

論文内容の要旨

論文題目 Theoretical study on cross-correlated dynamics
between magnetic domain walls and conduction electrons

(磁壁と伝導電子の相互に 관련된 ダイナミクスに関する
理論的研究)

氏名 松林 大介

磁壁とは強磁性体中の反対のスピンをもち磁区と磁区間のスピ
ンがねじれた境界領域のことであり、ある有限幅(数100nm~数nm)を
もっている。近年、この磁壁を電流で駆動するという現象が不揮発性
記憶媒体のデバイス原理を与えるとして応用の面から注目されている。
また、磁壁というマクロな構造と伝導電子が相互作用する複雑な非平
衡多体問題の舞台としても重要である。もともとこの現象は1980
年代に予見されていたのであるが、理論的な興味にとどまっていた。し
かし、近年の微細加工技術の発展や磁化構造をスピン分極流で制御で
きる可能性が示唆されたことと相まって、爆発的に理論・実験ともに
研究が進むこととなる。また、最近のスピン트로ニクスにおいても一
つの分野を築いている。この磁壁電流駆動に関する理論的研究が我々
の主要な研究テーマである。

まず磁壁電流駆動における磁壁の駆動メカニズムについて説明する。
電流は磁壁を二つの方法で動かす。一つ目は伝導電子が磁壁をつ
くる局在スピンの向きに自分のスピンを沿わせながら通り抜けて、ト
ルクを磁壁に与えるスピン(トルク)移行メカニズムである。この場
合、電子は断熱的に磁壁を透過するので断熱トルクとも呼ばれる。二

つ目は向かってきた電子が磁壁に反射されるときに磁壁に力を与える運動量移行メカニズムである。これは電子の非断熱なプロセスによるものなので、断熱トルクと対比して非断熱トルクとも呼ばれる。

多くの強磁性体では電子のフェルミ波長に比べて十分磁壁幅が大きいので、電子が断熱的に透過するスピン移行が駆動メカニズムとして有利と考えられる。しかし、最近の多くの実験で電子の非断熱性、すなわち運動量移行の重要性が示唆されている。しかし、電子の非断熱性の理論的な取り扱いが難しいせいで、運動量移行はあまり研究がされてこなかった。この非断熱性を真面目に取り込んだ計算を行ったのが我々の以下に述べる研究である。

我々は、磁壁をつくる局在スピンの従う Landau-Lifshitz-Gilbert (LLG) 方程式と伝導電子が従う時間依存 Schrodinger 方程式を連立して数値的に解くことで、上で述べた電子の非断熱性を完全に取り込むことに成功した。そのためスピン移行と運動量移行を同等に扱うことができ、一般的かつ近似のないダイナミクスをシミュレートできることになった。その結果、局在スピン系の困難軸異方性定数という量を変化させることで、スピン移行と運動量移行のクロスオーバーを起こすことができた。

また、伝導電子の非断熱性を考慮できる我々の手法の強みを活かして、特に運動量移行に注目した研究を行った。運動量移行は伝導電子の磁壁による後方散乱が起源なので、電流の観点から言うと磁壁による抵抗が生じることになる。我々は運動量移行と電子の非断熱性の関係を調べるために、その磁壁抵抗を様々な状況において計算した。その結果、電子が断熱的状态から非断熱的状态に移り変わるエネルギー領域が存在し、そこで後方散乱が増強されて結果として磁壁抵抗が増大することを見出した。