

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的研究（開拓）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K18167

研究課題名（和文）超高品質フルエピタキシャルスピン構造による極微細バリスティックスピントランジスタ

研究課題名（英文）Ultra-fine ballistic spin transistors using ultra-high-quality full-epitaxial heterostructures

研究代表者

大矢 忍（Ohya, Shinobu）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・教授

研究者番号：20401143

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 19,900,000 円

研究成果の概要（和文）：強磁性 (La,Sr)MnO₃ (LSMO) 薄膜をSrTiO₃基板に成長し、棒状デバイスに加工し、アルゴン照射によりLSMOを半導体に転移させた36nmの長さのチャンネルをもつスピントランジスタを作製した。これまでの10-100倍にも及ぶ140%の大きなスピバルブ比を3Kで達成した。Fe/MgO電極を有する55 nmのチャンネル長のスピントランジスタを作製し、拡散伝導から予想される値の500倍程度の0.55%のスピバルブ比を3Kで達成した。同様のFe/MgO/電極を有する20 nmのチャンネル長をもつデバイスを作製し、磁場で制御可能な25000%にも及ぶ大きな抵抗スイッチ効果を3 Kで観測した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

酸化物を用いることによりスピントランジスタのスピバルブ比を大幅に増大させることができた。酸化物では強磁性体と半導体をコヒーレントに成長できオールエピタキシャルの単結晶ヘテロ構造を実現できることと、微細加工技術を用いて短チャンネル素子を実現できたことにより、バリスティック伝導に近い状態を実現できたことにより本成果が得られたと考えられる。本成果はスピントランジスタの実現に向けた重要な一歩である。抵抗スイッチ効果は従来電界だけで制御されてきたが、磁場でも大きく変調できることが明らかになった。このような原理を使ったマルチフィールドセンサなど、新たなデバイスの方向性を開拓した成果として重要だと言える。

研究成果の概要（英文）：We grew a ferromagnetic (La,Sr)MnO₃ (LSMO) thin film on a SrTiO₃ substrate, processed it into a bar-shaped device, and made a spin MOSFET with a channel length of 36 nm composed of semiconducting LSMO made by argon irradiation. We achieved large spin-valve ratios of up to 140%, 10-100 times larger than previous data obtained for semiconductor spin transistors, at 3 K. We fabricated a spin transistor based on a p-Ge channel with a length of 55 nm equipped with Fe/MgO electrodes and achieved a spin-valve ratio of up to 0.55%, about 500 times larger than the value expected from a diffusion conduction model, at 3 K, suggesting ballistic transport in our device. Using the same device with a channel length of 20 nm, we revealed a large resistive switching effect with a switching resistance ratio of up to 25000% that can be switched by a magnetic field at 3 K.

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 スピントランジスタ 酸化物 半導体 スピン依存伝導

1. 研究開始当初の背景

スピントランジスタは、スピントロニクス分野において不揮発性磁気抵抗メモリ(MRAM)の次に市場化が期待されている有用なデバイスである。特に 2004 年に提案された MOSFET 型のスピントランジスタは、トランジスタと同様の増幅特性に加えて、磁化の向きによる不揮発性記憶機能を有するため、現在の半導体回路の大幅な面積の低減、大幅な消費電力の削減、ノーマリーオフコンピューティングの実現などにつながると期待されている。現在のトランジスタは電子の電荷の有無で読み書きを行っているため、電力を加え続けないと記憶が失われてしまう。一方、スピントランジスタを用いて計算の中間状態を不揮発的に記憶させておくことにより、SSD やハードディスクにデータを書き込む必要なく、高効率に演算を進めることができる。磁化反転は、既存のスピン注入磁化反転やスピン軌道トルク磁化反転の技術を用いることにより実現可能であり、これらにより 1 ナノ秒を切るレベルの高速磁化反転ができることが期待される。従って、将来の半導体置き換え技術を開拓する上でも、スピントランジスタの実現が期待される。しかし、提案から 15 年以上たった今も(本研究課題申請当時)、スピントランジスタは実現には至っていない。現在の課題としては下記のような点が挙げられる。

