

PRESS RELEASE (2025/11/21)

1 原子レベルの薄膜で磁気準粒子の磁化ねじれを制御

～ 大容量・高速・低電力な新規情報端末の幕開け ～

ポイント

- ① 情報爆発に向け、新規情報端末の登場が待ち望まれている。
- ② 1 原子レベルの薄膜挿入により、磁気スキルミオンの 3 大メリットである大容量・高速・低電力駆動を並立するアプローチを実証。
- ③ 更に有効な材料を探索することができ、可能性は無限。将来の情報端末への応用が期待される。

概要

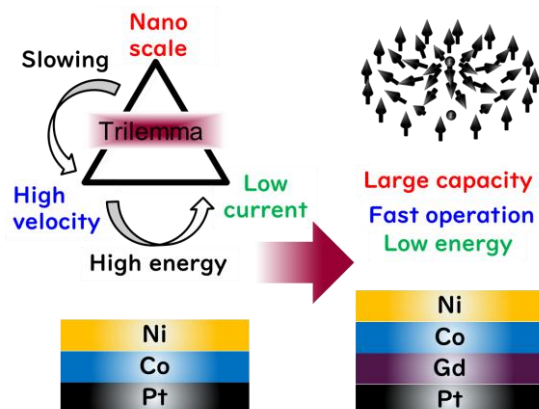
人工知能をはじめとして私達は情報社会の恩恵を受けていますが、情報量が爆発的に増え、処理に必要な電力が全地球上の発電量に迫っています。これを解決するには、これまでにないレベルで消費電力を抑え込む技術が必要でした。候補の一つに磁気スキルミオンの活用があります。磁気スキルミオンは磁性体中のスピンの捻じれた準粒子の構造で、トポロジカル的に安定なだけでなく、ナノスケールという微小サイズ、GHz という高速駆動、さらに低い電流で転送可能という、情報端末に求められる 3 大要素を持つとして、期待されています。ところが、これら 3 つの特長を同時に実現する事が難しく、トリレンマである事が課題でした。

これに対し我々は、磁気スキルミオンを構成する数ナノメートルの磁性薄膜と重金属薄膜の間の界面に、新たに 1 原子レベルの薄い膜を挿入することで、トリレンマを解決できる可能性を実証しました。

九州大学大学院システム情報科学府の博士課程 3 年張麟、同大学院システム情報科学研究院の黒川雄一郎助教、湯浅裕美教授、および同大学院工学研究院の富田雄人助教、村上恭和教授らの研究グループは、従来の基本的な積層構成である Pt/Co/Ni に希土類である Gd（ガドリニウム）を僅か 0.3 nm ほど挿入した Pt/Gd/Co/Ni 積層体を作製し、電流で高速転送する際に必要なスピン軌道トルク（※1）を測定、さらにローレンツ電子顕微鏡により磁気スキルミオンを直接的に観察することで、ナノスケール準粒子の安定性と、高いスピン軌道トルクによる高速かつ低電流駆動の可能性を示しました。

今回の実証は、磁気スキルミオンデバイスにおいてトリレンマとされていた枠を破り、新しい情報端末に応用出来る可能性を大幅に拡張したものです。

本研究成果は米国雑誌「APL Materials」に 2025 年 11 月 14 日（金）に掲載されました。



本研究による磁気スキルミオン可能性の拡大

本グループからひとこと：

情報爆発によるエネルギー問題は世界共通の課題です。今回の研究成果で磁気スキルミオンによる解決の可能性を実証でき、嬉しく思っています。しかしまだ本格研究開発の入口に立ったところですから、準粒子である磁気スキルミオンから情報社会に貢献できるよう、今後も材料開発を進めていきます。

【研究の背景と経緯】

私達は情報社会の恩恵を受けていますが、近年はAIの成長もあり情報量が爆発的に増え、処理に必要な電力が全地球上の発電量に迫っています。これを解決するには、これまでにないレベルで電子情報デバイスの消費電力を抑え込む技術が必要でした。候補の一つに磁気スキルミオンの活用があります。磁気スキルミオンは磁性体中のスピンが捻じれた準粒子の構造で、トポロジカル的に安定なだけでなく、GHzで駆動するため少ない電流でも高速処理が可能、さらにナノスケールという微小サイズなためデータ容量増大化に適しているため、情報端末に求められる3大要素を持つ情報キャリアとして期待されています。ところが、これら3つの特長を同時に実現する事が難しいことが課題でした。具体的には、サイズを小さくすると転送速度が遅くなり、速度を維持するために電流を多く流すと、低消費電力のメリットは失われる、といったトリレンマの解決が待たれていました。

【研究の内容と成果】

九州大学大学院システム情報科学府の博士課程3年張麟、システム情報科学研究院の黒川雄一郎助教、湯浅裕美教授、および工学研究院の富田雄人助教、村上恭和教授らの研究グループは、従来の基本的な積層構成であるPt/Co/Niに希土類であるGdを僅か0.3 nmほど挿入したPt/Gd/Co/Ni積層体を作製し、電流で高速転送する際に必要なスピン軌道トルクを測定、さらにローレンツ電子顕微鏡により磁気スキルミオンを直接的に観察することで、ナノスケール準粒子の安定性と、高いスピン軌道トルクによる高速かつ低電流駆動の可能性を示しました。

