

報道機関各位

東北大学 原子分子材料科学高等研究機構 (WPI-AIMR)
東北大学 金属材料研究所

超薄膜物質の磁性を容易に測定できる手法を開発 ～スピントロニクス発展貢献に期待～

東北大学 原子分子材料科学高等研究機構 (WPI-AIMR) / 金属材料研究所の Zhiyong Qiu (ジョン キュウ) 助教と齊藤 英治教授らは、スピン流を用いて物質の磁性を観測することに成功しました。

スピン流とは、電子が持つ、自転に由来した磁石の性質であるスピンの流れのことを指します。近年のナノテクノロジーを利用して、磁石をナノスケール(10億分の1メートル)に加工することで、スピン流を作ることが可能です。スピン流は、電流と対比されスピンを使った次世代技術スピントロニクス^{注1)}の基礎現象として、活発に研究されています。

さて、電流の流れ易さ(電気伝導度)を調べることで、物質の性質を金属、半導体、絶縁体と分類することができますが、スピン流の流れ易さ(スピン伝導度)では、物質の性質を調べることはできないのでしょうか?

今回、本研究グループは、スピンポンピングという技術を用いて、磁性絶縁体であるイットリウム鉄ガーネット(YIG)から、反強磁性体である酸化コバルト(CoO)薄膜にスピン流を注入し、白金(Pt)により酸化コバルトに透過したスピン流を検出しました。こうして、反強磁性体中のスピン流の流れ易さを調べることで、厚さ数ナノメートルの超薄膜における磁気転移を代表とした磁氣的物性を測定することに初めて成功しました。

従来、このような薄膜の磁性を捉えるためには、中性子散乱などの大型の設備が必要であり、さらに試料が薄膜であるため絶対量が少なく、測定することが大変困難でした。今回実証された測定法は超薄膜の磁性を探索する汎用的な新手法として、近年進展著しい反強磁性体^{注2)}を利用したスピントロニクスの進展に貢献すると期待されます。

本研究成果は、2016年8月30日(英国時間)に英国科学誌「Nature Communications (ネイチャー・コミュニケーション)」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 原子分子材料科学高等研究機構 (WPI-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@imr.tohoku.ac.jp

<報道に関すること>

東北大学 原子分子材料科学高等研究機構(WPI-AIMR) 広報・アウトリーチオフィス 皆川 麻利江
Tel : 022-217-6146 E-mail : aimr-outreach@grp.tohoku.ac.jp

<研究の背景と経緯>

スピン流とは、電子の自転的性質（スピン）の流れのことです。近年のナノテクノロジーを利用して、ナノスケール（10億分の1メートル）に磁石を加工することで、スピン流を作ることができます。スピン流は、エレクトロニクスにおける電流と対比され、スピンを使った次世代技術スピントロニクスの基礎現象として、活発に研究されています。

物質の性質を調べる研究分野は物性物理学と呼ばれます。物性物理学では、電気や熱といった様々な刺激に対して、物質がどのような反応を示すかを調べます。一例としては、電流の流れ易さが挙げられます。電流の流れ易さは電気伝導度と呼ばれ、物質はその大きさによって金属、半導体、絶縁体と分類されます。

物性物理学において、特筆すべき現象は相転移です。相転移とは例えば、水が氷となったり、アルコールが気化したりする現象のことを指し、スピントロニクスでは、磁石の性質（磁性）についての相転移が問題となります。磁性の起源は、物質中の電子の自転（スピン）にあります。この自転の向きの揃い方によって磁性が決まります。一般的に磁石を高温から低温に変化させると、スピンの向きがバラバラな状態（常磁性）から、スピンの向きが揃った状態（強磁性・反強磁性）へと相転移を起こします。これは磁気転移と呼ばれており、磁石を特徴づける最も基本的な現象です。

さて、電気伝導度によって物質が分類できたように、スピン流の流れ易さ（スピン伝導度）によっても物性を調べることができないでしょうか？

本研究グループは、スピン伝導度によって、従来困難であった試料の磁性を測定することを目指しました。

<研究の内容>

本研究では、磁性絶縁体であるイットリウム鉄ガーネット（YIG: $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ ）と白金（Pt）の間に、磁性体である酸化コバルト（CoO）の超薄膜（厚さ3~10ナノメートル）を挟んだ3層構造を準備しました。（図1）

YIGに静磁場^{注3)}とマイクロ波^{注4)}を特定の条件で印加することで、強磁性共鳴が起きます。強磁性共鳴の条件下では、YIG中のスピが一斉にコマの様に回転します。このスピンの回転は隣接する層へスピン流を生じさせます。これはスピンプンピングと知られる現象であり、最も基本的なスピン流の生成方法です。

YIG層から注入されたスピン流は、CoO層を通過してPt層へと到達します。Pt層では、注入されたスピン流が逆スピホール効果^{注5)}によって、電圧に変換されます。この電圧は、CoO層のスピン伝導度が反映されることが期待されます。

