

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2008

課題番号：19740243

研究課題名（和文） 乱雑磁場中の磁壁運動の理論、数値的研究

研究課題名（英文） Theoretical and numerical studies on motion of magnetic domain wall in random field.

研究代表者

松下 勝義 Katsuyoshi Matsushita

独立行政法人・産業技術総合研究所、ナノテクノロジー研究部門、産総研特別研究員

研究者番号：60422440

研究成果の概要：

金属磁性体、希薄磁性半導体中における電流駆動磁壁運動の実験で観測されている性質を説明するため乱雑磁場によりピン止めされた磁壁の運動の理論的研究を行った。数値計算による研究で磁壁の内部自由度が磁壁のダイナミクスに重要な役割を果たしていることが明らかにされ、そのため既存のランダム磁場中の Ising 模型や細線の磁壁にたいするスロンチェフスキの議論では知られていない不連続転移的な磁壁のデピンニング転移や磁壁そのものの電流誘起の変形現象などが明らかとなった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2200000	0	2200000
2008年度	1100000	330000	1430000
年度			
年度			
年度			
総計	3300000	330000	3630000

研究分野：

科研費の分科・細目：

キーワード：

1. 研究開始当初の背景

近年、金属磁性体や希薄磁性半導体中の電流駆動磁壁運動が実験的に調べられ、その結果はこれまで磁壁運動を記述するとされてきたランダムピン止め中の外場による磁壁運動の描像ではうまく説明できないことが分かってきた。そのようなピン止めされた磁壁運動と既存の理論とのミスマッチの解決に向けた理論的、数値的研究が求められるようになった。以上が本研究を開始した背景である。

2. 研究の目的

本研究の目的は磁壁の巨視的なダイナミクスを記述するとされていた乱雑磁場中の Ising 模型を超え、実験で得られた磁壁速度の電流依存性を再現しうる模型の理論的構築し、その磁壁運動を解析すること。および、その巨視的模型を再現するより微視的なピン止めされた磁壁の模型に基づき、スピントルクによる磁壁運動の素過程を明らかにすることである。

3. 研究の方法

既存の Ising 模型ではうまく磁壁運動を記述できないことから、我々は古典 Heisenberg 模型と電流駆動のスピントルクを評価するための $s-d$ 模型にもとづいて調べた。巨視的磁壁と幾何学的にピン止めされた磁壁を表す微視的模型を考えそれぞれでの磁壁のダイナミクスを理論的、数値的に解析した。

数値的研究においては Landau-Lifshitz-Gilbert (LLG) 方程式を数値的に Quaternion 法で解析し古典 Heisenberg 系のダイナミクスを明らかにするほか Monte Carlo (MC) 法による LLG 方程式では達成できない長時間スケールでの磁壁運動の解析を行った。また、磁壁に及ぼされるスピントルクの評価は一様流かもしくは有限要素法により拡散方程式を解くことで得られたスピン流から評価した。本研究で用いた手法は以上である。

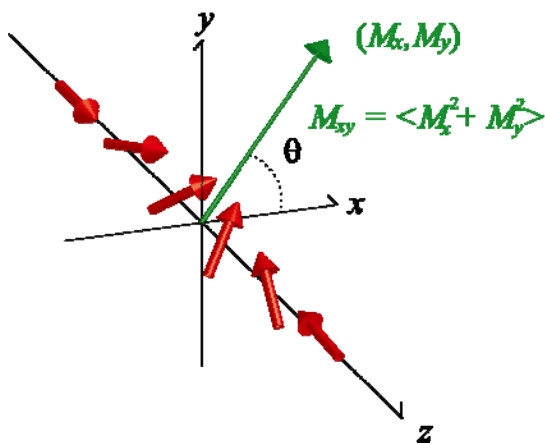


図 1 : Heisenberg 模型での z 軸に垂直に配置された平面的な磁壁の構造。Heisenberg 模型では磁化構造が Ising 模型とは異なり座標の関数として連続的に変化できる。そのため自由に変化できる内部自由度 θ を持つ。これらの内部自由度は磁壁の座標と結合する。また、 (x,y) 座標の各点に存在する θ は互いに強磁性的に結合し、強磁性 XY 模型とみなせる。そこでの強磁性秩序は秩序変数 M_{xy} によりその強磁性秩序が特徴付けられる。この性質が Ising 模型と Heisenberg 模型での磁壁の運動特性の差を生み出す。

