

2017年6月29日

報道関係者各位

慶應義塾大学  
国立研究開発法人物質・材料研究機構

## マグノントランジスタに新展開 ー スピン波素子の高効率化と集積化を可能にし、実用化に道筋ー

慶應義塾大学理工学部物理学科の関口康爾専任講師、物質・材料研究機構の介川裕章主任研究員らの研究グループは、極めて質の高い磁性金属結晶を使うことで、電磁石を使わずに磁気の波（スピン<sup>※1</sup>波）を伝搬させることに成功し、スピン波の発生効率を400%、伝搬速度を最大で80%向上させました。スピン波論理演算素子<sup>※2</sup>の実用化を阻んでいる集積化の課題解決に向けて一歩前進しました。

情報処理機器の心臓部である中央演算装置（CPU）<sup>※3</sup>を構成する論理演算素子は、電流のオンとオフ、すなわち電子を移動させるかどうかによって動作しています。現在主流であるこの電子移動方式は発熱が大きく、集積化と高速動作の限界が迫っています。一方、電子の代わりにスピン波を使えば、スピンの回転運動が伝わる『波』であるため原理的に熱を発生させずに信号を伝えることができます。そのためエネルギー効率を抜本的に改善できる省エネ動作原理に基づいた「マグノン<sup>※4</sup> トランジスタ」が可能になると期待されています。

「マグノントランジスタ」の実現に向けてこれまでに多くの研究開発がなされてきました。演算原理は実験的に検証されたものの、スピン波（マグノン）を発生させて演算するためには素子配線に大電流を流さねばならず、総合的に考えると決してエネルギー効率の良い手段とはいえませんでした。また、電磁石を必要とするため集積化が非常に困難であり、現在までミリメートルサイズの大型の素子が作られるにとどまっていた。

本研究では、電磁石を使わずにスピン波で論理演算が可能であることを初めて示しました。これは磁性単結晶が結晶の方向により異なった性質を示す磁気異方性を利用して、スピン波が存在する領域と存在しない領域を単結晶試料中に作り出すことにより実現しました。異方的結晶だけで論理演算が可能であることを示した本成果は集積化への道を開きます。さらに、極めて質の高い金属結晶であるためにスピン波の発生効率が400%向上し、伝搬速度が最大で80%も向上しました。

新しいスピン波制御技術と高効率のスピン波発生、スピン波の高速伝搬の各成果によって、「マグノントランジスタ」がコンピュータをはじめとする電子機器の飛躍的な性能向上と省エネルギー化を実現する新機軸として発展することが期待されます。

本研究成果は英国科学誌 Nature の専門誌「NPG Asia Materials」のオンライン速報版で2017年6月30日（英国時間）に掲載されます。

### 1. 本研究のポイント

- ・ 磁気の波を制御する新しい手法により集積化に道。
- ・ 従来のスピン波制御技術に比べてエネルギー効率を抜本的に改善。
- ・ 電子からマグノンへのトランジスタキャリアの転換に挑戦。

## 2. 研究背景

高度情報化社会の基盤となっている電子情報機器の根幹をなす論理演算素子の低消費電力化を進めることは、喫緊の研究課題の一つです。電子機器の小型化とともにその低消費電力化や高速化が求められる中、電流を用いて演算を行う現行の論理演算素子の性能限界が顕在化し、新しい動作原理に基づく演算素子の開発が求められています。その中でスピンを用いたデバイスは、電気信号ではなくスピン信号を活用するため、省電力な新動作原理を提案できると有望視されています。

## 3. 研究内容・成果

### 1) 磁場を使わないでスピン波を伝えることが可能に

本研究では、NIMS が作製技術の蓄積をすすめ高品質化を実現した金属磁性体（鉄：Fe）の単結晶を用いました（図1）。鉄は磁化の向きやすい結晶軸と向きにくい結晶軸を持っています。これら結晶軸を活用することで試料全体に磁場を加えない状態で、スピン波信号を伝えることが可能になりました。これまで、スピン波素子を動作させるときに試料全体に磁場を加える必要があり、複数の素子を個別に制御することができませんでした。この成果によりスピン波素子を集積化しトランジスタを構築する手法が発見されたこととなります。

### 2) 磁化の向きだけでスピン波のデジタル信号が作れるように

磁場を使わないときのスピン波には特異な端（エッジ）伝搬状態が形成され、細線の上端ではスピン波が存在しない領域（信号“0”に相当）、細線の下端ではスピン波が存在する領域（信号“1”に相当）が出現することがわかりました（図2a）。ここで磁性体の磁化の方向を反転させると、細線の上端では信号“1”が、細線の下端では信号“0”が出現します（図2b）。これにより、磁気的な現象だけを用いて素子のある部分においてスピン波の入出力制御ができることを実証しました。

