

平成30年5月25日

報道機関 各位

東北大学材料科学高等研究所(AIMR)

東北大学金属材料研究所

科学技術振興機構(JST)

スピン流スイッチの動作原理を発見・実証 ～スピントロニクスの特長に道～

JST 戦略的創造研究推進事業 ERATO 齊藤スピン量子整流プロジェクトにおいて、Zhiyong Qiu 助教（東北大学金属材料研究所）と齊藤英治教授（東北大学材料科学高等研究所/金属材料研究所）らは、スピン流の流れやすさを制御するスピン流スイッチの原理を発見・実証しました。

スピントロニクス^{注1)}は電子の電荷だけではなく、スピンをも利用した次世代の情報処理技術です。スピントロニクスを利用したデバイスは、高速かつ不揮発なメモリーや、超高密度なハードディスクとして身近になりつつあります。しかしながら、スピントロニクスにおいては、スピン流の流れやすさを制御するスピン流スイッチを実現する手段が確立されておらず、その動作原理の発見・実証が望まれていました。

本研究では、反強磁性体^{注2)}の相転移での振る舞いを利用して、スピン流スイッチが実現できることを実証しました。スピン流の具体的な素子には、磁性絶縁体であるイットリウム鉄ガーネット(YIG)とスピン流検出用の白金(Pt)の間に、反強磁性体である酸化クロム(Cr₂O₃)を挟んだ構造を用いました。YIGからPtに向けてスピン流を注入すると、Cr₂O₃でのスピン流の流れやすさに応じた起電力が、Ptに生じます。本研究では、この起電力測定を通じて、反強磁性相転移により、Cr₂O₃がスピン流に対する導体から絶縁体になることを見いだしました。さらに、この相転移の近くで磁場を加えることによって、この相転移前後のスピン流の流れやすさを500%もの大きさで変化させられることを示しました。齊藤教授らは、電流における類似の現象から、本現象を「巨大スピン磁気抵抗効果」と名付けました。

これは、外部磁場によってスピン流の流れやすさを制御できる、すなわちスピン流のスイッチを実現する原理を発見したことになります。本研究は、これまでスピントロニクスに欠けていたスピン流スイッチを見いだしたのものとして、さまざまなスピントロニクスデバイスの展開に貢献するものと期待されます。

本研究成果は、2018年5月28日(英国時間16:00)に英国科学誌「Nature Materials (ネイチャー・マテリアルズ)」のオンライン版で公開されます。

問い合わせ先

<研究に関すること>

東北大学材料科学高等研究所(AIMR)/

金属材料研究所 教授 齊藤英治

Tel:022-217-6238 Fax:022-217-6395

E-mail:eizi@ap.t.u-tokyo.ac.jp

<報道に関すること>

東北大学材料科学高等研究所(AIMR)

アウトリーチオフィス

Tel:022-217-6146

E-mail:

aimr-outreach@grp.tohoku.ac.jp

<研究の背景と経緯>

スピントロニクスは電子の電荷だけではなく、スピンをも利用した次世代の情報処理技術です。スピントロニクスを利用したデバイスは、高速かつ不揮発なメモリーや、超高密度なハードディスクとして身近になりつつあります。エレクトロニクスにおいては、電子の流れである電流が利用されますが、スピントロニクスにおいては電子の持つ電荷とスピンの両方が利用されます。

スピン流とは電子スピンの流れです。スピン流は電流を伴う必要はなく、電気の流れない磁性体中を伝搬することができます。そのため、従来の電気回路ではスピン流を生成・検出することはできませんでした。しかしながら、近年発見された逆スピンホール効果^{注3)}やスピンゼーベック効果^{注4)}といった新現象によって、スピン流を用いた素子の開発が可能になりました。これらの発展によって、純粋にスピン流のみを利用した情報処理技術の研究が進められており、そのような素子は電流に伴うエネルギーロスの少ない、より省電力なデバイスとなり得ると期待されています。