4. 研究成果

(1) 三次元ランダム磁場中の二次元磁壁の外場駆動のダイナミクスを LLG と MC 法で調

べ、そのデピンング転移の性質を明らかにした。Heisenberg 模型における磁壁には内部自由度がありその内部自由度と磁壁の変位が結合すること変位に対する粘性が現れる。磁壁変位の粘性項は磁壁のデピンング転移を不連続転移化する。この事実は模型の異方性が Ising 型から Heisenberg 型へ変化していくときに連続転移がある異方性の強さで不連続なものへ変化することを意味している。

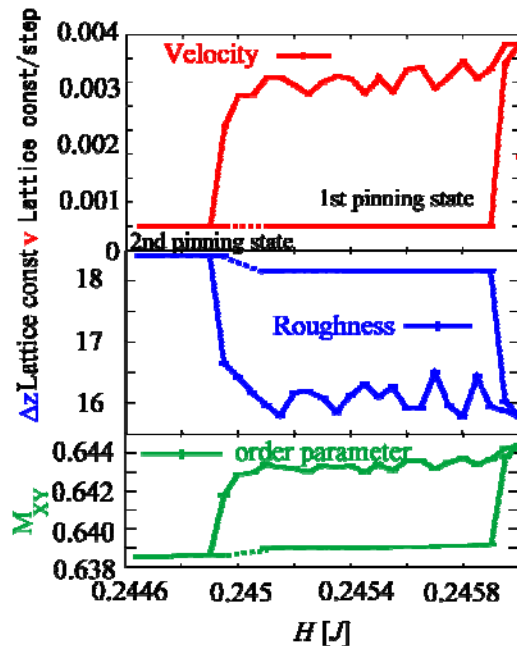


図 2: デピンング転移付近の磁壁の運動速度 v の外場 H への依存性、デピンング転移前後で磁壁速度は不連続に変化し、ヒステリシスが見られる。それと同時に磁壁のラフネス Δz や内部自由度の秩序変数 M_{xy} も不連続に変化し、別の状態に転移している。

(2) ピン止めされた一次元磁壁のスピントルク駆動運動を調べた。異方性が弱い Heisenberg 模型ではスピントルクによりスピン波不安定性が誘起される。そのため磁壁の磁気構造が不安定となる。薄膜、細線等で形状が非一様な場合、磁壁は断面積が小さいところでピンされるが、電流下でそのようなピンされた場合の磁壁の磁気構造が図 3 にしめすようなさざ波状の構造に変化することが数値計算で確かめられた。この効果により磁壁に働くスピントルクが電流に対して単調増加しない可能性があるが、それを実証することは今後の課題である。

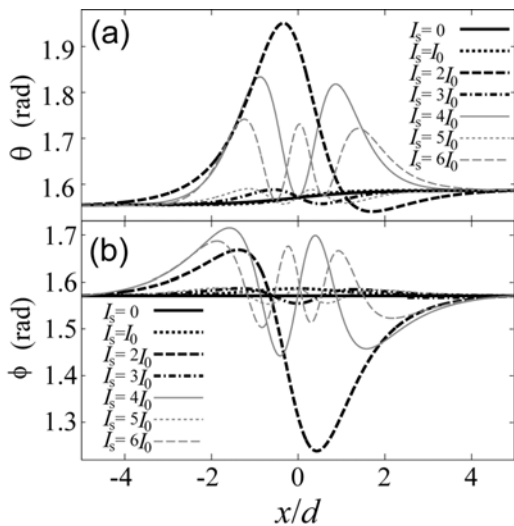


図3:電流下での磁壁の変形、 θ 、 ϕ はそれぞれ磁化の極角、方位角を表し d が磁壁のピン止め領域の大きさ、 x は磁壁の運動座標を表す。 I は電流の大きさで特徴的な電流値 I_0 に対して奇数倍か偶数倍かによってさざ波の振幅が大きく振動していることがわかる。

