshi Tabata, “Strain-Induced Reduction of Centrosymmetry in Rare-Earth Iron Garnet Thin Films”, Adv. Elec. Mater. 2400735, (2025), DOI: 10.1002/aelm.202400735
- 3) EMK Ikball Ahamed, Md Shamim Sarker, Hiroyasu Yamahara, Siyi Tang, Kazuo Morikawa, Munetoshi Seki, Hitoshi Tabata, “Spin wave perturbation in rare-earth iron garnet thin films with epitaxial strain relaxation”, APL Mater., 13, 041114, (2025), DOI:10.1063/5.0257413
- 4) Haining Li, Takeshi Kijima, Hiroyasu Yamahara, Hitoshi Tabata, and Munetoshi Seki, “Epitaxial Single-Crystalline PZT Thin Films on ZrO_2 -Buffered Si Wafers Fabricated Using Spin-Coating for Mass-Produced Memristor Devices,” Adv. Elec. Mater. 11, 2400280(1-11) (2024), DOI: 10.1002/aelm.202400280

- 5) Siyi Tang, Lihao Yao, Md Shamim Sarker, Zhiqiang Liao, Kaijie Ma, Hiroyasu Yamahara, Hitoshi Tabata, and Munetoshi Seki, “High-speed and long-distance spin-wave propagation in spinel γ -Fe₂O₃ epitaxial thin films”, Adv. Phys. Res. 3, 2400066 (1-11) (2024) DOI: 10.1002/apxr.202400066
- 6) Ke Wang, Shin-ichi Kimura, Kunihiro Yamauchi, Hiroyasu Yamahara, Hironaru Murakami, Munetoshi Seki, Tamio Oguchi, Hitoshi Tabata, Masayoshi Tonouchi, “Temperature dependence of low-frequency phonon behavior in gadolinium gallium garnet and yttrium aluminum garnet”, J. Appl. Phys., 136(24), 245105 (2024), DOI:10.1063/5.0242789