



Title	磁壁ダイナミクスの電氣的制御
Author(s)	小山, 知弘
Citation	大阪大学低温センターだより. 2020, 170, p. 16-17
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/76749
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

磁壁ダイナミクスの電氣的制御

産業科学研究所 小山 知弘

E-mail: tkoyama@sanken.osaka-u.ac.jp

私は2019年4月に産業科学研究所に着任いたしました。関西出身ということもあり、毎朝の天気予報で近畿地方がクローズアップされるのを日々懐かしい気持ちで見えています。私は京都大学で学位を所得後、ドイツ・東京と拠点を変えながら、強磁性体(いわゆる磁石)の研究を続けてまいりました。磁石と言っても、皆様にとって馴染みのある壁にくっつくマグネットのように目に見えるものではなく、ナノメートルサイズの目に見えない磁石が対象です。強磁性体をここまで微小化すると、バルク強磁性体では起こりえない多彩な現象が見られます。こうしたナノスケール強磁性体で起こる新現象の開拓・実用化を目指す分野はスピントロニクスと呼ばれています。

スピントロニクスの中の主要な研究テーマの一つに、強磁性体中の磁区・磁壁の制御というものがあります。強磁性体の基本となるのは原子が持つ磁気モーメントで、強磁性体中ではそれらが同じ向きに揃いやすくなります。磁気モーメントがそろった領域を磁区、異なる方向(磁化方向)を持つ磁区同士の境界を磁壁と呼びます。強磁性体の磁化過程を理解するためには、磁区や磁壁のダイナミクスを明らかにすることが必要となります。また、今や広く普及している磁気記録デバイスでは、磁化方向を0および1の情報に対応させて情報を記憶しており、それを反転させることで情報の書き込みを行います。磁区・磁壁の研究はそうしたデバイスの更なる高性能化・省エネ化の実現にも直結するものです。私はこれまで、この磁区・磁壁ダイナミクスの電氣的制御に関する研究を行ってきました。ここで「電氣的」というのは強磁性体中にある電子の特性を積極的に利用するという意味です。本稿では、電流(電子の動き)と電界効果(電子状態制御)を使った成果を紹介します。

電流による磁区・磁壁制御

磁壁は外部磁場だけでなく、強磁性体そのものに直接電流を流すことによっても動かすことができます。この現象は電流を担う伝導電子の持つスピンの磁壁と相互作用することにより生じるもので、初めて実験的に示されたのは30年以上前ですが微細加工技術の進歩に伴い急速に研究が進んできました。電流駆動で重要な点の一つが、複数の磁壁を全て同一方向に駆動できるということです。これは磁壁が消滅してしまう磁場駆動では不可能な動作であり、この特徴を利用した新しい磁気記録デバイスである「レーストラックメモリ」などが提案されるなど応用面でも注目されています。私は線幅数10ナノメートル程度という微小強磁性細線を用いて磁壁の電流駆動を調べました。その結果、磁壁駆動に最低限必要な閾電流値が特異な線幅依存性を示し、ある線幅のところで極小値を示すことを見出しました[1]。この実験結果は、閾電流が磁壁の内部構造に由来するエネルギーによって決まっていることを示す証拠です。また、そのエネルギーを越えた状態を意図的に実現するこ

とにより、磁壁をより効率的に駆動できることもわかりました[2]。最近では強磁性体と重金属との接合系において、磁壁を極めて高速で駆動できることなどが明らかにされており、今なお興味が尽きません。

電界効果を用いた磁壁移動速度の制御

半導体に絶縁体を介してゲート電圧を印加することで伝導特性を制御する手法は一般に電界効果と呼ばれています。この現象を利用した電界効果トランジスタはあらゆる電子機器の中で中心的な役割を果たしており、現代社会を支えています。半導体中のキャリア数を変調して伝導を制御するというのが電界効果の本質ですが、磁性を有する半導体を用いた場合、その磁性をも電界で制御可能であることが2000年に示されました。その後、半導体に比べてキャリア(電子)数が多い金属強磁性体においても、膜厚をナノメートル以下(すなわち数原子層レベル)にすることで磁性を電界制御できることが明らかになりました。以降、金属強磁性体の様々な磁気特性に対する電界効果が調べられてきました。私はこの電界効果を、これまで携わってきた磁壁の研究に適用できないかと考え、実験を行いました。その結果、磁壁移動速度がゲート電圧の印加により明瞭に変化することがわかりました[3]。本研究では100 m/sを超える高速磁壁移動の電界制御にも成功しました。ところで磁壁速度が変化する原因としてまず考えられるのは、磁気異方性(磁気モーメントの向きやすさを表す量)が電界変調を受けそれを通して速度が変わっている可能性です。ところが磁気異方性の電界による変化を調べたところ、これだけでは磁壁速度変化を説明できないことが判明しました。さらに詳細に実験を重ねた結果、磁気モーメントを捻じろうとする相互作用であるジャロシンスキー・守谷相互作用という量が電界で変調されることが速度変化の直接の起源であることがわかりました。電界効果は充放電時を除いて素子に電流が流れないため、極めて低エネルギーで磁性をコントロールできます。従って、本研究で示したように小さな電力を外から与えるだけで磁壁移動を高速化できれば、前述のレーストラックメモリをはじめとする磁気デバイスの更なる高機能化が期待できます。

上記の研究は、共同研究者をはじめとする多くの方々の多大なご助力があつてこそ成し遂げられたものです。この場をお借りして感謝申し上げます。最後になりましたが、本稿は低温センターの機関紙に掲載されるということで、寒剤と私の研究の関係について述べておきます。私の研究は専ら室温で行ってまいりましたが、寒剤は不要かというところ全くそんなことはありません。使っている強磁性体の特性を評価するには数テスラの高磁場が度々必要となり、液体ヘリウムを使って動作させる超電導マグネットのおかげでそうした測定ができています。研究が途切れないよう、寒剤を絶えず供給していただいている低温センターのスタッフの方々に深く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] T. Koyama *et al.*, *Nature Materials* **11**, 194 (2011).
- [2] T. Koyama *et al.*, *Nature Nanotechnology* **7**, 635 (2012).
- [3] T. Koyama *et al.*, *Science Advances* **4**, eaav0265 (2018).