

令和 3 年 5 月 31 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03880

研究課題名(和文) 軌道電界制御による革新的磁気デバイスの創成

研究課題名(英文) Novel magnetic devices using voltage control of orbital magnetism

研究代表者

三輪 真嗣 (Miwa, Shinji)

東京大学・物性研究所・准教授

研究者番号：20609698

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,700,000円

研究成果の概要(和文)：磁気デバイスでは直流電流を流さない電界駆動が省エネルギー化に有望である。本研究の目的は電界駆動の起源である電界誘起多極子の体系的理解と制御及び増大機構の確立である。1つ目のテーマである高スピン軌道相互作用材料の開発では4d及び5d元素の電界効果を精査した結果、Pd及びIrが電界効果増強に適していることを見出した。2つ目のテーマである化学秩序制御による電界効果増強の試みでは、Ir原子の配列制御により電界誘起多極子の効果が最大化されることを見出した。3つ目のテーマである機能性分子修飾による電界効果増強の試みにおいては、分子修飾による疑似的な電界印加によりFeの非自明な性質を引き出すことに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

爆発的に増大するデジタルデータのために世界の電力需要が圧迫され始めている。そこで、情報処理・記録デバイス的大幅な省エネ化が必要である。これを解決する方法として電子デバイスをスピントロニクス原理に基づくデバイスへ置き換えることが提案されている。本研究はスピントロニクスデバイスの中で最も低消費エネルギーとされる電圧駆動デバイスの体系的理解及び効率化に関する材料物性研究である。結果として数ある元素の中で有効な元素の明確化、原子配列の明確化、背景物理の体系的理解を得た。これは今後の実用材料の創出を通じて情報通信機器の飛躍的な電力削減に繋がり、次世代ICTに関して国際競争力の一助となるはずである。

研究成果の概要(英文)：Voltage control is one of the most promising operation methods of magnetic devices. An electric field-induced multipole is the main mechanism of the electric field-induced operation of the magnetic devices. In this study, we have investigated the electric-field-induced multipole in detail and have tried to obtain a larger voltage effect. Firstly, for the investigation of the high spin-orbit interaction materials, we find that Pd and Ir are suitable to obtain a large voltage effect. Secondly, for the validity of the chemical order control, we find that an even larger voltage effect can be obtained by employing chemical order control of the Ir atoms in Fe-Ir alloy. Thirdly, for the decoration of functional molecules, we find that Fe has a unique property as compared to other magnetic materials such as Co and Ni by applying a pseudo-electric field by phthalocyanine molecule.

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 界面磁気異方性 電界誘起磁気異方性変調

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

電子の持つ電荷とスピンを同時に用いて新機能かつ高性能の電子素子を創出する学術分野はスピントロニクスと呼ばれ、目覚ましく進歩した。その最大の成果が **Fe/MgO** 接合を基軸としたトンネル接合デバイスによるハードディスクドライブの磁気ヘッド、室温で高速動作・高書込耐性・不揮発性・高集積化を満足する唯一のメモリである磁気メモリである。

磁気メモリにおけるデバイス動作の根幹は強磁性電極の磁化制御である。黎明期では電磁誘導による電流磁場で制御が行われたが消費エネルギーと微細化の問題があった。1999年にエネルギー消費の小さなスピン流磁化反転が実証されて現在の主流となった[1]。しかし依然として電流を用いるためにジュール熱が発生し、理論限界の 10,000,000 倍以上のエネルギーを消費する。そこで特徴的な界面構造を作製し、電界のみを用いて、直流電流を流さずに磁化方向を制御する方法が渴望されている(図 1a) [2,3]。磁気メモリ材料の候補としてバルクマルチフェロイック材料や磁性半導体も有力候補だが、室温高速動作及び Si デバイスとの相性の良さから薄膜強磁性金属が注目されている。強磁性金属の中でもやはり良質なトンネル接合が作製可能な **Fe/MgO** 接合を基軸とした研究が盛んである[3-7]。一方で報告されている電界効果、具体的には単位電界あたりの磁気異方性エネルギー変調度は高々 140 fJ/Vm (= fJ/m²÷V/m)であり[8]、メインメモリ応用に必要な 1,000 fJ/Vm より大幅に小さい(図 1b, [7])。

