

平成 31 年 4 月 3 日  
国立大学法人東京大学

## 柔らかいスピントロニクスセンサで生体モーションを計測することに成功 ～ウェアラブルスピントロニクスデバイスに道～

### 1. 発表者：

松本 啓岐 (東京大学大学院工学系研究科 物理工学専攻 修士課程 2 年生)  
太田 進也 (東京大学大学院工学系研究科 物理工学専攻 博士課程 3 年生)  
安藤 陽 (株式会社村田製作所 新規技術センター シニアプリンシパルリサーチャー)  
千葉 大地 (研究当時：東京大学大学院工学系研究科 物理工学専攻 准教授  
現：大阪大学 産業科学研究所 教授 )

### 2. 発表のポイント：

- ◆柔らかいシート上に形成したスピントロニクス素子を用いて、指を曲げることによって人体の手の甲表面に生じるひずみの方向を計測し、どの指が曲げられたかを同定することに成功しました。
- ◆ひずむことで抵抗が変化するスピントロニクス素子構造を用いしましたが、いわゆる磁石である強磁性体と、露わには磁化を持たない磁性体である反強磁性体のナノ積層膜を構造の中に用いることで、外部から補助的な磁界などを与えることなく、安定したセンシング動作が可能となることがわかりました。
- ◆今後、当該センサを集積化し知能を持たせたウェアラブルセンサシートを開発することによって、より精密な生体モーション推定が可能となることが期待されます。

### 3. 発表概要：

ハードディスクや不揮発性磁気メモリなどの磁気記録デバイスは、スピントロニクス技術の発展とともに大きく記録容量を伸ばし、なくてはならないものとなっています。しかし、そこで使われているスピントロニクス素子は、硬い基板に支えられ、曲げたり伸ばしたりする状況下での使用は想定されていませんでした。

東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻の松本啓岐氏、同 太田進也氏、同 千葉大地 准教授(現 大阪大学産業科学研究所 教授)、株式会社村田製作所の安藤陽氏からなる研究チームは、柔らかい有機シート基板の上にひずみの方向をセンシング可能なスピントロニクス素子を形成し、手の甲に生じるひずみを検出することで、曲げた指の方向を同定することに成功しました。ひずみに対して磁化方向を敏感に変化させる強磁性層と、反強磁性層と積層することによってひずみを与えても磁化方向が常に変わらない強磁性層の二種類のナノ薄膜を素子構造に用いることにより、安定した動作が可能となることを示しました。本成果は、スピントロニクス素子がウェアラブルなセンサとしてもその性能を発揮できることを示すものであり、より精密な生体モーションの推定に向けた取り組みの突破口を拓くものです。

本成果は、2019 年 4 月 5 日に、「Applied Physics Letter」のオンライン版に掲載されます。なお、本研究は株式会社村田製作所の協力を受けて実施されました。

### 4. 発表内容：

## 【研究の背景】

電子素子を柔らかい基板上に形成するフレキシブルエレクトロニクスは、ウェアラブル機能をもたらすことや、電子素子の用途を拡大する重要な役割を果たしています。一方、固体中の電荷とスピンの両自由度を活用したスピントロニクスは、特に磁気記録デバイスやセンシング素子の高度化・省エネ化に大きな貢献をしてきました。スピントロニクス素子に「柔らかさ」が付与できれば、メカニカルデザインの自由度やウェアラブルな機能などが加わり、これまでの応用の範疇を超えた新たな展開が拓けるものと期待されています。特に、スピントロニクス分野がこれまで開拓してこなかったメカニカルな動作のセンシングといった分野において、スピントロニクス素子の優位性が大きく発揮できるものと考えています。

## 【研究内容】

図1(a)は、ひずみ方向がセンシング可能な柔らかいスピントロニクス素子を手の甲に貼りつけたときの写真です。小指から順に指を折り曲げていくと、図1(b)のように抵抗が変化することが分かります。これは、曲げた指の方向へ素子が引っ張られ、素子構造内の強磁性ナノ薄膜の磁化( $\mathbf{N} \cdot \mathbf{S}$  極対の軸)の向きがそちら方向へ回転するためです。また、曲げた指に応じて抵抗変化の様子が異なることが分かります。これは、磁化が回転する方向が指の種類によって異なること、つまり、外部から磁界を加えることなく、指を曲げるだけで自在に磁化の方向を回転させることができていることを示しているわけです。これにより、このデモンストレーションの場合は、どの指を曲げたかが同定できていることが分かります。

曲げた指の方向へ磁化が回転すると抵抗が変化する仕組みは、巨大磁気抵抗効果と呼ばれる2007年にノーベル物理学賞を受賞した技術を用いています。同効果を発現する素子は、二枚の強磁性ナノ薄膜で一枚の非磁性ナノ薄膜をサンドイッチした構造をしています。今回、二枚のうち一枚の強磁性層の磁化は引っ張られた方向に向きやすい性質を示し、もう一枚は引っ張られても磁化の方向を変えないものを用いました。図2に素子構造を示します。今回は、前者としてCo(コバルト)、後者としてNiFe(ニッケル鉄: パーマロイ)とFeMn(鉄マンガン)の積層構造を用いました。FeMnは反強磁性体であり、露わには磁化を持ちませんが、NiFeと積層することで、NiFeの磁化の方向を一方へ固定する役割を果たしています。これを交換バイアスと言いますが、実験の結果、交換バイアス方向はどの方向に引っ張っても常に変わらないことが分かりました。これにより、ある方向に素子が引っ張られると、Coの磁化だけが引っ張り方向に回転し、NiFeの磁化は回転しないため、両層の磁化の相対角度に変化が生じます。この相対角度の変化が巨大磁気抵抗効果を通じて抵抗の変化を生むため、引っ張った方向をセンシングできるというわけです。図3は、引っ張ることによって生じるひずみの大きさを横軸に、縦軸に抵抗の変化率をとったグラフです。引っ張る方向(NiFeの磁化の向きからとった角度)を変えていくと、抵抗の大きさが変化していることが分かります。

