

論文審査の結果の要旨

氏名 松林 大介

本論文は“Theoretical study on cross-correlated dynamics between magnetic domain walls and conduction electrons”（「磁壁と伝導電子の相互に相関したダイナミクスに関する理論的研究」）と題し、5章からなる。第1章はイントロダクションであり強磁性体における磁壁およびその電流駆動についての紹介を行うとともに、研究の背景および本論文の主目的について述べている。第2章では、後の議論に必要な解析理論の概説を行っている。本論文で考察されている物理系は、強磁性を担う磁気異方性をもつ局在スピン系とそれと相互作用している伝導電子系の結合システムである。局在スピンと伝導電子の相互作用は強磁性的 sd 相互作用が考慮されている。局在スピン系は古典系として扱われ、そのダイナミクスを記述する Landau-Lifshitz-Gilbert (LLG) 方程式が、伝導電子との相互作用を記述する分子場を含んだ形で定式化され、また、磁壁の集団運動の座標として、その中心位置 X とその場所におけるスピンの偏角 ϕ が導入されている。また伝導電子の感じるスピン依存有効電場へのスピンベリ一位相の寄与の説明を行っている。

第3章が本論文の主要部分であり、磁壁の電流駆動に関する数値計算の結果が説明されそれに基づく考察が展開されている。まず、伝導電子のダイナミクスを時間依存 Schrodinger 方程式として解く手法が説明され、これと LLG 方程式の連立方程式の時間発展が1次元 60 サイトの場合に数値計算され、電流、磁壁位置 X および偏角 ϕ 、およびスピントルクの時間依存性が求められた。主要な結果として、磁気異方性 K_{\perp} が小さい時には、磁壁はそのスピン偏角を単調に増加させながら滑らかに動くのに対して、 K_{\perp} が大きな場合には、スピン偏角の首振り運動を伴う間歇的な磁壁の stick-slip 運動とそれに対応する電流の大きな時間振動が見出された。この2つの時間依存性の違いの微視的起源を解明するために伝導電子系の1電子準位の時間発展が解析されたことが、本論文の最もオリジナルな部分である。その結果、異方性が大きな場合には、2つのスピンのエネルギーバンドが重なるエネルギー領域に入ったところで起こる、伝導電子の間歇的な後方散乱が支配的であるのに対して、異方性が小さい時には、局在スピンの変形に伴う伝導電子のスピン変化が連続的に起こることが発見された。これらの異なる伝導電子の散乱ダイナミクスが、電流駆動による磁壁の運動機構として従来提唱されていた2つの過程、運動量移行とスピン移行に対応することが明らかになった。第4章においては、磁壁の運動に起因する電気抵抗に関して、電子ダイナミクスの解析が引き続き行われた。有限電圧によって伝導電子エネルギー準位の変化に伴って準位交叉が起こる時の遷移の断熱性の指標量が導入されてこれが数値的に計算され、運動量移行が支配的となるのは、遷移の断熱性が大きいよりもむしろ中間的な値をもつ場合であり、2つのエネルギーバンドが重なったエネルギー領域の下端付近で運動量移行がもっとも顕著に起こっていることが示された。第5章では、本研究で得られた結果を要約し、将来の問題を提起している。

本論文の数値計算は少数1次元を対象に行われており、現実物質のシステムサイズ、磁気異方性に関して、提唱されている2つの過程が定量的にどの程度の磁壁抵抗、および磁壁の電流駆動を与えるかは未解決の問題として残っているが、磁壁の運動に関与する伝導電子系のダイナミクスを調べるため、基本的な時間発展方程式の数値計算を始めて行い、異方性の変化によって電子散乱機構のクロスオーバーが起こることを直接示したことは、磁壁の電流駆動の物理的理解に貢献するものと認められる。

なお、第3章の研究は、小形正男氏および宇田川将文氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって分析および検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できるものと認める。