

解禁時間 (テレビ、ラジオ、WEB) : 平成 22 年 3 月 11 日 (木) 午前 3 時
(新聞) : 平成 22 年 3 月 11 日 (木) 付 朝 刊



平成 22 年 3 月 10 日

科学技術振興機構 (JST)
Tel : 03-5214-8404 (広報ポータル部)

東北大学金属材料研究所
Tel : 022-215-2181(総務課 庶務係)

慶應義塾大学
Tel : 03-5427-1541 (広報室)

絶縁体に電気信号を流すことに成功 —省エネデバイスに新展開—

JSTの目的基礎研究事業の一環として、東北大学金属材料研究所の齊藤 英治 教授らは、電子の自転「スピン」^{注1)}を用いることで絶縁体に電気信号を流す方法を発見しました。通常、絶縁体には電気が流れませんが、齊藤教授らの研究では最新の方法で電気信号をスピンに変換して磁性ガーネット結晶^{注2)}と呼ばれる絶縁体へ注入、絶縁体中を「スピンの波」として伝送し、再び電気に変換することによって、絶縁体中も電気信号を伝送できることを発見しました。この電気信号伝送は、省エネルギー技術へ応用できます。

通常の金属や半導体を流れる電流は、ジュール熱^{注3)}と呼ばれるエネルギー損失を伴います。これを回避するためには、摂氏マイナス百度以下の非常な低温でのみ発現する超伝導現象を用いるしかありませんでしたが、今回発見された絶縁体中の伝導にはこのジュール熱の発生がなく、かつ室温でも動作することから、新しい省エネルギー情報伝送手法としても注目されます。

この成果は、齊藤教授がこれまでに培ってきた固体中の相対論効果(スピンホール効果、逆スピンホール効果)の開拓など、スピンをエレクトロニクスに結びつけるための要素技術についての先駆的研究が実を結んだものです。

本研究は、慶應義塾大学 大学院理工学研究科 修士課程2年の梶原 瑛祐^{ようすけ}氏、東北大学金属材料研究所の前川 禎通 教授と高梨 弘毅 教授、FDK社との共同で行われました。

本研究成果は、2010年3月11日(英国時間)発行の英国科学雑誌「Nature」に掲載されます。

本成果は、以下の事業・研究領域・研究課題によって得られました。

戦略的創造研究推進事業 個人型研究 (さきがけ)

研究領域 : 「革新的次世代デバイスを目指す材料とプロセス」

(研究総括 : 佐藤 勝昭 東京農工大学工学部 特任教授)

研究課題名 : 誘電体スピントロニクス材料開拓とスピン光機能

研究者 : 齊藤 英治 (東北大学金属材料研究所 教授、

慶應義塾大学 理工学部 元 専任講師 (現 訪問教授))

研究実施場所 : 東北大学金属材料研究所

研究期間 : 平成19年10月~平成23年3月

この研究領域は、CMOSに代表される既存のシリコンデバイスを超える革新的な次世代デバイスを創成することを目標として、環境やエネルギー消費に配慮しつつ高速・大容量かつ高度な情報処理・情報蓄積・情報伝達を可能とする新しい材料の開拓およびプロセスの開発を図る挑戦的な研究を対象とするものです。

＜研究の背景と経緯＞

金属や半導体に電流を流すとジュール熱と呼ばれるエネルギー損失が発生します。これは、物質の持つ電気抵抗に由来します。これを回避する手法として超伝導と呼ばれるジュール熱の損失ゼロの物質状態を使うことが知られていましたが、この超伝導は摂氏マイナス百度以下といった非常な低温でのみ発現するため、利用が大変難しいものでした。

一方で、電流を流さない物質群の「絶縁体」が多く知られています。絶縁体は電流も電気信号も流さないと長く信じられていたために、電気伝送用としてはエレクトロニクスでは全く利用されてきませんでした。ところが今回、電子が持つ「電荷」と「スピン」の2つの性質のうち、これまでのエレクトロニクスで注目されてきた電荷ではなく、もう1つの性質であるスピンを使うことで絶縁体にも電気信号を流す（スピン流）ことができ、しかも絶縁体の中をジュール熱の発生なしに信号を流せることを発見しました。