- 2004 年のスピントランジスタの提案では、10 nm 程度の短チャネルのデバイスを用いることが仮定されており、バリステック伝導によりその機能が実現されることが仮定されていた。しかし、大学レベルの施設ではそのような微細素子を作ることは難しい。一般的に行われている横型スピントランジスタの研究では、チャネル長が 100 nm 以上と長く、拡散伝導状態で実験が行われている。そのため、スピンバルブ比 $[= ((\text{反平行磁化抵抗}) - (\text{平行磁化抵抗})) / (\text{平行磁化抵抗})]$ は 0.1% 以下であり、実用上必要な 100% と比較するとそれよりもはるかに小さい。従って、バリステック伝導が起こるレベルの微細なデバイスの実現が不可欠である。
- 強磁性体と半導体は一般的に結晶学的な整合性が良くないことが多く、スピン注入できるレベルの品質の単結晶の強磁性金属/半導体界面を得ることは一般的には難しい。例えば、Fe/Si 界面ではシリサイド化合物が形成されてしまう。
- スピン注入の研究は、一般的に非局所測定を用いて行われている。しかし、デバイス応用上は「局所測定」により大きなスピンバルブ比を得る必要がある。
- バリステック伝導と拡散伝導状態で、スピンの振る舞いがどう異なるのか、明確には理解されていない。

2. 研究の目的

本提案では、我々のグループで長年にわたり開拓してきた超高品質の強磁性金属/半導体ハイブリッドヘテロ構造作製技術と、東京大学が所有する武田先端知ビルのカリーナームの極微細加工可能な電子線ビームリソグラフィ技術を用いることにより、10 nm 程度のチャネル長のスピントランジスタを実現し、バリステック伝導を誘起することにより高いスピンバルブ比を得ることを目指す。

3. 研究の方法

今まで我々のグループで開拓してきたスピン注入可能な様々な高品質単結晶材料系を用いて、微細バリステックスピントランジスタを作製し、十分に機能性が得られるかを確認する。我々が注目しているのが、強磁性体とチャネル材料間で化学反応を起こさないような構造が作製可能で、かつ格子整合性の良い材料の組み合わせである。その観点から、ペロブスカイト酸化物材料系および、Fe と Ge の組み合わせに着目した。

ペロブスカイト酸化物には、格子定数の近い非常に多くの材料が存在している。従って、酸化物を用いて、次世代多機能エレクトロニクスが実現できることが期待されている。半導体と同様に、酸化物においても、ナノスケールの平面集積型回路を実現する技術の開発が求められている。酸化物回路においては、強磁性、強誘電性、マルチフェロイクス、超伝導、機械的柔軟性など、半導体ではできなかった様々なユニークな機能を実現できると期待される。スピントランジスタ応用においても、酸化物系材料は大変期待される。スピントランジスタの実現においては、半導体チャネル層と強磁性電極の間の正確な“導電率整合”が重要だと言われている。しかし半導体材料系においては、それを実現できる適切な材料が見つかっておらず、スピントランジスタの重要な性能指標である「スピンバルブ比」が大きくなることが大きな問題である。ペロブスカイト酸化物材料には、格子定数の近い様々な物質が存在するため、強磁性電極とチャネル間の正確な導電率整合が可能となることが期待される。我々は、強磁性ペロブスカイト酸化物 LaSrMnO_3 を用いたスピントランジスタの作製に注力した。

もう一つの有望な材料系として着目したのがお互いに格子定数が近い Fe と Ge の組み合わせである。Fe と Ge は化学反応により化合物を形成してしまうが、我々のグループでは、この間に MgO を挟むことによりそれを防ぎ、オールエピタキシャルの単結晶 Fe/MgO/Ge ヘテロ接合を作製する技術を確認してきた。この技術をベースにスピントランジスタを実現することを目指した。

