

令和元年 10 月 17 日

報道機関 各位

東北大学金属材料研究所
東北大学材料科学高等研究所(AIMR)
科学技術振興機構(JST)
東京大学

スピントロニクス分野で、磁気秩序のない物質群(常磁性)を利用する可能性を示した。

スピントロニクスの常識を覆す

【発表のポイント】

- 常磁性絶縁体ガドリニウムガリウムガーネットが、長距離かつ高効率にスピントロニクス流を運ぶことを実証した。
- 従来スピントロニクス流輸送に必要と考えられていた磁気秩序に頼らず、微弱な原子磁石の間の相互作用だけで絶縁体中をスピントロニクス伝播できることがわかった。
- 磁気秩序物質(強磁性・反強磁性)を主な研究対象にするスピントロニクス分野で、磁気秩序のない物質群(常磁性)を利用する可能性を示した。

【概要】

東北大学金属材料研究所の大柳洸一氏(大学院博士課程)と東北大学材料科学高等研究所の高橋三郎研究員、東北大学金属材料研究所の Gerrit E. W. Bauer (ゲリット バウアー) 教授、東京大学大学院工学系研究科の齊藤英治教授(東北大学材料科学高等研究所・金属材料研究所兼任)らは、スピントロニクス材料として利用することが難しいと考えられていた常磁性^{注1)}絶縁体ガドリニウムガリウムガーネットが、スピントロニクス流を伝播する有用な材料になりうることを実証しました。

本研究成果は2019年10月18日(金)に英国科学誌「*Nature Communications*」のオンライン版で公開されます。

【問い合わせ先】

本件に関するお問い合わせ先

◆ 研究に関して

齊藤英治

東京大学大学院工学系研究科 教授

東北大学材料科学高等研究所(AIMR)/

金属材料研究所

【研究の背景】

スピン流とは、電子の自転(スピン)に由来する磁気の流れのことです。スピン流は、電子の電荷の流れである電流と対比され、次世代のエレクトロニクス素子に利用できるかと期待されています。スピン流はその磁気の流れという性質から、金属や磁石を使用した材料において活発に研究されてきました。例えば、金属中では伝導電子がスピン流を担います。

磁石(強磁性体)の中で、スピン流を伝播するには、スピンの向きが一方向に揃うこと(磁気秩序)が不可欠です。この磁気秩序があれば絶縁体中ですらスピン流を伝播できるため、磁気秩序を持つ物質については基礎と応用の両面から研究されています。(図1(a))。

これに対し、スピンの向きがバラバラな状態を常磁性と呼びます(図1(b))。このような磁気秩序がない物質中では磁気秩序によるスピン流輸送は期待できません。特に電気を通さない常磁性絶縁体は、伝導電子も磁気秩序も活用できないため長距離にスピン流を流すことは不可能である、というのがスピントロニクスの常識でした。

【研究の内容・成果】

本研究では、常磁性絶縁体であっても、物質内の微弱な原子磁石の間の相互作用を利用することによってスピン流を長距離に流すことができ、しかも同じ温度で強磁性体を用いた場合よりおよそ 8 倍効率的に流せることを発見しました。原子磁石間の相互作用とは、物質中の原子が磁石のように S 極と N 極を持ち、それが互いに同じ極だと反発し、違う極だと引き合う作用のことを意味します。

今回、常磁性絶縁体ガドリニウムガリウムガーネット $Gd_3Ga_5O_{12}$ (通称:GGG)という物質に注目しました。GGG は常磁性絶縁体で、物質内のスピンの力が大きいことが知られています。そのため外部磁場によって、スピンの方向を一部揃えることで、微弱ながら原子磁石の間の相互作用が期待できます。

実験では、GGG 上に 2 つの白金(Pt)細線を取り付けました(図 2)。一方の細線に電流を流し、スピンホール効果^{注2)}通じて、GGG にスピン流を注入します(入力細線)。もう一方の細線には電圧計を取り付けておきます(出力細線)。もし、GGG の中をスピン流が伝播して出力細線に到達すると、Pt 中の逆スピンホール効果^{注3)}による電圧が生じると期待されます。本実験ではこの出力細線の電圧の磁場依存性をさまざまな温度で調べました。

実験の結果、GGG は常磁性であるにもかかわらず、低温(5 K)において磁場をかけると、明瞭な起電力信号が観測されました(図 3)。信号を理論モデルで解析すると、GGG 中では従来にない高効率かつ長距離に渡ってスピン伝導が起きていることが明らかになりました。

