

學位審查報告書

(ふりがな)	なかの　くにひろ
氏　　　　　名	中野　邦裕
学位（専攻分野）	博　　士　（　理　学　）
学　位　記　番　号	理　　博　　第　　第　　号
学位授与の日付	平成　　24年　　3月　　26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)	
電流誘起磁気渦共鳴現象に関する研究	
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	中野 邦裕
論文題目	電流誘起磁気渦共鳴現象に関する研究		
(論文内容の要旨) 近年、微小磁性体の磁化構造を電流によって制御する研究が盛んに行われている。その根幹にある物理は局在スピンと伝導電子の相互作用（スピントランスファー効果）である。スピントランスファー効果は磁性細線中の磁壁構造を用いて精力的に研究されているが、最近になって磁気円盤に発現する磁気渦構造と呼ばれる特異な磁区構造が注目を集めている。磁気渦構造は円盤中心部分に、交換エネルギー増大を抑制するために磁化が面直方向に立ち上がった領域を持つ。この磁化の立ち上がりスポットを磁気コアと呼び、立ち上がり方向に依存した up/down の極性を持つ。磁気渦構造に交流電流を印加するとスピントランスファー効果が磁気コアに作用し、共鳴的な磁気コアの旋回運動を励起できることが知られている。この電流誘起磁気渦共鳴現象は、スピントランスファー効果の基礎的な知見を与えるものとして様々に研究されている。また、この共鳴現象を利用して磁気コア極性を反転可能であることも報告されている。磁気渦は磁気コアの極性を利用したメモリに応用可能と言われており、極性反転現象はメモリの書き込み技術に相当するものである。またメモリ応用を志向した際、電気測定による磁気コア極性の検出技術も必須のものとなる。本研究では、電流誘起磁気渦共鳴現象の電気測定及び時間分解測定を行い、磁気コア極性の電氣的検出並びに磁気コア極性反転現象の制御に取り組んだ。 1. 磁気コア極性の電氣的検出 磁気コア極性の検出は、磁気力顕微鏡等のプローブ顕微鏡で行うのが主流となっており、電気測定による極性検出法は未確立である。本研究では磁気トンネル接合素子を用いて、磁気コア極性の電氣的検出を試みた。任意波形装置から正弦波を素子に入力し、磁気渦共鳴現象を励起する。一定の電流密度において入力周波数を掃引し、出力電圧の強度をオシロスコープでモニタリングすると、共鳴周波数近傍においてのみ大小二種類の出力波形が観測された。電流密度の増大により出力波形が遷移すること、また微弱な垂直磁場印加によって一方の出力波形のみを選択的に観測できることから、振幅の違いがコア極性を反映したものであると結論付けた。 2. 磁気コア極性反転現象の電氣的制御 上記で使用した素子を用いて、磁気コア極性反転現象の観測を試みた。実際に測定を行って解析すると、連続して起こったコア極性反転による磁気渦共鳴信号の位相飛びをそれぞれ検出することに成功した。極性反転の瞬間を正弦波関数を用いてフィッティングした結果、極性反転に有する時間は 100 ピコ秒以下であることがわかった。さらに、磁気コア極性反転現象がある特定の場所において起こりやすいことも明らかとなった。続けて、磁気コア極性反転の制御実験を行った。反転頻度が高い場所にコアが存在する時に、パルス電流を印加することで、反転現象の制御を試みた。実験を行うと、特定の位置でパルス電流を印加した時のみ 100%の確立で磁気コア極性反転を誘起できることがわかった。また本測定手法により、磁気渦のメモリ動作を実証することにも成功した。			

(論文審査の結果の要旨)

本論文では、強磁性体磁気円盤に現れる磁気渦構造に関して、「磁気コア極性の電氣的検出」及び「磁気コア極性反転現象の電氣的制御」について述べた。

「磁気コア極性の電氣的検出」においては、磁気トンネル接合素子を用いた実時間測定により、磁気コア極性を電氣的に検出可能であることを示した。また検出した波形を、バックグラウンド電圧を含むものであることを考慮して解析し、極性の違いによる異なる波形が理論的に予想される出力に非常にいい一致を示すことを明らかにした。本結果は、電流誘起磁気渦共鳴現象を電氣的手法によって時間分解測定した点で非常に革新的であり、また磁気コア極性を出力振幅の検出によって決定できることは、磁気渦のメモリ応用に新たな展開を与えるものである。

「磁気コア極性反転現象の電氣的制御」では、磁気コア極性反転現象の遷移過程を観測し、その結果をもとに極性反転現象の制御を実証した。磁気コア極性反転は100 ピコ秒以下の時間スケールで起こることが理論的に予測されているが、未だ実験的に観測された例はなかった。本研究では極性反転の瞬間を捉えることで、反転時間が100 ピコ秒以下ということを明らかにした。本結果は磁気コア極性反転ダイナミクス解明に貢献するものである。また極性反転現象が、特定の位置でのみ高い頻度で起こることも明らかにした。極性反転が特定の位置で起こるという現象はシミュレーションと定性的な一致を示している。この結果を受けて、極性反転が容易に起こる位置においてパルス電流を印加することで、極性反転制御実験を行った。本実験では、極性反転が誘起されない程度の交流電流を印加しておき、反転させたいタイミングでパルス電流を印加することで、極性反転制御を試みている。実際に行った実験では反転が起こりやすい位置でパルス印加をすると、約100%の確率で極性反転が誘起された。最後に任意の時間にパルスを印加して極性を反転させることで、磁気渦メモリの動作実証を行った。本実験結果は、極性反転の制御に成功しただけでなく、極性反転に必要な電流密度低減にも成功している。

これらの研究成果から、電流誘起磁気渦共鳴現象における極性反転現象に関して基礎的な知見を与え、磁気コア極性を利用した素子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、電流誘起磁気渦共鳴現象の研究進展に貢献したものと見える。従って、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24年1月17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い、その結果合格と認めた。