エレクトロニクスの発展では、トランジスタの発明が大きな役割を果たしました。トランジスタは電流の流れをオン・オフするスイッチであり、このオン・オフによって情報の伝達・演算・保存が可能となりました。トランジスタの小型化と集積化に伴う性能向上のスケールビリティはムーアの法則として知られ、現代の半導体デバイスの発展の歴史そのものです。しかしながら、スピントロニクスにおいては、スピン流の流れを制御するスピン流スイッチを実現する手段が確立されていませんでした。そのため、スピン流のみで動作するデバイスを構成するための最も基本的な素子である、スピン流スイッチの実証が望まれていました。

<研究の内容>

本研究は、反強磁性体の相転移での振る舞いを新たに発見し(巨大スピン磁気抵抗効果)、これを利用して、スピン流の流れを制御するスピン流スイッチが実現できることを実証しました。具体的な素子は、磁性絶縁体であるイットリウム鉄ガーネット(YIG)とスピン流検出用の白金(Pt)の間に、反強磁性体である酸化クロム(Cr_2O_3)を挟んだ構造を用いました(図(a))。

反強磁性体は磁石の一種ですが、その内部での電子スピンの並び方に特徴があります。普通の磁石は全ての電子スピンが同じ方向を向いているのに対して、反強磁性体では電子スピンが互い違いに逆向きを向いています。そのため、正味の磁化は発現しませんが、電子スピンの並び方(秩序)を持った物質です。この反強磁性体における電子スピンの並び方は、ネールベクトルと呼ばれる量で特徴付けられます。

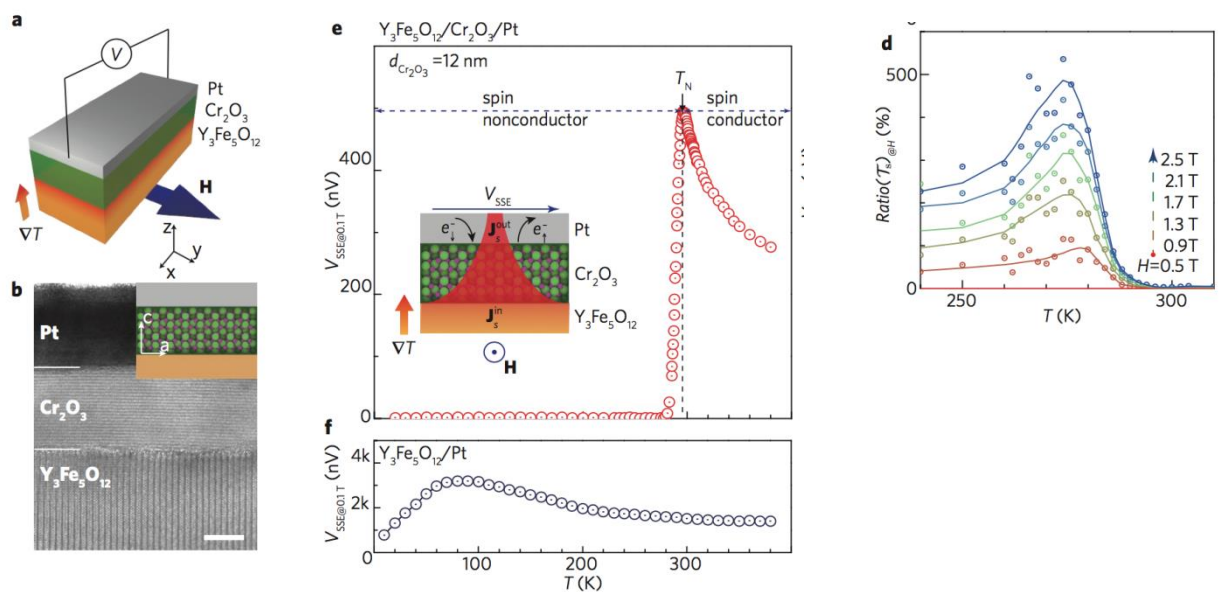
本研究では、 Cr_2O_3 のスピン流の流れやすさを調べました。スピン流の流れやすさは、YIG から Pt に向けてスピン流を注入して調べることができます(図 (a),(b))。まず YIG に温度差をつけることで、スピンゼーベック効果によってスピン流が Pt へ向けて注入されます。Pt へ注入されたスピン流は、逆スピンホール効果によって電圧に変換されます。この電圧は Pt へ到達するスピン流の量に比例するため、この電圧は YIG と Pt の間にある Cr_2O_3 でのスピン流の流れやすさを反映します。

