

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 4 日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2010～2011

課題番号：22840006

研究課題名（和文）

磁性強誘電体におけるドメイン構造の可視化と外場制御

研究課題名（英文）

Detect and control of the domain structure in magneto-electric multiferroics

研究代表者

阿部 伸行（ABE NOBUYUKI）

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・助教

研究者番号：70582005

研究成果の概要（和文）：

本研究では磁性と強誘電性を同時に有するマルチフェロイック物質を対象として、ドメイン構造の可視化と磁場や電場による制御を目指し研究を行った。マンガンを対象とした実験では、ドメイン壁の厚さによって誘電応答が変化することを見出した。ドメイン構造の可視化に向けて新たに光学測定系を構築し、この測定系を利用して数種類のマルチフェロイック物質について光吸収スペクトルの測定を行った。

研究成果の概要（英文）：

It has been pointed out that domain walls in spin-induced ferroelectrics play an important role in enhancing their magnetoelectric coupling. In this research, we have observed a systematic change in dynamics of 90-degree domain walls in a series of $Tb_{1-x}Dy_xMnO_3$ by the dielectric measurements. Moreover, we have constructed that the magneto-optical measurement system for the detecting of the multiferroic domain structure.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	800,000	240,000	1,040,000
2011 年度	680,000	204,000	884,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,480,000	444,000	1,924,000

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、ドメイン壁

1. 研究開始当初の背景

複数の（反）強誘電的な秩序を同時に有するマルチフェロイック物質では、非対角応答を利用した新しい物性制御方法の開拓が期待され、基礎学理の構築および工学応用の両面から研究が行われている。特に「らせん磁性強誘電体」では電気分極の向きと磁気構造が一対一に対応しており、磁場による電気分極の

回転などの巨大な外場応答が報告されている。このような外場応答の起源として、電気分極の向きが異なるドメイン間に存在するドメイン壁の運動が挙げられる。磁性強誘電体では強誘電ドメイン壁と磁気ドメイン壁が同時に生じており、このドメイン壁の外場応答を調べることによって、マクロな外場応答の起源についての知見や応答の巨大化へ

の指針を得ることができると考えられる。

2. 研究の目的

本研究ではマルチフェロイック物質を対象として相転移時に現れるドメイン構造を光学的手法によって可視化し、その外場応答についての知見を得ることで、マルチフェロイック物質の外場応答を理解することを目的とした。

3. 研究の方法

初めに単結晶試料の作成と結晶構造、磁性、誘電性などの基礎物性評価を行った。この時マクロな物性へのドメイン壁の運動の影響を調べるために、誘電率の磁場、温度、周波数依存性を測定した。これらの実験と並行して光学測定系を立ち上げた。光学測定系では吸収配置を採用し、光吸収スペクトルの温度依存性の測定を行った。

4. 研究成果

(1) 希土類マンガ氧化物におけるドメイン壁と誘電応答の研究

希土類マンガ氧化物におけるドメイン壁の応答をメガヘルツ帯までの誘電率および電気分極の外場応答を詳細に測定することにより、ドメイン壁の厚さに依存した物性応答が現れることを明らかにした。具体的には $Tb_{1-x}Dy_xMnO_3$ 単結晶試料を作成し、誘電率の磁場、温度、周波数依存性と電気分極の磁場変化の測定を行った。この物質系では磁場によって電気分極の向きが90度回転する電気分極フロップが生じる。本研究の結果から Dy の割合が増えるほど電気分極フロップ時の誘電率が大きくなることがわかった。

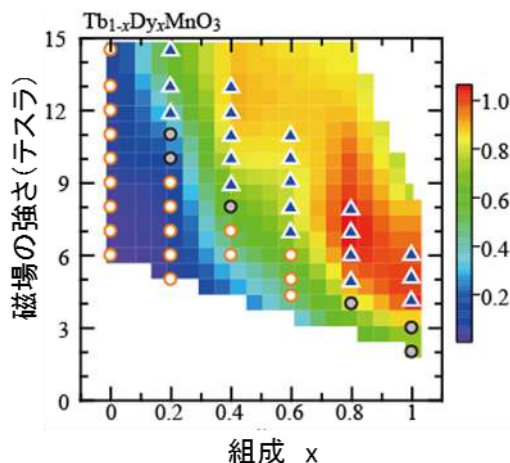


図1、 $Tb_{1-x}Dy_xMnO_3$ における相転移時の誘電率増大の磁場、組成依存性

この結果は Dy の割合が増えるに従って、電気分極フロップ時に生じるドメイン壁が動き易くなっていることを示唆している。このため誘電率の周波数依存性を測定したところ、図2のように緩和周波数には有意な組成依存性が見られなかった。このことからドメイン壁の運動の速さは変化せず、厚さの変化によって動きやすさが変化し、誘電率が増大していると考えられる。

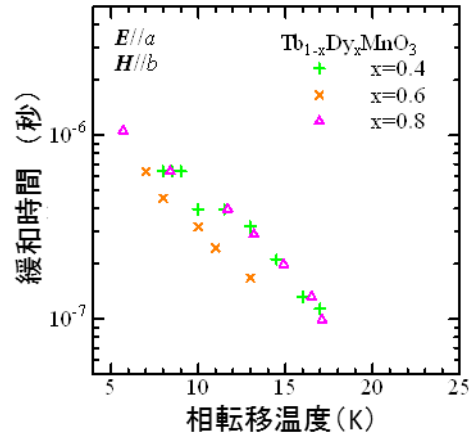


図2、 $Tb_{1-x}Dy_xMnO_3$ における相転移時の誘電緩和時間の組成依存性

(2) 新規物質の探索

現在までに報告されているマルチフェロイック物質は可視～近赤外領域の吸収が大きく、測定が困難な例が多い。このため、可視光領域で光が透過する磁性誘電体の探索および単結晶試料育成を行った。この時、単結晶試料育成のために本研究費によってACモーターを購入し、横型管状炉と組み合わせることで水平ブリッジマン炉を作成した。物質探索の結果 $RFe_3(BO_3)_4$ (R =希土類) および Ca_2FeAlO_5 などの電気磁気効果を示し光学測定が可能な単結晶試料を得ることができた。



