

電流による磁壁の超高速移動を室温かつレアアースフリーの磁性体で達成

磁石にはN極とS極がありますが、ミクロな視点では、磁石のN極S極の向きがそろった磁区と呼ばれる領域と、隣り合う磁区との境界である磁壁が存在しています。AIやビックデータの発展に伴い、大容量で低消費電力のメモリーが大量に必要になりますが、磁区の磁石の向きを情報の0と1に対応させることで、情報を記録することができることから、 $1\mu\text{m}$ 以下の細い線状構造の磁石に電流を流して磁壁を高速で移動させ、0と1を読み書きする究極の情報記録素子（レーストラックメモリー）が注目を集めています。

電流による磁壁の高速移動は、GdFeCo等のフェリ磁性体ですでに実現されていますが、動作温度がマイナス 30°C 程度と低く、磁壁の移動を補助するために外部磁場が必要である上、レアアースであるGd（ガドリニウム）を使わなくてはなりません。本研究グループは2019年に、レアアースを全く含まないフェリ磁性体 Mn_4N （窒化マンガン）をベースとして、室温かつ外部磁場がない状態で、 0.9km/s という磁壁の移動速度を得ています。今回、 Mn_4N に微量のニッケルを添加することで、磁化を限りなくゼロに近づける磁化補償を行い、室温かつ外部磁場の補助がない状態で、 3km/s の磁壁移動速度を達成しました。これは、室温で得られた磁壁移動として、あらゆる磁性材料の中で最大の値です。

磁石の磁化の方向を電流で高速に制御することは、メモリーへの応用に限らず、スピントロニクス
の基盤となる技術であり、今後、さまざまな分野での応用が期待されます。

研究代表者

筑波大学数理物質系

末益 崇 教授

研究の背景

磁石をミクロの視点で見ると、磁石の向きが揃った磁区と呼ばれる領域と、隣り合う磁区との境界である磁壁が存在しています。磁区の磁石の向きを情報の 0 と 1 に対応させることで、情報を記録することができます。AI やビッグデータの活用において、大容量で低消費電力のメモリーを実現することが重要になっていますが、磁石を $1\mu\text{m}$ 以下の細い線状構造にし、そこに電流を流して磁壁を高速に移動させ、0 と 1 を読み書きすることのできる究極の情報記録素子（レーストラックメモリー）が注目を集めています。電流は伝導電子の流れであり、個々の伝導電子はアップスピンまたはダウンスピンをもっています。磁石の中を流れる電流は、どちらかのスピンの偏った電子からなるスピン偏極電流です（図 1）。電流により磁壁を移動させるには、スピン偏極した伝導電子がもつ角運動量を磁性体中の磁性元素の角運動量に受け渡す必要があります、そのためには、磁性体の磁化が小さく、また、薄膜の垂直方向に磁化が向いていること（垂直磁気異方性）が重要です。そのような材料として、GdFeCo 等のフェリ磁性体^{注1)}が研究され、これまでに、実用レベルとされる 1km/s を超える速度での磁壁移動が達成されてきました。しかし、動作温度がマイナス 30°C 程度と低く、磁壁の移動を補助するために外部磁場が必要である上、レアアースである Gd（ガドリニウム）を使う必要がありました。本研究チームは、レアアースを含まず、かつ、垂直磁気異方性を示すフェリ磁性体 Mn_4N （窒化マンガン）に注目し、フランスのグルノーブルアルプ大学などとの国際共同研究を行ってきました。

研究内容と成果

本研究チームは、2019 年に、フェリ磁性体 Mn_4N を用いて、室温において 0.9km/s という磁壁移動速度を得ており、また、 Mn_4N に僅かに Ni（ニッケル）を添加することで、磁化がゼロになる磁化補償^{注2)}が生じることを明らかにしています。これらを踏まえ、今回、磁化補償組成近辺の試料を作製し、室温かつ外部磁場の補助がない状態で、 3km/s という高速での磁壁移動を達成しました。これは、室温で得られた磁壁移動速度として、あらゆる磁性材料の中で最大の値です。また、磁化補償前後の Ni 組成で、磁壁の移動方向が反転する大変興味深い現象も見いだしました（図 2）。

今後の展開

Ni 以外にも磁化補償が生じる不純物として Co（コバルト）などがあります。Ni では、磁化補償近辺で物質の性質が大きく変わるため、Ni 組成の制御が特に重要です。一方、Co の場合、物性が Co 組成に過度に敏感にならず安定化していると期待されます。また、磁化反転を生じさせる方法についても、さらに検討の余地があります。磁石の磁化の方向を電流で高速に制御することは、メモリーへの応用に限らず、スピントロニクス^{注3)}の基盤となるものです。

