

令和 6 年 6 月 19 日現在

機関番号：34416

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20H02607

研究課題名(和文) 補助書込SOT法による高速低消費磁化反転技術の開発とデバイス応用

研究課題名(英文) Development of high-speed low-power magnetization reversal method using two SOTs

研究代表者

本多 周太 (Honda, Syuta)

関西大学・システム理工学部・准教授

研究者番号：00402553

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：補助書き込みスピン軌道トルク(SOT)法を用いてスピン注入磁化反転の高速化・低消費電力動作を行なった。マイクロマグネティクスシミュレーションと実験でそれぞれ実証した。面内磁化の磁化反転を対象とした。磁化反転の際に、最初に磁化に垂直な向きのスピンを注入し磁化を傾かせ、次に反転させる向きのスピンを注入することで、従来の単純なSOT磁化反転よりも、シミュレーション値で消費電力を95%削減、実験値で省電力を70%削減した磁化反転が実証できた。また、磁化反転シミュレーションとスピン流の数値計算により、高速磁化反転のための新たな構造を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

補助書込SOT法による高速・低消費電力磁化反転では、情報書換時の消費電力の多さが欠点だった磁気メモリが、情報書換時の消費電力の少なさが利点、と言えるほどに電力消費を改善できることが示された。さらに、回路設計によるスピン注入最適化の効果が高いことを示しており、空間的、時間的スピン注入の最適化で、これまでの磁化反転の常識を大きく覆すことが可能であることが期待される。このように研究成果は学術的意義が高い。また、磁化反転の応用デバイスMRAMが車載メモリとしての実用化されるなど需要が高まりつつある昨今、超省エネルギー磁化反転を一日でも早く実現する必要があるため、本成果の社会的意義も高い。

研究成果の概要(英文)：The objective was to achieve high-speed and low-power operation through the use of the Spin-Orbit Torque (SOT) method. In particular, the focus was on in-plane magnetization reversal. During the reversal process, spins were initially injected perpendicular to the magnetization direction, which resulted in a tilting of the magnetization. Subsequently, spins were injected in the direction of reversal. Consequently, in comparison to the conventional, straightforward SOT magnetization reversal approach, the experimental data revealed a 70% reduction in power consumption, while the simulation results indicated a 95% reduction. New structures for fast magnetization switching were proposed by the simulation of magnetization switching and numerical calculation of spin currents.

研究分野：物性理論

キーワード：スピン注入磁化反転 マイクロマグネティクス スピン軌道トルク

1. 研究開始当初の背景

パソコン等の IT 機器には情報保持のために、様々なメモリが搭載されている。近年では新しい原理に基づくメモリが考案されており、精力的な研究が続いている。強磁性体の磁気モーメント(磁化)を2値の情報とする「磁気メモリ」は、電源切断時にも情報を保持する不揮発な省電力メモリとして期待されている。その代表例が2枚の強磁性体を極薄のトンネル絶縁膜で挟んだトンネル磁気抵抗(TMR)素子を利用したメモリ(MRAM)である。強磁性体の磁化配置(平行・反平行)で、強磁性体磁化固定層(Pin 層)と磁化自由層(Free 層)間の電気抵抗が変化する。磁気メモリは待機電力がゼロのため消費電力を現行メモリより90%以上削減可能との予測もある。さらに、振動や熱に強いため、車載などの悪環境での利用に現行のメモリよりも適している。一方、情報書き込み過程(磁化の向き反転)では大きな消費電力が必要であり、実用化の足枷となっている。

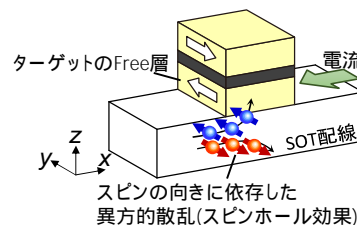


図 1. スピン軌道トルク(SOT)によるスピン注入磁化反転。

高速で低消費電力な磁化反転の方法として、スピン軌道トルク(SOT)法が提案されている(図 1)。SOT 法では非磁性金属中の電流を用いる為、低抵抗・低消費電力であり、素子破壊の可能性も低い。但し、現状の磁化反転に必要な電流量は、応用デバイスでも使用されているスピン移行トルク(STT)法よりも大きい。より低電流で磁化反転を行なうには、SOT 配線に高いスピンホール効果を示す非磁性材料(SOT 材料)を利用する必要があるが、単純な組成材料の中で最高効率を示す白金の場合でも、一桁以上の電力削減が必要である。そこで、材料探索ではない方法での高速な磁化反転に注目した。

