

学位審査報告書

(ふりがな)	やまだ けいすけ
氏 名	山田 啓介
学位（専攻分野）	博 士 （ 理 学 ）
学 位 記 番 号	理 博 第 号
学位授与の日付	平成 23 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	理学研究科 化学専攻
(学位論文題目)	
電流誘起磁気コアダイナミクスの研究	
論 文 調 査 委 員	(主査) 小野 輝男 教授 島川 祐一 教授 小林 研介 准教授

理 学 研 究 科

京都大学	博 士 (理 学)	氏名	山田 啓介
論文題目	電流誘起磁気コアダイナミクスの研究		
(論文内容の要旨)			
ソフト磁性体で作られた直径数μm程度の磁気円盤は、磁氣的エネルギーの競合によって磁気渦構造と呼ばれる特徴的な磁区構造をとることが知られている。磁気渦構造は、円盤の円周部分では磁極の生成による静磁エネルギーの増大を抑制するために磁気モーメントが還流構造を持つ。一方、円盤中心部分では、交換エネルギーの増大を抑制するために磁気モーメントが垂直方向に立ち上がった吹き出し磁化〔磁気コア(Vortex Core)と呼ばれる〕が形成される。この磁気コアの吹き出し磁化の向きは、上向きと下向きの二つの極性を持ち、これらの向きを利用した”磁気コアメモリ”が提唱されていた。しかしコアの極性を磁場により反転させるには、数千 Oe 程度の大きさの磁場が必要であり、メモリデバイスとしての利用は現実的ではなかった。これらの問題を解決するため、スピントランスファートルク (STT) と呼ばれる磁化と電流の直接相互作用に注目した。スピントランスファートルクは、磁気渦構造などの非一様磁化構造に有効に作用する効果であり、磁気構造を電流によって直接制御することが可能である。本研究では、磁気円盤に存在する磁気コアの極性反転を電流によって制御することを目的として研究を行い、磁気力顕微鏡(MFM)を用いて極性反転検出を行った。マイクロマグネティクス・シミュレーションと実験結果を比較することで極性反転ダイナミクスについて考察した。 1. パルス電流による磁気コアの極性反転 パルス磁場/パルス電流による極性反転や回転磁場/回転電流を用いた新たな磁気コアの極性制御について理論・シミュレーションから提案がなされているが実験的に検出した報告は数少ない。コアの極性を制御することができれば、"磁気コアメモリ"への利用など応用面においても発展が期待できる。本研究では、ナノ秒オーダーのパルス電流を用いて実験的に磁気コアの極性反転を試みた。パルスを印加[電流密度$j=1.3\times 10^{12}\text{ A/m}^2$，パルス幅$\tau=2.5\text{ ns}$]した後に磁気コアの極性反転が起こることを確認した。同様な観測を数十回行い、電流密度・パルス幅に対して反転確率を求めた結果、数ナノ秒のパルス電流を用いて高い確率で極性反転を起こすことが可能であることを示した。極性反転に要する閾電流密度は、10^{12} A/m^2 台と交流電流を用いた場合より大きい電流が必要であることが明らかになった。 2. 楕円盤を用いたパルス電流による磁気コアの極性反転 パルス電流を用いた極性反転は、反転に要する閾電流密度が10^{12} A/m^2 台と大きい値であることがわかった。磁気コアのより効率的な反転手法を確立するために、楕円盤を用いて研究を行った。楕円盤中では円盤中よりも極性反転に必要な磁気渦・反磁気渦対状態(中間状態)を誘起しやすいために極性反転をより低電流で実現することが可能であると期待したからである。短軸・長軸方向からパルス電流を印加したそれぞれの楕円盤において極性反転が確認した後、反転確率の電流密度・パルス幅依存性を検討した。短軸方向に電流を印加した場合、電流密度が長軸方向に印加した場合より小さくなることが明らかになった。この結果から電流を印加する方向によって電流密度を低減できることを見出した。また、マイクロマグネティクス・シミュレーションから楕円盤におけるコアの極性反転は、コアがパルス電流により長軸位置に変位されることによって磁気渦・反磁気渦対が生成し、生成した反磁気渦が元のコアと結合消滅することで、反対向きのコアが残ることで起こることが明らかになった。 本研究では、電流による磁気コアの極性反転について磁気力顕微鏡(MFM)を用いて検出を行い、マイクロマグネティクス・シミュレーション結果と比較することで極性反転動的ダイナミクスについて考察を行った。パルス電流を用いることで極性反転を高い確率で制御でき、楕円盤を用いることで反転に要する閾電流密度を低減できることを見出した。さらに、磁気コアの極性反転機構の解明を行うことで、物理的・応用的発展に貢献した。			

(論文審査の結果の要旨)

本論文では、強磁性体磁気円盤に存在する磁気コアの電流誘起ダイナミクスに関して、「パルス電流を用いた極性反転」および「楕円盤を用いたパルス電流・磁場による極性反転」について述べた。

「パルス電流を用いた極性反転」においては、ナノ秒オーダーのパルス電流を用いることで磁気コアの共鳴励起により反転を誘起する場合よりコアの極性反転確率が高くなること示した。マイクロマグネティクス・シミュレーション結果を検討することで、パルス電流により動き出した磁気コアが反転に必要なしきい速度に到達した際に、コア運動により生じる有効磁場で磁気渦-反磁気渦ペアが生成し、反磁気渦が元ある磁気渦と対消滅することで反転現象が起こっていることを解明した。この結果は、パルス電流による磁気コアの反転ダイナミクスの解明を行ったという点で重要な結果であり、高い反転確率を得た点で磁気コアの極性を利用する磁気コアメモリへの応用に新たな展開を与えた。

「楕円盤を用いたパルス電流・磁場による極性反転」では、静的な状態で磁気渦-反磁気渦構造を形成しやすい楕円盤の性質を利用することで極性反転を容易に誘起できるというアイデアを実証した。極性反転に必要なしきい電流密度は、楕円盤に対する電流印加方向に依存することを示した。しきい電流密度の電流印加方向依存性をマイクロマグネティクス・シミュレーションによって検討した。楕円盤における極性反転は楕円盤長軸位置に磁気コアが変位されることで誘起され、磁気コアの移動経路により長軸位置到達に必要な電流量が異なるために反転に必要なしきい電流密度が異なること明らかにした。さらにパルス磁場を用いて楕円盤の極性反転に関して楕円率依存性、最小反転磁場などを測定し、パルス電流とパルス磁場では極性反転機構が異なること示したこのように本研究では、実験から得られた結果とマイクロマグネティクス・シミュレーションから得られた結果を比較検討することで電流による磁気コアの極性反転ダイナミクスについて明らかにした。これらの研究成果から、電流による円盤・楕円盤における磁気コアの動的ダイナミクスと反転現象に関して新たな知見を与え、スピントランスファートルクの有用性を実証するとともに、極性反転を利用するメモリなどへの応用の進展に貢献したと評価できる。

以上のように、本研究の成果は学術的、工学的に大きな意味を持っており、磁気コアダイナミクスの研究の進展に貢献したものと言える。したがって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 23 年 1 月 18 日、論文内容とそれに関連した事項について口頭試問を行ない、その結果合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降