磁気スキルミオンは、数ナノメートル厚さの磁性層と重金属層を積層したときに、界面で発現するジャロシンスキ守谷相互作用（※2）により、磁性層内のスピンが捻じれることで生成します。そして、重金属に電流を流すと、スピン軌道トルクを介して転送することが出来ます。このとき、スピン軌道トルク効率が高いと、同じ電流下で磁気スキルミオンが速く動きます。今回、Gdの挿入によりスピン軌道トルク効率を変化させ、同時に、Gdの設計膜厚を0.3 nmと薄くした事で磁気スキルミオンの生成に必要なジャロシンスキ守谷相互作用を担保できることを確かめました。

磁性層と重金属層の界面に異種元素を薄く挿入することは、磁気スキルミオンの持つポテンシャルである大容量・高速・低電力を同時に実現する可能性を示しています。

【今後の展開】

本研究で、磁性層と重金属層の界面に挿入する材料として希土類であるGdを選びましたが、世の中には多くの候補となる元素が存在します。より一層低消費電力で高速に大容量データを処理できる情報端末を目指し、研究を進めて行く予定です。

【参考図】

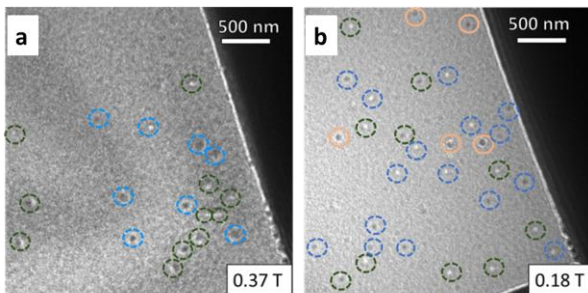


図1：Gdがない積層体(a)とGdがある積層体(b)のローレンツ電子顕微鏡写真。緑/青：スピン軌道トルクで転送可能/不可能な磁気スキルミオン。橙：磁気依存しない欠陥・ゴミ。

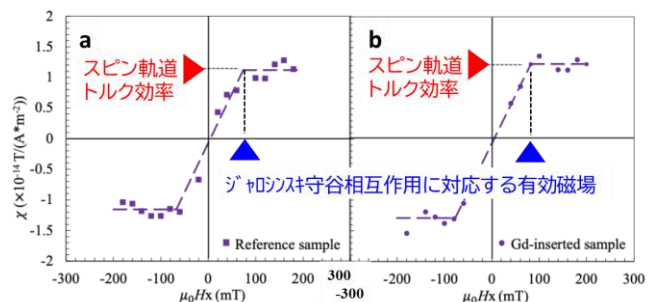


図2：Gdがない積層体(c)とGdがある積層体(d)のスピン軌道トルク効率。

【用語解説】

(※1) スピン軌道トルク

スピン軌道トルクは電流を流すことによってスピン流が生じ、そのスピン流が磁性体の磁化の向きを変えるよう操作する現象。スピン軌道トルクによる有効磁場を、単位電流密度あたりの効率として表したものがスピン軌道トルク効率です。

(※2) ジャロシンスキ守谷相互作用

隣接する磁気スピン間にはたらく磁気交換相互作用の一種で、反対称な成分を持つ相互作用。この相互作用は、スピンが平行または反平行に整列することを好む通常の磁気秩序とは異なり、スピンの特定の角度で傾くことを促進するため、磁気スキルミオンの生成に必須です。

【謝辞】

本研究は JSPS 科研費（JP23K22827, JP22KK0056, JP24H00030, および JP24H02235）、文部科学省文部科学省革次世代 X-nics 半導体創生拠点形成事業 JPJ011438、公益社団法人軽金属奨学会の助成を受けて行われたものです。張麟は JST による九州大学先導的人材育成フェローシップ事業（情報・AI 分野）（JPMJFS2132）の支援を受けました。実験の一部は九州大学田中輝光研究室、木村崇研究室、低温センターの装置を利用して行われました。

【論文情報】

掲載誌：APL Materials

タイトル：Direct observation of Skyrmions by Lorentz TEM and evaluation of SOT efficiency in Pt/Gd/Co/Ni laminated systems

著者名：Lin Zhang, Kazuhiko Tokunaga, Yuichiro Kurokawa, Takehiro Tamaoka, Yuto Tomita, Yasukazu Murakami, and Hiromi Yuasa

D O I : 10.1063/5.0294523

【お問合せ先】

<研究に関すること>

九州大学 大学院システム情報科学研究所 教授 湯浅裕美（ユアサヒロミ）

TEL : 092-802-3706

Mail : hiromi.yuasa@ed.kyushu-u.ac.jp

<報道に関すること>

九州大学 広報課

TEL : 092-802-2130 FAX : 092-802-2139

Mail : koho@jimu.kyushu-u.ac.jp