電界効果の増大に加えて、その起源解明は長年の課題であった。2017年に我々は高度な金属/絶縁体単結晶薄膜成長を用いたデバイス作製技術及び放射光 X 線分光を駆使して電界効果の起源を解明した(図 2a [8])。特に新たに見出された機構である電気四極子機構は従来と異なる機構である。**Fe/MgO** 接合をはじめとした金属/絶縁体界面に電界を印加すると、特徴的な電界ポテンシャルのため磁気双極子及び電気四極子が誘起される。この多極子誘起とスピン軌道相互作用により界面磁気異方性の変調が生じる。このように電界効果の起源が明確になり、実用材料開発に向けた準備が整った。

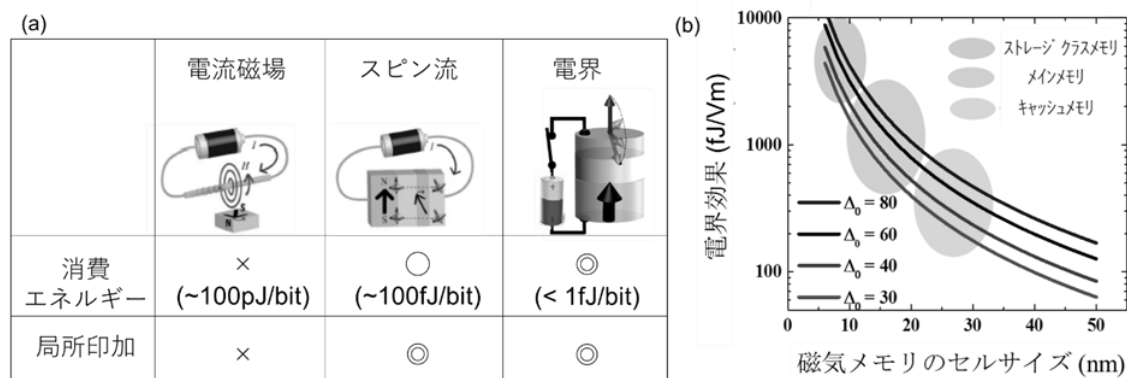


図 1 電界磁化制御 (a) 磁化方向制御方法。(b)メモリ応用に必要な電界効果[7]。
Δ₀は磁気セルの熱安定定数。

2. 研究の目的

本課題では電界効果の起源である電界誘起多極子がいかに生じるか、これを増大させて高効率な磁気異方性変調を実現するにはどうすればよいか、実際に大きな物性変調を示す新物質材料をいかに設計するか、以上 3 点を研究課題の核心をなす学術的な「問い」とした。そして電界誘起多極子を体系的に理解し、強磁性金属の電界誘起磁気異方性変調度が 1,000 fJ/Vm 以上の新物質材料デバイス創成を目指すことを研究の目的とした。

3. 研究の方法

強磁性金属の電界誘起磁気異方性変化はスピン軌道相互作用に対する 2 次摂動で記述され、2 種類の多極子関連項に分けられる(図 2, [8])。ひとつは 1_zs_z 項由来の電界誘起「磁気双極子」と関係し、放射光 X 線分光により軌道磁気モーメントとして観測される。もうひとつは(1_zs₋ + 1_zs₊) 項由来の電界誘起「電気四極子」に関係し、放射光 X 線分光により T_z 項として観測される。有限な T_z 項は原子内部における磁気モーメント分布の偏りを意味する。2 種類の電界誘起多極子の寄与は従来材料 L1₀-FePt では相殺しており、外に取り出せる効果は潜在値の 1/10 以下であった(図 2)。これを踏まえて本研究を 3 つのサブテーマから構成した。

- (1) 高スピン軌道相互作用材料の開発
- (2) 化学秩序制御による電気四極子機構の最適化
- (3) 機能性分子修飾による磁気双極子機構の最適化

(1) 高スピン軌道相互作用材料の開発

電界効果はスピン軌道相互作用係数 λ に比例する(図2)。そこで λ が大きな新物質材料を開発する。具体的には3d元素(Fe, Co, Ni)及び5d元素(Re, Ir, Pt)及び6p元素(Pb, Bi)との様々な新規界面規則合金を作製する。これにより電界効果を最適する元素の組合せを明確にする。