＜研究の内容＞

今回の研究では、絶縁体である磁性ガーネット薄膜の高品質表面に2つの白金（Pt）電極薄膜を付けて精密な電気測定を行い、一方の白金電極に流した電流が絶縁体を介して離れたもう一方の白金電極に電圧を発生させることを発見しました（図1、2）。この電気信号伝送は、磁場を加えることで容易にスイッチオン・オフすることを見いだしました。

【原理の説明】

上記の現象は、白金電極中の電流が「スピンホール効果」と呼ばれる固体中の相対論効果によって電子スピン（電子の自転）の流れを生み出し、これが磁性ガーネット中をスピンの波として伝わり、このスピンの波がもう一方の白金電極中でスピンホール効果により電圧に変換されたものと考えられます（図3）。磁性ガーネットなどの磁性を持った絶縁体は、電流は通さないがスピンの波は通す物質であることがポイントです。

＜今後の展開＞

現在のIT社会を支えているコンピュータや通信技術に利用されている素子は、いずれも金属や半導体を用いているため、ジュール熱によって多大なエネルギー損失を生じます。このエネルギーロス素子の小型化・高性能化に対する大きな問題であり、素子開発は発熱との戦いと言ってもよい状況です。

本研究で初めて開拓された絶縁体を使った電気信号伝送方法は、従来の素子が抱えていた発熱によるエネルギーロスの問題を根本的に解決しうるものです。環境に配慮した省エネルギーな電子技術開発への貢献が期待できます。