研究代表者は補助書き込み SOT 法を提案した。補助書き込み SOT 法は、SOT 配線を2つ持つ構造でターゲットの磁性体へ2つの向きのスピンが注入される(図 2)。磁化反転は2段階で行なわれる。まず、1段階目では、補助書込線に電流印加、強磁性体の初期磁化方向と垂直な向きのスピンが補助書込線から注入される。磁化に大きなトルクが加わり、初動で磁化を大きく揺らす。2段階目では、主書込線に電流印加、主書込線から注入され始めたとき、磁化が初期磁化方向から傾いているため、注入スピンと磁化との相対角度が大きい。トルクが有効に加わり、磁化が目的の方向へと素早く反転する。この結果、高速な磁化反転が起こると期待される。強磁性体の磁化に加わるトルクは、磁化ベクトルと注入スピンのベクトルとの外積で作用するため、磁化とスピンの相対角度が0°と180°の時が最小になり、90°と180°の時にトルクが最大になることを効率良く利用した磁化制御方法である。

2. 研究の目的

補助書き込み SOT 法による高速・低消費電力磁化反転をシミュレーションと実験の両方で実現し、この方法の優位性、素子構造によって高速磁化反転が可能であることを示すことが本研究の目的である。加えてスピン注入の効果を明確にすること、磁化反転時の磁化の挙動、注入スピンの挙動を解析し明らかにし、高速に磁化を反転させる他の手法を新たに見出しシミュレーションにて実証する。

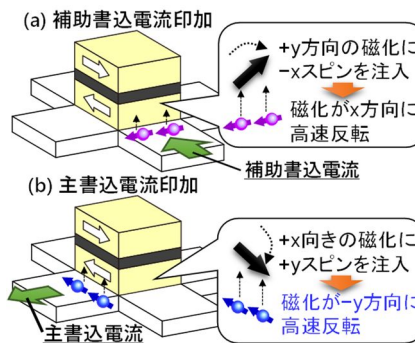


図 2. 補助書き込み SOT 法の概略。

3. 研究の方法

(1) 補助書き込み SOT 法による磁化反転の実証

数値解析と実験の双方で補助書き込み SOT 法の効果を実証する。数値解析ではスピン注入によるトルクの効果を取り入れたランダウ-リフシッツ-ギルバート方程式(LLG 方程式)に基づいたマイクロマグネティクスシミュレーションを用いて、補助書き込み SOT 法による磁化反転を解析した。この手法は強磁性体を微小セルに分割して、各セル間の長距離相互作用などを有効磁場として導入、各セルの磁化変化を動的に計算する手法であり、反転対象の強磁性体として数 nm ~ 数十 nm の直方体形状のパーマロイ(FeNi 合金)や CoFeB の磁気パラメータを導入した。補助 SOT 電流と主 SOT 電流の印加時間、スピン注入量、注入面と反転時間の関係を明確にし、最適な補助書込 SOT 法の確立を目指した。数値計算では、本研究予算で購入した Intel 社 Xeon を搭載した計算機を用いてシミュレーションを行なった。

実験では、独自に補助電流 SOT 法を実施するデバイスを作成し、数値解析での結果を参考にし、層状構造(SOT 材料の膜厚や下地層を検討)の最適化を検討した。具体的には強磁性体の幾何構造(矩形、楕円形など)や膜厚、SOT 材料、強磁性体上部に成膜する材料(金属、半導体、絶縁膜)等を幅広く探索し、磁化反転に要する電流値で整理した。書き込み電流のパルス時間、補助書き込み電流と主書き込み電流の間の遅延時間、試料温度等をパラメータとして系統的に実験で検証し、

より多くの情報を数値解析へフィードバックし相互活用し、実験の高速化を試みた。2端子の電流を高速に切り替える必要が有るため、高周波プローバと2端子出力パルス発生器を用いてパルス電流を生成した。実験と数値解析との差を補正し、より高速で低消費電力な磁化反転を目指した。

(2) スピン注入の挙動解析

より高速な磁化反転を得るためには、ターゲットの磁性体へ流れ込むスピンの流れについて詳細を知る必要がある。スピンの依存した電流連続の式に、ドリフト電流、拡散電流、スピンホール効果による電子の流れを導入し、重金属/強磁性金属の多層構造における各位置でのスピン流を計算し、より沢山のスピンのターゲットの強磁性金属で吸収される構造を解析する。解析には、解析計算や自己無撞着な数値シミュレーションを用いた。重金属や強磁性金属など各層の膜厚、スピン拡散長、電気伝導度をパラメータとして計算した。ただし、計算を簡単にするために、各層においてアップスピンとダウンスピンとでスピン拡散長や電気伝導は等しいと仮定した。強磁性金属では短いスピン拡散長として、1~10 nmのスピン拡散長、非磁性体では長いスピン拡散長として 100 nm のスピン拡散長を導入した。重金属層は Pt 層を想定し、スピンホール角を 0.1、スピン拡散長を 1 nm とした。