こうして測定された電圧信号の温度依存性を測ると、温度に依存したピークが観測されました。このピークは、ちょうどCoO層が常磁性体から反強磁性体へと相転移する温度（ネール温度）近傍であることが分かりました。つまり相転移近傍ではスピン流が流れやすく大きな電圧が観測された一方、低温の反強磁性層ではスピン流が流れにくく小さな電圧が観測されたこととなります。（図2）

また、このピークは強磁性共鳴の周波数に依存して、低周波ほど大きくなることも観測されました。これはスピン伝導度を通じて、CoO層の磁気的な運動の時間スケールを反映しており、CoO層の詳細な磁気情報を反映していると言えます。

<今後の展開>

今回の測定によって、スピン流の流れ易さが、超薄膜中の磁性を反映することが分かりました。この事実によって、スピン流を物性測定の測定法として積極的に利用することが可能になりました。

また、従来このような薄膜の磁性を捉えるためには、中性子散乱などの大型の設備を利用した実験が必要でした。しかも薄膜故に、試料としての絶対量が少なく、その信号を得ることも大変でした。それと比較して、今回実証されたスピンプンピングを利用した測定は、簡便であり、新たな超薄膜の物性測定法として汎用的なものになると期待されます。このような磁性超薄膜の磁氣的性質の測定は、近年のスピンロニクス発展に伴ってニーズが増しており、今後同分野における貢献が期待されます。

<参考図>

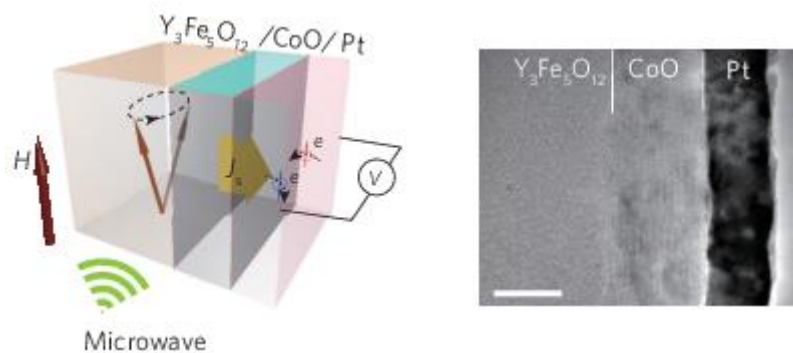


図 1：実験セットアップの模式図とサンプルの電子顕微鏡写真

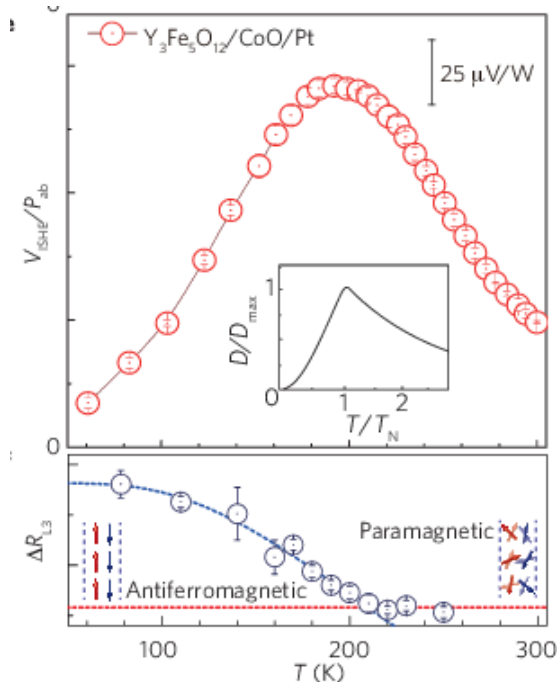


図 2：測定された逆スピンホール電圧の温度依存性（上図）と、CoO 層の磁気相転移（下図）との対比図。温度依存性のピークが CoO 層が常磁性体から反強磁性体へと相転移する温度の近くにある。

<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」、世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI) 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) 静磁場

時間的に変動しない一定の大きさの磁場のこと。

注4) マイクロ波

電磁波であり、周波数が数~数百 GHz 程度のものを指す。波長の範囲が μm オーダーのためこう呼ばれる。

注5) 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のこと。

<論文タイトル>

“Spin-current probe for phase transition in an insulator”

Zhiyong Qiu, Jia Li, Dazhi Hou, Elke Arenholz, Alpha T. N'Diaye, Ali Tan, Ken-ichi Uchida, Koji Sato, Satoshi Okamoto, Yaroslav Tserkovnyak, Z. Q. Qiu, Eiji Saitoh.

doi: 10.1038/NCOMMS12670

<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 原子分子材料科学高等研究機構 (WPI-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@imr.tohoku.ac.jp

<報道担当>

皆川 麻利江 (ミナガワ マリエ)

東北大学 原子分子材料科学高等研究機構 (WPI-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