

遷移金属および複合酸化物における
スピン流と磁化ダイナミクスに関する研究

2024 年度

曾家 希美

主 論 文 要 旨

No.1

報告番号	㊦ 乙 第	号	氏 名	曾家 希美
主 論 文 題 名： 遷移金属および複合酸化物におけるスピン流と磁化ダイナミクスに関する研究				
(内容の要旨) 約 20 年前にスピンホール効果が初観測されて以来、スピン軌道トルクに関する研究が活性化しさまざまな材料・手法・応用が探求されてきた。電流・スピン流変換現象であるスピンホール効果やラシュバ・エデルシュタイン効果はそのようなスピントロニクス研究の中核を担っており、そのメカニズム解明や制御原理確立に向け活発に研究が進められてきた。しかし、これらの現象に関して数多くの議論が重ねられてきたにも関わらず、不明瞭なまま見過ごされている未解明物理が依然として存在する。今後のスピントロニクスの発展のためには、観測される現象の背後ある多様な物理を精密に切り分けた議論をすることが必要である。本研究では、電流誘起トルクに寄与する諸現象を明瞭に区別して整理することで、スピン流に関する研究においてこれまで見過ごされてきた、しかし本質的に重要な物理を明らかにする。本研究により得られる成果は、今後のスピントロニクス研究におけるより厳密で正確な議論を可能にするための基盤となる。 本論文は全 7 章で構成される。第 1 章では序論として、スピントロニクス発展の歴史的背景と本研究の目的について述べる。第 2 章では、本研究の前提知識として磁化ダイナミクスやスピントルク、電流・スピン流変換などの物理現象を説明する。第 3 章では、本研究におけるデバイス作製方法、実験方法、データ解析方法について述べる。第 4 章では、常磁性金属中のスピン流生成について述べる。窒素の導入により格子定数と抵抗率を制御した Pt 薄膜におけるスピンホール効果のクロスオーバーを観測し、内因性スピンホール効果が格子定数の変化に対して堅牢であることを示す。第 5 章では、強磁性金属中のスピン流生成について述べる。エピタキシャル強磁性体 Fe_3Si におけるスピンホール効果をスピン異常ホール効果から分離して観測し、電流・スピン流変換が磁化方向に依存せず等方的であることを示す。第 6 章では、酸化物ヘテロ構造における電流誘起トルクについて述べる。SrTiO_3 基板デバイスにおいて電流誘起トルク測定を行い、ラシュバ・エデルシュタイン効果によるスピン軌道トルクよりもリーク高周波電流によるエルステッドトルクが支配的であることを示す。第 7 章では、本研究の結論として得られた成果を集約して説明する。				

Thesis Abstract

No. _____

Registration Number	☒ "KOU" ☐ "OTSU" No. _____ *Office use only	Name	Nozomi Soya
Thesis Title Study on Spin Current and Magnetization Dynamics in Transition Metals and Complex Oxides			
Thesis Summary Since the first observation of the spin Hall effect about two decades ago, research on spin-orbit torque has flourished, exploring various materials, methodologies, and applications. Central to this progress are the spin Hall effect and the Rashba-Edelstein effect, which realize charge-to-spin conversion in solids. Significant efforts have been devoted to unraveling their mechanisms and establishing principles for their control. However, despite extensive studies on these phenomena, there is still unresolved physics that remains overlooked. For the continued development of spintronics, it is essential to precisely disentangle and isolate the diverse underlying physics behind the observations. This study systematically distinguishes and organizes the various phenomena contributing to current-induced torques, shedding light on previously overlooked but fundamentally significant physics in spin current research. The insights gained from this work provide a solid foundation for more rigorous and accurate discussions in the field of spintronics, paving the way for its continued advancement. This thesis consists of seven chapters. Chapter 1 introduces the historical background of the development of spintronics and the objectives of this study. Chapter 2 describes the theoretical background, explaining the physical phenomena such as magnetization dynamics, spin torque, and charge-to-spin conversion that underpin this study. Chapter 3 outlines the device fabrication, experimental methods, and data analysis procedures used in this research. Chapter 4 describes spin current generation in paramagnetic metals. By observing the crossover of the spin Hall effect in Pt, whose lattice constant and resistivity are controlled by N introduction, it is demonstrated that the intrinsic spin Hall effect is robust against changes in the lattice constant. Chapter 5 describes spin current generation in ferromagnetic metals. Observations of the spin Hall effect apart from the spin anomalous Hall effect in an epitaxial ferromagnet Fe₃Si reveal that charge-to-spin conversion is independent of its magnetization direction. Chapter 6 describes current-induced torque in oxide heterostructures. Measurements of the current-induced torques on SrTiO₃-based devices show that the Oersted torque due to the leakage of radio frequency charge current dominates over spin-orbit torque due to the Rashba-Edelstein effect. Finally, Chapter 7 concludes the study by summarizing the key findings.			