

## 自己評価報告書

平成 23 年 4 月 26 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究（S）

研究期間：2008～2012

課題番号：20674005

研究課題名（和文）磁性と誘電性の相関に関する研究

研究課題名（英文） Correlation between magnetic and dielectric properties

研究代表者

木村 剛（KIMURA TSUYOSHI）

大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授

研究者番号：80323525

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性 II

キーワード：マルチフェロイクス、電気磁気効果、遷移金属酸化物

## 1. 研究計画の概要

本研究では、「電場による磁性の制御」や「磁場による誘電性の制御」を可能とする電気磁気効果をはじめとする物質の「磁性」と「誘電性」の相関現象に着目し、これまで個々に独立の固体物性として研究されてきた磁性と誘電性の相関を普遍的なものとする新しい学問分野の創出および確立を目指します。

## 2. 研究の進捗状況

(1) 磁気秩序誘起の強誘電性を示すマルチフェロイックな三角格子反強磁性体  $\text{CuCrO}_2$  における様々な巨視的（磁化、比熱、誘電性、マクロ歪みなど）および微視的（中性子線回折、放射光 X 線回折）な物性さらにそれらの相関を詳細に調べることにより、同物質におけるスピン-カイラルな強誘電ドメイン構造の理解およびその電場・磁場制御を実現した。

(2) 従来の物質では観測されることのなかった電気分極反転の電場と磁場の両者による詳細な制御が  $\text{CuCrO}_2$  においては可能であることを実証した。これらの結果により、電気磁気結合を利用したフラストレート磁性体におけるスピнкаイラルリティなど特異な物理量の検出および制御の可能性を提示することができた。

(3) ヤーン-テラー転移に伴う誘電異常、さらにはヤーン-テラー転移の磁場効果に関連した顕著な磁気誘電効果が観測されている rare-earth zircon  $\text{DyVO}_4$  の低温及び磁場下での構造変化の様子を磁場中放射光 X 線回折実験によって詳細に調べた。その結果、強四極子秩序に誘起される反強誘電的な歪みの存在を明らかにした。

(4) Z 型六方晶フェライト  $\text{Sr}_3\text{Co}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$  が、室温領域かつ数百ガウスという弱い磁場の印加で顕著な電気磁気効果を示すことを発見した。本成果によって、室温において弱磁場で動作する電気磁気効果が実現され、同効果を利用したメモリ素子などの電子デバイスへの応用に向けた研究・開発が加速することが期待される。

(5)  $\text{KTaO}_3$  電界効果トランジスタを作成し、酸化物表面・界面における電界印加による電気磁気物性制御を試みた。その結果、5d 遷移金属である Ta における強いスピン軌道相互作用に起因して、 $\text{KTaO}_3$  界面に誘起した伝導電子のスピン際差運動がゲート電場によって変調されることを示唆する反局在現象を観測することに成功した。

## 3. 現在までの達成度

おおむね順調に進展している。

(理由)

本研究では、「電場による磁性の制御」や「磁場による誘電性の制御」を可能とする電気磁気効果をはじめとする物質の「磁性」と「誘電性」の相関現象に着目し、これまで個々に独立の固体物性として研究されてきた磁性と誘電性の相関を普遍的なものとする新しい学問分野の創出および確立を目指したものである。下記の示す幾つかの重要な進展があり、研究は概ね予定どおりに展開している。

(1) 本研究分野で多くの研究者が目指していた「室温かつ弱磁場での電気磁気効果」を Z 型六方晶フェライト  $\text{Sr}_3\text{Co}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$  において初めて実現し、その成果は Nature Materials 誌および Physical Review Letters 誌に発表

した。室温かつ弱磁場動作の電気磁気効果の発見は、応用を視野に入れたマルチフェロイクス研究のさらなる展開の引き金となるであろう注目すべき研究成果である。

(2)磁気秩序誘起の強誘電性を示すマルチフェロイックな三角格子反強磁性体  $\text{CuCrO}_2$  における様々な巨視的（磁化、比熱、誘電性、マクロ歪みなど）および微視的（中性子線回折、放射光X線回折）な物性さらにそれらの相関を詳細に調べることにより、同物質におけるスピン-カイラルな強誘電ドメイン構造の理解およびその電場・磁場制御を実現し、電気磁気結合を利用したフラストレート磁性体におけるスピнкаイラリティなど特異な物理量の検出および制御の可能性を提示することができた。

#### 4. 今後の研究の推進方策

(1)これまでの研究で、非マルチフェロイック物質である希土類金属 Mn 酸化物フェリ磁性体  $\text{SmMnO}_3$  において、磁化反転に伴う誘電異常現象を発見した。この誘電異常は  $\text{SmMnO}_3$  に含まれる Sm と Mn の2種類の磁気モーメントの結合状態および両者の磁場に対する配向が重要な要因であることが示唆される。そこで昨年度、観測された誘電磁気現象の起源の解明のため、SPring-8、BL39XUにて、硬X線による磁気円二色性(MCD)測定を行った。しかしながら、Mn-K吸収端、Sm- $L_{2,3}$ 吸収端のX線吸収MCDでは、各元素の磁性を担う3d(Mn)および4f(Sm)状態への遷移ではないため、各磁気モーメントの結合状態および磁場方向に対する配向を決定するには至らなかった。そこで本年度は、SPring-8、BL25SUにて3d(Mn)および4f(Sm)状態への遷移に対応するMn- $L_{2,3}$ 端、Sm- $M_{4,5}$ 端における軟X線吸収MCD測定を行うことにより、 $\text{SmMnO}_3$ におけるSmとMnの各磁気モーメントの結合状態および両者の磁場に対する配向を決定し、観測された誘電磁気現象の起源を解明することを目指す。また加えて、類似の磁気誘電効果の出現を他のフェリ磁性体においても観測されるかの検証を行っていく予定である。

(2)これまでの研究により、Z型六方晶フェライト  $\text{Sr}_3\text{Co}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$  が室温で電気磁気機能を有することが示された。しかしながら、現状では、単に粉末試料を焼結させたセラミックス試料の合成しか行われていない。そのためランダムな配向に起因した電気分極強度の低下および磁場応答性能の鈍化、粒界における電荷トラップに起因する印加電場に対する応答速度の遅さ、など実用化への障害は多く残されており、性能改善に向けた研究はこれからという段階である。今後、六方晶フェライトのさらなる高機能化を目指した物質開発をすすめる。

(3) $\text{KTaO}_3$  電界効果トランジスタで観測された  $\text{KTaO}_3$  界面に誘起した伝導電子のスピン際差運動がゲート電場によって変調されることを示唆する反局在現象に関して、さらに詳細を調べる。このため、まずトランジスタ動作の歩留まり上昇のための最適な電極材料を検証し、通常マルチフェロイクスとは異なる電界によるスピン制御を確立させる。

#### 5. 代表的な研究成果

〔雑誌論文〕(計15件)

M. Soda, T. Ishikura, H. Nakamura, Y. Wakabayashi, and T. Kimura, Magnetic Ordering in Relation to the Room-Temperature Magnetoelectric Effect of  $\text{Sr}_3\text{Co}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$ , Phys. Rev. Lett. 106, 087201-1-4 (2011). 査読有

Y. Kitagawa, Y. Hiraoka, T. Honda, T. Ishikura, H. Nakamura, and T. Kimura, Low-field magnetoelectric effect at room temperature, Nature Mater. 9, 797-802 (2010). 査読有

K. Kimura, H. Nakamura, S. Kimura, M. Hagiwara, and T. Kimura, Tuning ferroelectric polarization reversal by electric and magnetic fields in  $\text{CuCrO}_2$ , Phys. Rev. Lett. 103, 107201-1-4 (2009). 査読有

〔学会発表(招待講演)〕(計19件)

T. Kimura, "Magnetoelectric effects in Z-type hexaferrites", International Conference of Asian Union of Magnetism Societies. Jeju, Korea, Dec. 6, 2010.

T. Kimura, "Magnetic, magnetoelectric, and magnetostrictive properties of a multiferroic triangular lattice antiferromagnet  $\text{CuCrO}_2$ ", 7th Workshop on Orbital Physics and Novel Phenomena in Transition Metal Oxides. Berlin, Germany, Oct. 7, 2009.

T. Kimura, "Induced-multiferroics with high- $T_C$ ", MRS Fall Meeting 2008. Boston, USA, Dec. 1, 2008.

〔産業財産権〕

出願状況(計1件)

名称:「電気磁気効果材料及びその製造方法」

発明者:木村 剛ほか4名

権利者:国立大学法人大阪大学

種類:特許権

番号:特願 2010-138467

出願年月日:平成 22 年 6 月 17 日

国内外の別:国内

〔その他〕

ホームページ

<http://www.crystal.mp.es.osaka-u.ac.jp>