(2) 化学秩序制御による電気四極子機構の最適化

磁気双極子機構と電気四極子機構の相殺を最小化して電界効果を増大させる。例えば $L1_0$ -FePd合金では原子における波動関数の対称性を化学秩序変更により制御し、磁気双極子と電気四極子を制御できる[9]。そこで本項目では電界効果増大に最適な化学秩序を明確にする。

(3) 機能性分子修飾による磁気双極子機構の最適化

金属表面を分子で修飾すると金属の伝導電子と分子軌道の混成による共鳴状態の発現、界面電気二重層の形成、電荷移動等の多様な界面物性が現れる。これらは全て磁性に影響を与える[10]。本研究では機能性分子により強磁性金属の電界効果、具体的には磁気双極子機構を増大させる。

このように特徴的な金属/絶縁体界面を有する新物質を作製し、巨大電界効果を実現する。電界効果は応募者の基盤技術であるトンネル接合デバイスの高周波応答により評価する[3-7]。

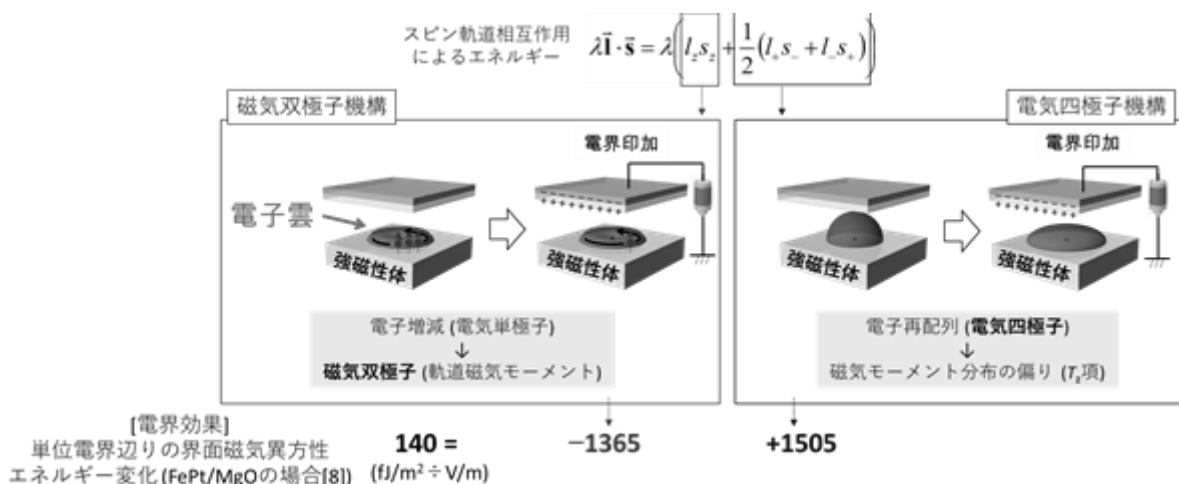


図2 電界誘起磁気異方性変調の機構

4. 研究成果

本研究は上述の3つのサブテーマから構成されており、それぞれのサブテーマについて下記の研究成果を得た。

(1) 高スピン軌道相互作用材料の開発 ([11], [12], [13]等)

3d強磁性金属と高スピン軌道相互作用材料との合金薄膜材料を作製した。薄膜をトンネル接合デバイスに加工し、電界効果を評価した。材料として6p系のBi、5d系のPt・Ir・Re、4d系のPdに対して3d系の強磁性金属であるFe・Co・Niを用いて様々な組み合わせを試した。まず単体ではFe > Co > Niの順で垂直磁気異方性が大きく、電界効果はFe < Co > Niとなる結果を得た。特にCo単体において100 fJ/Vmを超える電界効果が得られたことは驚くべきことである。次に合金を評価した。結果としてFePt, FePd及びFeIrにおいて>100 fJ/Vmを超える電界効果を得た(図2)。一方でFeBiの電界効果は予想に反して20 fJ/Vm程度と小さかった。これらの結果は、高いスピン軌道相互作用を有し、さらにd電子軌道に空きがありドーブ元素がスピンを持つ遷移金属の利用が効果的であることを示している。