## 【社会的意義・今後の予定】

今回、柔らかいスピントロニクス素子を実際に生体表面に貼りつけ、メカニカルなモーションを推定することに成功しました。抵抗の変化率が数%程度とやや小さいですが、他の手法を凌駕する程度の高感度化についても最近プレスリリースを発表しており、この点はすぐにクリアできる見通しです。今回のデモンストレーションでは、単一素子で指の曲げを見るというシンプルなものでしたが、同素子を集積化したシートを用い、広い範囲の表面ひずみを検出することによって、より精密かつあらゆる箇所の生体モーション推定が可能となることが期待でき

ます。特に、近年発展が目覚ましいAI技術などと組み合わせていくことによって、知能を持たせたフレキシブルスピンスイッチが開発できる可能性も期待され、生体モーションにとどまらず、IoT社会に役立つ新しいタイプのセンサとしての利用価値を生み出すものと考えられます。

#### 5. 発表雑誌：

雑誌名：「Applied Physics Letters」（オンライン版 2019年4月5日掲載）

論文タイトル：A flexible exchange-biased spin valve for sensing strain direction

著者：松本啓岐、太田進也、安藤陽、千葉大地

#### 6. 問い合わせ先：

##### 【研究内容に関すること】

大阪大学産業科学研究所 界面量子科学研究分野

教授 千葉 大地（ちば だいち）

##### 【報道に関すること】

東京大学大学院工学系研究科 広報室

8. 添付資料：

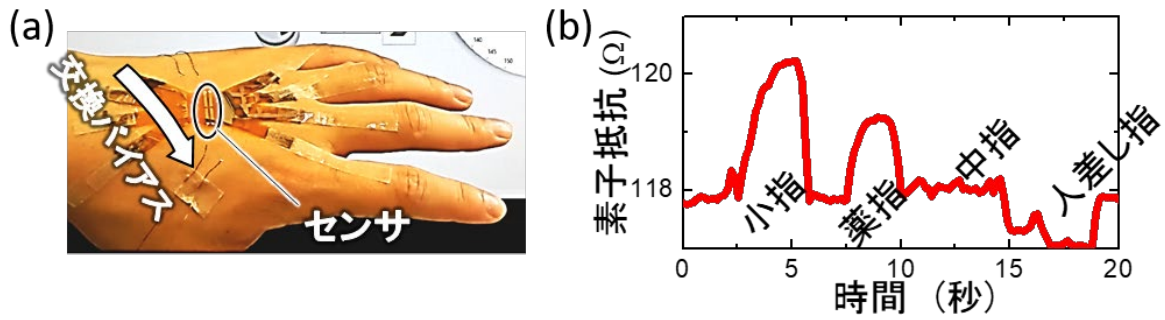


図 1 (a)手の甲に貼りつけた柔軟いスピントロニクスセンサと(b)各指を曲げたときの抵抗変化

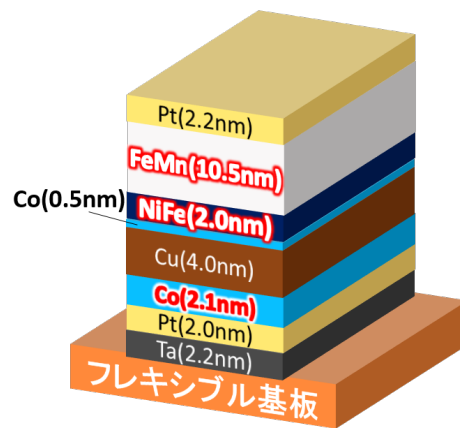


図 2 用いた素子の構造

柔軟い有機シート基板の上に、ひずみに対して敏感に磁化方向を変化させる強磁性 Co 層と、ひずみに対して磁化方向を変えない NiFe 層をもつ巨大磁気抵抗素子を形成。NiFe 層は反強磁性 FeMn 層と積層してある。引っ張ることで、Co の磁化だけが引っ張り方向を向き、Co と NiFe に磁化の相対角度の変化が生じて抵抗が変化する。

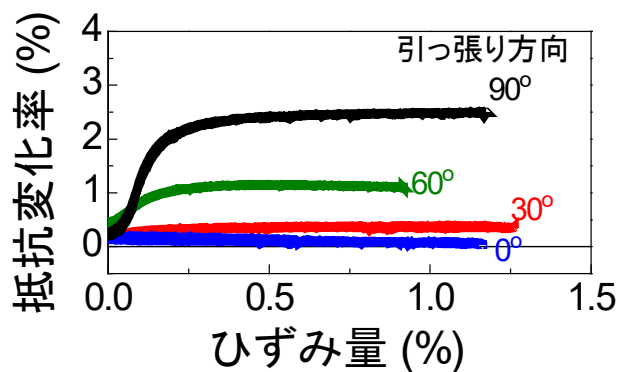


図 3 ひずみに対する抵抗変化を示す結果