<素子作製方法>

今までの我々のグループでの研究から、下記の技術を用いてスピントランジスタ素子を作製することにより、高性能なデバイスが実現できると期待される。

- ・ 分子線エピタキシー法を用いて、上記に示した LaSrMnO₃/SrTiO₃ や Fe/MgO/Ge などのスピンの緩和の起こりにくいとされる単結晶のフルエピタキシャル強磁性体/半導体界面を作製する。
- ・ 微細加工技術（東京大学武田先端知クリーンルームを利用）を用いて、10 nm 程度のチャンネル長を有するスピントランジスタ構造を作製する。上記の高品質単結晶ヘテロ構造と微細加工技術を生かして、電子のバリスティック伝導を誘起することにより、スピン緩和を抑制し、大きなスピントランジスタ比の実現を目指す。
- ・ 原子層堆積法を用いて Al₂O₃、Hf₂O₃ などのゲート酸化膜を堆積してスピントランジスタを作製する。ゲート変調の測定を行う。SrTiO₃ 基板を用いる場合は、基板自体をゲート絶縁膜としたバックゲート構造を用いて、素子に電界を印加することが可能である。

4. 研究成果

(1) 酸化物を用いて、世界最高値のスピントランジスタ比(~140%)をもつスピントランジスタの実現に成功 [Adv. Mater. 35, 2300110 (2023).]

分子線エピタキシーを利用して、強磁性ペロブスカイト酸化物(La,Sr)MnO₃ (LSMO) 薄膜をSrTiO₃基板上に作製した。それを図1に示すような棒状デバイスに加工し、その両端に2つの電極を作製し、その中間位置の36 nmの幅の領域にアルゴンを照射した(図1)。LSMOは金属的な伝導特性を有する物質であるが、アルゴン照射の結果、その微細領域が同じ結晶構造を保ったまま半導体に転移することが明らかになった。これはアルゴンに照射により、酸素欠損が導入されたことによるものと考えられる。このようにして、強磁性体/半導体/強磁性体からなる平面型の微細チャンネルのスピントランジスタを実現することができた。我々は、本素子において最大で140%もの巨大なスピントランジスタ比を実現することに成功した。この値は、半導体ベースの平面型デバイスで得られた最高値の10~100倍程度の値である。この半導体チャンネル領域の障壁高さはわずか55 meVと見積もられ、このように障壁高さが低いことが大きなスピントランジスタ比の実現につながったものと考えられる。また、ゲート印加による電流変調にも成功した。本結果は、従来の半導体では実現できなかったユニークな機能を持つデバイスを実現する新たな道を開くものと期待される。本成果論文は、Advanced Materials誌に掲載され、東京大学からプレスリリースを行った。

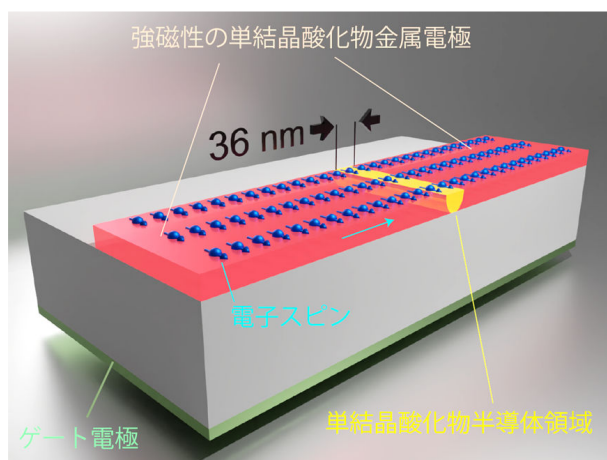


図1 作製した酸化物ベース Spin MOSFET の構造模式図。36 nm 程度の半導体領域を作製することに成功し、140%の巨大なスピントランジスタ比を実現した。

(2) <予想外の成果> 磁場で抵抗が25000%も変化する抵抗スイッチ効果を観測 [Adv. Mater. 36, 2307389 (2024).]