3d強磁性金属単体についてはこれまでに実験的な機構解明実験がなされていないNiに対してオペランドX線磁気円二色性分光を行った。結果としてNiにおいてはCo同様に軌道磁気モーメント機構が支配的であることを強く示唆する結果を得た。

上述の元素以外にもV及びAlをドーブしたFe系合金の電界誘起磁気異方性変調効果を評価した。結果として電圧効果増強は、単にFeに元素ドーブを行ってフェルミ準位を変えるだけでは起きず、ドーブ元素が磁気モーメントを持つときのみ生じることがわかった。

(2) 化学秩序制御による電気四極子機構の最適化 ([11], [14], [15]等)

前述の検討において大きな電界効果を示したPdとIrを用いた合金に対して、化学秩序制御による電界効果の増強を試みた。

Pdに対してはFeCoPd合金を、Irに対してはFeIr合金を作製し、トンネル接合デバイスに加工して電界効果を評価した。合金規則度と電界効果の相関に着目するため、電界効果の熱処理温度依存性を評価した。結果として、FePd及びCoPd合金では熱処理による電界効果の増大は得ら

れなかったが FeIr 合金では熱処理により電界効果が増大する傾向があった。これは熱処理により Fe と Ir の原子の並び方、すなわち化学秩序が変化したことにより電界効果が増強されたことを強く示唆する結果である。

次に FeIr 合金の化学秩序を熱処理以外の方法で人工的に制御するために、超高真空下での蒸着法により Fe と Ir を一原子相当分ずつ交互に蒸着し、Fe/MgO 基本構造に対して Ir 挿入を位置・量ともに変化させ、電界効果を精査した。結果として 0.5 原子層分の Ir を MgO から 2 層目に位置させると電界効果を最大化されて 300 fJ/Vm となることを見出した。2 層目に Ir が位置することの最適性については、X 線吸収分光及び第一原理計算による検討を行った。結果として Ir が MgO 再隣接でなく 2 層目に位置することにより、電界効果の 2 機構である軌道磁気モーメント機構と電気四極子機構の相殺が緩和され、電界効果が増強されることが見出された。

MgO(001) 5 nm
Pd (t_{Pd})
Co
bcc-Fe(001) 20 nm
bcc-V(001) 20 nm
MgO(001) 5 nm
MgO(001) substrate

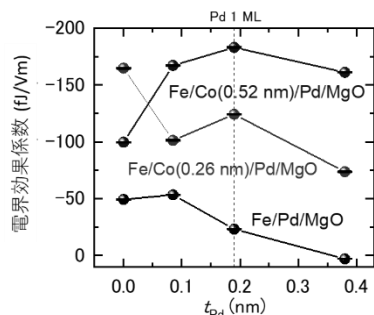


図2 FeCoPd 合金における電界誘起磁気異方性変調効果の検討結果

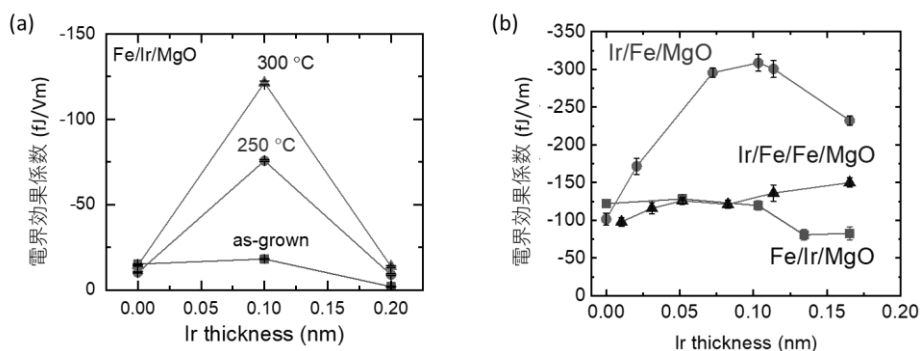


図3 FeIr 合金に対して化学秩序制御を施したことによる電界誘起磁気異方性変調の増強結果

(3) 機能性分子修飾による磁気双極子機構の最適化 ([16]等)