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 6 件)

- ① Katsuyoshi Matsushita, Jun Sato, Hiroshi Imamura 「Dipolar field effect on microwave oscillation in a domain wall spin-valve」採録決定 (IEEE Trans. Magn. 2009)
- ② Katsuyoshi Matsushita, Jun Sato, and Hiroshi Imamura 「Current-Induced Magnetic Structure in Geometrically Confined Region」J. Magn. Phys. Soc. Jpn., vol. 33, pp. 274-279, (2009)
- ③ Katsuyoshi Matsushita, Jun Sato, and Hiroshi Imamura 「Simulation of current-induced microwave oscillation in geometrically confined domain wall.」J. Appl. Phys. 105, 07D525 (2009)
- ④ Jun Sato, Katsuyoshi Matsushita, and Hiroshi Imamura 「Current-perpendicular-to-plane magnetoresistance of a domain wall confined in a nano-oxide-layer」J. Appl. Phys. 105, 07D101 (2009)
- ⑤ Katsuyoshi Matsushita, Jun Sato, Hiroshi Imamura 「Magnetic structure of domain walls

in confined in a nano-oxide layer」IEEE Transaction in Magnetism 44, 2616 (2008)

- ⑥ Jun Sato, Katsuyoshi Matsushita, and Hiroshi Imamura 「Effective Resistance Mismatch and Magnetoresistance of a CPP-GMR system with Current-Confiner-Path」IEEE Transaction in Magnetism. 44, 2608 (2008)

[学会発表] (計 11 件)

- ① ポスター/K. Matsushita, J. Sato and H. Imamura 「Effect of dipolar interaction on the current-induced microwave oscillation of a geometrically confined domain wall」Sacramento, Intermag 2009 年 5 月
- ② ポスター/K. Matsushita, J. Sato and H. Imamura 「Current induced geometrically confined magnetic structure and dynamics」SciSSP2009, 於物性研究所, 柏, 2009 年 2 月
- ③ ポスター/K. Matsushita, J. Sato and H. Imamura 「Magnetic structures and dynamics of domain wall in Geometrically confined region」ISNTT2009, 於 NTR&D センター, 厚木, 2009 年 1 月
- ④ 口頭/K. Matsushita, J. Sato and H. Imamura 「Current induced microwave oscillation of a geometrically confined domain wall.」MMM 2008, Austin, 2008 年 10 月
- ⑤ 口頭/K. Matsushita, J. Sato and H. Imamura 「Magnetic structure of domain walls confined in a nano-oxide layer」Intermag 2008, Madrid, 2008 年 5 月
- ⑥ 松下勝義, 佐藤純, 今村裕志 「幾何学的閉じ込め磁壁の電流駆動ダイナミクス」日本物理学会、立教大学池袋キャンパス 2009 年 3 月
- ⑦ 口頭/松下勝義, 佐藤純, 今村裕志 「直流電流を印加した幾何学的閉じ込め磁壁」スピンの拓く物性科学の最前線、東京大学武田先端知ビル 2008 年 11 月
- ⑧ 口頭/松下勝義, 佐藤純, 今村裕志 「幾何学的閉じ込め磁壁での電流誘起磁

化運動」

招待講演、金属スピントロニクスセミナー
—東北大学工学部、2008年10月

- ⑨ 松下勝義、佐藤純、今村裕志
「電流狭窄領域に閉じ込められた磁壁の
電流駆動ダイナミクス」
日本物理学会 岩手大学 2008年9月
- ⑩ 松下勝義、佐藤純、今村裕志
「狭窄型磁壁スピバルブにおけるノイズ
発生機構」
日本磁気学会 東北学院大学 多賀城キャンパス 2008年9月
- ⑪ 松下勝義、佐藤純、今村裕志
「電流狭窄領域をもつ磁性多層薄膜における
磁気構造の理論的研究」
日本物理学会 第62回年次大会 近畿
大学 2008年3月

〔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〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松下 勝義 Matsushita Katsuyoshi

研究者番号: 60422440

独立行政法人・産業技術総合研究所、ナノテクノロジー研究部門、産総研特別研究員

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者