Ge基板上にCo/Fe/MgO/p-Ge層を成長し、酸化物のスピントランジスタを作製した手順と類似の手法を用いて、20 nm程度のチャンネル長を有するスピントランジスタ型の素子を作製した(図2)。以下で説明するように、このような素子では、スピンバルブ効果が観測される素子が多かったが、予想外ではあったものの、大きな抵抗スイッチ(RS)効果抵抗が観測される素子が存在することが分かってきた。RS効果は、印加された電圧に応じて、素子の抵抗が高抵抗状態と低抵抗状態の間を行き来する現象で、一般的に金属/絶縁体/金属からなる三層構造で生じる。RS効果は、不揮発性メモリ、論理演算回路、ニューロモルフィックコンピューティング、情報セキュリティデバイスなど、次世代の先進的省エネルギー社会の実現に必要な、新しいデバイスへの利用が期待されている。この素子に電界を印加すると、絶縁層中の欠損が引き寄せられて導電性フィラメントが形成され、これにより抵抗が大きく減少する。一方、電圧を下げるとフィラメントが切れて抵抗が上昇する。絶縁体層には酸化物が良く用いられているが、その中に陽イオンの欠損が存在すると、欠損には複数の正孔が集まる。正孔は欠損付近に強く束縛されているため、それらの間には強いオンサイトクーロン相互作用が働き、スピンの向きが揃いやすくなり、いわゆるスピン三重項状態が形成されることが知られている。この効果は大変強く、磁性元素がないにも関わらず強磁性が発現するいわゆる「d⁰強磁性」を誘起するほど強力になることもある。RSデバイスにおける酸化物中のこのような特徴的な電子状態は、今までほとんど注目されてこなかった。

今回我々は、Co/Fe/MgO からなる電極をもつ p-Ge のナノチャンネルを有する二端子デバイスを作製した。電極間に電圧を印加したところ、3 K の低温で典型的な RS 効果に見られる電流-電圧特性が観測された。さらに、スイッチング電圧が、磁場をかけると変化することが明らかになった。従来の RS 効果では、フィラメントの方向と垂直な方向に磁場を加えた場合にこのような現象が起こることが報告されており、これはローレンツ力で説明されてきた。しかし、本研究では磁場方位によらずこのような現象が観測された。さらに抵抗変化率が 25,000%におよぶ磁場による巨大な抵抗スイッチが観測された。これを巨大磁気抵抗スイッチ効果 (Colossal magnetoresistive switching : CMRS) 効果と名付けることにした。今回我々は、MgO の Mg 欠損内に生じるスピンの向きの揃った 2 つの正孔が誘起する強磁性、いわゆる磁性原子の関わらない「d⁰強磁性」が、10~15 年前から MgO でたびたび報告されていることに着目した。図3に示すように、この2つの正孔は Mg 欠損に強く束縛されているため、正孔間には強いクーロン斥力が働き、スピンの向きが揃っている。今まで MgO で観測されてきた強磁性はこれが起源だと考えられる。多くの Mg 欠損間には引力が働いており、電界を印加するとこれらが集まって導電性フィラメントが形成される。Mg 欠損が近づくると二重交換相互作用が働き強磁性が発現する。本研究で用いた MgO 層は 1 nm と非常に薄いため、この効果は強磁性を誘起するには不十分であるが、隣接する Fe からの近接効果も働き、強磁性に近い状態となる。この状態に磁場を印加するとスピンの向きが完全に揃う。しかし、同時にパウリの排他律により、同じスピンの向きをもつ正孔の波動関数同士は反発し、波動関数が収縮してフィラメントが切断される。その結果、抵抗が大きく増大する。RS 効果の磁場制御という新しい分野を切り開く成果と言える。本研究成果は、Advanced Materials に掲載され、東京大学からプレスリリースされた。