<参考図>

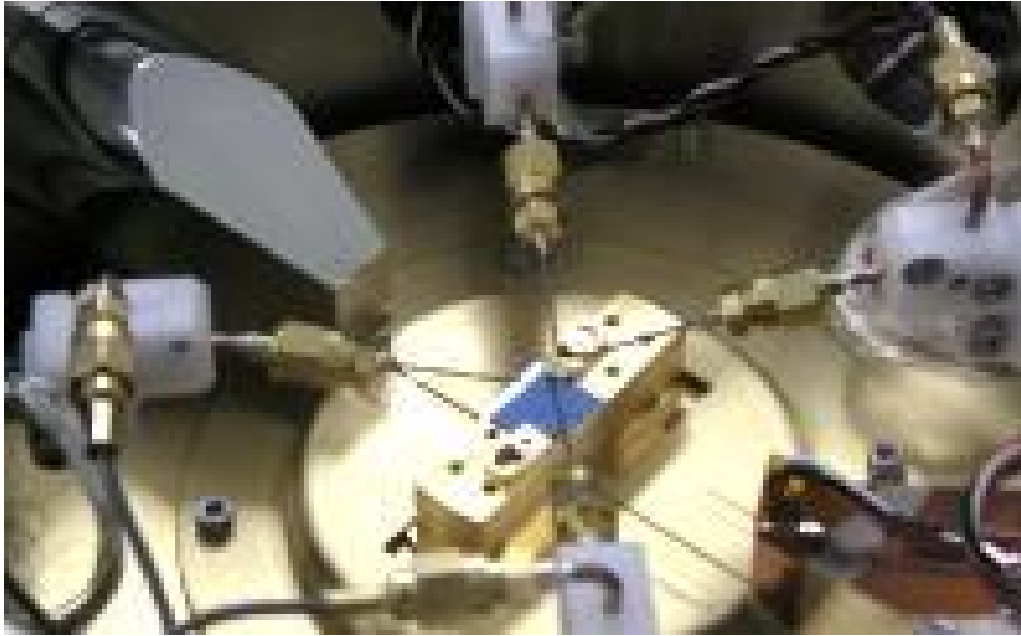


図1 絶縁体中に電気信号を送信する実験の様子
写真中央が試料。

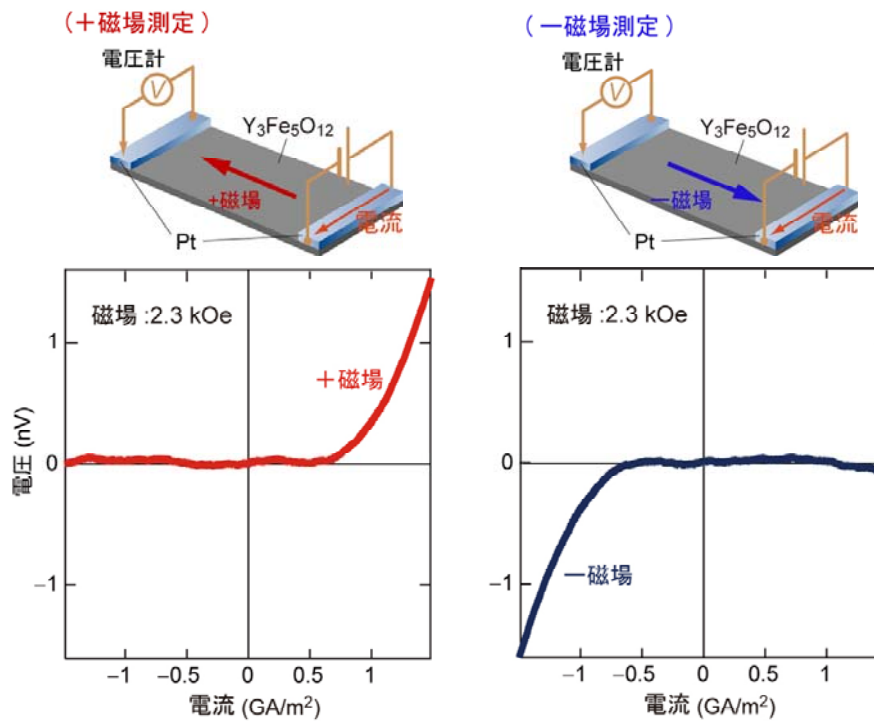


図2 絶縁体中に電気信号を送信した実験結果の例
絶縁体 $Y_3Fe_5O_{12}$ に2つの白金 (Pt) 電極を取り付け、片方の電極に電流を流すと、もう片方の電極に電圧が発生する。

