

学 位 審 査 報 告 書

(ふりがな) 氏 名	くどう きわむ 工藤 究
学位（専攻分野）	博 士 （ 理 学 ）
学 位 記 番 号	論 理 博 第 号
学位授与の日付	平成 年 月 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
(学位論文題目) Nonlinear Dynamics in Spin-Torque-Induced Magnetization Oscillation Phenomena (スピントルク誘起磁化振動現象における非線形ダイナミクス)	
論 文 調 査 委 員	(主査) 藤本 聡 准教授 石田 憲二 教授 川上 則雄 教授

京都大学	博士（理学）	氏名	工藤 究
論文題目	Nonlinear Dynamics in Spin-Torque-Induced Magnetization Oscillation Phenomena（スピントルク誘起磁化振動現象における非線形ダイナミクス）		
（論文内容の要旨） 本論文はスピントルク誘起磁化振動現象の非線形ダイナミクスを理解することを目的とした理論、数値シミュレーション、および実験に基づく研究の結果をまとめたものである。この現象は電子スピンのフリー層と分極層から成る素子において、DC 電流によってフリー層のスピンの歳差運動が誘起され AC スピン応答が得られるというものであり、発振素子の開発等、スピントロニクスへの応用面で重要であるのみならず、基礎物性としても興味深い新奇現象である。しかしながらこれまで、そのダイナミクスについてはよく理解されていなかった。本論文では、この現象を生み出すスピントルク発振素子から成る系における磁化ダイナミクスを Landau-Lifshitz-Gilbert-Slonczewski (LLGS) 方程式に基づいて調べ、そこで得られた知見から磁化ダイナミクスを制御し、安定した振動を得るための条件を明らかにしている。ここで LLGS 方程式とはスピントルク発振素子の磁化の歳差運動を記述する運動方程式である。より詳細には本論文では以下の点を明らかにしている。まず、この現象の起源であり、スピン流と電子スピンの交換相互作用によって生ずる Slonczewski スピントルクの微視的起源について非平衡グリーン関数を用いて議論し、スピントルク発振素子に対して LLGS 方程式を用いることの妥当性を明らかにしている。次に、スピントルク発振素子の振動特性を明らかにするため、LLGS 方程式に対して逡減摂動法を適用し、振動子系を記述する Stuart-Landau 方程式に帰着させることによって、磁化ダイナミクスにおいて振動数と振幅の非線形結合が重要であることを明らかにしている。さらに非線形性を制御するパラメータである非線形振動数シフト係数の振動強度線幅への影響を定量的に評価する理論式を Stuart-Landau 方程式から導出している。さらにそれに基づいて非線形振動シフト係数を実験的に決定する方法を提案し、実際にスピントルク発振素子に対して実験を行って、その有効性を確かめている。次に応用上重要な楕円ナノピラー形状のスピントルク発振素子において、安定した空間的に一様な振動を得るための条件を明らかにするため、空間非一様性を考慮したモデルの考察を行っている。具体的には空間非一様性のある場合の LLGS 方程式を逡減摂動法によって複素 Ginzburg-Landau 方程式に帰着させて、解析的手法および数値シミュレーションによって調べている。その結果、非線形振動シフト係数の符号によって一様振動の安定性・不安定性が決まることが明らかになり、楕円軸に対する印加磁場方向の傾きのよって、一様-非一様転移が起こることが示された。この結果はこれまで十分に理解されていなかった従来の実験結果をよく説明するとともに、一様振動を安定化させ、制御するための条件を明らかにしているという点で意義あるものである。さらにまた、スピントルク発振素子が複数個結合した系における磁化ダイナミクスについても考察を進め、フリー層スピンだけでなく分極層スピンのダイナミクスも考慮したモデルの解析を行い、起こりえる振動モード、振動パターンを網羅的に解明している。この理論予測についても既に部分的に実験による検証がなされ、理論の正しさが示されている。			

(論文審査の結果の要旨)

本論文で扱われているスピントルク誘起磁化現象は、スピントロニクスへの応用面で重要であるとともに基礎物性としても興味深い現象として近年活発に研究がなされている。最近の実験研究によって、その磁化ダイナミクスの特異な振る舞いが観測されていたが、その理論的な十分な説明はこれまでなされていなかった。この問題に対して、本論文では、磁化ダイナミクスの非線形振動現象としての側面に光を当て、これまで理解されていなかった実験結果をよく説明するとともに、応用上重要な安定した一様振動を得るための条件を明らかにしている。この点で、本論文は重要性の高いものであると言える。スピントルク誘起磁化現象を記述する基礎方程式はLandau-Lifshits-Gilbert-Slonczewski (LLGS) 方程式であるが、この方程式を解析するために逡減摂動法を適用して振動子系のモデルに帰着させ、非線形性に着目してダイナミクスを論じたのは工藤氏が世界ではじめてである。この研究によって従来、実験で観測されながらも十分、理解されていなかったスピントルク発振素子における一様-非一様転移の起源を解明することに成功している。さらにこの結果に基づいて、安定した一様振動を実現する条件を明らかにしている。このように研究アプローチの独創性と結果の有用性において本論文の内容は高い評価に値する。また、さらに本論文では非線形性を制御するパラメータである非線形振動シフト係数を実験的に決定する手法を、上述の理論に基づいて提案し、工藤氏自ら実験を行い、この手法を用いて実際のスピントルク発振素子に対して同パラメータを決定している。この結果も価値あるものと評価される。また、本論文は、上記の研究に関連して、LLGS 方程式、Slonczewski スピントルクの起源等その基礎事項から詳細に網羅的に説明し、本テーマの将来の研究者にも資する学識レベルの高いものとなっている。以上のように本論文の研究成果は、スピントロニクスへの応用上、非常に有用であるとともに、スピントルク誘起磁化振動現象という新奇に発見された現象の基礎物性の理解を著しく前進させ、本テーマの今後の発展へ大きく貢献しているという点で非常に重要なものである。

よって、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25年2月22日、論文内容とそれに関連した口頭試問を行った。口頭試問において、上述の研究成果に対する工藤氏本人の主たる貢献も確認された。

また、学識確認については、口頭試問における質疑応答を通して、工藤氏が上記研究テーマの背景にある物理学の広範囲な学識を有することが確認できた。さらに別途に凝縮系物理学一般に関する学識についても試問を行い、工藤氏が十分な学識を有することを認めた。また、語学については口頭試問と同日に筆答試験を実施し、工藤氏は合格の成績を修めた。以上のように専門および語学の学識確認においても工藤氏が本学大学院博士後期課程を修了した者と同等以上の学力を有することを確認した。

以上のように論文審査、口頭試問、学術確認の結果、合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降