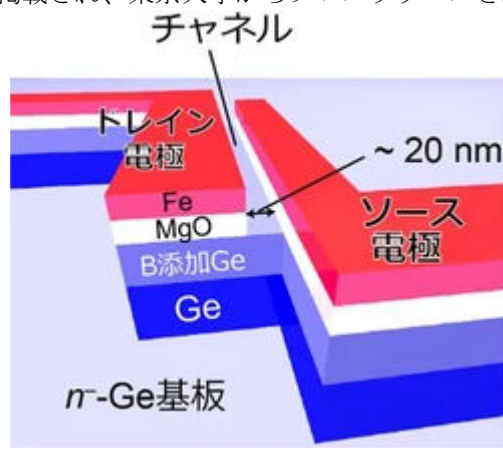


図2 作製した Fe/MgO を電極とするホウ素(B)を添加した半導体 Ge のナノチャンネル(チャンネル長 20 nm 程度)を有する二端子デバイス。

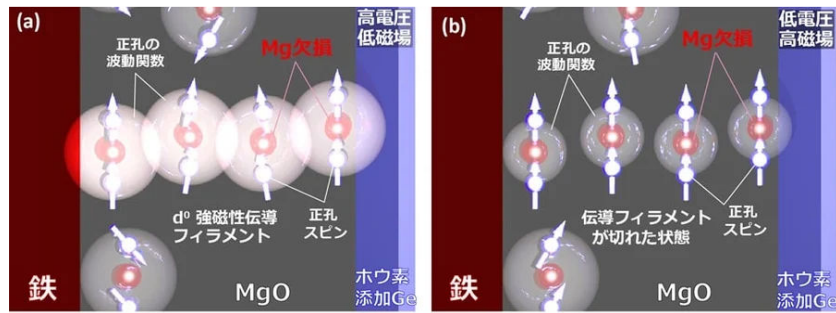


図3 Fe(鉄)層(赤)とホウ素添加Ge(青)の層に挟まれたMgO領域に形成された導電性フィラメントの模式図 (a)印加された電圧が大きく、MgO領域にフィラメントが形成されている場合。(b)磁場が印加され、導電性フィラメントが切断された状態。赤い球はMg欠陥を、小さな青白色の球はMg欠陥中の正孔を模式的に表したもので、矢印はスピンを表す。大きな白い透明な球は正孔の波動関数を模式的に表したもので、Mg欠陥への正孔の強い閉じ込め効果により、欠陥中の2つの正孔のスピンは揃っている。(a)では、Mg欠陥の波動関数が電場によって重なり合い、導電性フィラメントが形成され、抵抗が低い伝導状態となる。二重交換相互作用および隣接するFe層による強磁性近接効果により、これらのフィラメントには弱い d_0 強磁性が現れる。そのため、フィラメント内のスピンはおおよそ整列する。(b)では、磁場が印加され、スピンの向きが揃って、パウリの排他律により、波動関数はお互いに避け合うため、収縮する。その結果、フィラメントが切断され、抵抗が高い絶縁状態となる。

また、素子によっては、さらに急峻な磁気抵抗スイッチが起こるものがあることが明らかになってきた。電圧を固定して、磁場をスイープすると、通常のスピバルブ効果と類似した現象がみられることが明らかになった。このような現象を用いて、30000%を超える「擬スピバルブ比」を得ることに成功した。マイナーループも観測された。このような新原理により、スピントランジスタ以上の性能を有するデバイスを実現できる可能性が示唆される。(論文準備中)

(成果発表: M. Kaneda, S. Ohya *et al.*, "Giant spin-valve-like behavior induced by magnetic-field-controlled resistive switching in an Fe/MgO/Ge-based two-terminal device", 2023 Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM), FD-10, Hyatt Regency Dallas, Dallas, USA, 2023年11月2日.など)

(3) Ge基板を用いたスピバルブデバイスの作製(現在進行中)