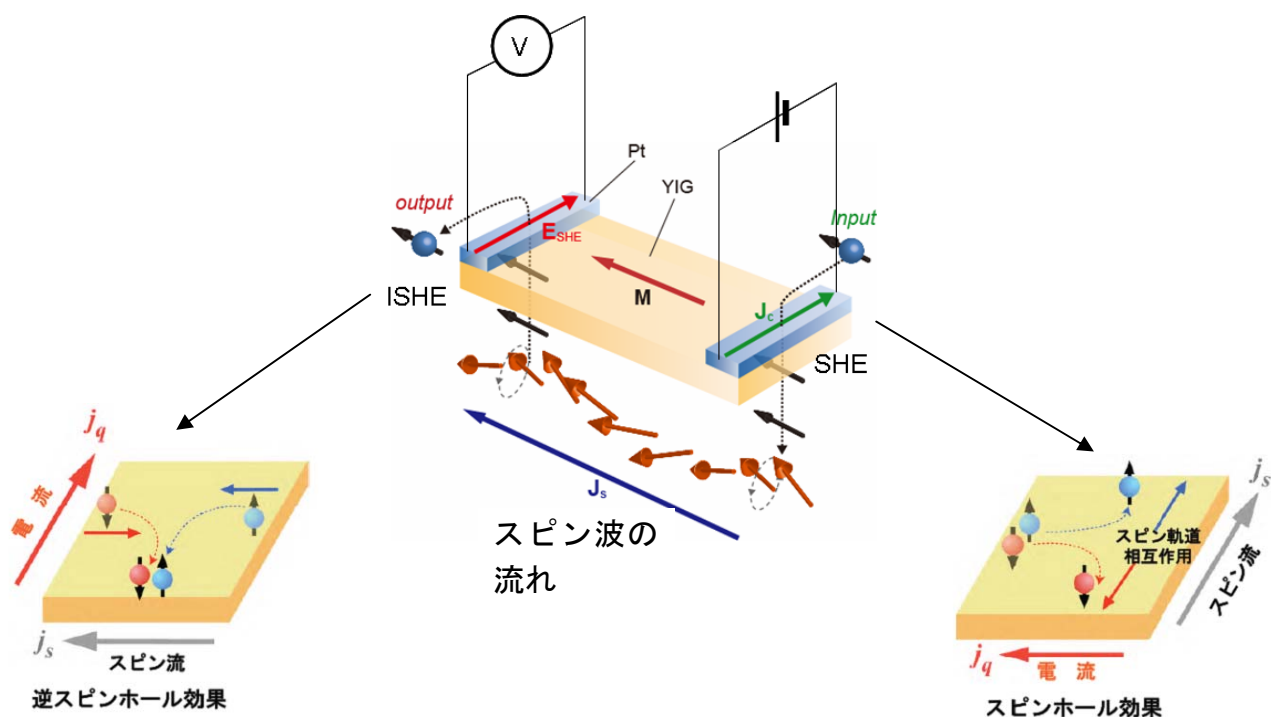


図3 スピンホール効果と逆スピンホール効果

スピンホール効果では、電流が流れるだけでスピン軌道相互作用の効果で上向きのスピンの下向きのスピンの左右に分離され、電流 j_q と垂直方向にスピン流 j_s を生じる。また、逆にスピン流から電流を発生させる現象を逆スピンホール効果と言う。今回は電流からスピン流を発生させ、さらにそのスピン流から電流を発生させる「スピンホール効果」と「逆スピンホール効果」の組み合わせを利用したものである。

<用語解説>

注1) スピン

電子が有する自転のような性質。電子スピンは磁石の磁場の発生源でもあり、スピンの状態には上向きと下向きという2つの状態がある。齊藤教授らが2006年に発見した「(逆)スピンホール効果」を利用すると、物質中のスピンの流れを電気に変換することができる。

注2) 磁性ガーネット結晶

イットリウム(Y)、鉄(Fe)、酸素(O)からなる化合物であり、化学式は $Y_3Fe_5O_{12}$ 。

注3) ジュール熱

金属や半導体に電流を流すと、電気抵抗により熱が発生する。このジュール熱の存在により、金属や半導体ではエネルギーの損失なしに電流を流すことはできない。

<論文名>

“Transmission of electrical signals by spin-wave interconversion in a magnetic insulator”

(磁性絶縁体における電気信号とスピン波の相互変換を用いた信号伝送)

<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)

東北大学金属材料研究所 教授

〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1

Tel : 022-215-2021 Fax : 022-215-2020

E-mail : eizi@imr.tohoku.ac.jp

<JSTの事業に関すること>

原口 亮治 (ハラグチ リョウジ)

科学技術振興機構 イノベーション推進本部 研究推進部 (さきがけ担当)

〒102-0075 東京都千代田区三番町5 三番町ビル

Tel : 03-3512-3525 Fax : 03-3222-2067

E-mail : presto@jst.go.jp

<報道担当>

科学技術振興機構 広報ポータル部

〒102-8666 東京都千代田区四番町5-3

Tel : 03-5214-8404 Fax : 03-5214-8432

E-mail : jstkoho@jst.go.jp

東北大学金属材料研究所 総務課 庶務係 佐々木（ササキ）

〒980-8577 仙台市青葉区片平 2-1-1

Tel : 022-215-2181 Fax : 022-215-2184

E-mail : miyuki.s@imr.tohoku.ac.jp、imr-som@imr.tohoku.ac.jp

慶應義塾 広報室 山口（ヤマグチ）、中島（ナカジマ）

〒108-8345 東京都港区三田 2-1-5-45

Tel : 03-5427-1541 Fax : 03-5441-7640

E-mail : m-koho@adst.keio.ac.jp

<http://www.keio.ac.jp/>