参考図

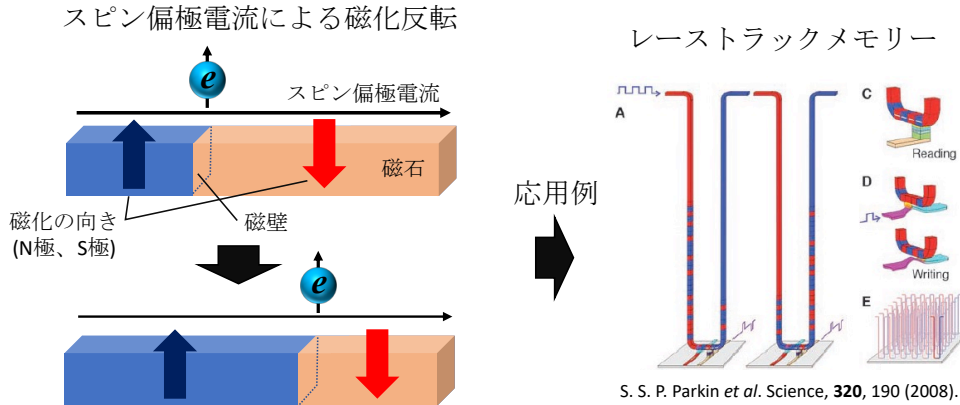


図1 磁壁の移動による情報記録の仕組み

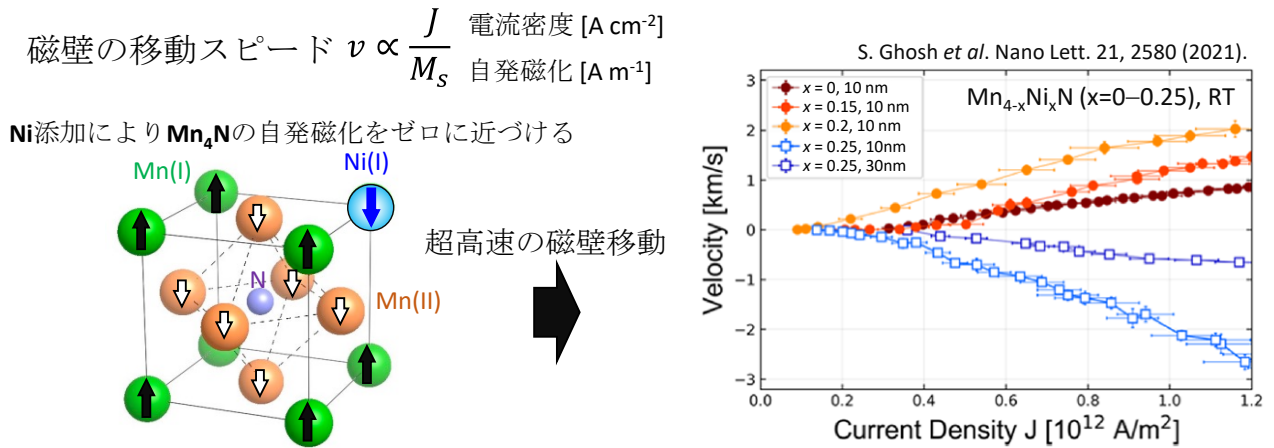


図2 本研究に用いた実験手法と結果

左図は Mn₄N の結晶構造を示す。矢印は、各磁性元素がもつ磁気モーメントを表し、それらの総和が磁化の大きさとなる。Ni を僅かに添加した厚さ 10-30nm の Mn_{4-x}Ni_xN 膜(x=0,0.15,0.2,0.25)を SrTiO₃ 基板上に結晶成長し、その後、幅 1μm 程度の細線に加工した。形成した細線にパルス状の電流を流して磁壁を動かし、その速度を測定したところ、右図に示すように、x=0.25 の試料で 3km/s を達成した。また、x=0.2 と 0.25 の間に磁化補償組成があると考えられ、この組成を境に、磁壁の移動方向が反転していることも分かった。

用語解説

注1) フェリ磁性体

隣接する磁性原子の磁気モーメント（磁力の大きさと向きを表すベクトル量）が互いに反平行に整列し、全体としてある方向に磁化をもつ材料。

注2) 磁化補償

磁性原子の磁気モーメントの総和がゼロになること。

注3) スピントロニクス

スピンとエレクトロニクスの 2 つの単語を合わせた造語であり、電子がもつ電荷とスピンの両方を応用する分野のこと。高密度メモリや高感度磁気センサーなどへの展開が期待されている。

研究資金

本研究は、科研費国際共同研究強化(B)、科研費挑戦的研究、他の研究プロジェクトの一環として実施されました。

掲載論文

【題名】 Current-Driven Domain Wall Dynamics in Ferrimagnetic Nickel-Doped Mn_4N Films: Very Large Domain Wall Velocities and Reversal of Motion Direction across the Magnetic Compensation Point

(Ni 添加 Mn_4N において電流による磁壁の超高速移動および磁化補償組成前後での移動方向の反転)

【著者名】 Sambit Ghosh, Taro Komori, Ali Hallal, Jose Peña Garcia, Toshiki Gushi, Taku Hirose, Haruka Mitarai, Hanako Okuno, Jan Vogel, Mairbek Chshiev, Jean-Philippe Attané, Laurent Vila, Takashi Suemasu, and Stefania Pizzini

【掲載誌】 Nano Letter

【掲載日】 2021年3月11日

【DOI】 10.1021/acs.nanolett.1c00125

問合わせ先

【研究に関すること】

未益 崇 (すえます たかし)

筑波大学数理物質系・物理工学域 教授

URL: <http://www.bk.tsukuba.ac.jp/~ecology/>

【取材・報道に関すること】

筑波大学広報室

TEL: 029-853-2040

E-mail: kohositu@un.tsukuba.ac.jp