Fe/MgO の界面に Co フタロシアニン (CoPc) が吸着された多層膜を開発し、薄膜を磁気トンネル接合デバイスに加工してマイクロ波を用いたスピントルク強磁性共鳴法を用いて高速な電界効果を評価した。結果として CoPc による垂直磁気異方性増強は高速応答性のものみに反応するスピントルク強磁性共鳴法においても再現することがわかった。CoPc の吸着により Fe/MgO の界面磁気異方性が向上したが、電界効果の大きさは予想に反して Fe/MgO 同等であった。第一原理計算による検討からは、Fe においては多数スピンバンドが重要であることがわかった。

そこで X 線磁気円二色性分光を行い、Fe におけるホール数及び軌道磁気モーメントの分子吸着による変化を精査した。これにより分子修飾の効果は疑似的に 3 V/nm 程度の電界が Fe 表面に印加されていること、そして Fe の電子状態としてはスピン反転項、すなわち電気四極子機構が効いていることがわかった。従って軌道磁気モーメント機構のみでは説明できる Co や Ni と異なり、磁性元素の中で Fe は特殊でありこの性質を活かした界面磁気異方性及び電界効果の新規材料を設計できる可能性があることを見出された。

<引用文献>

- [1] E. Myers et al., Science 285, 867 (1999).
- [2] M. Weisheit et al., Science 315, 349(2007).
- [3] T. Maruyama et al., Nat. Nano. 4, 158(2009).
- [4] Y. Shiota et al., Appl. Phys. Lett. 101, 102406 (2012).
- [5] T. Nozaki et al., Nat. Phys. 8, 491 (2012).
- [6] S. Miwa et al., Phys. Rev. X 7, 031018 (2017).
- [7] T. Nozaki et al., NPG Asia Materials 9, e451(1-10) (2017).
- [8] S. Miwa et al., Nat. Commun. 8, 15848 (2017).
- [9] P. Kamp et al., Phys. Rev. B 59, 1105 (1999).

- [10] M. Callsen et al., Phys. Rev. Lett. 111, 106805 (2013).
- [11] J. Suwardy et al., Phys. Rev. B 98 (14), 144432(1-8) (2018).
- [12] J. Suwardy et al., Jpn. J. Appl. Phys. 58 (6), 060917(1-4) (2019).
- [13] R. Miyakaze, et al., Phys. Rev. 102 (1), 014419(1-6) (2020).
- [14] Y. Suzuki, and S. Miwa, Phys. Lett. A 383 (11), 1203-1206 (2019).
- [15] S. Miwa et al., Phys. Rev. B 99 (18), 184421(1-7) (2019).
- [16] S. Miwa, 65th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2020),
Invited Talk “Molecular spintronics utilizing a novel metal-organic interface” .