さらに、温度を上昇させると GGG 中のスピン流が 100K という比較的高い温度まで長距離に渡って伝播していることがわかりました。これは GGG が完全な常磁性体であってもスピン流を伝播していることを示しています(図 4)。GGG は、このような高温で

あってもスピンは外部磁場によって一部揃うことができます。従ってスピン同士に微弱な原子磁石の間の相互作用が生じるため、スピン流が伝播できると考えられます。

【今後の展望】

今回の実験で、磁気秩序がない材料であっても、スピン流が伝播できることが実証されました。従来、スピントロニクス分野では強磁性絶縁体が主に研究されてきましたが、常磁性絶縁体も有力なスピントロニクス材料に利用できる道が拓かれたといえ、今後新たなスピントロニクス材料の開発が加速する可能性があります。

【参考図】

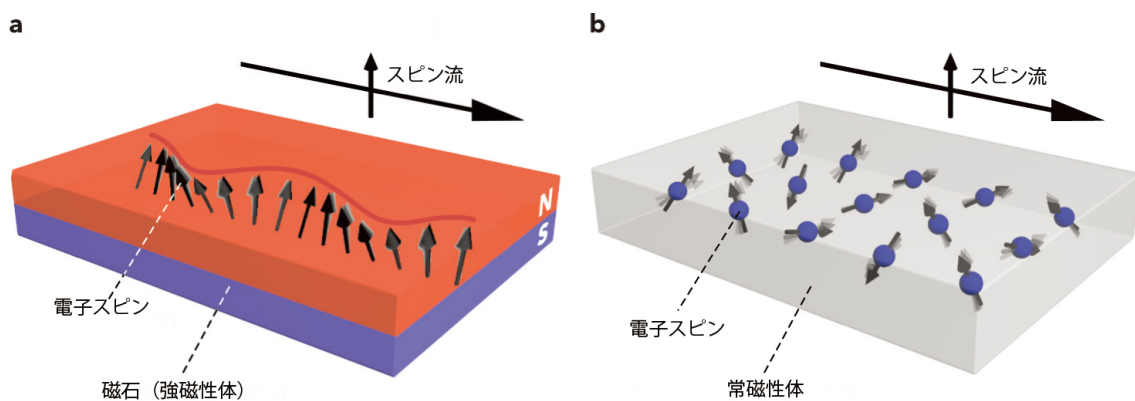


図1 強磁性体(a)と常磁性体(b)におけるスピン流伝播のイメージ図

強磁性体ではその磁石の性質から、スピンの方向が一方向に揃っていることで、スピン流を伝播できる。一方で常磁性体では、スピンの向きがバラバラで、従来はスピン流を十分に伝播できないと考えられていた。