(3) 他の高速磁化反転法の検討

補助書き込み SOT 法とは異なるスピン注入法を数値解析で検討し、従来型の単純な SOT 法よりも高速に磁化を反転できる注入方法を探索した。補助書き込み SOT 法の数値解析同様に LLG 方程式に基づいたマイクロマグネティクスシミュレーションを用いてシミュレーションした。磁化反転の対象を面内磁化した強磁性金属とし、磁気パラメータをパーマロイとした。

4. 研究成果

(1) 補助書き込み SOT 法による磁化反転の実証

薄い直方体の強磁性金属において、シミュレーションと実験の双方で、従来型の SOT よりも高速・低消費電力な磁化反転が得られた。得られた磁化反転結果の一例を図 3 に示す。数値シミュレーションにおいては、従来型の 1 つの方向のスピンを注入する磁化反転では磁化の振動が少しずつ増加しながら、反転が起った。一方、補助書き込み SOT 法では、補助電流によって磁化に垂直な向きのスピンを 0.1 ns だけ注入し、その後主電流で従来型と同様の向きのスピンを注入した場合、補助電流では振動を伴わずに大きく磁化は回転し、主電流への変更で磁化が 1.0 ns 程度で反転した。

補助書き込み SOT 法の実験成果の例として、印加電流の大きさや磁化を変えながら磁化反転の有無を確認した結果を示す(図 3(b))。従来型 SOT 法では、消費電力が 0.5 nJ 程度までは測定電圧が 0.1 μ V 以下だが、0.6 nJ を超えると測定電圧が 0.4 μ V 以上へ増加した。この測定電圧は磁化の向きに依存しており、0.6 nJ 以上では磁化反転が起ったことを意味する。補助書き込み SOT 法を用いると、消費電力が 0.1 nJ 程度で大きな値へ測定電圧が変わり、より少ない消費電力で磁化反転が起った。

図 3 に示した磁化反転例では、結果として従来型 SOT 法と比較して消費電力を理論値 95% 削減(図 3(a))、実験値 70% 削減(図 3(b))の省電力・高速磁化反転に成功した。このように SOT 磁化反転でも回路設計によるアプローチは革新的であり、強力な手法であることが示された。

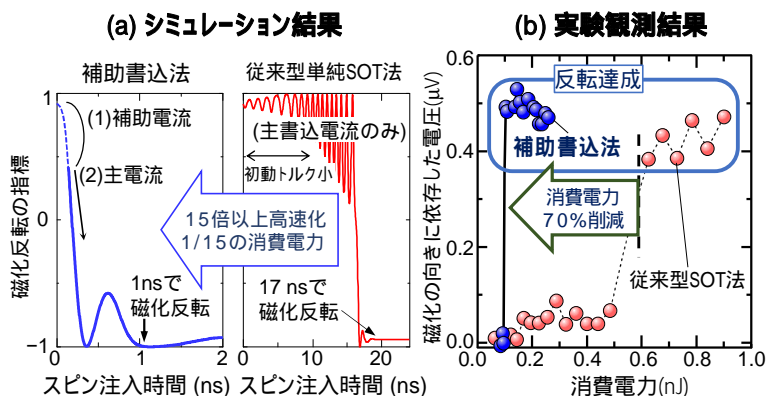


図 3. 補助書き込み SOT 法における(b)シミュレーション結果と(c)実験結果。

(2) スピン注入の挙動解析

スピン依存したドリフト拡散法にスピンホール効果によるポテンシャルを独自に導入し、重金属/強磁性金属の単純な 2 層構造や、重金属/強磁性金属/非磁性層/強磁性金属/非磁性金属のような SOT-MRAM 構造に近い多層構造における、重金属からスピンホール効果によって強磁性金属側へ注入されるスピン流の空間分布を計算可能にした。2 層構造ではスピン流の解析式を得た。強磁性金属の電気伝導が大きいほどスピンの多くが注入され、強磁性金属のスピン拡散長が長い

ほどスピンの注入量が減少することが明らかになった。また、重金属の裏側にも強磁性金属を積層し強磁性金属/重金属/ターゲット強磁性金属の多層構造にすると、重金属からスピンホール効果でターゲットの強磁性金属の向きと逆向きに流れたスピンの多く拡散されるために、ターゲットの強磁性金属へ注入されるスピンの増加することが明らかになった。この効果は重金属の厚さが薄いほど大きくなった。