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 14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 Gamou Hiromu, Shimose Koki, Enoki Ryoto, Minamitani Emi, Shiotari Akitoshi, Kotani Yoshinori, Toyoki Kentaro, Nakamura Tetsuya, Sugimoto Yoshiaki, Kohda Makoto, Nitta Junsaku, Miwa Shinji	4. 巻 20
2. 論文標題 Detection of Spin Transfer from Metal to Molecule by Magnetoresistance Measurement	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 75-80
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.nanolett.9b03110	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 Isshiki H., Kondou K., Takizawa S., Shimose K., Kawabe T., Minamitani E., Yamaguchi N., Ishii F., Shiotari A., Sugimoto Y., Miwa S., Otani Y.	4. 巻 19
2. 論文標題 Realization of Spin-dependent Functionality by Covering a Metal Surface with a Single Layer of Molecules	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 7119-7123
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.nanolett.9b02619	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 Suwardy Joko, Goto Minoru, Suzuki Yoshishige, Miwa Shinji	4. 巻 58
2. 論文標題 Voltage-controlled magnetic anisotropy and Dzyaloshinskii-Moriya interactions in CoNi/MgO and CoNi/Pd/MgO	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 060917(1-4)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab21a6	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 Miwa Shinji, Nozaki Takayuki, Tsujikawa Masahito, Suzuki Motohiro, Tsukahara Takuya, Kawabe Takeshi, Kotani Yoshinori, Toyoki Kentaro, Goto Minoru, Nakamura Tetsuya, Shirai Masafumi, Yuasa Shinji, Suzuki Yoshishige	4. 巻 99
2. 論文標題 Microscopic origin of large perpendicular magnetic anisotropy in an FeIr/MgO system	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 184421(1-7)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.99.184421	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 Tsunegi Sumito, Taniguchi Tomohiro, Nakajima Kohei, Miwa Shinji, Yakushiji Kay, Fukushima Akio, Yuasa Shinji, Kubota Hitoshi	4. 巻 114
2. 論文標題 Physical reservoir computing based on spin torque oscillator with forced synchronization	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 164101(1-5)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5081797	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 常木澄人, 谷口知大, 三輪真嗣, 中嶋浩平, 久保田均	4. 巻 14
2. 論文標題 スピントルク発振器を用いた物理リザーバ計算	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 まぐね	6. 最初と最後の頁 335-340
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 三輪真嗣, 鈴木基寛, 辻川雅人, 野崎隆行	4. 巻 74
2. 論文標題 電界効果で界面の磁性を制御する	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本物理学会誌	6. 最初と最後の頁 714-719
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 三輪真嗣	4. 巻 139
2. 論文標題 量子スピントロニクス現象を示す新物質について	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電気学会誌	6. 最初と最後の頁 601-606
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejjournal.139.601	査読の有無 無
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 後藤穰, 若竹陽介, Ugwumsinachi Kalu Oji, 三輪真嗣, 鈴木義茂, 久保田均, 薬師寺啓, 福島章雄, 湯浅新治, Nikita Strelkov, Bernard Dieny	4. 巻 73
2. 論文標題 ナノ磁性体中の熱を利用したマイクロ波技術	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 自動車技術	6. 最初と最後の頁 96-97
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 三輪真嗣, 鈴木基寛, 辻川雅人, 野崎隆行	4. 巻 14
2. 論文標題 X線磁気円二色性分光を用いた金属磁性体の電界効果素子研究	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 まぐね	6. 最初と最後の頁 146-152
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Nozaki Takayuki, Yamamoto Tatsuya, Miwa Shinji, Tsujikawa Masahito, Shirai Masafumi, Yuasa Shinji, Suzuki Yoshishige	4. 巻 10
2. 論文標題 Recent Progress in the Voltage-Controlled Magnetic Anisotropy Effect and the Challenges Faced in Developing Voltage-Torque MRAM	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Micromachines	6. 最初と最後の頁 327(1-31)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/mi10050327	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 Jibiki Y., Goto M., Tsujikawa M., Risius P., Hasebe S., Xu X., Nawaoka K., Ohkubo T., Hono K., Shirai M., Miwa S., Suzuki Y.	4. 巻 114
2. 論文標題 Interface resonance in Fe/Pt/MgO multilayer structure with large voltage controlled magnetic anisotropy change	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 082405(1-5)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5082254	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 Yoshishige, Miwa Shinji	4. 巻 383
2. 論文標題 Magnetic anisotropy of ferromagnetic metals in low-symmetry systems	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physics Letters A	6. 最初と最後の頁 1203-1206
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physleta.2019.01.020	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 Takizawa S., Kondou K., Isshiki H., Shimose K., Kawabe T., Miwa S., Otani Y.	4. 巻 54
2. 論文標題 Spin Relaxation Enhanced by Decorating Cu Surfaces With Lead (II) Phthalocyanine Molecules	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics	6. 最初と最後の頁 4100304(1-4)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMAG.2018.2846364	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 Suwardy Joko, Nawaoka Kohei, Cho Jaehun, Goto Minori, Suzuki Yoshishige, Miwa Shinji	4. 巻 98
2. 論文標題 Voltage-controlled magnetic anisotropy and voltage-induced Dzyaloshinskii-Moriya interaction change at the epitaxial Fe(001)/MgO(001) interface engineered by Co and Pd atomic-layer insertion	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 144432(1-8)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.98.144432	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 Cho Jaehun, Miwa Shinji, Yakushiji Kay, Kubota Hitoshi, Fukushima Akio, You Chun-Yeol, Yuasa Shinji, Suzuki Yoshishige	4. 巻 10
2. 論文標題 Effect of Electric Field on the Exchange-Stiffness Constant in a Co ₁₂ Fe ₇₂ B ₁₆ Disk-Shaped Nanomagnet 65 nm in Diameter	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review Applied	6. 最初と最後の頁 014033(1-7)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.10.014033	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 Shukla Amit Kumar, Goto Minoru, Xu Xiandong, Nawaoka Kohei, Suwardy Joko, Ohkubo Tadakatsu, Hono Kazuhiro, Miwa Shinji, Suzuki Yoshishige	4. 巻 8
2. 論文標題 Voltage-Controlled Magnetic Anisotropy in Fe _{1-x} Cox/Pd/MgO system	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 10362(1-6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-28445-3	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 -