一方、同様のCo/Fe/MgO電極をもつp-Geのナノチャネルを有する二端子デバイスにおいては、詳細はまだ明らかではないが、予想通りの大きなスピバルブ信号が得られることも多かった。我々はFe/MgO/p-Geからなるオールエピタキシャル単結晶ヘテロ接合を分子線エピタキシーを利用して作製し、68 nmのチャネル長を有する横型スピバルブ素子を作製した。本デバイスにおいて、3 Kの低温で、0.55%のスピバルブ比が得られた。この値は、Geを用いた横型スピバルブ素子で報告されている値としては、世界最高値である。JaffresとFertによって2001年に提唱された拡散領域におけるスピン依存伝導モデルを用いて、拡散領域を電子が通過した際に得られるスピバルブ比を見積もったところ、本素子のパラメータを用いる限りでは、最大でも0.001%程度のスピバルブ比にしかならないことも明らかになった。実験で得られた値はこの500倍程度の値である。この結果は、本デバイスにおいて、電子は拡散的にはなく、バリスティックに伝導していることを強く示唆している。チャネル長の微細化により、スピントランジスタの磁気抵抗が増大する可能性を初めて示した結果であると言える(追実験を実施中。論文準備中)。

(成果発表: 鶴岡駿, 但野由梨子, Le Duc Anh, 田中雅明, 大矢忍, "Geベースオールエピタキシャル単結晶横型短チャネルスピバルブ素子における大きな磁気抵抗効果の観測", 第69回応用物理学会春季学術講演会, 23p-E205-12, オンライン, 2022年3月23日.)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 S. Ohya, S. Tsuruoka, M. Kaneda, H. Shinya, T. Fukushima, T. Takeda, Y. Tadano, T. Endo, L. D. Anh, A. Masago, H. Katayama-Yoshida, and M. Tanaka	4. 巻 36
2. 論文標題 Colossal magnetoresistive switching (CMRS) induced by d0 ferromagnetism of MgO in a semiconductor nanochannel device with ferromagnetic Fe/MgO electrodes	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 2307389
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/adma.202307389	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 T. Endo, S. Tsuruoka, Y. Tadano, S. Kaneta-Takada, Y. Seki, M. Kobayashi, L. D. Anh, M. Seki, H. Tabata, M. Tanaka, and S. Ohya	4. 巻 35
2. 論文標題 Giant spin-valve effect in planar spin devices using an artificial implemented nanolength Mott-insulator region	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 2300110
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/adma.202300110	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 -