(3) 他の高速磁化反転法の検討

回路設計による新たな高速磁化反転の方法を数値シミュレーションにより発見した。従来型の SOT 法や他の提案型の反転法, STT 法では磁性体の 1 面全体に一樣スピンを注入する。発見した方法では, SOT 配線の構造変更によって, SOT 電流を磁性体の面の一部分に集める(図 4(a))。その部分には, 高密度なスピンの注入される。従来型の SOT 法と同一電流量で比較して, これまでの常識を覆し磁化が高速に反転した。磁化反転シミュレーションの結果を図 4(b)に示す。同一の SOT 電流値で, 注入面積を少しずつ減らした。注入面積を僅かに減らしただけでは, 反転時間は増加したが, 注入面積が 50% 未満になると従来型の SOT 法(注入面 100%)と比較して反転時間が減少した。つまり高速に磁化が反転した。注入面が 20% 程度の場合には, 単純 SOT 法と比較して反転時間が 1/6 程度になった。この注入方法と補助書き込み SOT 法とハイブリッド構造が作成でき, 相乗効果が見込まれる。

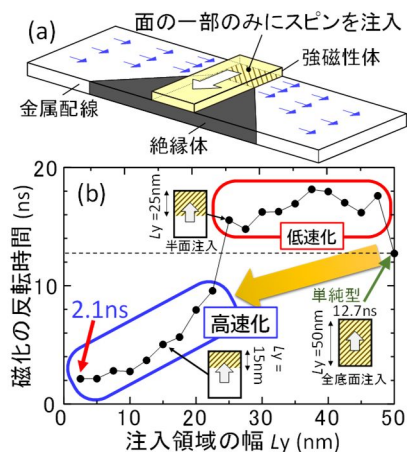


図 4. 部分的にスピンを注入する構造における(a)概略と(b)シミュレーション結果。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Honda Syuta, Sonobe Yoshiaki	4. 巻 57
2. 論文標題 Magnetization reversal via domain wall motion in vertical high-aspect-ratio nanopillar with two magnetic junctions	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Physics D: Applied Physics	6. 最初と最後の頁 175002 ~ 175002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6463/ad2120	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 Nishitani Taichi, Honda Syuta, Itoh Hiroyoshi	4. 巻 -
2. 論文標題 Connected-Skyrmions-Based Racetrack Memory	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 2023 IEEE International Magnetic Conference (INTERMAG)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/INTERMAG50591.2023.10265067	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. Kobayashi, Y. Yamaki, S. Honda, H. Itoh	4. 巻 66
2. 論文標題 Spin Current for Spin-Orbit Torque in Magnetoresistance Resistance Structure	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Science and Technology Reports of Kansai University	6. 最初と最後の頁 9-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.32286/0002001438	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 J. Fujioka, S. Honda, H. Itoh, and Y. Ando	4. 巻 65
2. 論文標題 Thermal dependence of spin-orbit torque-induced magnetization reversal in permalloy thin film	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Science and Technology Reports of Kansai University	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.32286/00028108	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 R. Ohno, T. Nishitani, S. Honda, and H. Itoh	4. 巻 65
2. 論文標題 Width of a domain wall using a quadratic approximation of magnetic moments	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Science and Technology Reports of Kansai University	6. 最初と最後の頁 17-21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.32286/00028110	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 N. Yamashita, E. Shigematsu, S. Honda, R. Ohshima, M. Shiraishi, and Y. Ando	4. 巻 6
2. 論文標題 Realization of Efficient Tuning of the Fermi Level in Iron-based Ferrimagnetic Alloys	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 104405-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.6.104405	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 M. Kato, T. Ohsawa, and S. Honda	4. 巻 55
2. 論文標題 Design of a novel bilayered structure of ferromagnetic metal and nonmagnetic insulator wires while maintaining the distance between the constituent skyrmions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physics D: Applied Physics	6. 最初と最後の頁 475002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6463/ac941d	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. Honda and Y. Sonobe	4. 巻 55
2. 論文標題 Spin-orbit torque assisted magnetization reversal of 100 nm-long vertical pillar	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physics D: Applied Physics	6. 最初と最後の頁 395001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6463/ac80dd	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 Y. Yamaki, S. Honda, H. Itoh	4. 巻 64
2. 論文標題 SPIN INJECTION INTO FERROMAGNETIC METAL FROM HEAVY METAL OWING TO SPIN HALL EFFECT	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Science and technology reports of Kansai University	6. 最初と最後の頁 51 - 59
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.32286/00026355	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 Y.Kaiya, S. Honda, H. Itoh, and T. Ohsawa	4. 巻 64
2. 論文標題 DEPTH-DEPENDENCE OF MAGNETIZATION AT A FERROMAGNET EDGE UNDER THE INTERFACIAL DZYALOSHINSKII-MORIYA INTERACTION	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Science and technology reports of Kansai University	6. 最初と最後の頁 61 - 72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.32286/00026356	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 海谷 侑希、本多 周太、伊藤 博介、大澤 友克	4. 巻 4
2. 論文標題 界面ジャロシンスキー守谷相互作用が働く1次元強磁性細線における終端磁化の内部磁区への影響	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本磁気学会論文特集号	6. 最初と最後の頁 23 ~ 26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20819/msjtmj.20TR415	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 Aoki Motomi, Shigematsu Ei, Matsushima Masayuki, Ohshima Ryo, Honda Syuta, Shinjo Teruya, Shiraishi Masashi, Ando Yuichiro	4. 巻 102
2. 論文標題 In-plane spin-orbit torque magnetization switching and its detection using the spin rectification effect at subgigahertz frequencies	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 174442
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.102.174442	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 Aoki Motomi, Shigematsu Ei, Matsushima Masayuki, Ohshima Ryo, Honda Syuta, Shinjo Teruya, Shiraishi Masashi, Ando Yuichiro	4. 巻 11
2. 論文標題 Enhancement of low-frequency spin-orbit-torque ferromagnetic resonance signals by frequency tuning observed in Pt/Py, Pt/Co, and Pt/Fe bilayers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 025206 ~ 025206
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/9.0000066	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6件(うち招待講演 0件/うち国際学会 2件)

