

研究種目：特定領域研究

研究期間：2007～2011

課題番号：19052001

研究課題名（和文）スピンプラストラーションと磁気強誘電性

研究課題名（英文）Spin Frustration and Magnetic Ferroelectricity

研究代表者

有馬 孝尚 (ARIMA TAKAHISA)

東北大学・多元物質科学研究所・教授

研究者番号：90232066

研究分野：物性科学

科研費の分科・細目：

キーワード：強相関電子系、磁気記録、磁性、低温物性、強誘電体物性

1. 研究計画の概要

フラストレート磁性強誘電体における強誘電性と結晶構造・磁気構造の対応関係を磁場下での振舞いも含めて完全に明らかにするとともに、磁気秩序と誘電性の強い結合を利用して新規外場効果を開拓する。具体的には、フラストレート磁性強誘電体について、

(1) 結晶構造・磁気構造に対する磁場効果の研究を通じた巨大電気磁気効果の機構解明

(2) 磁気構造の電場による制御

(3) 励起構造の理論的・実験的解明

(4) 多分域構造を利用した新規外場応答の理論予測と実現

を目指す。磁気構造の電場による制御や、分域構造を利用した新規外場応答が実現できれば、強相関電子系における磁性と格子の結合という基礎科学的観点からのみでなく、例えば、磁気カイラリティ記録の電氣的な読み書きなど、将来の応用の観点からも意義深い結果となる。このように本研究の目的を達成することにより、磁性強誘電体の新規物質・新規物性の開拓の明確な指針が得られる。

2. 研究の進捗状況

(1) サイクロイド磁性と強誘電性

スピンプラストラーションや円偏光X線回折により、磁気強誘電性を示すTbMnO₃およびMnWO₄のらせん磁性のヘリシティと電気分極の方向が一对一に対応していることを明らかにした。また、TmMn₂O₅において、

TbMnO₃やMnWO₄と同じような磁場による電気分極の90度回転現象を見出した。さらに、スピンプラストラーション中性子回折実験により、これらの物質の電気分極フロップがサイクロイド磁性のスピンプラストラーション面での90度回転現象であることを突き止めた。これを利用して、磁場回転による電気分極の180度反転に成功した。一方、磁気強誘電性を示す新物質Ba₂Mg₂Fe₁₂O₂₂の発見にも成功した。また、X線非弾性散乱によってTbMnO₃の強誘電転移がフォノン異常を伴わないことを明らかにした。

(2) 中性子二次元検出系の開発

磁気強誘電性をもたらすらせん磁気秩序などの長周期磁気構造を短時間で解析できるシステムの構築を目指して、同時に多くの反射の強度を計測できる中性子二次元検出システムのテストを行っている。

(3) 実験手法開発

磁性強誘電体では電気リークのためD-E履歴を正確に測定することが難しかった。二重波法という新しい方法を提案し、実際にRMn₂O₅において正確な履歴曲線の温度依存性を得ることに成功した。

(4) 理論研究

電子型強誘電体 RFe₂O₄ における電子構造を記述する理論モデルを構築し、有限温度で強誘電相が安定化する機構、および、磁気秩序や磁場の印加により電気分極が大きく変化する機構を明らかにした。ダイマーマット絶縁体領域にある分子導体の誘電応答について有効モデルを構築し数値計算により解析を行うことで、あるパラメータ領域でダイマー内部の電子の移動が協調的に生じて誘電率が大きくなることを見

出した。また、サイクロイド型とは異なるネジ型らせん磁気秩序が強誘電性を発現させる機構について提案した。

3. 現在までの達成度

①当初の計画以上に進展している。

(理由)

当初掲げた目標のうち、すでに、(1)結晶構造・磁気構造に対する磁場効果の研究を通じた巨大電気磁気効果の機構解明、(2)磁気構造の電場による制御に成功した。また、(3)励起構造、については、実験的解明はすでに行っており、理論的解析を待つのみである。(4)多分域構造を利用した新規外場応答、についても、斜め磁場を用いた電気分極の180度反転や、複合ドメイン壁の運動による電気磁気効果などの新規現象を見出している。

4. 今後の研究の推進方策

(1)二次元検出器を用いた中性子磁気構造解析システムの構築

現在テスト中の二次元検出器を用いた新しい磁気構造解析システムを完成させる。

(2)RMn₂O₅系の電気分極発現機構の解明
大型の単結晶を育成し、同一試料での誘電率・電気分極の測定および中性子回折測定を行い、整合磁気秩序相および比生後磁気秩序相のそれぞれにおける磁気構造と電気分極の関係性を調べる。特に、(1)の磁気構造解析システムによって未解明の非整合磁気秩序相の磁気構造を明らかにする。

(3)電気分極発現部位の解明

放射光 X 線を用いた超精密構造解析実験によって磁気強誘電体の強誘電相の原子変位を解明する。

(3)光学的手法による多分域構造の観測
原子内 d-d 遷移に対する磁気光学効果を利用することで、磁性強誘電体の多分域構造の光学的な観測(可視化)を行う。

(4)理論研究

フラストレート磁性誘電体の低エネルギーの動的誘電率・磁化率を理論的に解析し、動的性質の特徴を明らかにする。フラストレーションに起因した低エネルギーの縮退状態がもたらすと期待される動的応答関数の特異な波数、周波数依存性の特徴を数値的手法と解析的手法を併用することで明らかにする。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計53件)

1. M. Fukunaga, Y. Sakamoto, H. Kimura, Y. Noda, N. Abe, K. Taniguchi, T. Arima, S. Wakimoto, M. Takeda, K. Kakurai, K. Kohn, "Magnetic-Field-Induced Polarization Flop in Multiferroic TmMn₂O₅", Phys. Rev. Lett., 査読あり, 103巻, 2009年, 077204(1)-(4).
2. Y. Yamasaki, H. Sagayama, N. Abe, T. Arima, K. Sasai, M. Matsuura, K. Hirota, D. Okuyama, Y. Noda, Y. Tokura, "Cycloidal Spin Order in the a-Axis Polarized Ferroelectric Phase of Orthorhombic Perovskite Manganite", Phys. Rev. Lett., 査読あり, 101巻, 2008年, 097204(1)-(4).
3. M. Naka, A. Nagano, S. Ishihara, "Magneto-dielectric phenomena in charge and spin frustrated system of layered iron oxide", Phys. Rev. B, 査読あり, 77巻, 2008年, 224441(1)-(15).
4. N. Abe, K. Taniguchi, S. Ohtani, T. Takenobu, Y. Iwasa, T. Arima, "Polarization Reversal in Multiferroic TbMnO₃ with a Rotating Magnetic Field Direction", Phys. Rev. Lett., 査読あり, 99巻, 2007年, 227206(1)-(4).

[学会発表] (計170件)

1. T. Arima, "Polarized neutron and synchrotron X-ray studies of helimagnetic ferroelectrics", Polarized Neutrons and Synchrotron X-Rays for Magnetism 2009, 2009年8月3日, Bonn, Germany.

[図書] (計1件)

1. 有馬孝尚、三共出版社、「金属錯体の現代物性化学」、2008、295-312 ページ。

[その他]

<http://www.frustration.jp/modules/xpwiki/?Publications%2FMultiferroics>