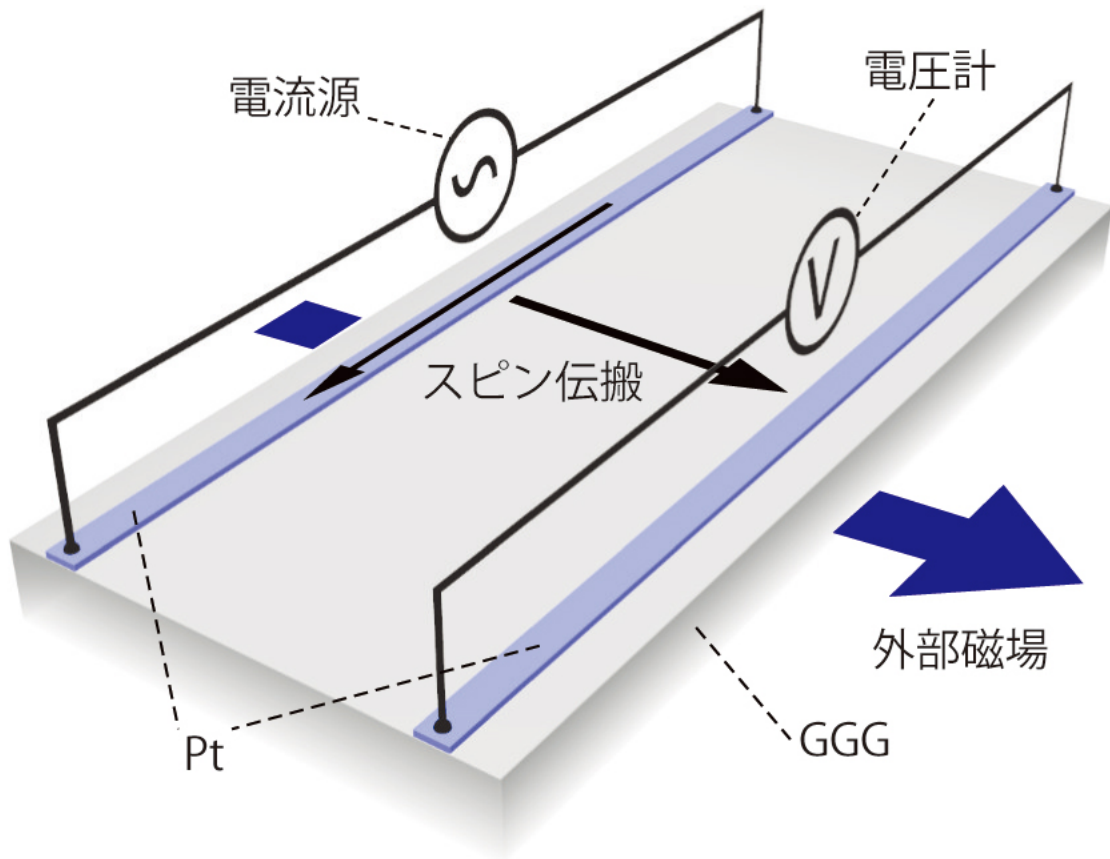


図2 実験のセットアップ図

ガドリニウムガリウムガーネット(GGG)上に2本の白金(Pt)細線を配置。一方のPt細線からスピン流を注入し、もう一方の細線に電圧計を取り付けることで、スピン流の伝播を確認する。