1. 発表者名 S. Honda and Y. Sonobe
2. 発表標題 Vertical long pillar magnetic memory with two magnetic junctions
3. 学会等名 Intermag 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 G. Theuws, Y. Feifan, H. Narita, R. Hisatomi, Y. Shiota, S. Karube, S. Honda, and T. Ono
2. 発表標題 Simulation of 3-Dimensional Domain Wall Memory
3. 学会等名 ALC-W '24 International Symposium on Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices in Winter 2024 (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 M. Aoki, Y. Ando, S. Honda, R. Ohshima, E. Shigematsu, T. Shinjo, M. Shiraishi
2. 発表標題 Material dependence of the spin rectification effect in nonmagnet/ferromagnet bilayers
3. 学会等名 第68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 M. Aoki, S. Honda, R. Ohshima, E. Shigematsu, T. Shinjo. M. Shiraishi, Y. Ando
2. 発表標題 Ultrasfast spin orbit torque magnetization switching by using two current pulses
3. 学会等名 第68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 古田元春, 沓掛滉大, 森下雅也, 淵上直人, Hung Yu Min, 田中雅章, 本多周太, 小野輝男, 壬生攻
2. 発表標題 コバルトフェライトを用いた垂直磁化方式のトンネル型スピンフィルター効果の検証
3. 学会等名 第68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 安井彰馬, 本多周太, 岡林潤, 柳瀬隆, 島田敏宏, 長浜太郎
2. 発表標題 Fe304(001)/MgO(001)/Fe(001)強磁性トンネル接合における大きな負のTMR効果
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計7件

産業財産権の名称 磁化制御デバイス及び磁気メモリ装置	発明者 本多周太	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-63691	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 磁化制御デバイス及び磁気メモリ装置	発明者 本多周太	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-63692	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 磁気素子および磁気メモリ装置	発明者 本多周太	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-007392	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 磁気メモリ素子及び磁気メモリ装置	発明者 本多周太，園部義明	権利者 関西大学，三星電子
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-167192	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 磁気メモリ素子及び磁気メモリ装置	発明者 本多周太，園部義明	権利者 関西大学，三星電子
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-172269	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 磁化制御デバイス、磁化反転デバイス磁化制御デバイスの製造方法、及び磁気メモリ装置	発明者 本多周太	権利者 関西大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-217944	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 磁気メモリ装置、及びその動作方法	発明者 本多周太，園部義明，岡本好弘，仲村泰明	権利者 関西大学，三星電子，愛媛大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-008391	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

学術情報システム https://gakujo.kansai-u.ac.jp/profile/ja/7Le0ebW1f09'y82f5e6mc9s8b.html

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	安藤 裕一郎 (Ando Yuichiro) (50618361)	京都大学・工学研究科・准教授 (14301)	

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
---------	---------