

トポロジカル反強磁性体におけるスピン蓄積による面直有効磁場の発現

— 垂直磁化膜の高効率な磁化反転へ —

理化学研究所量子ナノ磁性研究チーム 近藤 浩太
東京大学物性研究所 大谷 義近

はじめに

スピン軌道相互作用の強い常磁性重金属に電流を印加すると、スピンホール効果によって電流と直交方向にスピンの流れが生成します。そのため、常磁性重金属と強磁性金属を接合させた二層膜に界面に沿って電流を流すと、常磁性重金属のスピンホール効果によって界面にスピンの蓄積し、隣接する磁性体には、トルク(回転力)が作用します。このトルクはスピントルクと呼ばれ、磁化方向を制御性良く反転できることから、スピントロニクスデバイスの駆動原理として重要な現象の一つとなっています。

これまでの研究では、白金などのスピン軌道相互作用の強い遷移金属におけるスピンホール効果や、トポロジカル絶縁体のスピン分裂した表面状態を利用した“エデルシュタイン効果”による電流誘起の磁化制御が実証されてきました。そして、現在も、より省電力な磁化制御を実現するため、高効率な電流-スピン変換現象の探索・検証実験が続けられています。

一方、このような従来のスピンホール効果やエデルシュタイン効果では、対称性の観点から界面に蓄積するスピンの向き(スピン偏極方向)が、膜面内に固定されています。このため、不揮発性磁気メモリなどの応用上重要な垂直磁気異方性を有する薄膜(垂直磁化膜)における磁化反転には最適ではないことも知られていました。そこで、我々はこれらの問題を解決すべく、近年発見されたトポロジカル反強磁性体における磁気スピンホール効果に着目しました。我々は最近、このトポロジカル反強磁性体では、新奇なスピンホール効果である磁気スピンホール効果が発現するこ

とを明らかにしました[1]。この材料における、磁気スピンホール効果は、トポロジカル反強磁性体の微小磁化の方向(磁気八極子の向き)を変えることで、表面に蓄積するスピンの偏極方向を制御できます。さらに、時間反転対称性の破れに起因した面直方向に偏極したスピンの蓄積が理論的に予測されています(図1[1])。そこで、本研究では、この新たなスピンホール効果に由来するスピン蓄積が、隣接する強磁性体にどのようなスピントルクを与えるのかを実験的に明らかにすることを目的に研究を行いました。

1. 研究方法および結果[2]

本研究では、トポロジカル反強磁性体 Mn_3Sn (Mn:マンガン、Sn:スズ)単結晶を、集束イオンビームを用いてマイクロメートルサイズの薄体に加工し、その上に強磁性体 NiFe 合金(Ni:ニッケル、Fe:鉄)を成膜した素子を作製しました(図2)。このトポロジカル反強磁性体の特徴づける磁気八極子の向きは小さな外部磁場を用いて回転できるため、外部磁場の印加方向に対応して変化するスピンの偏極方向を詳細に調べることができます。

この素子の界面に沿って電流を流すと、磁気スピンホール効果によって Mn_3Sn 表面にスピンの蓄積し、隣接する強磁性体の磁化にトルクが作用します。このトルクの大きさは、スピントルク強磁性共鳴法により測定することができ

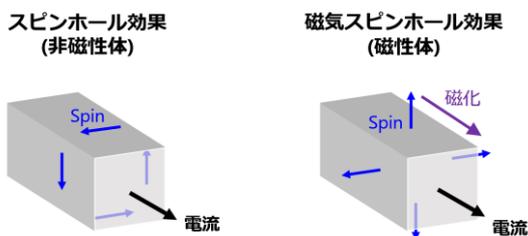


図1| スピンホール効果と磁気スピンホール効果

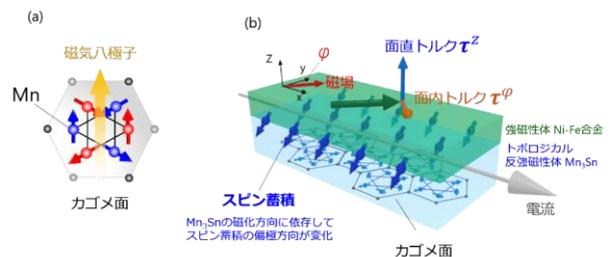


図2| トポロジカル反強磁性体 Mn_3Sn における電流によるスピン蓄積(a) Mn_3Sn における磁気八極子 小さな磁場で磁化方向の制御が可能[3] (b) Mn_3Sn 単結晶/NiFe 二層デバイス Mn_3Sn に流れる電流によるスピン蓄積が強磁性体(NiFe)に与えるトルクを計測

