



2019年10月29日

報道関係者各位

慶應義塾大学

## スピントロクスデバイスの性能を最大化

### —電子スピンに基づく次世代省エネルギー電子技術の展開へ—

慶應義塾大学工学部の安藤和也准教授らの研究グループは、次世代電子技術として期待されているスピントロクスデバイスの性能を最大化するための設計指針を明らかにしました。

現代の電子デバイスは、電子の電気的性質を利用することで動作しています。しかし、電子は電気的性質「電荷」だけでなく、磁氣的性質「スピン」も持っており、電子の電荷に加えてスピンを利用することで、高性能・低消費電力な電子デバイスを実現する新しい電子技術としてスピントロクスがあります。スピントロクスデバイスの機能を担うのは、磁性体（磁石）の磁化（N極/S極）の電気的な制御です。最近では、磁化を制御するために、デバイス内のスピン軌道相互作用（※1）を利用した手法が注目されており、この作用で生まれるトルク（スピン軌道トルク（※2））を用いることで、高速性と不揮発性を兼ね備えた記憶素子をはじめとする様々なスピントロクスデバイスの駆動が可能となります。

本研究グループは、このようなスピントロクスデバイスの性能を最大化する鍵となるのは、デバイス内部の電子密度分布の精密な制御であることを見出しました。これにより、原子レベルでのスピントロクスデバイス設計の重要性が初めて明らかになりました。今後、新現象に関する基礎研究が進み、超高速・低消費電力のスピントロクスデバイス開発がさらに加速されることが期待されます。

本研究成果は2019年11月2日（現地時間）に米国科学誌「Science Advances」に掲載されました。

#### 1. 本研究のポイント

- ・高性能・省エネルギー次世代電子デバイス実現の担い手としてスピントロクスがある。
- ・今回、スピントロクスデバイスの性能を最大化するためには、デバイス内部の電子密度分布の精密な制御が重要であることを明らかにした。
- ・この結果は、スピントロクスデバイスの新たな設計指針を与えるものである。

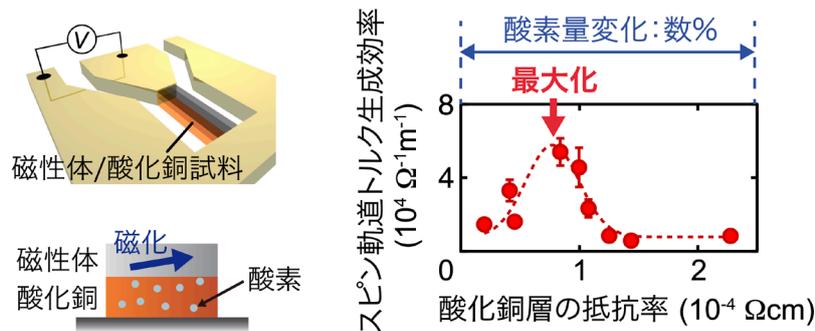
#### 2. 研究背景

現代のエレクトロニクス、特に情報記録技術は、電子の電気的性質（電荷）に加え、磁氣的性質（スピン）を利用するスピントロクス技術によって、飛躍的な発展を遂げてきました。スピントロクスデバイスの最も基本的要素となるのは、磁性体と非磁性体の接合素子です。このような素子に電流を流すことで現れるトルク（スピン軌道トルク）を用いることで磁性体中の磁化を自在に制御することが可能となり、電荷と電流だけでは実現不可能だった機能を生み出すことや電子デバイスの劇的な省エネルギー化を実現できます。最近になり、磁性体/非磁性体界面のスピン軌道相互

作用を用いることで、スピン軌道トルクを非常に高い効率で生成できることが明らかになってきましたが、このスピン軌道トルクの生成効率を最大化する指針は明らかではありませんでした。

### 3. 研究内容・成果

今回の研究では、磁性体と銅で構成されるスピントロニクス素子において、銅の中に酸素を導入することでスピン軌道トルクがどのように変化するかを調べました。この結果、銅の中の酸素量がわずかに数%異なるだけの非常に限られた条件で、スピン軌道トルクの生成効率が劇的に増大することが明らかになりました。また、この限られた条件において、界面のスピン軌道相互作用によって現れる他の現象も顕著になることを見出しました。界面のスピン軌道相互作用は、界面付近の電子密度分布の非対称性によって現れることが知られています。今回得られたこの結果は、磁性体/銅界面付近の電子密度分布の非対称性がごく僅かな酸素の導入によって変化したことで現れた現象であり、電子密度分布の精密な制御がスピントロニクスデバイスの性能に大きな影響を与えることを明らかにしたものです。



図：磁性体/酸化銅スピントロニクス素子の模式図とスピン軌道トルク生成効率の測定結果。酸化銅内の酸素量を数%変化させただけで、スピン軌道トルク生成効率は劇的に変化する。これは、酸素量の変化に対して磁性体/酸化銅界面付近の電子密度分布の非対称性が変化し、これにより現れる界面スピン軌道相互作用が大きく変化したことを表している。

### 4. 今後の展開

今回の研究により、スピントロニクスデバイスの性能を最大限引き出すためには、デバイス内部の電子密度分布に注目した原子レベルでの設計が必要となることが明らかになりました。今後、今回明らかになったこの設計指針に基づき、超高速・低消費電力のスピントロニクスデバイス開発がさらに加速されることが期待されます。

<原論文情報>

Spin-orbit torque manipulated by fine tuning of oxygen-induced orbital hybridization

(酸素誘起軌道混成の精密操作によるスピン軌道トルクの制御)

Yuito Kageyama, Yuya Tazaki, Hongyu An, Takashi Harumoto, Tenghua Gao, Ji Shi, and Kazuya Ando

doi: 10.1126/sciadv.aax4278

<用語説明>

※1 スピン軌道相互作用：電子が持つスピンと軌道角運動量との相互作用。この相互作用により、物質中の電子の輸送がスピン状態に依存し、さまざまな現象が現れる。

※2 スピン軌道トルク：物質に電流を流した時に作られる磁化に加わるトルクで、スピン軌道相互作用により電子の輸送がスピン状態に依存することに由来する。

※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、各社科学部等に送信させていただいております。

---

・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 物理情報工学科 准教授 安藤 和也 (あんどう かずや)

TEL : 045-566-1582 E-mail : ando@appi.keio.ac.jp

・本リリースの配信元

慶應義塾広報室 (村上)

TEL : 03-5427-1541 FAX : 03-5441-7640

Email : m-pr@adst.keio.ac.jp <https://www.keio.ac.jp/>