OUKA
Osaka University Knowledge Archive

Title	Microscopic Theory of Spin Torques in Ferromagnets with Rashba Type Spin-orbit Coupling
Author(s)	酒井, 章雄
Citation	大阪大学, 2014, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/34517
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

Osaka University

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　　名　（　酒井　章雄　）	
論文題名	Microscopic Theory of Spin Torques in Ferromagnets with Rashba Type Spin-orbit Coupling （ラシュバ型スピン軌道相互作用をもつ強磁性体におけるスピントルクの微視的理論）

論文内容の要旨

電子の持つ電荷とスピンを同時に利用し、新しいエレクトロニクスの創出を目指すスピントロニクスの分野では、電流による磁化の制御が盛んに研究されてきた。これは電流を運ぶ伝導電子が、交換相互作用を通じて、磁化にスピントルクを及ぼすことに起因する現象である。このスピントルクは、コンベンショナルなものとして、Gilbert damping、スピンのくりこみ、スピン移行トルク、β項が知られている。しかし近年、ラシュバ型スピン軌道相互作用を伴う反転対称性の破れた系において、電流誘起による新しい型のトルク（Spin-orbitトルク）が生じることが理論的・実験的に議論され、精力的に研究されている。本研究では、このような電子系が強磁性体中の磁化に及ぼすトルクを、微小振幅の方法を用いて微視的モデルから計算し、その解析を行うことを目的としている。

まずトポロジカル絶縁体に着目した。この物質はバルクでは絶縁体であるが、その表面に強いスピン軌道相互作用を伴う金属状態を持ち、その表面電子の運動エネルギーがラシュバ項で表されるモデルで記述される。この物質を強磁性にした系を考え、計算・解析を行った。結果としてGilbert damping、スピンのくりこみ、Spin-orbitトルクとそのgradient補正が得られた。このモデルの特殊性より各トルクの係数が輸送係数と“等価”であることと指摘し、この観点から考察する一方、この“等価性”の限界も明らかにした。さらに、ゲージ不変性に基づく議論によりスピン移行トルクとβ項は存在しないことを結論づけた。

次にラシュバ型スピン軌道相互作用を伴う2次元電子ガスモデルに対して計算・解析を行った。結果としてコンベンショナルな4つのトルクに加えて、Spin-orbitトルクとそのgradient補正、スピンホール効果に起因すると考えられるトルクが得られ、各係数の大きさを評価した。

様式7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　酒井章雄　）		
	（職）	氏　名
論文審査担当者	主査　教授	鈴木義茂
	副査　教授	木村剛
	副査　教授	吉田博
	副査　名古屋大学教授	河野浩

論文審査の結果の要旨

提出された論文は、電子の持つ電荷とスピンの双方を巧みに利用する新しい技術・学問分野であるスピントロニクスに関するものである。当該研究は、その中でも中心的なテーマである、電流による磁化操作に関する理論研究で、伝導電子が磁化に及ぼす効果（スピントルク）に対するスピン軌道相互作用の効果を詳細に調べたものである。

従来、基本的なスピントルクとして、角運動量保存則に基づく「スピン移行トルク」、およびスピン緩和により生じる「ベータ項」が知られていたが、近年、空間反転対称性の破れた系においてラシュバ型スピン軌道相互作用により生ずる種々の「スピン軌道トルク」の効果が活発に研究されている。本論文において候補者は、そのようなスピン軌道相互作用を有する２つの系「ディラック強磁性体」および「ラシュバ強磁性体」に対して、スピントルクおよび関連物理量（スピン起電力、輸送係数）を微視的計算により調べた。前者はトポロジカル絶縁体の表面状態を用いて、後者は磁性多層膜を非対称に積層した系において実現される。

計算は、線形応答理論とグリーン関数を用いた量子多体論の標準的な方法によりなされた。その際、不純物散乱の効果として電子の自己エネルギーだけでなく、物理量に即したバーテックス補正も考慮されているのが特色である。その結果、ディラック強磁性体に対しては、スピン軌道トルクとそのグラディエント補正のみが得られ、スピン移行トルクとベータ項は得られなかった。後者の不在については、この系では横磁化の効果はベクトルポテンシャルと同じであることから、ゲージ不変性の観点から厳密に成り立つことが示された。一方、ラシュバ強磁性体では（スピン移行トルクとベータ項を含む）より多くのトルクが得られたが、バーテックス補正の効果によりその多くは大きく抑制され、実質的にスピン移行トルクとベータ項（およびある限られたスピン軌道トルク）のみが重要となり得ることを見出した。特にベータ項は大きく、それによりスピン移行効果の５０倍もの速度で磁壁を移動させ得ることを見出すなど実験と比較できる結果も出ており今後の実験への寄与も期待できる。摂動計算のみでなくゲージ不変性といった大局的な立場からも結果を吟味したことは高く評価できる。

候補者が高度な技術を要する理論計算を行い、現在活発に研究されている話題に関して興味深い結果を得たことは高く評価できる。得られた結果は、今後、当該分野の研究に新たな視点を与えるものと期待される。発表は明快で質問への受け答えも的確であった。以上より、本論文は博士（理学）の学位論文として価値のあるものと認める。