

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 日比野 有岐

スピン偏極電流による磁化の制御が市場に投入されている磁気メモリの情報書き込み手法の主流となっている。これは、伝導電子と局在磁気モーメント間のスピン角運動量の受け渡しによって磁化がトルクを受ける現象(スピン移行トルク)を用いたものである。一方で、スピン軌道相互作用の強い非磁性金属(NM)に電流を流すことによって生じるスピントルク効果に起因した純スピン流や、NM と強磁性金属(FM)の界面でのラッシュバ効果によるスピン蓄積に起因して、積層された FM の磁気モーメントにトルクが生じることが知られている。このスピン軌道トルクと呼ばれる現象には、上記に加え、他にもいくつかの起源によるものがあることが知られており、そのメカニズムの理解は途上にある。日比野氏は、非自明なスピン軌道トルクに焦点を当て、その性質の理解を通してメカニズムに迫る研究を行った。

「強磁性多層膜における非自明な電流誘起スピン軌道トルクに関する研究」と題された本博士論文は 7 章から構成されている。第一章では、研究背景とともに、スピン移行トルクと一般的なスピン軌道トルクの解説、ごく最近提唱されている非自明なスピン軌道トルクについて紹介している。

第二章では、試料作製方法や基本的な特性評価などの実験方法を説明している。

第三章では、本研究の鍵となる交流輸送測定によるスピン軌道トルクの定量評価方法について、実例を交えて丁寧な説明を行っている。

第四章では、Pt/Co 界面に注目し、界面由来の非自明なスピン軌道トルクの観測について述べている。これまでのスピン軌道トルクの生成機構では、生成されるスピン流のスピン分極方向は一定の軸方向に限定されていたが、近年では FM や FM/NM 界面にて生成される特異なスピン流生成機構が報告されはじめた。これらの機構ではスピン分極方向が強磁性体の磁化方向によって決定されることから、スピン軌道トルクに新たな自由度をもたらすものとして期待されている。本博士論文では磁化ピン層であるコバルト(Co)と磁化フリー層の鉄ニッケル合金であるパーマロイ(Py)の間に白金(Pt)を挟んだ Py/Pt/Co の三層構造を用いて、Pt/Co 界面から生じる特異なスピン流生成に着目し、交流輸送測定を通じて Pt/Co 界面に由来した非自明なトルクが生じていることを示した。膜厚依存性や比較実験等から、この非自明なトルクの一部は Pt/Co 界面に起因した「スピン軌道歳差効果」によるスピン流生成機構に由来したトルクであることを示した。また、このトルクは、Pt の膜厚が厚くなるほど減少することを明らかとした。これはバルク Pt 内でのスピントルク効果によって生じるトルクとは異なり、Pt/Co 界面に起因した現象であることを浮き彫りにするものである。

第五章では、スピン軌道歳差効果の界面構造制御を目指した内容となっている。スピン軌道歳差効果に由来したスピン流生成機構では FM/NM 界面における界面ラッシュバ効果の大きさによって強度・符号が異なることが理論的に予想されている。日比野氏は FM/NM 界面の構造に着目し、NM 金属の材料選択による界面構造制御を介したスピン軌道歳差効果の制御を行った。その結果、

スピン軌道歳差効果によるスピン軌道トルクの大きさ・符号が界面構造に強く依存することを初めて明らかにした。また、スピン軌道歳差効果によるスピン軌道トルクが垂直磁化層においても生じることを電流誘起磁化反転から試みた。同氏の試みた電流誘起磁化反転は、スピン軌道歳差効果によってもたらされる自由度を上手く活用したものであり、これまでのスピン軌道トルクが抱えていた課題(補助磁界の印加)を解決する糸口となるものである。

第六章では、表面酸化によるスピン軌道トルクの高効率化を目指した取り組みについて記述している。Pt/CoのCo表面に酸化状態を導入することで磁化方向の安定性を決定する磁気異方性の向上に加え、スピン軌道トルクによる磁化反転の閾電流密度の低減を観測した。定量的トルク評価から、酸化状態を導入することでスピン軌道トルクの高効率化が生じていることを明らかにし、高安定かつ高制御性を両立したスピン軌道トルクデバイスへの可能性を見出した。

以上をまとめると、本論文ではスピン軌道トルクの全貌解明に大きな貢献をするものと評価できる。また、スピン軌道歳差効果によるスピン軌道トルクの定量評価だけでなく、その性質を実験的に明らかにした。また、それを利用した磁化反転へも道を拓くなど、応用上の成果もあげた。得られた成果は物性科学・物理工学の発展への貢献が期待されるものであり、本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。