

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12日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22740214

研究課題名（和文） 強誘電体における量子ドメインウォールの理論研究

研究課題名（英文） Theoretical Study on Quantum Domain Walls in Ferroelectrics

研究代表者

望月 維人（MOCHIZUKI MASAHIITO）

東京大学・大学院工学系研究科・特任講師

研究者番号：80450419

研究成果の概要（和文）：マルチフェロイック希土類 Mn ペロフスカイトの微視的スピン模型を構築し、モンテカルロ計算による解析を行った結果、世界で初めてこの系の電気磁気相図を完全に再現・理解した。さらに、この系の外場に対する電気・磁気交差応答を調べ、磁場中相図と磁場印加による誘電転移や光の振動電場成分が誘起するマグノン（エレクトロマグノン）励起の機構を解明した。そして、エレクトロマグノンの強励起によるスピнкаイラリティの光スイッチ現象を予言し、カイラリティドメインの動的ストライプという特異な空間構造形成を伴うスピнкаイラリティの反転・フロップ過程を明らかにした。

研究成果の概要（英文）： I have completely clarified the magnetoelectric phase diagram of the multiferroic Mn perovskites through constructing their microscopic spin model and analyzing it using Monte-Carlo method for the first time in the world. I have also elucidated their phase diagrams in magnetic fields, a mechanism of the field-induced electric transition, and a mechanism of the electromagnon excitations activated by oscillating electric-field component of light in the study on magnetoelectric cross-correlation responses of this class of materials. Also I have predicted the optical switching of spin chirality via the intense electromagnon excitations, and have clarified the chirality reversal and flop processes accompanied by characteristic spatial-pattern formations with dynamical chirality-domain stripes.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

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：強相関係

1. 研究開始当初の背景
磁性強誘電体や有機強誘電体などの新しいクラスの強誘電体におけるドメイン壁の構造やダイナミクス、励起・応答現象や動的相

転移現象の理解と解明は、FeRAMやMRAMを超える記憶素子の開発にブレークスルーをもたらすと期待されているが、その理論的な理解が進んでおらず、基礎学理が構築されて

いなかった。

2. 研究の目的

新しいクラスの強誘電体におけるドメイン壁の動的現象、励起・応答現象の解明、基礎理論の構築を目指した。

3. 研究の方法

磁性強誘電体や有機強誘電体における相互作用の競合を記述する普遍性の高いモデルを構築し、そのモデルをモンテカルロ法やLLG方程式に基づく解析を行い、相図やドメイン壁の微視的内部構造、構造形成プロセスや励起・応答ダイナミクスを明らかにする。

4. 研究成果

(1) 磁性強誘電体のマルチフェロイックドメインウォールが示す「非線形応答」や「非平衡ダイナミクス」を調べるために、マルチフェロイック希土類 Mn ペロフスカイトを対象物質に選び、その微視的スピンモデルの構築を行った。フラストレーション系であるマルチフェロイックスにおける多種の相互作用や磁気異方性の競合を正確に記述するモデルを構築し、モンテカルロ計算による解析を行った結果、世界で初めてこの系の電気磁気相図を完全に再現・理解することに成功した。

(2) マルチフェロイック希土類 Mn ペロフスカイトの外場に対する電気・磁気交差応答を調べるために、磁場中相図と磁場印加による誘電転移を調べ、実験で得られている相図や強誘電分極の振舞いを世界で初めて完全に再現した。

(3) 長年の謎であった光の振動電場成分が誘起するマグノン（エレクトロマグノン）励起の機構や偏光選択則、光吸収スペクトルを完全に解明した。さらに、エレクトロマグノンの強励起によるスピнкаイラリティの光スイッチ現象の理論研究に取り組んだ。この光照射によるスピнкаイラリティの反転・フロップ過程において、カイラリティドメインの動的ストライプという特異な空間構造形成が重要な役割を果たしていることを見出した。このようなドメインやドメインウォールは、共鳴励起を利用したスイッチング現象や相転移現象に普遍的に現れると考えられ、近年大きな注目を集めている光による相制御の基礎学理の構築や予言の出発点となる知見である。