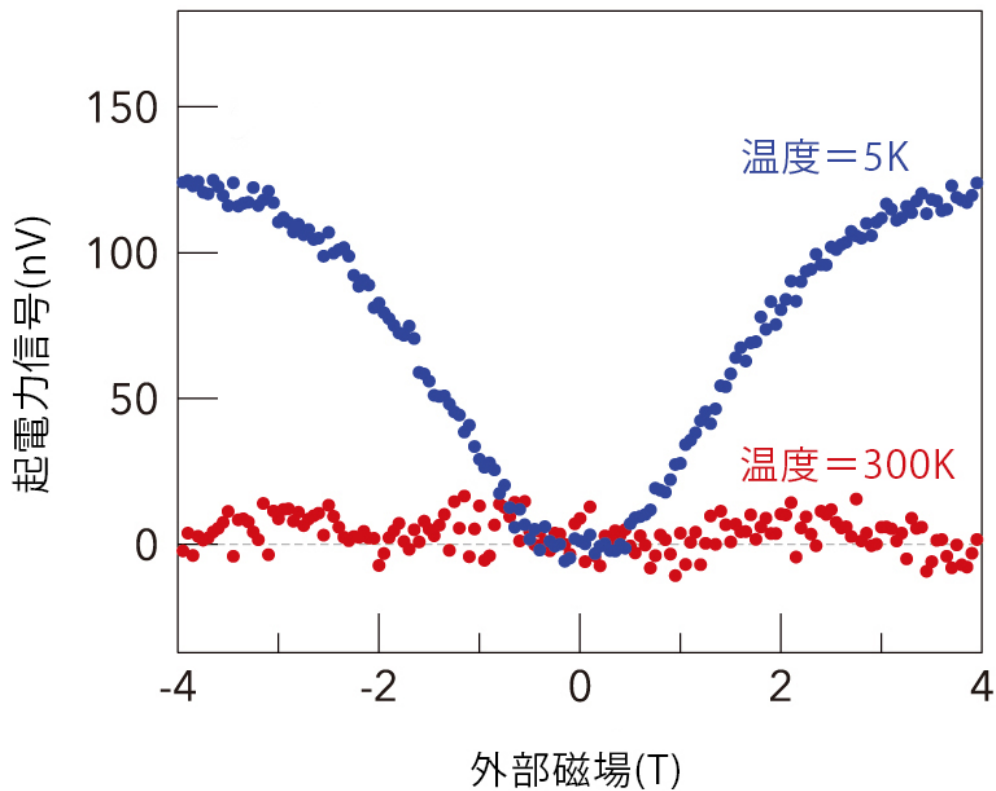


図3 測定した起電力信号グラフ

温度 5K において磁場をかけることで明瞭な起電力信号が観測されることがわかった。また 300K では信号は検出されないことがわかる。

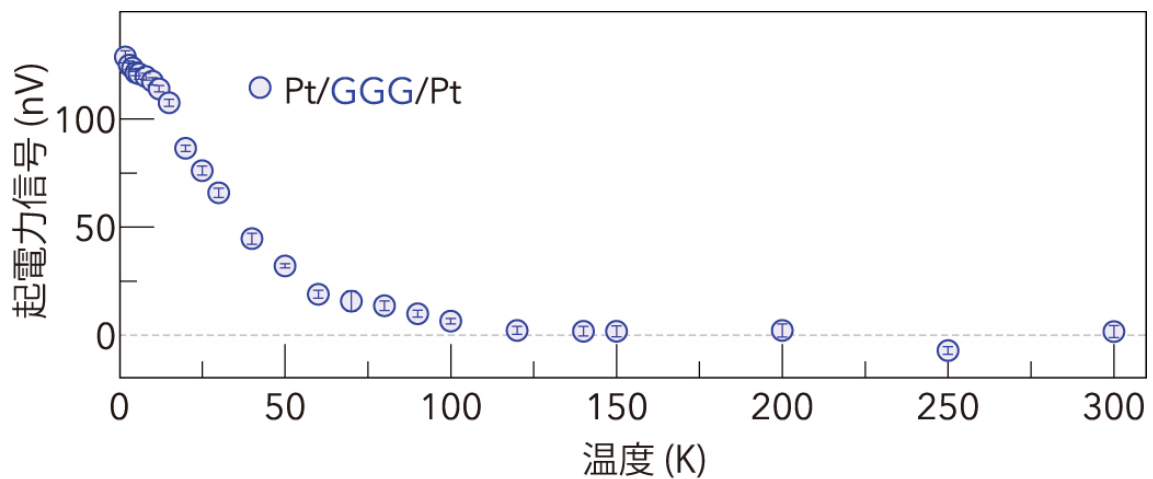


図4 起電力信号の温度依存性のグラフ

磁場 (3.5T) を GGG にかけたところ、5K 付近で大きな起電力信号が検出されていることがわかる。また 100K 程度まで温度を上昇させても起電力信号が検出できていることから、ある程度高い温度であっても引き続きスピンの伝播していることがわかる。

【用語解説】

注1) 常磁性

物質中の電子の自転(スピン)の向きが揃っていない、バラバラな状態のこと。

注2) スピンホール効果

電流と垂直な方向にスピン流が生成される現象。電子のスピンと軌道の相互作用により、上向きスピンを持った電子と下向きスピンを持った電子が互いに逆方向に散乱されることによって生じる。

注3) 逆スピンホール効果

スピン流と垂直な方向に起電力が発生する現象。電子のスピンと軌道の相互作用により上向きスピンを持った電子と下向きスピンを持った電子が互いに逆方向に散乱されることによって生じる。

【論文情報】”Spin transport in insulators without exchange stiffness”

Koichi Oyanagi, Saburo Takahashi, Ludo J. Cornelissen, Juan Shan, Shunsuke Daimon, Takashi Kikkawa, Gerrit E. W. Bauer, Bart J. van Wees, and Eiji Saitoh

DOI:10.1038/s41467-019-12749-7

【関連サイト】

- ERATO 齊藤スピン量子整流プロジェクト WEB サイト:

<https://www.jst.go.jp/erato/saitoh/ja/index.html>

本プロジェクトにおける過去の研究成果を掲載しています。

- スピンワールド:

<http://www.spinworld.jp/>

ERATO 齊藤スピン量子整流プロジェクトのアウトリーチサイトです。スピン科学やその基礎となる磁石の物理をやさしく解説しています。

【問い合わせ先】

- ◆研究に関すること

齊藤 英治(サイトウ エイジ)

ERATO 齊藤スピン量子整流プロジェクト 研究総括

東京大学 大学院工学系研究科物理工学専攻 教授

東北大学 材料科学高等研究所(AIMR)／金属材料研究所

〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平 2-1-1

- ◆JST の事業に関すること

古川 雅士(フルカワ マサシ)

科学技術振興機構(JST) 研究プロジェクト推進部
〒102-0076 東京都千代田区五番町 7 K's 五番町

◆報道担当

東北大学 金属材料研究所 情報企画室広報班

東北大学 材料科学高等研究所(AIMR) 広報・アウトリーチオフィス

科学技術振興機構(JST) 広報課

東京大学 大学院工学系研究科 広報室