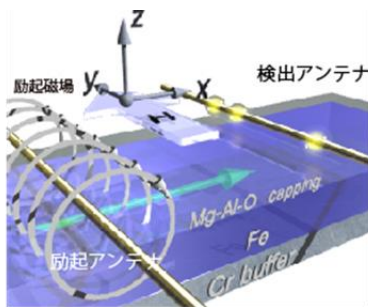


図1 単結晶鉄試料におけるスピン波生成の概念図。左側の電極に加えられた高周波電流によりスピン波が磁性膜に生じ、右側の電極によってスピン波の信号を電気的に観測する。

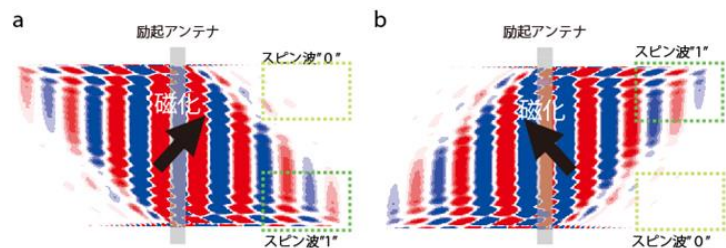


図2 磁場を使わないときのスピン波の伝搬。(a) 磁化が右上を向いている状態では細線の上端ではスピン波が存在せず、下端でスピン波が存在する。(b) 磁化が左上を向いている状態では、スピン波の存在する領域が反転する

## 4. 今後の展開

本研究は、磁場を使わないでスピン波を活用することを示し、集積化と新しい論理演算構造を実証したものであり、画期的な成果です。しかし、この技術を発展させて、実用的な論理演算装置を実現するためには、磁化の向きを電圧で反転させることでスピン波論理演算構造を効率的に行う方法などの種々の技術開発が必要です。しかし、これらの課題を克服することで、今回実証したスピン波を利用した新しい論理演算構造は、現行の論理演算素子を凌駕する「マグノントランジスタ」の動作原理となることが期待されます。

※本成果は、日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(A)「界面スピン制御によるナノマグノニクス」(研究代表者：関口康爾)、科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 個人型研究(さががけ)「エネルギー高効率利用と相界面」(研究総括：花村克悟)の研究課題「超低電力マグノンデバイスの基盤技術創出」(研究代表者：関口康爾)の一環として実施されました。

<原論文情報>

“Spin-wave propagation in cubic anisotropic materials“, Koji Sekiguchi, Seo-Won Lee, Hiroaki Sukegawa, Nana Sato, Se-Hyeok Oh, R. D. McMichael and Kyung-Jin Lee, NPG Asia Materials (2017)  
doi:10.1038/am.2017.87

<用語説明>

※1 スピン

スピンとは電子の自転運動であり、自転運動による微小な磁石としての性質。スピン波は、スピンの集団運動であり、個々のスピンのコマ運動が空間的にずれて波のように伝わっていく現象。

※2 論理演算素子

コンピュータの中央演算装置を構成し、デジタル信号“1”、“0”を使って論理演算を行う素子。

※3 中央演算装置 (CPU)

コンピュータの信号処理装置で、プログラムによって作動し、数値計算、論理演算、機器制御などの処理を行う。

※4 マグノン

マグノンはスピン波を量子力学的に扱い粒子として表したもの。マグノンを利用する技術分野がマグノニクスといわれる。

※ご取材の際には、事前に下記までご一報くださいますようお願い申し上げます。

※本リリースは文部科学記者会、科学記者会、筑波研究学園都市記者会、各社科学部等に送信させていただきます。

---

・研究内容についてのお問い合わせ先

慶應義塾大学 理工学部 物理学科 専任講師 関口 康爾 (せきぐちこうじ)  
TEL : 045-566-1829 FAX : 045-566-1677 E-mail : koji\_s@phys.keio.ac.jp

・本リリースの配信元

慶應義塾広報室 (竹内)  
TEL : 03-5427-1541 FAX : 03-5441-7640  
Email : m-koho@adst.keio.ac.jp <http://www.keio.ac.jp/>

物質・材料研究機構 経営企画部門 広報室

TEL : 029-859-2026 FAX : 029-859-2017  
Email : pressrelease@ml.nims.go.jp <http://www.nims.go.jp/>