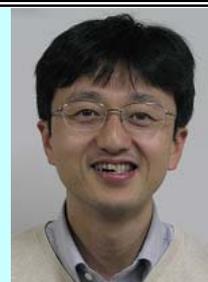


磁性と誘電性の相関に関する研究

Correlation between magnetic and dielectric properties

木村 剛 (KIMURA TSUYOSHI)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授



研究の概要

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。

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. 研究開始当初の背景

近年、磁性と強誘電性が共存する「マルチフェロイクス」と呼ばれる物質系を主な対象として、「磁場による電気分極の誘起」や「電場による磁化の誘起」といった従来あまり知られていない電気磁気応答の発現に向けた研究が試みられている。このような電気磁気応答は「電気磁気効果」と呼ばれていて、これを利用すれば電場(磁場)制御によって磁性(強誘電性)を制御させるといった、スピントロニクス研究で目指されている新たな電子デバイス原理の構築が期待できる。それゆえ、ここ数年の間にマルチフェロイクスの研究は国内外を問わず急速に注目を浴びつつある。

2. 研究の目的

これまで長年、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」を一つの土俵に上げ、両者の相関によって生み出される従来になかった物理現象の発見と現象の解明を主たる研究課題とする。具体的には、「両者の相関が強く働く新しい物質系の発見」、「両者の相関により生み出される新しい物理現象の発見」、「両者の相関を利用した諸物性測定のための新しいアプローチ法の確立」、さらに「観測される相関現象の解明」を目指す。

3. 研究の方法

(1) 新・高機能電気磁気応答を示すマルチフェロイクス探索

通常、電気磁気効果出現には磁気秩序が必要条件となるため、高い磁気秩序温度を有する磁性絶縁体が有望なマルチフェロイクス候補となる。そこで、この観点からフェライト(鉄酸化物)および低次元系銅酸化物の2種類の遷移金属酸化物に着目し、新・高機能電気磁気応答を示す物質探索を行う。

(2) 誘電特性を利用したフラストレート磁性研究

ノンコリニアな磁気構造を示すフラストレート磁性体において、磁性と誘電特性の相関が生じている可能性が考えられ、逆に誘電特性の詳細な測定を行うことにより、フラストレート磁性の性質に対する新たな知見が得られる可能性がある。そこで、 CuCrO_2 などの三角格子反強磁性体における誘電性の詳細を調べ、誘電特性を利用したフラストレート磁性の研究という新しい研究手法を確立する。

(3) 電場による磁性の制御

「マルチフェロイクスにおける磁気秩序相の電場による相制御」や「強磁性絶縁体における磁区構造の電場による制御および磁壁の運動の電氣的な検出」など、これまでスピントロニクスの研究分野で議論されている手法とは全く異なった2つのアプローチで、

「電場による磁性の制御」という新規な物理現象の実現をはかる。

4. これまでの成果

(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 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 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 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) 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、 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。

5. 今後の計画

(1) フェリ磁性体 SmMnO_3 における磁化反転に伴う誘電異常現象の起源の解明のため、軟 X線磁気円二色性測定を行う。また、類似の磁気誘電異常を示すフェリ磁性体を探索する。

(2) 新たなマルチフェロイクスとしてオリビン型遷移金属酸化物に着目し、物質探索、物性評価に加え、磁気構造を明らかにするための

中性子線回折実験を行う。

(3) これまでの研究により発見された室温で電気磁気機能を有することが示された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行う。

(4) 磁気共鳴軟 X線回折の手法を用い、スピン-カイラルなマルチフェロイックドメイン構造の観測を行う。

6. これまでの発表論文等

【発表論文】

- (1) 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).
- (2) J.-S. Jung, A. Iyama, H. Nakamura, M. Mizumaki, N. Kawamura, Y. Wakabayashi, and T. Kimura, Magnetocapacitive effects in the Néel N-type ferrimagnet SmMnO_3 , Phys. Rev. B 82, 212403-1-4 (2010).
- (3) 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).
- (4) K. Kishimoto, T. Ishikura, H. Nakamura, Y. Wakabayashi, and T. Kimura, Antiferroelectric lattice distortion induced by ferro-quadrupolar order in DyVO_4 , Phys. Rev. B 82, 012103-1-4 (2010).
- (6) H. Nakamura and T. Kimura, Electric field tuning of spin-orbit coupling in KTaO_3 field-effect transistors, Phys. Rev. B 80, 121308-1-4(R) (2009).
- (7) S. Danjoh, J.-S. Jung, H. Nakamura, Y. Wakabayashi, and T. Kimura, Anomalous induction of ferroelectric polarization by magnetization reversal in the phase-separated multiferroic manganite $\text{Eu}_{0.8}\text{Y}_{0.2}\text{MnO}_3$. Phys. Rev. B 80, 180408(R)-1-4 (2009).
- (8) K. Kimura, H. Nakamura, S. Kimura, M. Hagiwara, and T. Kimura, Tuning ferroelectric polarization reversal by electric and magnetic fields in CuCrO_2 , Phys. Rev. Lett. 103, 107201-1-4 (2009).

【受賞】

第24回日本IBM科学賞 (2010年)

第7回日本学術振興会賞 (2011年)

ホームページ等

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