



## ストレスがスピン波を制御する -超低消費電力なスピン波集積回路実現に貢献-

豊橋技術科学大学とマサチューセッツ工科大学の共同研究チームは、磁性絶縁膜中のストレスと、磁石の波であるスピン波の関係を解明し、これらをうまく使うと、実用化の期待されているスピン波演算素子を小型化できることを示しました。

これまでのスピン波演算素子に関する研究では、膜中のストレスとスピン波の関係が不明のため、場当たりの研究・開発となっていました。今回の成果により、ストレスを積極的に使った演算素子全体のデザインが可能になりました。これを利用するとスピン波演算素子の動作に必要な、永久磁石部品を従来の半分以下に小型化できます。

本研究は、豊橋技術科学大学の後藤太一助教、吉本拓矢日本学術振興会特別研究員、島田馨博士前期課程生、岩本文吾博士前期課程生、中村雄一准教授、内田裕久教授、井上光輝教授、マサチューセッツ工科大学のロス・キャロライン教授らが共同で行ったものです。

### <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、高集積化によって、チップの温度が高くなり、不具合を起こすなどして、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、熱の発生が極めて抑えられるスピン波集積回路の開発が注目を集めています。この中でも、磁性絶縁膜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もっています。その一方で、磁性絶縁膜中でスピン波を伝えるには、磁性絶縁膜に比較的大きな永久磁石部品を付属する必要があり、スピン波集積回路実現に向けた課題となっていました。

今回、豊橋技術科学大学のスピン・エレクトロニクスグループの後藤太一とマサチューセッツ工科大学のロス・キャロラインらは共同で、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) 膜を複数の基板上に形成しスピン波を伝えることで、磁性絶縁膜中のストレスの大きさがスピン波に与える影響について調べました。この結果、大きなストレスがあると、付属する永久磁石が小さくても (弱くても)、スピン波が伝わることを明らかにしました。これは、磁性絶縁膜の中にストレスがあると、弱い永久磁石が近くにあるのと同じような効果があるためです。

「YIGは、最近最も注目されている材料のひとつで、スピン波を初めとして、これを利用した新しいデバイスや、新現象が次々と明らかになっています。この中でも、我々は、世界にさきがけてYIGを使ったスピン波集積回路を開発しています。これまで、このYIG膜中の、ストレスなどがつくる静的(スタティック)な磁氣的応答と、スピン波の挙動を表す動的(ダイナミック)な磁氣的応答の関係は整理されていませんでした。この重要な開発ピースが、今回の研究で揃ったかたちです。」と後藤助教は述べています。

試料形成を行った日本学術振興会特別研究員の吉本拓矢は「本研究によって、磁性絶縁膜の中の、ストレスとスピン波の関係を表す方程式ができました。これは、スピン波集積回路の実現に向けた極めて重要なステップであるだけでなく、スピン波を含むギガヘルツ帯の高周波磁気物性や、ナノ・マイクロスケールの磁気材料の研究開発を加速します。」と話して

います。

今回の研究では、YIGと同じガーネット構造を持つ、格子定数の異なる3つのガーネット基板の上に、パルスレーザー堆積法を用いて、厚さ約100ナノメートルのYIG薄膜を形成し、結晶構造と結晶ひずみ、およびストレスの大きさを調べました。作製したYIG上に、電子線描画プロセスを用いてスピン波を励起・検出するための電極1対を形成し、外部磁界とスピン波の伝搬周波数の関係を測定しました。結晶ひずみによる磁気異方性の変化を含んだスピン波の分散関係式を計算し、測定結果と概ね一致することを確認しました。また、生じるひずみの大きさを変えることで、ひずみの無い状態と比べて、スピン波の励起に必要な磁石のサイズを約2.5倍小さくできました。これによりスピン波集積回路全体が小型にでき、デバイスのチップ化が可能になりました。今後は、本手法のスピン波の多入出力位相干渉素子、実際のスピン波デバイスへ適用し、まず、チップ化されたスピン波集積回路の機能のデモンストレーションを目指します。

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. 26220902, 15H02240, 16H04329, 17K19029

JSPS 頭脳循環を加速する戦略的国際研究ネットワーク推進プログラム No. R2802

NSF ECCS No. 1607865

論文情報：

Takuya Yoshimoto, Taichi Goto, Kei Shimada, Bungo Iwamoto, Yuichi Nakamura, Hironaga Uchida, Caroline Ross and Mitsuteru Inoue, "Static and dynamic magnetic properties of single-crystalline yttrium iron garnet films epitaxially grown on three garnet substrates", *Advanced Electronic Materials*, DOI: 10.1002/aelm.201800106

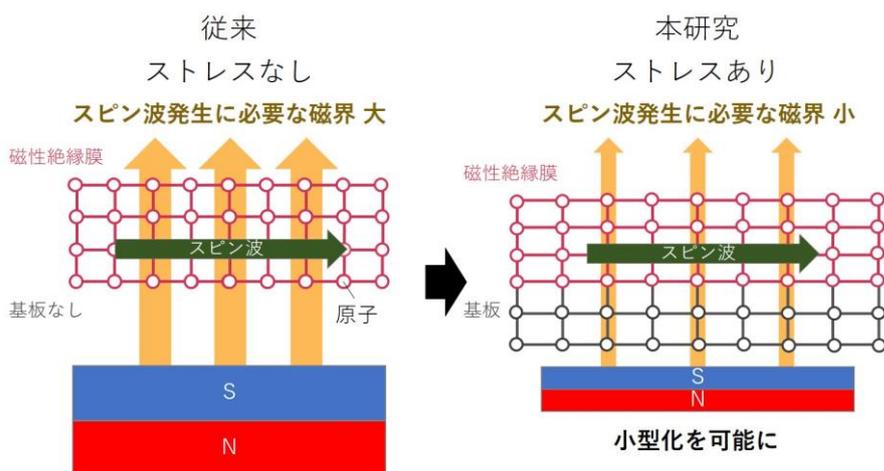


図1：磁性絶縁膜中のストレスとスピนว波の関係を明らかにしたことで、スピนว波発生に必要な永久磁石が小型化可能になった。

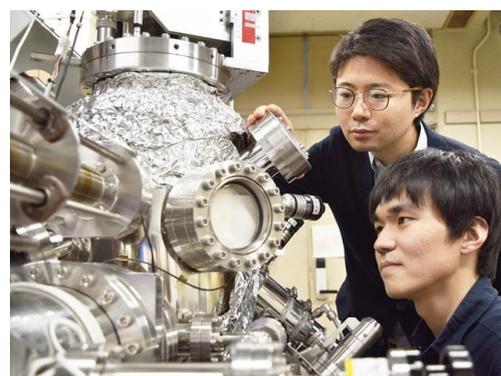


図2：磁性絶縁膜を作製した装置と写る  
吉本拓矢 日本学術振興会特別研究員  
(右下)と後藤太一 助教 (右上)。

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 河合・高柳・梅藤 TEL:0532-44-6506