

実験と理論・計算・データ科学を融合した材料開発の革新  
2018 年度採択研究代表者

2021 年度 年次報告書
------------------

谷山 智康

名古屋大学 大学院理学研究科  
教授

界面マルチフェロイク材料の創製

## § 1. 研究成果の概要

本研究では、巨大な磁気-電気結合効果を有する界面マルチフェロイク材料の開発と探索手法の構築、さらにはその応用展開を目的としている。本年度は、①種々の強磁性合金、強磁性酸化物からなる界面マルチフェロイク構造における磁気-電気結合定数の算出、②第一原理計算に基づく異種原子層挿入の磁気-電気結合効果への影響と磁気異方性変調効果の起源の解明、③スピン波、強磁性共鳴の電界制御、④界面化学結合変調の電界誘導効果について研究を実施した。

谷山グループでは、強磁性合金、強磁性酸化物と強誘電体とからなる界面マルチフェロイク構造をエピタキシャル成長し、電界による磁気特性の変調効果について調査した。その結果、電界の極性に対して非対称な磁気-電気結合効果を見出し、さらに電界に伴う飽和磁化の変調効果を見出すことに成功した。また、スピン波伝播の電界制御にも成功している。

浜屋グループでは、強磁性 Heusler 合金と強誘電体とからなる界面マルチフェロイク構造を高品質形成し、 $10^{-5}$  s/m を上回る磁気-電気結合定数を実証することに成功した。

さらに木村グループでは、強磁性合金と強誘電体とからなる界面マルチフェロイク構造に対して強磁性共鳴の電界制御に成功し、マルチフェロイク界面において電界により誘導される化学結合の変調効果を見出した。

一方、合田グループでは、計算科学の手法に基づき、強磁性 Heusler 合金と強誘電体との接合界面に単原子層を挿入した際の界面磁気-電気結合のメカニズムを解明するとともに、実験グループにより実証された強磁性 Heusler 合金と強誘電体との界面における巨大磁気-電気結合定数の起源を第一原理計算により明らかにした。

以上、巨大な磁気-電気結合定数を持つ界面マルチフェロイク構造が実証され、また、界面マルチフェロイク材料のスピン波技術等への応用展開の指針が示された。

## § 2. 研究実施体制

### (1) 谷山グループ

- ① 研究代表者: 谷山 智康 (名古屋大学 大学院理学研究科 教授)
- ② 研究項目
  - ・ 強磁性酸化物からなる界面マルチフェロイク材料の磁気-電気結合の評価
  - ・ 界面マルチフェロイク材料におけるスピン波の電界制御

### (2) 合田グループ

- ① 主たる共同研究者: 合田 義弘 (東京工業大学 物質理工学院 准教授)
- ② 研究項目
  - ・ マルチフェロイク界面における磁気-電気結合の異種原子層挿入効果の起源解明
  - ・ 界面マルチフェロイク材料における磁気異方性変調効果の起源解明

### (3) 浜屋グループ

- ① 主たる共同研究者: 浜屋 宏平 (大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授)
- ② 研究項目
  - ・ 強磁性 Heusler 合金からなる界面マルチフェロイク材料の高品質形成
  - ・ 界面マルチフェロイク材料の磁気-電気結合定数の定量化

### (4) 木村グループ

- ① 主たる共同研究者: 木村 崇 (九州大学 大学院理学研究院 教授)
- ② 研究項目
  - ・ 界面マルチフェロイク材料における強磁性共鳴の電界制御
  - ・ マルチフェロイク界面における化学結合の電界変調効果の評価

### 【代表的な原著論文情報】

- 1) H. Qin, R. Dreyer, G. Woltersdorf, T. Taniyama, and S. van Dijken, “Electric-field control of propagating spin waves by ferroelectric domain-wall motion in a multiferroic heterostructure”, *Advanced Materials*, vol. 33, No. 27, pp. 2100646, 2021
- 2) W. Zhu, H. Qin, L. Flajšman, T. Taniyama, and S. van Dijken, “Zero-field routing of spin waves in a multiferroic heterostructure”, *Applied Physics Letters*, vol. 120, No. 11, pp. 112407, 2022
- 3) R. Costa-Amaral and Y. Gohda, “Role of ferroelectricity, delocalization, and occupancy of d states in the electrical control of interface-induced magnetization”, *Physical Review Applied*, vol. 15, No. 6, pp. 064014, 2021
- 4) S. Fujii, T. Usami, Y. Shiratsuchi, A. M. Kerrigan, A. M. Yatmeidhy, S. Yamada, T.

Kanashima, R. Nakatani, V. K. Lazarov, T. Oguchi, Y. Gohda, and K. Hamaya, “Giant converse magnetoelectric effect in a multiferroic heterostructure with polycrystalline  $\text{Co}_2\text{FeSi}$ ”, NPG Asia Materials, vol. 14, No. 1, pp. 43, 2022

- 5) T. Usami, S. Fujii, S. Yamada, Y. Shiratsuchi, T. Kanashima, R. Nakatani, and K. Hamaya “Converse magnetoelectric effect in epitaxial  $\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$  multiferroic heterostructures”, IEEE Transactions on Magnetics, in press, 2022