(4) スキルミオンと呼ばれる長周期渦状スピントクスチャーの外場応答ダイナミクスの研究を行い大きな成果を挙げた。研究の出発点となる、カイラル磁性体中を記述するスピン

モデルを構築し、それを解析するための古典モンテカルロ計算用プログラムコードと、スピンの時間発展方程式であるLLG方程式の数値解析プログラムコードを開発・完成させた。これらのプログラムコードを使い、実験観測されているヘリカル相、スキルミオン結晶相、強磁性相と磁場下での相転移を記述・再現できることを確認した。

(5) カイラル磁性体のスキルミオン相におけるマイクロ波誘起スピン波励起のスペクトルとモードを明らかにした。特に、薄膜資料においてマイクロ波の振動磁場を二次元面内に偏光させた時に励起される二種類の回転モードの励起が顕著な円偏光依存性を持つことを見出し、左円偏光のマイクロ波照射によって低エネルギーモードを強励起した時に、スキルミオン結晶の融解が起こることを明らかにした。

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12件)

- ① 望月維人、Spin-Wave Modes and Their Intense Excitation Effects in Skyrmion Crystals、Physical Review Letters、査読あり、Vol.108、2012、pp. 017601-(1-5)、DOI: 10.1103/PhysRevLett.108.017601
- ② 望月維人、古川信夫、永長直人、Theory of spin-phonon coupling in multiferroic manganese perovskites RMnO₃、Physical Review B、査読あり、Vol.84、2011、pp.144409-(1-14)、DOI: 10.1103/PhysRevB.84.144409
- ③ 望月維人、古川信夫、永長直人、マルチフェロイックスにおけるエレクトロマグノン励起、日本物理学会誌、査読なし、Vol.66、No.4、2011、pp.280-284、
- ④ 望月維人、古川信夫、Theory of Magnetic Switching of Ferroelectricity in Spiral Magnets、Physical Review Letters、査読あり、Vol.105、2010、pp.187601-(1-4)、DOI: 10.1103/PhysRevLett.105.187601
- ⑤ 望月維人、永長直人、Theoretically Predicted Picosecond Optical Switching of Spin Chirality in Multiferroics、Physical Review Letters、査読あり、Vol.105、2010、

pp. 147202-(1-4)、
DOI: 10.1103/PhysRevLett.105.147202

- ⑥ 望月維人、古川信夫、永長直人、Theory of Electromagnons in the Multiferroic Mn Perovskites: The Vital Role of Higher Harmonic Components of the Spiral Spin Order、Physical Review Letters、査読あり、Vol.104、2010、pp. 177206-(1-4)、
DOI: 10.1103/PhysRevLett.104.177206

〔学会発表〕（計 15 件）

- ① 望月維人、Theories of Dynamical Magnetoelectric Phenomena in Multiferroic RMnO₃、International Workshop on 「Novel Phenomena in Frustrated Systems、2011 年 5 月 23-27 日、La Fonda ホテル（アメリカ合衆国、ニューメキシコ州サンタフェ）、
- ② 望月維人、Dynamical Magnetoelectric Phenomena in the Multiferroic Mn Perovskites、2011 APS March Meeting、2011 年 3 月 21 日、アメリカ合衆国テキサス州ダラス コンベンションセンター、
- ③ 望月維人、マルチフェロイクスの理論、日本物理学会 2010 年秋季大会 領域 10,8,7,3 シンポジウム、2010 年 9 月 24 日、大阪府立大学中百舌鳥キャンパス

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等

<http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/nagaosa-1ab/mochizuki/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

望月 維人 (MOCHIZUKI MASAHIITO)

東京大学・大学院工学系研究科・特任講師

研究者番号：80450419