

令和 4 年 5 月 20 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H00860

研究課題名（和文）フレキシブルスピンドバイスをを用いた完全無電力IoTレジスタ・論理演算素子の創製

研究課題名（英文）Development of an electric energy-free IoT register and logic elements using flexible spin devices

研究代表者

千葉 大地（Chiba, Daichi）

大阪大学・産業科学研究所・教授

研究者番号：10505241

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 36,000,000円

研究成果の概要（和文）：トリリオンセンサ社会では、無数のセンサへの電力供給が課題である。本研究では、フレキシブル基板上に形成した磁気ナノドットの配列を用いて、無電力で常時力学イベントがセンシングでき、その情報が蓄積可能なデバイスの創製にチャレンジした。磁気ナノドットの配列へ一様ひずみが一瞬だけ加わると、ドット配列の一部が設計通り磁化反転することがシミュレーションにより確認できた。また、フレキシブル基板上への磁性ナノドット配列の形成と、実験的実証に取り組んだ。

研究成果の学術的意義や社会的意義

無電源で常時モニタリングが可能であり、得られた情報をも無電力で蓄えられ続けられるセンサがあれば、電源やエネルギーハーベスタが不要となり、トリリオン・センサ社会が危惧する電力増加も抑制することができる。本研究の成果を発展させることにより、力学イベントを常時監視し、情報を蓄積することが可能となるデバイスが実現する可能性がある。

研究成果の概要（英文）：In a trillion-sensor universe, it is essential to supply power to a large number of sensors. In this study, we attempted to create a device that can constantly sense mechanical events and store the information without electric power using an array of magnetic nanodots formed on a flexible substrate. Simulations have confirmed that when a uniform strain is applied to an array of magnetic nanodots for a brief moment, a part of the array of dots undergoes a magnetization reversal as designed. In addition, we have worked on the formation of magnetic nanodot arrays on flexible substrates and their experimental demonstration.

研究分野：スピントロニクス

キーワード：スピントロニクス フレキシブルスピントロニクス メカニカルレジスタ

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

トリリオン・センサ社会に向け、世の中にある全てのセンサへの電力供給は大きな課題である。例え一つのセンサの消費電力を小さくできても、常時モニタリングするには常に全てのセンサに電力を供給し続けなければならない。エネルギーハーベスタは、電池不要で電力供給ができることに意義がある。しかし、その電力は現状必ずしも大きいとは限らず、またいつでもどこでもタイミングよく発電できるとも限らない。そもそも、環境情報を無電源でバイナリデータとして蓄え続けたり、論理演算ができるセンサは無いのだろうか。

最も代表的なスピントロニクス素子である磁気抵抗(MR)素子は、バイナリ情報を蓄えることができる。しかし、磁気メモリ用途の場合、素子を構成する記録層の磁化を 180°反転させて情報を記録するために、ローカルな磁界発生用の電流を配線に、もしくはスピン偏極した高密度電流を直接素子に流さなければならない。MR 素子を磁界検出に特化させた MR センサの場合は、磁性層の磁化は無電力で入力外部磁界(環境磁界や浮遊磁界)の方向に回転することになる。しかし、磁界が消えると磁化は元の方向に戻るため、磁化が一時的にどこかの方向に向いていたという情報を蓄えておくことはできない。それを行うには、電力を投入し続けて MR センサの抵抗を常時モニタリングし、電子情報として記録装置に転送し続ける必要がある。

2. 研究の目的

センシングした情報を無電力で蓄えられ続けられるセンサがあれば、エネルギーハーベスタの課題からも解放されるだけでなく、トリリオン・センサ社会が危惧する電力増加も抑制することができる。また、そのセンサが論理演算機能をも有していれば、電気的な読み出し前に必要情報だけを抽出処理しておくなど、クラウド側の負担の少ないエッジコンピューティングが実現する。大容量化へつながる動作が可能となるなど、より高度なセンシングが無電力で実現することになる。

人間社会や自然界では、人間のウォーキング時や睡眠時の動作、機械や装置の異常による振動、飛行中の航空機や走行中の車両、輸送中の貨物への衝撃、地殻・建造物の振動、波浪など、一時的に応力が加わる状況は数え上げるときりがないほど存在する。常に安定的に電力を投入できない環境(生体表面、地中深くなど)や、いちいち電源を使わなくとも応力をモニタリングしておきたいという用途(輸送中の貨物、走行中の車両の任意の箇所など)も多数ある。ある一定時間、無電源で常時モニタリングでき、あとからその情報をバイナリデータとして取り出せれば、電力投入は読み出し時の「まさに一瞬だけ」で済むことになる。このインパクトは大きい(図 1)。

本研究の目的は、ローカルなメカニカル情報が蓄積・論理演算可能な電源フリーセンサを、フレキシブルスピントロニクス技術を用いて生み出すことである。応力のみで磁化を反転させることができ、応力が加わるごとにシフトレジスタ動作や論理演算を引き起こしてその情報を連

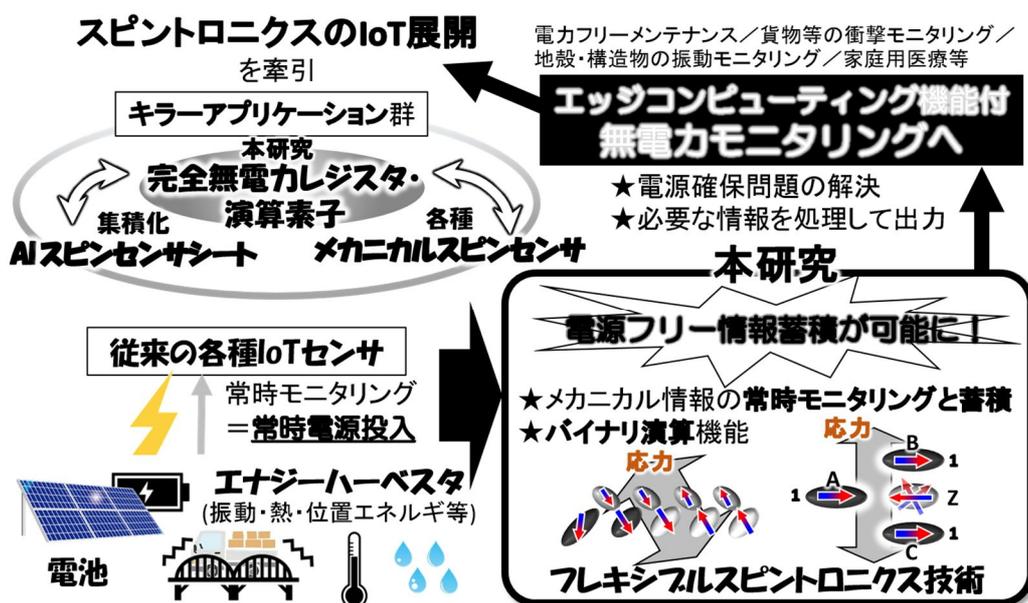


図 1 無電源でローカルなメカニカル情報を蓄積・演算できるインパクトと、将来像。フレキシブルスピントロニクスを基軸とした将来のスピントロニクスの IoT 展開を牽引するキラーアプリケーション群の中でも、スピントロニクス素子にしか無い機能を持つ最も重要なデバイスとなると考えている。

続的に蓄積できる素子を作ることができれば、ノーマリオフモニタリングが可能となる。磁化方向の不揮発性という磁石の最も重要な性質の一つを活用したものであり、スピントロニクス素子のみが実現しうる機能を持った革新的な IoT センサとなる。メカニカルな演算手法として、かつて手回し計算機というものが存在したが、ナノテクノロジーと最新の技術を融合による、まさに未来のメカニカル演算機となる。

これに加え本研究は、磁気記録の高度化を王道としてきた従来のスピントロニクスの延長線上には全くなかった新たなスピントロニクスの未来や真の IoT 展開を切り拓く上で、最も重要なキラーアプリを創製する研究という位置づけになる(図 1)。

3. 研究の方法

本研究を実現するために、研究開発者が発表した%オーダの大きなひずみでも弾性的に動作するフレキシブルスピントロニクス MR 素子[1]を用いる(図 2)。この素子は、その柔らかさと磁気弾性効果を活かし、ひずんだ方向を検出できるひずみ方向センサとして開発したものである。ひずみ「鈍感」な磁化固定層と、ひずみ「敏感」な磁化自由層を有しており、応力方向に自由層の磁化だけが向くことで、両磁性層に磁化の相対角度が生まれ、MR 効果により抵抗変化をもたらす。分担者は、磁性ナノドット間の磁気双極子相互作用を利用したシフトレジスタ[2]・論理回路[3]や、最近ではリカレントニューラルネットワークの研究実績がある。両者の技術を融合することで、メカニカルな情報を蓄積・論理演算可能になるという、これまでできなかったことを可能にする。ひずみ敏感な磁化自由層をナノドットとして並べると、各ドットの磁化は、ドットの形状による磁気異方性とドット間の相互作用磁界を感じながら配列する。応力を加えるとドットはひずみ、磁化は応力方向を向こうとするが、相互作用磁界が存在するためにその動きはシンプルではない。このシンプルではない動きをデザインし、種情報ドットの磁化の方向が、応力を加えるごとに隣のドットに伝搬していく、もしくは論理演算が行えるような仕組みを作り出していくこととなる。

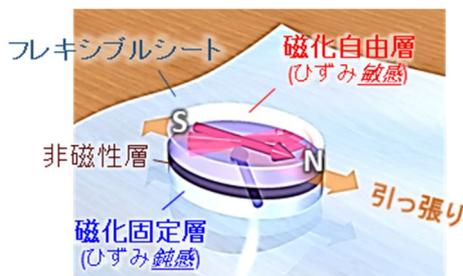


図 2 フレキシブルスピントロニクスひずみ方向センサ[1]。

4. 研究成果

【シミュレーションによる動作実証】

マイクロマグネティックシミュレータを用いて、ひずみをトリガとして情報処理を実行する素子の提案ならびに動作実証を行った。ここでは、Fixed dot、Buffer dot、Data dot の 3 種の磁性ドットから構成されるカウンタを考案した。

図 3 に考案した素子の磁化挙動の一例を示す。本素子は x 軸正の向きにアシスト磁場を印加している。このアシスト磁場は永久磁石等を用いることを想定している。

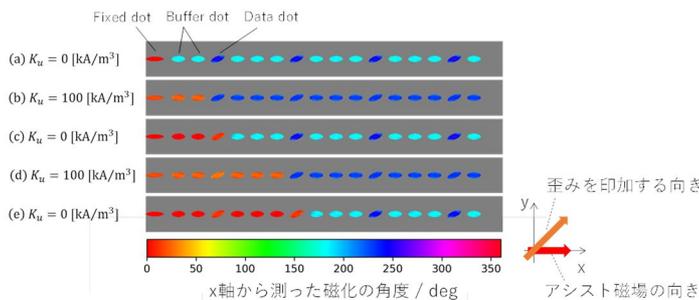


図 3 ひずみ量の変化に伴う無電力カウンタの磁化状態変化の例。ひずみ量の変化に対応する一軸磁気異方性定数 K_u の変化に伴い磁化状態が変化している。

図 3 (a)は初期磁化状態を示している。印加したひずみ量が増加すると buffer dot の磁化が反転する(図 3 (b))。その後、ひずみが抜ける際に、磁化反転した buffer dot に隣接する data dot の磁化が反転する(図 3(c))。これを繰り返す事で、ひずみが印加・除去された回数に対応して data dot の磁化が反転する(図 3(d)-(e))。この様に、外部のひずみをトリガとして、完全無電力で閾値以上のひずみが印加された回数を数える事が出来る素子を考案、シミュレーションにより動作実証することができた。

また、微細加工による素子形状のバラツキを考慮したシミュレーションも行い、作製が容易な素子構造の提案を行った。さらに、マクロスピンモデルを用いた解析により、ストナー-ウォルフファース模型を応用することで本素子の挙動を説明することができた。本素子は、ひずみの増加によって buffer dot の磁化が反転しやすくなり、それと同時に data dot は磁化反転しづらくなる。そのため、ひずみが増加している際は buffer dot のみが磁化反転する。一方でひずみが抜ける際、data dot の磁化が反転しやすい状態へと戻り、磁化反転した buffer dot の影響を受け一部の data dot が磁化反転する。この様に、本素子の動作には、buffer dot と data dot が夫々ひずみに対して異なる挙動を示すことが重要であることが明らかとなった。

【メカニカルシフトレジスタの試作と動作検証】

スパッタ装置を用い、フレキシブル基板に交換バイアス型の巨大磁気抵抗素子構造を形成した。構造は、基板側から、下地層/IrMn/NiFe/Co/Cu/Co/キャップ層となっており、NiFeがひずみ鈍感なピン層、上部Co層がひずみ敏感なフリー層になっている。フリー層のCoをサブミクロンサイズのドットに加工し(図4(a))、それ以下の層はワイヤに加工している。フレキシブル基板上のナノドット加工の条件出し最も多くの時間を割いたが、ここでは詳細を省略する。磁場を掃引し、左端のサイズが大きいドット(fixed dot)のみ、他のドットと反平行の向きに磁化が向いているように初期状態を形成した。図4(b)、(c)はそれぞれデバイス抵抗および印加したひずみ量と測定時間の関係を示している。図から、ひずみの印加中に抵抗が減少していることが確認できた。その大きさは約 $0.8\ \Omega$ でありこれはドット2個分の磁化反転に対応することが分かった。再現性も確認したが、現時点では2ビット目以降の動作は安定して得られていない。動作条件がかなりシビアであることが分かり、今後の課題となった。

本研究ではひずみを印加することでドットの磁化が反転するデバイスの作製に成功し、メカニカルレジスタを応用するための重要な知見を得ることができた。今後無磁場動作や動作ウィンドウ拡大を目指し、研究を継続する予定である。

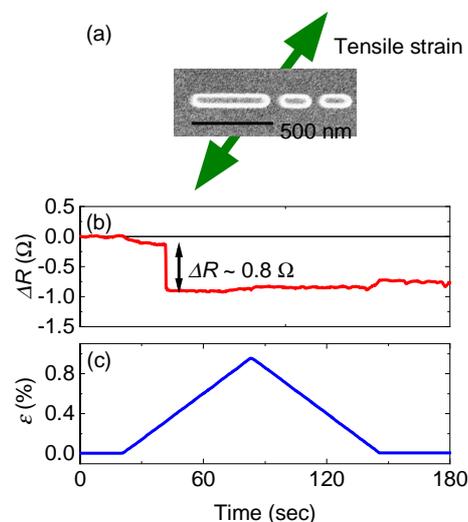


図4 (a)試作品の電子顕微鏡写真と(b)(c)動作実証例。

< 引用文献 >

- [1] S. Ota, A. Ando, and D. Chiba, *Nature Elec.* **1**, 124 (2018).
- [2] H. Nomura *et al.*, *Appl. Phys. Express* **10**, 123004 (2017).
- [3] H. Nomura and R. Nakatani, *Appl. Phys. Express* **4**, 013004 (2011).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Ota Shinya, Hirai Takamasa, Ochi Koki, Namazu Takahiro, Ina Toshiaki, Koyama Tomohiro, Chiba Daichi	4. 巻 127
2. 論文標題 Extended x-ray absorption fine structure spectroscopy of stretched magnetic films on flexible substrate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 173901 ~ 173901
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0005925	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hirai Takamasa, Hibino Yuki, Hasegawa Kento, Kohda Makoto, Koyama Tomohiro, Chiba Daichi	4. 巻 13
2. 論文標題 Voltage control of spin-orbit torque in Pd/Co/Pd/HfOx	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 123005 ~ 123005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/abcd71	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hirai Takamasa, Sepehri-Amin Hossein, Hasegawa Kento, Koyama Tomohiro, Iguchi Ryo, Ohkubo Tadakatsu, Chiba Daichi, Uchida Ken-ichi	4. 巻 118
2. 論文標題 Strain-induced cooling-heating switching of anisotropic magneto-Peltier effect	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 022403 ~ 022403
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0034858	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Matsumoto H., Ota S., Koyama T., Chiba D.	4. 巻 118
2. 論文標題 Control of magnetic anisotropy in a Co thin film on a flexible substrate by applying biaxial tensile strain	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 022406 ~ 022406
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0035003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hasegawa K., Koyama T., Chiba D.	4. 巻 103
2. 論文標題 Enhanced unidirectional spin Hall magnetoresistance in a Pt/Co system with a Cu interlayer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L020411-1~4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.L020411	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ota Shinya, Van Thach Pham, Awano Hiroyuki, Ando Akira, Toyoki Kentaro, Kotani Yoshinori, Nakamura Tetsuya, Koyama Tomohiro, Chiba Daichi	4. 巻 11
2. 論文標題 Strain-induced modulation of temperature characteristics in ferrimagnetic TbFe films	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 85642-3-1~7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-85642-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 H. Matsumoto, S. Ota, A. Ando, and D. Chiba	4. 巻 114
2. 論文標題 A flexible exchange-biased spin valve for sensing strain direction	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 132401(1)-(5)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5091033	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 S. Ota, M. Ono, H. Matsumoto, A. Ando, T. Sekitani, R. Kohno, S. Iguchi, T. Koyama, and D. Chiba	4. 巻 12
2. 論文標題 CoFeB/MgO-based magnetic tunnel junction directly formed on a flexible substrate	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 053001(1)-(4)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1882-0786/ab0dca	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 S. Ota, K. Uchida, R. Iguchi, P. Thach, H. Awano and D. Chiba	4. 巻 9
2. 論文標題 Strain-induced switching of heat current direction generated by magneto-thermoelectric effects	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 13197(1)-(7)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-49567-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 K. Ochi, T. Hirai, S. Ota, T. Koyama, T. Sekitani and D. Chiba	4. 巻 58
2. 論文標題 Solid-state capacitor for voltage control of magnetism formed on a flexible substrate	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 118003(1)-(3)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab4de9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 S. Ota, A. Ando, T. Sekitani, T. Koyama and D. Chiba	4. 巻 115
2. 論文標題 Flexible CoFeB/MgO-based magnetic tunnel junctions annealed at high temperature (>350)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 202401(1)-(4)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5128952	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 H. Nakayama, T. Hirai, J. Uzuhashi, R. Iguchi, T. Ohkubo, T. Koyama, D. Chiba and K. Uchida	4. 巻 12
2. 論文標題 Electric-field-induced on-off switching of anomalous Ettingshausen effect in ultrathin Co films	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 123003(1)-(5)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1882-0786/ab55bb	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Hirai, T. Koyama and D. Chiba	4. 巻 101
2. 論文標題 Electric field modulation of exchange bias at the Co/CoOx interface	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 014447(1)-(5)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.014447	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Matsumoto Hiroki, Ota Shinya, Koyama Tomohiro, Chiba Daichi	4. 巻 15
2. 論文標題 Biaxial strain sensing using a Pd/Co-based perpendicular flexible spin valve	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 033004 ~ 033004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ac5725	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Saito K., Imai A., Ota S., Koyama T., Ando A., Chiba D.	4. 巻 120
2. 論文標題 CoFeB/MgO-based magnetic tunnel junctions for film-type strain gauge	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 072407 ~ 072407
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0085272	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計23件 (うち招待講演 13件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Shinya Ota, Masaki Ono, Hiroki Matsumoto, Akira Ando, Tsuyoshi Sekitani, Ryuhei Kohno, Shogo Iguchi, Tomohiro Koyama, Daichi Chiba
2. 発表標題 CoFeB/MgO-based magnetic tunnel junction directly formed on a flexible substrate(応用物理学会論文賞記念講演)
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 千葉大地
2. 発表標題 集積スピンサイバーフィジカルシステムによる力覚センシングに向けた取り組み
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今井 亜希子、太田 進也、長谷川 顕登、金井 康、小山 知弘、荒木 徹平、関谷 毅、千葉 大地
2. 発表標題 磁気トンネル接合のフラッシュランプアニーリング
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 千葉大地
2. 発表標題 フレキシブル基板上のスピントロニクス素子における放射光計測
3. 学会等名 SPRUC ナノスピントロニクス研究会 2020年度 第1回研究会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 千葉大地
2. 発表標題 非平衡弾性物性科学について
3. 学会等名 第 1 回 非平衡弾性物性科学ワークショップ（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 D. Chiba
2. 発表標題 Flexible spintronics devices for mechanical sensing
3. 学会等名 Solid State Devices and Materials(SSDM 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 千葉大地
2. 発表標題 Pt下地上のCo超薄膜における磁気モーメントの電界変調
3. 学会等名 令和2年 東北大学電気通信研究所 共同プロジェクト研究会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 千葉大地
2. 発表標題 ナノ磁石の性質を操る
3. 学会等名 第24回産研ざっくばらんトーク (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 千葉大地
2. 発表標題 フレキシブル巨大磁気抵抗効果(GMR)センサの開発と歪方向検知への応用
3. 学会等名 第55回センサ&アクチュエータ技術シンポジウム 「磁気センサ最前線：スピントロニクス技術の基礎と応用」 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 千葉大地
2. 発表標題 柔らかいスピントロニクス素子を利用したメカニカル動作のセンシング
3. 学会等名 第226回研究会/ 第74回スピントロニクス専門研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 千葉大地
2. 発表標題 フレキシブルスピントロニクスを基軸としたスピントロニクスの IoT 展開
3. 学会等名 2019年日本結晶成長学会特別講演会 「高機能・高性能デバイスへ向けた最先端研究から探る結晶成長の課題」（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroki Matsumoto, Shinya Ota, Tomohiro Koyama, Daichi Chiba
2. 発表標題 Control of perpendicular magnetic anisotropy of Co thin films formed on a flexible substrate by using a biaxial stretching technique
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松本啓岐、太田進也、小山知弘、千葉大地
2. 発表標題 フレキシブル基板上Co薄膜の面内二軸引っ張り歪みによる垂直磁気異方性制御
3. 学会等名 第43回日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroki Matsumoto, Shinya Ota, Tomohiro Koyama and Daichi Chiba
2. 発表標題 Control of perpendicular magnetic anisotropy of Co films formed on a flexible substrate by applying a biaxial tensile strain
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shinya Ota, Akira Ando, Tomohiro Koyama, Daichi Chiba
2. 発表標題 High temperature annealing of flexible magnetic tunnel junction
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鳥居 大雅
2. 発表標題 無電源で力学情報を検知・蓄積するメカニカルスマートレジスタの実現に向けた研究
3. 学会等名 2021 年度第 4 回界面ナノ科学研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安倍 祥太、乗松 拓実、若林 大河、森 謙介、後藤稯、鈴木義茂、千葉大地、野村光
2. 発表標題 歪みにより駆動される情報処理素子の提案
3. 学会等名 JST CREST・さきがけ複合領域 令和3年度成果報告会・成果展開VRシンポジウム 研究領域 「微小エネルギーを利用した革新的な環境発電技術の創出」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Taiga Torii, Hikaru Nomura, Tomohiro Koyama, Daichi Chiba
2. 発表標題 Electric power free strain detection and nonvolatile information storage using nano-magnets
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Daichi Chiba
2. 発表標題 Mechanical sensing by flexible spin devices
3. 学会等名 10th imec Handai International Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Daichi Chiba
2. 発表標題 Mechanical motion detection using flexible spin devices
3. 学会等名 The 5th Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics, and the 4th Symposium on International Joint Graduate Program in Materials Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Abe, M. Goto, Y. Suzuki, D. Chiba and H. Nomura
2. 発表標題 Numerical simulation of nano-magnet counter driven by strain
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野村 光, Hon Kwan, 乗松 拓実, 延壽 耕平, 安倍 祥, 堀内 遊宇, 後藤 穰, 鈴木 義茂
2. 発表標題 LabVIEW/FPGAを用いたオープンソースSPMコントローラの開発
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安倍祥太、後藤穰、鈴木義茂、千葉大地、野村光
2. 発表標題 ナノ磁性ドットを用いたひずみで駆動されるカウンタの初期化手法
3. 学会等名 材料物性工学談話会 令和3年度第2回講演会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 磁気抵抗素子の製造方法	発明者 千葉大地、関谷毅	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-135830	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 情報処理方法、情報処理装置及び磁性素子	発明者 野村光、安倍祥太、 千葉大地	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-137247	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

<p>大阪大学産業科学研究所・千葉研究室 https://www.sanken.osaka-u.ac.jp/labs/se/ 大阪大学産業科学研究所・千葉研究室 https://www.sanken.osaka-u.ac.jp/labs/se/ IoT産業にきわめて重要な成果柔らかいスピントロニクス素子が実用レベルにあることを実証 https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2019/20191108_1 基板を曲げたり引っ張ったりするだけで素子内の熱流方向を変えることに成功 https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2019/20190913_1 柔らかいシート上へ実用スピントロニクス素子を直接形成することに成功 https://www.t.u-tokyo.ac.jp/foe/press/setnws_201904111545013808428260.html 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 https://www.t.u-tokyo.ac.jp/foe/press/setnws_201904091051162905753992.html</p>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	野村 光 (Nomura Hikaru) (20506258)	大阪大学・基礎工学研究科・講師 (14401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------