〔学会発表〕 計31件（うち招待講演 13件 / うち国際学会 10件）

1. 発表者名 大矢忍
2. 発表標題 酸化物ヘテロ構造を利用したスピン新機能創製
3. 学会等名 界面最新科学研究会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大矢忍
2. 発表標題 高品質単結晶機能性ヘテロ界面を活用したスピントロニクス新機能開拓
3. 学会等名 日本磁気学会第91回スピントロニクス専門研究会（招待講演）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 金田 昌也、鶴岡 駿、遠藤達朗、但野 由梨子、武田 崇仁、福島 鉄也、新屋 ひかり、真砂 啓、田中 雅明、吉田 博、大矢 忍
2. 発表標題 MgOベースの抵抗スイッチ効果デバイスにみられる巨大なスピナルブライク動作
3. 学会等名 強制的秩序とその操作に関わる 第17回 夏の学校
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Masaya Kaneda, Shun Tsuruoka, Hiroshi Katayama-Yoshida, Tatsuro Endo, Yuriko Tadano, Masaaki Tanaka, and Shinobu Ohya
2. 発表標題 Spintronics function of the resistive switching in Fe/MgO/Ge
3. 学会等名 第15回低温科学研究センター研究交流会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Shinobu Ohya
2. 発表標題 Developments of novel spintronics functionalities using oxide heterostructures
3. 学会等名 EU-Japan Workshop on Spintronics and Quantum Transformation (Spin-QX 2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shinobu Ohya
2. 発表標題 Creation of novel spintronics functionalities using oxide heterostructures
3. 学会等名 MRM2023/IUMRS-ICA2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shinobu Ohya
2. 発表標題 Efficient spin-charge conversion in Rashba two-dimensional electron gas systems of single-crystalline oxide heterostructures
3. 学会等名 superstrips2024 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Tatsuro Endo, Shun Tsuruoka, Yuriko Tadano, Shingo Kaneta-Takada, Yuichi Seki, Masaki Kobayashi, Le Duc Anh, Munetoshi Seki, Hitoshi Tabata, Masaaki Tanaka, and Shinobu Ohya
2. 発表標題 Giant spin-valve effect and FET operation in nano-channel oxide devices made using metal-insulator transition
3. 学会等名 29th International Workshop on Oxide Electronics (iWOE-29) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Masaya Kaneda, Shun Tsuruoka, Tatsuro Endo, Takahito Takeda, Yuriko Tadano, Tetsuya Fukushima, Hikari Shinya, Akira Masago, Masaaki Tanaka, Hiroshi Katayama-Yoshida, and Shinobu Ohya
2. 発表標題 Giant spin-valve-like behavior induced by magnetic-field-controlled resistive switching in an Fe/MgO/Ge-based two-terminal device
3. 学会等名 2023 Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shinobu Ohya
2. 発表標題 Highly efficient spin-charge conversions in all-epitaxial single-crystalline ferromagnetic heterostructures
3. 学会等名 TSMC-Utoko symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shinobu Ohya
2. 発表標題 Efficient spin-charge conversion using two-dimensional electrons gas systems of all-epitaxial single-crystalline perovskite-oxide heterostructures
3. 学会等名 The 8th Quantum Science (QS) symposium, ICCMSE 2022 -Computational Chemistry and Computational Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tatsuro Endo, Shun Tsuruoka, Shingo Kaneta-Takada, Le Duc Anh, Masaaki Tanaka and Shinobu Ohya
2. 発表標題 Giant spin-valve effect in oxide-based lateral nano-scale channel devices
3. 学会等名 2022 Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shinobu Ohya
2. 発表標題 Creation of novel spintronics functionalities using high-quality oxide heterostructures
3. 学会等名 VANJ 2022, UTokyo -VietnamDIALOGUES (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大矢忍
2. 発表標題 オール不揮発エレクトロニクス時代の実現を目指して
3. 学会等名 パナソニックP-MOTワークショップ (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大矢忍
2. 発表標題 強相関酸化物スピントロニクスの実現に向けて：放射光の役割
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会 シンポジウム T8.先端計測と機能性酸化物研究の共進化（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林 正起, L. D. Anh, 鈴木 雅弘, 金田 真悟, 竹田 幸治, 藤森 伸一, 芝田 悟朗, 田中 新, 田中 雅明, 大矢 忍, 藤森 淳
2. 発表標題 マンガン酸化物極薄膜ヘテロ構造における金属絶縁体転移に伴う磁気異方性の変化
3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林 正起, L. D. Anh, 鈴木 雅弘, 金田 真悟, 竹田 幸治, 藤森 伸一, 芝田 悟朗, 田中 新, 田中 雅明, 大矢 忍, 藤森 淳
2. 発表標題 マンガン酸化物極薄膜ヘテロ構造における金属絶縁体転移に伴う磁気異方性の変化
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tatsuro Endo, Shun Tsuruoka, Shingo Kaneta-Takada, Le Duc Anh, Masaaki Tanaka and Shinobu Ohya
2. 発表標題 Giant spin-valve effect in oxide-based lateral nano-scale channel devices
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shun Tsuruoka, Yuriko Tadano, Le Duc Anh, Masaaki Tanaka, and Shinobu Ohya
2. 発表標題 Giant voltage-controllable magnetoresistance switching in Ge short-channel devices with epitaxial ultra-thin Fe electrodes
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tatsuro Endo, Shun Tsuruoka, Yuriko Tadano, Shingo Kaneta-Takada, Le Duc Anh, Masaaki Tanaka, and Shinobu Ohya
2. 発表標題 Gate modulation of the spin-dependent transport in the metal-insulator transition region of La _{0.67} Sr _{0.33} MnO ₃ -based spin-MOSFET structure
3. 学会等名 第14回低温科学研究センター研究交流会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Masaya Kaneda, Shun Tsuruoka, Hiroshi Katayama-Yoshida, Tatsuro Endo, Yuriko Tadano, Masaaki Tanaka, and and Shinobu Ohya
2. 発表標題 Magnetic-field-controllable resistive-switching and spin-valve-like behavior in an Fe/MgO/Ge-based two-terminal device
3. 学会等名 第14回低温科学研究センター研究交流会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tatsuro Endo, Shun Tsuruoka, Yuriko Tadano, Shingo Kaneta-Takada, Le Duc Anh, Masaaki Tanaka, and Shinobu Ohya
2. 発表標題 Gate modulation of current in the metal-insulator transition region of La _{0.67} Sr _{0.33} MnO ₃
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名	Masaya Kaneda, Shun Tsuruoka, Hiroshi Katayama-Yoshida, Tatsuro Endo, Yuriko Tadano, Masaaki Tanaka, and Shinobu Ohya
2. 発表標題	Magnetic-field-controllable resistive-switching and spin-valve-like behavior in an Fe/MgO/Ge-based two-terminal device
3. 学会等名	第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年	2023年

