



前進体積スピンのストップバンドを発現

—超低消費電力なスピン波集積回路実現に貢献—

豊橋技術科学大学の後藤太一助教らは、「前進体積スピン波」の特定の周波数成分の伝搬を妨げるストップバンドを実証しました。前進体積スピン波は、電流を流さずに磁性絶縁体中を伝わることから、次世代の集積回路への応用が期待されています。また、確認されているスピン波の中で集積回路チップ内の情報伝達に最も適しており、応用が強く期待されているものです。しかし、これまで、前進体積スピン波のノイズは大きく、基本的な物理現象の1つであるストップバンドが観測できていませんでした。今回の実証では、磁性絶縁体と金属を組み合わせ、前進体積スピン波のノイズを抑制し、世界で初めてストップバンドの発現を実験で確認しました。

本研究は、豊橋技術科学大学の後藤太一助教、博士前期課程生島田馨、中村雄一准教授、内田裕久教授、井上光輝教授らが共同で行ったものです。また、実験に用いた試料は、信越化学工業株式会社との共同研究のもと作製されました。

<研究経緯・研究組織・研究内容・今後の展開>

近年の半導体材料を利用した電子デバイスは、高集積化によるエネルギー密度の増加に伴い、チップの温度が高くなり、不具合を生じるなどして、急成長する情報化社会からの要求に答えることが難しくなっています。そこで、電子自体は移動せずスピンだけを伝えることで情報処理を行い、熱の発生が大幅に低減可能なスピン波集積回路チップの開発が注目を集めています。この中でも、磁性絶縁体中を伝わるスピン波は、エネルギーの損失が小さく、長距離伝送が可能という利点を持っています。さらに、存在が確認されているスピン波の中でも、あらゆる方向に伝わる前進体積スピン波は、直線状の配線だけでなく、斜めや曲線の配線が可能のため、最も集積回路に適すると言われていています。その一方で、この前進体積スピン波はノイズが大きく、いくつもの基本的なスピン波の現象が実証されていませんでした。このような基本原理の実証は、集積回路チップの開発には必要不可欠であり、重要課題となっていました。

今回、豊橋技術科学大学の後藤太一助教らは、酸化物で磁性絶縁体として有名な単結晶のイットリウム鉄ガーネット (Yttrium iron garnet, YIG) と2つの金属 (金と銅) を組み合わせ、ノイズを抑制し、世界で初めて前進体積スピン波のストップバンドの発現を実験で確認しました。本研究では、最初に、現実と同じスケールの三次元モデル (図1) を用いて、スピン波の伝搬がシミュレーションできるシステムを整えました。これを用いて、ノイズが小さく、基本的なスピン波の現象の一つである「ストップバンド」が発現する試料構造を決定しました。ストップバンドとは特定の周波数のスピン波成分を通さない現象であり、光を含む電磁波など他の波についても表れるものです。次に、このシミュレーションと、できる限り同じ試料を作製しました。図2が信越化学工業株式会社から材料提供を受け作製した試料であり、線状に加工したイットリウム鉄ガーネットの両端を金膜で覆うことでノイズ発生

を抑え、銅の膜を横断歩道のように周期配列することで特定の周波数の伝搬を妨げるようにしました。この試料に、さまざまな周波数のスピン波を流し、透過特性を測定したところ、図3のように、ストップバンドが発現しました。周期配列した銅がない試料の特性と比べると、ストップバンドの発現が周期配列した銅による影響であることが分かります。また、実験結果と計算結果がよく一致しました。このことから、実験をする前にシミュレーションで結果が予測でき、効率的なスピン波集積回路開発に繋がると期待できます。

今回得られた成果は、将来のスピン波集積回路チップの中では、スピン波のフィルター等として使うことができます。他にも、スピン波の伝わる速度を遅くしたり、進む方向をコントロールしたりすることにも使うことができ、より小型で、高密度で情報処理を行うチップの開発に寄与します。

ファンディングエージェンシー：

JST さきがけ No. JPMJPR1524

JSPS 科研費 Nos. 17K19029, 16H04329, 26220902

論文情報：

Taichi Goto, Kei Shimada, Yuichi Nakamura, Hironaga Uchida and Mitsuteru Inoue, "One-dimensional magnonic crystal with Cu stripes for forward volume spin waves", Physical Review Applied, 11, 014033, 10.1103/PhysRevApplied.11.014033, (2019).

<https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevApplied.11.014033>

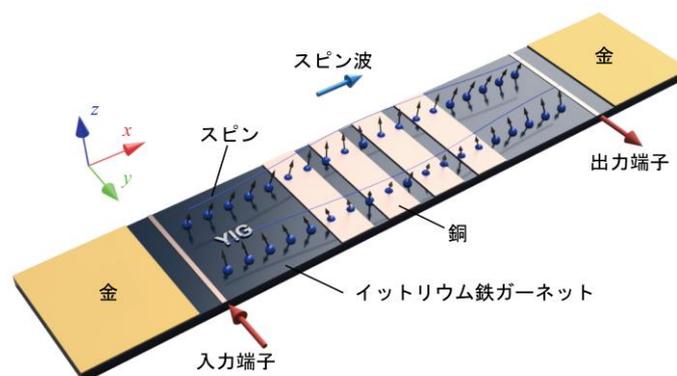


図1：スピン波素子のモデル

イットリウム鉄ガーネットと金および銅を組み合わせることで実現したスピン波素子のモデル。特定周波数のスピン波のみを通過させない「ストップバンド」を発現する。

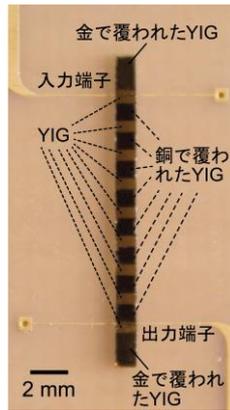


図2：作製したスピン波素子の写真

スピン波が入力端子から出力端子に向かってイットリウム鉄ガーネット（YIG）の中を流れる。金で両端を覆うことでノイズを抑制し、銅を周期的に並べることで、特定周波数のスピン波の伝搬を妨げる。

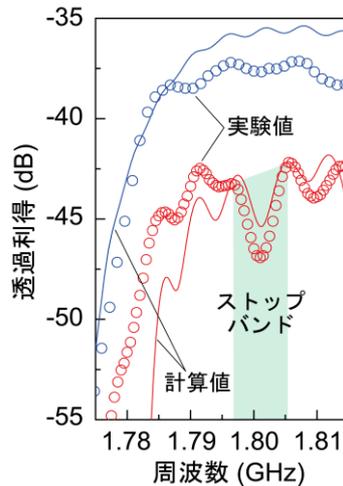


図3：作製したスピン波素子の透過特性

銅の周期構造がない場合（青色の丸点）と、ある場合（赤色の丸点）を比べたところ、周期構造をいれることで、ストップバンドが発現していることが分かる。また、得られた実験結果（丸点）が計算結果（実線）とよく一致している。このことから、今後、実験をする前に計算で正確に結果を予測できるようになった。

本件に関する連絡先

担当：電気・電子情報工学系助教 後藤太一 TEL:0532-44-6991

広報担当：総務課広報係 前田・高柳 TEL:0532-44-6506