この電圧は、 Cr_2O_3 の反強磁性相転移を挟んで大きく変化することが分かりました(図(e),(f))。これは、 Cr_2O_3 が反強磁性体となることにより、スピン流に対する導体から絶縁体に変わることを示しています。さらに、この相転移の近くで磁場を印加することによって、相転移前後でのスピン流の流れやすさを 500%もの大きさで変化させられることを示しました(図(d))。この大きな変化は、まさにスピン流のオン・オフを外部磁場によって制御できるスイッチに相当します。この現象は、反強磁性体においては、ネールベクトルに平行な角運動量成分を持つスピン流だけが流れることによって生じると理解できます。齊藤教授らは、電流における金属・絶縁体転移における巨大磁気抵抗効果との類似性から、本現象を「巨大スピン磁気抵抗効果」と名付けました。

<今後の展開>

本研究成果は、外部磁場によってスピン流の流れやすさを制御できる、すなわちスピン流のスイッチを実現する原理を発見したことになり、それに適切な材料の性質を明らかにしました。本研究は、これまでスピントロニクスに欠けていたスピン流スイッチを見いだしたものとして、さまざまなスピントロニクスデバイスの展開に貢献するものと期待されます。

<参考図>



(a)実験セットアップ

(b)作製された層構造の電子顕微鏡写真。それぞれの物質層がきれいな結晶構造を成していることが分かる。

(c)測定された Pt 層起電力の温度依存性。300K あたりで急激な信号の減少が確認できる。

(f) Cr_2O_3 層がない場合の対照実験結果。起電力は温度とともになだらかに変化している。

(d)実験結果から求められたスピン流の流れやすさの磁場依存性。図(e)で信号が急激に変化する温度域において、外部磁場によってスピン流の流れやすさが相転移の前後で最大 500%も変化している。

<付記事項>

本研究成果は JST 戦略的創造研究推進事業 総括実施型研究(ERATO)「齊藤スピン量子整流プロジェクト」などの支援を受け実施されました。

<用語解説>

注1) スピントロニクス

電子の磁氣的性質であるスピンを利用して動作する全く新しい電子素子(トランジスタやダイオードなど)を研究開発する分野のこと。

注2) 反強磁性体

隣り合うスピンの向きが、大きさは同じで逆向きに整列した磁性体。

注3) 逆スピンホール効果

スピン流を流すと、その流れる方向と、流れているスピンの向きに垂直な方向に電圧が生じる現象。

注4) スピンゼーベック効果

磁性体に温度勾配を加えると、温度勾配の方向にスピン流が生じる現象。

<関連サイト>

・スピンワールド:<http://www.spinworld.jp/>

ERATO 齊藤量子スピン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。

<関連プレスリリース>

・超薄膜物質の磁性を容易に測定できる手法を開発(2016年08月30日)

https://www.wpi-aimr.tohoku.ac.jp/jp/news/press/2016/20160830_000659.html

<論文タイトル>

“Spin Colossal Magnetoresistance”

Zhiyong Qiu, Dazhi Hou, Joseph Barker, Kei Yamamoto, Olena Gomonay, Eiji Saitoh

DOI: 10.1038/s41563-018-0087-4

<お問い合わせ先>

<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

東北大学材料科学高等研究所(AIMR)／金属材料研究所 教授

〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平2-1-1

Tel:022-217-6238 Fax:022-217-6395 E-mail:eizi@ap.t.u-tokyo.ac.jp

<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 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

Tel:03-3512-3528 Fax:03-3222-2068 E-mail:eratowww@jst.go.jp

<報道担当>

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

Tel:022-217-6146 E-mail : aimr-outreach@grp.tohoku.ac.jp

東北大学 金属材料研究所 情報企画室広報班

Tel:022-215-2144 E-mail : pro-adm@imr.tohoku.ac.jp

科学技術振興機構(JST) 広報課

Tel:03-5214-8404 E-mail : jstkoho@jst.go.jp