図3、作成した $RFe_3(BO_3)_4$ 単結晶



図4、光学測定用の Ca_2FeAlO_5 単結晶

(3) ドメイン構造の可視化へ向けた測定系の構築

マルチフェロイック物質におけるドメイン壁の応答を観測するため、新しく光学測定系を構築し、紫外領域から近赤外領域までの波長で測定を行える環境を整えた。構築は本研究費により偏光子やレンズなどの光学素子を購入することで行った。

構築した測定系を利用して、電気磁気効果を示す $\text{HoFe}_3(\text{BO}_3)_4$ の光学測定を行った。 $\text{HoFe}_3(\text{BO}_3)_4$ は磁気構造の変化に伴い電気分極が変化する。この様子を可視から近赤外領域の吸収分光によって検出することを試みた。はじめに単結晶試料をフラックス法によって育成し、磁化率、誘電率、電気分極の測定を行い電気磁気効果が現れることを確かめた。次に電気磁気効果を示す $\text{HoFe}_3(\text{BO}_3)_4$ と電気磁気効果を示さない $\text{YFe}_3(\text{BO}_3)_4$ について光学測定を行った。これらの物質は三方晶に属するため一軸性の光学応答を示すことから光学主軸である c 軸方向および c 軸と垂直な [110] 方向に電場成分を持つ直線偏光を入射し、光吸収スペクトルの温度変化を測定した。この結果から Fe^{3+} イオンのスピン禁止遷移による光吸収の大きさと磁化率および電気分極が同様の温度変化を示すことがわかった。また $\text{HoFe}_3(\text{BO}_3)_4$ においては Ho^{3+} の 4f モーメントの励起に対応した光吸収についても相転移に対応した温度変化を示すことがわかった。

今後は CCD 検出器を用いて分域構造の可視化を行うことによって外場による分域構造の制御、および電気磁気効果の発現機構について明らかにして行く。

5. 主な発表論文等

(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 2 件)

- ① N. Abe, K. Taniguchi, H. Sagayama, H. Umetsu, T. Arima
“Correlation between the mobility of domain wall and polarization flop direction in a slanted magnetic field in the helimagnetic ferroelectrics $\text{Tb}_{1-x}\text{Dy}_x\text{MnO}_3$ ”, Physical Review B, 査読有り, 83 巻, 2011 年, 060403R(1-4)
- ② H. Sagayama, N. Abe, K. Taniguchi, T. Arima, Y. Yamasaki, D. Okuyama, Y. Tokura, S. Sakai, T. Morita, T. Komesu, H. Ohsumi, M. Takata
“Observation of Spin Helicity Using Nonresonant Circularly Polarized X-ray Diffraction Analysis”, Journal of the Physical Society of Japan, 79 巻, 査読有り, 2010 年, 043711(1)-(4)

[学会発表] (計 8 件)

- ① N. D. Khanh, N. Abe, M. Tokunaga, M. Saito, T. Arima
“Magnetically induced polarization in Copper metaborate CuB_2O_4 ”, 日本物理学会第 67 回年次大会, 2012 年 3 月 24 日, 関西学院大学
- ② 阿部伸行, Nguyen Duy Khanh, 新居陽一, 北川祐太郎, 有馬孝尚
“ $\text{Ca}_2\text{FeAlO}_5$ における電気磁気効果”, 日本物理学会第 67 回年次大会, 2012 年 3 月 24 日, 関西学院大学
- ③ 久保響太, 阿部伸行, 有馬孝尚
“(Cu,Ni) B_2O_4 における光のローレンツ力の観測”, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 2011 年 9 月 23 日, 富山大学
- ④ 大泉広野, 佐賀山基, 阿部伸行, 有馬孝尚, 稲村泰弘, 中村充孝, 梶本亮一, 新井正敏
“中性子非弾性散乱で観測した磁気強誘電体 TbMnO_3 の磁気励起”, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 2011 年 9 月 21 日, 富山大学
- ⑤ 阿部伸行
“ $\text{Tb}_{1-x}\text{Dy}_x\text{MnO}_3$ におけるらせん磁気ドメイン壁の誘電応答”, 「フラストレーションが創る新しい物性」第 7 回トピカルミーティング「フラストレーションとスピン・電荷・軌道・格子自由度」, 2011 年 7 月 1 日, 滋賀県彦根市
- ⑥ N. Abe
“Correlation between magnetocapacitance effect and polarization flop direction in a slanted magnetic field in $\text{Tb}_{1-x}\text{Dy}_x\text{MnO}_3$ ”, APS March Meeting, 2011 年 3 月 25 日, アメリカ合衆国 ダラス
- ⑦ N. Abe
“Correlation between magnetocapacitance effect and polarization flop direction in a slanted magnetic field in $\text{Tb}_{1-x}\text{Dy}_x\text{MnO}_3$ ”, The 3rd APCTP Workshop on Multiferroics, 2011 年 1 月 18 日, 早稲田大学
- ⑧ N. Abe
“Correlation between magnetocapacitance effect and polarization flop direction in a slanted magnetic field in multiferroic helimagnet”, International Conference on Frustration in Condensed Matter, 2011 年 1 月 12 日, 仙台国際センター

6. 研究組織

(1)研究代表者

阿部伸行 (ABE NOBUYUKI)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・
助教

研究者番号：70582005

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし