

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：82108

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04499

研究課題名(和文) スピン軌道トルク磁化反転の効率化に向けたコヒーレント成長窒化物ヘテロ接合の応用

研究課題名(英文) Nitride based coherent heterostructures for efficient spin-orbit torque magnetization switching

研究代表者

磯上 慎二 (ISOGAMI, Shinji)

国立研究開発法人物質・材料研究機構・磁性・スピントロニクス材料研究拠点・主任研究員

研究者番号：10586853

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：磁性膜の電流誘起磁化反転に要する臨界電流密度( $J_c$ )の大幅な低減のため、Mn基窒化物薄膜の開発と反転特性評価実験を行った。Pt層とのヘテロ接合のみならずMn基窒化物薄膜単一層にて磁化反転できることを新しく実証した(期待を上回る成果)。また、電流誘起磁化反転素子で標準となっているCoFeB磁性膜の場合に比べて約1桁程度小さい11 MA/cm<sup>2</sup>以下の $J_c$ で磁化反転できることを実証した。これは磁気メモリ素子を想定した場合、ヘテロ接合素子あるいは強磁性トンネル素子などのデバイスが不要となるため、従来に無いシンプルな構造で高集積性の向上に直結する意義のある成果である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

将来の大規模ストレージに向けて更なる高効率磁化反転素子が期待されている。本研究で達成したMn基窒化物磁性膜を用いた電流誘起磁化反転に関する成果は、磁気メモリ素子を想定した場合、従来に無いシンプルな構造で高集積性の向上に直結する意義のあるものである。非共線型磁気構造はスキルミオン格子などの特異な磁区構造の発現に寄与するため、将来の大規模量子情報に対応したストレージ技術に貢献できる可能性がある。本研究では別途、Mn基窒化物薄膜における非共線・非鏡面磁気構造の優れた操作性も明らかにされていることから、今後の展開として、現在とは違った原理の磁気メモリ分野に発展する可能性がある。

研究成果の概要(英文)：To achieve remarkable reduction of critical current density ( $J_c$ ) for magnetization switching in magnetic thin films, the Mn-based nitrides (Mn-N) were examined and the switching demonstration was performed in this study. In addition to the switching in heterostructures with Pt layers, magnetization switching was succeeded even in the Mn-N single layer, which was the significant results beyond the earlier expectation. The  $J_c$  of Mn-N was one order of magnitude smaller than that of CoFeB conventional magnetic thin films. These results show the great significance on the prospect that neither heterostructure nor magnetic tunnel junctions might be necessary for magnetic memories, resulting in the enhancement of high integration with simple architectures that has not been demonstrated.

研究分野：磁性薄膜工学

キーワード：窒化物磁性膜 電流誘起磁化反転 磁気メモリ素子

## 1. 研究開始当初の背景

本研究の背景にあるのは、IoT 社会の拡充にともなう、固体メモリなど電子デバイス需要の高揚である。2012 年のサイエンス誌においてスピン軌道トルク (SOT) による磁化反転方式を採用した磁気ランダムアクセスメモリ (SOT-MRAM) が初めて報告された。これは高速で読み出しエラーが格段に減少するため製品開発、SOT 磁化反転現象の理解に関する研究が盛んになってきている。

MRAM の製品化で求められる磁化反転電流密度の目安は ( $J_c \sim 10^6$  (A/cm<sup>2</sup>)) と言われている。しかしながら強磁性金属 (FM) の CoFeB ( $M_s \sim 1200$  emu/cm<sup>3</sup>) を含む従来の NM/FM 金属ヘテロ接合では  $J_c \sim 10^7$  (A/cm<sup>2</sup>) 程度に留まっており目標に程遠い。現状における高い  $J_c$  は異種金属ヘテロ接合であるが故に顕在化する、

- (1) 接合界面の格子欠陥等によるスピン注入効率の低下 (=界面成分の低下) と、FM 層材料が強磁性 CoFeB であることによる、
  - (2) 高飽和磁化 ( $M_s$ ) および、注入スピン - トルク変換効率 (スピン分極率) の低下
- 以上、2 点が原因と考えられ、解決が急務となっている。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、異種金属ヘテロ接合より優れた材料特性をもつ遷移金属窒化物のコヒーレント成長ヘテロ接合 (NM 窒化物 / FM 窒化物) を作製し、その SOT を従来と対比しながら解明し、 $J_c \sim 10^6$  (A/cm<sup>2</sup>) に到達するための新しい材料アプローチの開拓である。

## 3. 研究の方法

本研究のアプローチは大きくは以下の 2 段階構成である。図 1 で示すように、これらを達成することで確実に  $J_c$  低減に貢献できると考えられる。

(1) ヘテロ接合に含まれる FM 窒化物層の  $M_s$  を低減、スピン分極率の増大を行い、現行 Ta/CoFeB の  $J_c$  から一桁程度の低減を達成すること。 $\theta_{SH}$  を固定とした場合、 $J_c$  は図 1 の見積りが示すように  $M_s$  に比例するため、母相金属とスピン軌道相互作用定数の符号が異なる第三添加元素 X (Fe, Ni, Co など) 添加や窒素量を系統的に変えながら現行 CoFeB より  $M_s$  が一桁小さい FM 窒化物を開発する。(cf., Mn<sub>4</sub>N  $\sim 100$  kA/m) 次に FM 窒化物層のスピン分極率を増大して磁化反転効率を向上させるため、スピン注入界面だけにスピン分極率が 100% に近い極薄 FM 窒化物層を挿入する。以上は常に第一原理計算結果を参考にしながら進める。

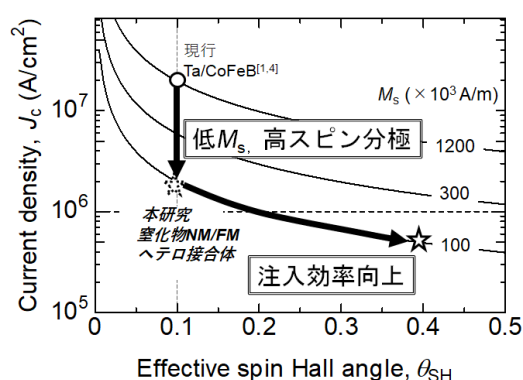


図 1 反転電流密度の見積りと目標達成に至る道筋。

(2) 図 1 の見積りから判るように、前述 1) だけでは目標達成できない。ヘテロ接合界面の原子スケール構造を解明しながら、高スピン注入効率に最適な界面状態を実現し、実効スピンホール角 ( $\theta_{SH}$ ) を 0.4 以上とし  $J_c \sim 10^6$  (A/cm<sup>2</sup>) を確実に達成すること。界面のスピン注入効率は  $J_c$  の低減に直結する。窒化物ヘテロ接合膜は伝導体で構成されるため SOT の起源は、従来 HM / FM と同じく、界面から注入されたスピン偏極電子 (スピン流) によるスピントランスファートルクである。そのため界面結晶性、配向性、スピン抵抗率が注入効率を決める。全窒化物ヘテロ接合は同一の結晶構造を有するため、原子コヒーレント成長界面を実現する上で非常に有利である。NIMS 内設備である透過型電子顕微鏡、アトムプローブ装置にて原子 1 つ 1 つの場所、化学結合状態、合金組成を解明し、作製プロセスにフィードバックしていく。

## 4. 研究成果

当初の実施計画では、垂直磁気異方性を有する低  $M_s$  材料と高  $\theta_{SH}$  材料とのヘテロ接合を想定し、元素添加や N 組成制御も含めた Mn-N 系材料の開発と接合界面の微細構造制御から目的達成を試みるようになっていた。Mn<sub>4</sub>N 薄膜を第一候補として開発を進める中で、本材料が有する低  $M_s$  の利得をさらに強化するため、ヘテロ接合より単一層膜の状態での磁化反転に挑戦する発想の転換に至った。単一層における磁化反転現象は、反強磁性 (Wadley et al., Science 2019)、強磁

性 (Godinho et al., Nat. Com. 2018), フェリ磁性 (Tang et al., Adv. Mater. 2020) において既に報告されているが, その事例は未だ多くない. また, これらの電氣的な反転現象における高効率性も国内外問わず注目され始めている. そこで  $Mn_4N$  の磁気構造を従来のコリニアではなく, ノンコリニア型へと大きく変化させてみる点に改めて着目した. 結果として Pt などスピホール材料とのヘテロ接合形態を不要としながら, 電流誘起磁化反転に要する臨界電流密度 ( $J_c$ ) の大幅な低減を両立することが期待される. 実際に  $Mn_4N$  薄膜単一層にて電流誘起磁化反転を試みたところ, 電流誘起磁化反転素子で標準となっている CoFeB 磁性膜の場合に比べて約 1 桁程度小さい  $1 \text{ MA/cm}^2$  以下の  $J_c$  で磁化反転できることを実証した (期待を大きく上回る成果). 図 2 (上) は  $Mn_4N$  単一膜をフォトリソグラフィで微細加工した素子に流す面内電流で磁区状態を反転させた様子を示している. 比較のために従来の膜面直コリニア型の磁気構造をもつ  $Mn_4N$  単一膜でも同様の実験を行ったが, 図 2 (下) に示すように明瞭な磁区状態の反転現象は認められなかった. これは磁気メモリ素子を想定した場合, ヘテロ接合素子あるいは強磁性トンネル素子などのデバイスが不要となるため, 従来に無いシンプルな構造で高集積性の向上に直結する意義のある成果である (Isogami et al., AIP Adv. 2021; Editor's pick).

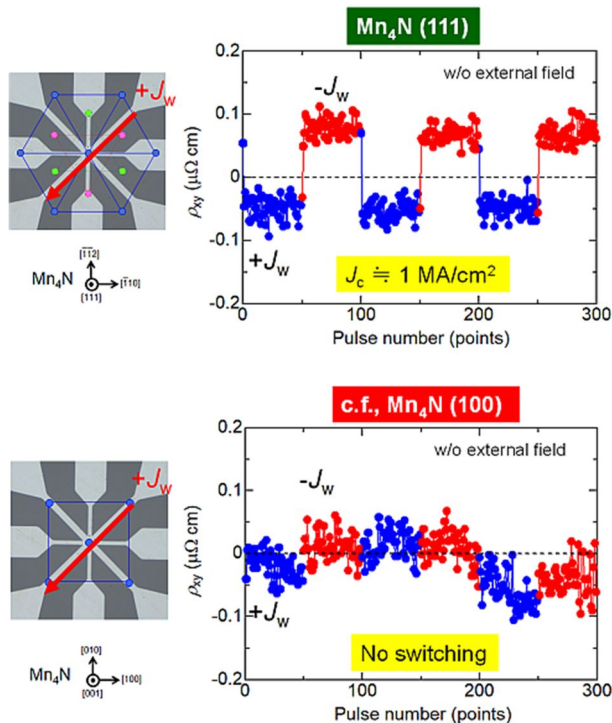


図 2 ノンコリニア (上) およびコリニア (下) 磁気構造を有する  $Mn_4N$  単一薄膜の面内電流誘起磁化反転.

単一磁性層の自己誘導トルクに関しては, 反強磁性層, 強磁性層, フェリ磁性層のいずれにおいても報告されていることを鑑みると, 本研究の Mn 基窒化物薄膜で観測された結果は物理的に説明できる可能性がある. 以上のような単一層における高効率な電流誘起磁化反転の原理を説明するため, 本研究の最後に磁気構造解明を目的としたトポロジカルホール効果の測定を実施した. その結果, Mn 基窒化物薄膜の磁化過程では説明できない成分が異常ホール信号に重畳していることが判った. これは Mn 磁気モーメントの面内非共線構造を裏付けていることから, このような磁気構造が高効率かつ単一層での電流誘起磁化反転を誘発したものと結論づけた. 非共線型磁気構造はスキルミオン格子などの特異な磁区構造の発現に寄与するため, 将来の大規模量子情報に対応したストレージ技術に貢献できる可能性があり, その電流制御, 温度制御, ダイナミクスに関する研究が行われている. 磁気特性の測定温度依存性を実験したところ, 当該 Mn 基窒化物薄膜は室温から  $50 \text{ K}$  までの温度範囲に比べて, 更に低温側で非共線成分の安定性が高まることを明らかにした (図 3). また, 結晶配向面が (111) 面から (110) 面に変更されたサンプルでも Mn 磁気モーメントの面内非共線構造が発現することを明らかにした. 最後に  $2p$  軽元素のひとつであるホウ素を最大  $2.4 \text{ at.}\%$  まで添加したところ, 面内非共線構造の安定性はホウ素組成量の増加に伴って, (111) 面配向の場合は単調減少, (110) 面配向の場合は途中で増大に転じる現象を観測した. これは, わずかな軽元素添加でありながら, 効率的に Mn の磁気構造を制御可能であることを示唆している. よって今後の発展として, スキルミオン格子技術に応用し, 効率的なスキルミオン制御が可能になるものと期待される (Isogami et al., JAP. 2022).

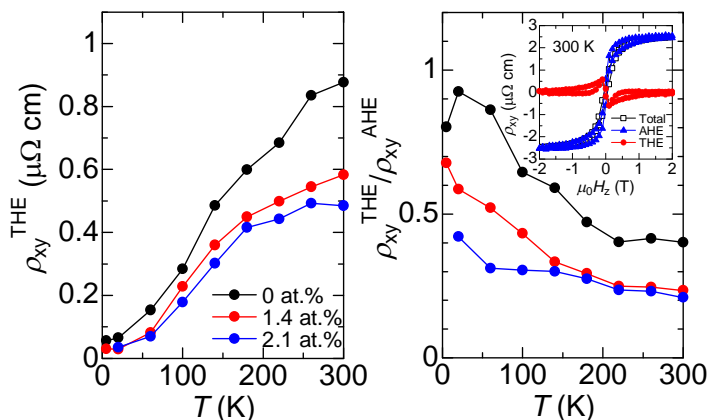


図 3  $Mn_4(N,B)$  薄膜におけるトポロジカルホール抵抗率 ( $\rho_{xy}^{\text{THE}}$ ) (左), 異常ホール抵抗率に対する比 ( $\rho_{xy}^{\text{THE}}/\rho_{xy}^{\text{AHE}}$ ) (右) の測定温度依存性.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Isogami Shinji, Ohtake Mitsuru, Takahashi Yukiko K.	4. 巻 131
2. 論文標題 Impact of B-doping on topological Hall resistivity in (111)- and (110)-oriented Mn <sub>4</sub> N single layers with the non-collinear spin structure	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 073904 ~ 073904
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0083042	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 Isogami Shinji, Shiokawa Yohei, Tsumita Atsushi, Komura Eiji, Ishitani Yugo, Hamanaka Kosuke, Taniguchi Tomohiro, Mitani Seiji, Sasaki Tomoyuki, Hayashi Masamitsu	4. 巻 11
2. 論文標題 Spin orbit torque driven magnetization switching in W/CoFeB/MgO-based type-Y three terminal magnetic tunnel junctions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 16676-1~8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-95422-8	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 Isogami Shinji, Rajamanickam Nagalingam, Kozuka Yusuke, Takahashi Yukiko K.	4. 巻 11
2. 論文標題 Efficient current-driven magnetization switching owing to isotropic magnetism in a highly symmetric 111-oriented Mn <sub>4</sub> N epitaxial single layer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 105314 ~ 105314
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0062253	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 Rajamanickam Nagalingam, Chowdhury Towhid H., Isogami Shinji, Islam Ashraful	4. 巻 125
2. 論文標題 Magnetic Properties in CH <sub>3</sub> NH <sub>3</sub> PbI <sub>3</sub> Perovskite Thin Films by Mn Doping	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 20104 ~ 20112
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.1c06558	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 Noro Shota, Nakano Kotaro, Ohtake Mitsuru, Isogami Shinji, Futamoto Masaaki, Kawai Tetsuroh, Kirino Fumiyoshi, Inaba Nobuyuki	4. 巻 1
2. 論文標題 Effects of Composition on the Ordered Phase Formation in Mn-Al and Mn-Ge Alloy Thin Films Grown on Cr(001) Single-Crystal Underlayers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics	6. 最初と最後の頁 1~1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMAG.2022.3151235	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 Isogami Shinji, Oishi Yuto, Furukawa Chikara, Ohnishi Nobuhito, Okubo Kan	4. 巻 14
2. 論文標題 Long-term outdoor observation of geomagnetic fields using tunneling magnetoresistance-based magnetometer and detection of long-period oscillations of geomagnetic pulsations: prospects for earthquake disaster prevention	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 056502 ~ 056502
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/abf66a	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 Kozuka Y., Isogami S., Masuda K., Miura Y., Das Saikat, Fujioka J., Ohkubo T., Kasai S.	4. 巻 126
2. 論文標題 Observation of Nonlinear Spin-Charge Conversion in the Thin Film of Nominally Centrosymmetric Dirac Semimetal SrIrO3 at Room Temperature	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 236801-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/physrevlett.126.236801	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 Isogami Shinji, Masuda Keisuke, Miura Yoshio, Rajamanickam Nagalingam, Sakuraba Yuya	4. 巻 118
2. 論文標題 Anomalous Hall and Nernst effects in ferrimagnetic Mn4N films: Possible interpretations and prospects for enhancement	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 092407 ~ 092407
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0039569	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 Rajamanickam Nagalingam, Isogami Shinji, Ramachandran Kathirvel	4. 巻 275
2. 論文標題 Effect of Co doping for improved photovoltaic performance of dye-sensitized solar cells in BaSnO <sub>3</sub> nanostructures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Letters	6. 最初と最後の頁 128139 ~ 128139
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matlet.2020.128139	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 Isogami Shinji	4. 巻 501
2. 論文標題 Spin-orbit torques in antiperovskite Fe <sub>4</sub> N pseudo-single-crystal films with negative spin polarization	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	6. 最初と最後の頁 166400 ~ 166400
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmmm.2020.166400	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 Isogami Shinji, Masuda Keisuke, Miura Yoshio	4. 巻 4
2. 論文標題 Contributions of magnetic structure and nitrogen to perpendicular magnetocrystalline anisotropy in antiperovskite -Mn <sub>4</sub> N	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 014406-1 ~ 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.4.014406	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 Suzuki Ippei, Uzuhashi Jun, Ohkubo Tadakatsu, Isogami Shinji	4. 巻 6
2. 論文標題 Strain relaxation in epitaxial -Fe <sub>4</sub> N ultrathin films	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materials Research Express	6. 最初と最後の頁 106446 ~ 106446
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/2053-1591/ab41b9	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 Komori Taro, Gushi Toshiki, Anzai Akihito, Vila Laurent, Attane Jean-Philippe, Pizzini Stefania, Vogel Jan, Isogami Shinji, Toko Kaoru, Suemasu Takashi	4. 巻 125
2. 論文標題 Magnetic and magneto-transport properties of Mn4N thin films by Ni substitution and their possibility of magnetic compensation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 213902 ~ 213902
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5089869	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 Sugimoto S., Uzuhashi J., Isogami S., Ohkubo T., Takahashi Y. K., Kasai S., Hono K.	4. 巻 3
2. 論文標題 Impact of oxygen interdiffusion on spin-to-charge conversion at nonmagnetic metal/Bi oxide interfaces	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 104410-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/physrevmaterials.3.104410	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 Isogami Shinji, Uzuhashi Jun, Ohkubo Tadakatsu, Hayashi Masamitsu	4. 巻 3
2. 論文標題 Crystalline-structure-dependent magnetoresistance in ferromagnetic metal/conducting amorphous oxide heterostructures	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 024408-1 ~ 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.3.024408	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 Isogami Shinji, Uzuhashi Jun, Ohkubo Tadakatsu, Hayashi Masamitsu	4. 巻 3
2. 論文標題 Crystalline-structure-dependent magnetoresistance in ferromagnetic metal/conducting amorphous oxide heterostructures	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 024408-1 ~ 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.3.024408	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11件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 小塚 裕介, 増田 啓介, 三浦 良雄, 藤岡 淳, 磯上 慎二, ダス サイカット, 大久保 忠勝, 葛西 伸哉
2. 発表標題 第一原理計算によるSrIrO <sub>3</sub> 薄膜における非線形スピホール効果発現機構の解明
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 小塚 裕介, 磯上 慎二, 大久保 忠勝, 葛西 伸哉
2. 発表標題 SrIrO <sub>3</sub> /Co ヘテロ 界面におけるスピン軌道トルク
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小塚 裕介, 磯上 慎二, ダス サイカット, 藤岡 淳, 葛西 伸哉
2. 発表標題 SrIrO <sub>3</sub> 薄膜における非線形電荷-スピン変換
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Isogami
2. 発表標題 ANE and SOT effective fields in (Fe <sub>4</sub> N, Mn <sub>4</sub> N)/NM bilayers characterized by using harmonic Hall voltage measurements
3. 学会等名 Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 S. Isogami, Y. Shiokawa, A. Tsumita, T. Taniguchi, S. Mitani, T. Sasaki, and M. Hayashi
2. 発表標題 Spin orbit torque switching and thermal stability factor of W/CoFeB/MgO-based three terminal magnetic tunnel junctions
3. 学会等名 Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 磯上慎二
2. 発表標題 負のスピンの極率を有する窒化鉄ヘテロ接合のスピントルク抵抗効果と電流誘起スピントルク有効磁場の温度依存性
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 S. Isogami
2. 発表標題 Dependence of spin orbit torque effective fields on temperature in (Fe4N, Mn4N)/NM bilayer systems
3. 学会等名 The 80th JSAP Autumn Meeting (2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Isogami, Y. Shiokawa, A. Tsumita, T. Taniguchi, S. Mitani, T. Sasaki, and M. Hayashi
2. 発表標題 Current induced magnetization switching of W/CoFeB/MgO-based three terminal magnetic tunnel junctions via spin orbit torque
3. 学会等名 The 80th JSAP Autumn Meeting (2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 I. Suzuki, T. Ohkubo, and S. Isogami
2. 発表標題 Strain mediated magnetic properties in thin Fe <sub>4</sub> N pseudo single-crystal films
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Isogami, M. Ruma, Y. K. Takahashi, A. Anzai, T. Gushi, T. Komori, and T. Suemasu
2. 発表標題 Enhanced effective damping constant in Mn based nitride compounds
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Komori, T. Gushi, A. Anzai, T. Hirose, K. Toko, S. Isogami, and T. Suemasu
2. 発表標題 Temperature dependence of magneto transport properties of Mn <sub>4</sub> -xNixN thin films
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	末益 崇 (SUEMASU Takashi) (40282339)	筑波大学・数理物質系・教授  (12102)	

6. 研究組織（つづき）

	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	角田 匡清  (TSUNODA Masakiyo)  (80250702)	東北大学・工学研究科・准教授     (11301)	

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