1. 発表者名	Tatsuro Endo, Shun Tsuruoka, Yuriko Tadano, Shingo Kaneta-Takada, Le Duc Anh, Masaaki Tanaka, and Shinobu Ohya
2. 発表標題	Nanoscale metal-insulator transition of La _{0.67} Sr _{0.33} MnO ₃ and its application to two-terminal spin-valve devices and spin MOSFET
3. 学会等名	Spin-RNJシンポジウム (2022年度報告会)
4. 発表年	2023年

1. 発表者名	Shun Tsuruoka, Yuriko Tadano, Le Duc Anh, Masaaki Tanaka, and Shinobu Ohya
2. 発表標題	Giant voltage-controllable magnetoresistance switching in Ge short-channel devices with epitaxial ultra-thin Fe electrodes
3. 学会等名	2022 Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM) (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	大矢忍、Le Duc Anh、金田真悟、荒井勝真、徳永将史、 関宗俊、田畑仁、田中雅明
2. 発表標題	オールエピタキシャル単結晶ヘテロ接合を用いた新スピン機能創成
3. 学会等名	日本物理学会 (招待講演)
4. 発表年	2021年

1. 発表者名 大矢忍
2. 発表標題 酸化物界面における高移動度二次元p型伝導とトランジスタ応用
3. 学会等名 日本学術振興会・産学協力委員会 R025先進薄膜界面機能創成委員会 リトリート学習会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鶴岡駿、但野由梨子、Le Duc Anh、田中雅明、大矢忍
2. 発表標題 Geベース単結晶横型スピバルブ素子におけるチャネル微細化による磁気抵抗比の増大
3. 学会等名 第26回半導体におけるスピン工学の基礎と応用(PASPS-26)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鶴岡駿、但野由梨子、Le Duc Anh、田中雅明、大矢忍
2. 発表標題 100 nm以下の短チャネルを有するGeベース単結晶横型スピバルブ素子における磁気抵抗効果の増大
3. 学会等名 応用物理学会 強制的秩序とその操作に関わる研究会 第14回研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鶴岡駿、但野由梨子、Le Duc Anh、田中雅明、大矢忍
2. 発表標題 Geベースオールエピタキシャル単結晶横型短チャネルスピバルブ素子における 大きな磁気抵抗効果の観測
3. 学会等名 第13回低温科学研究センター研究交流会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鶴岡駿、但野由梨子、Le Duc Anh、田中雅明、大矢忍
2. 発表標題 Geベースオールエピタキシャル単結晶横型短チャネルスピナルブ素子における大きな磁気抵抗効果の観測
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 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 荒川 泰彦、島野 亮、金光 義彦、岩本 敏、高原 淳一、立間 徹	4. 発行年 2023年
2. 出版社 エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 992
3. 書名 光と物質の量子相互作用ハンドブック	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>東京大学 大学院工学系研究科 電気系工学専攻 大矢研究室 http://www.cryst.t.u-tokyo.ac.jp/ohya/</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

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