[学会発表] 計39件(うち招待講演 16件/うち国際学会 20件)

1. 発表者名 S. Miwa
2. 発表標題 Time-resolved ultrafast oscillation of octupole polarization in a chiral antiferromagnet Mn ₃ Sn
3. 学会等名 APS March Meeting 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Isshiki, K. Kondou, S. Takizawa, K. Shimose, T. Kawabe, E. Minamitani, N. Yamaguchi, F. Ishii, A. Shiotari, Y. Sugimoto, S. Miwa and Y. Otani
2. 発表標題 Spin-to-charge current conversion at a molecule/metal interface
3. 学会等名 New Perspective in Spin Conversion Science (NPSCS2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. Suzuki, M. Tsujikawa, T. Nozaki, T. Nakamura, M. Shirai, S. Yuasa, Y. Suzuki, and S. Miwa
2. 発表標題 Probing the microscopic mechanism of voltage-controlled magnetic anisotropy with X-ray absorption spectroscopy
3. 学会等名 WE-Heraeus-Seminar on "Energy Efficient Magnetoelectric Materials by Ionic Approaches: Fundamentals, Challenges and Perspectives" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名	M. Matsushima, Y. Ando, R. Ohshima, S. Dushenko, E. Shigematsu, T. Kawabe, T. Shinjo, S. Miwa and M. Shiraishi
2. 発表標題	Spin Hall effect in highly oriented bismuth by using spin-torque ferromagnetic resonance
3. 学会等名	Materials Research Meeting 2019 (MRM2019) (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	山田侑馬, 後藤穰, 山根健量, 出川直通, 鈴木健司, 志村淳, 青木進, 占部順一郎, 原晋治, 三輪真嗣, 鈴木義茂
2. 発表標題	Microwave amplification using two magnetic tunnel junctions with positive gain
3. 学会等名	スピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワーク拠点(Spin - RNJ) 2019 年度(令和元年度) 年次報告会
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	M. Goto, Y. Wakatake, U. K. Oji, S. Miwa, N. Strelkov, B. Dieny, H. Kubota, K. Yakushiji, A. Fukushima, and Y. Suzuki
2. 発表標題	Giant spin-torque induced by heat-controlled magnetic anisotropy
3. 学会等名	64th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	S. Tsunegi, T. Taniguchi, K. Nakajima, S. Miwa, K. Yakushiji, A. Fukushima, and H. Kubota
2. 発表標題	Physical reservoir computing based on spin torque oscillator with Synchronization
3. 学会等名	64th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名 Y. Yamada, M. Goto, T. Yamane, N. Degawa, T. Suzuki, A. Shimura, S. Aoki, J. Urabe, S. Hara, S. Miwa, and Y. Suzuki
2. 発表標題 Maser operation of two magnetic tunnel junctions with positive gain
3. 学会等名 64th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Miwa, Y. Jibiki, J. Fujimoto, M. Goto, and Y. Suzuki
2. 発表標題 Strong bias effect on voltage-driven torque at epitaxial Fe-MgO interface
3. 学会等名 64th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 常木澄人, 谷口知大, 中嶋浩平, 三輪真嗣, 薬師寺啓, 福島章雄, 湯浅新治, 久保田均
2. 発表標題 Physical reservoir computing based on spin torque oscillator
3. 学会等名 第43回日本磁気学会学術講演会: シンポジウム "Innovative trials for New Spin Computing" (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山田侑馬, 後藤穰, 山根健量, 出川直通, 鈴木健司, 志村淳, 青木進, 占部順一郎, 原晋治, 三輪真嗣, 鈴木義茂
2. 発表標題 Microwave emission using two magnetic tunnel junctions with positive gain
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 三輪真嗣, 飯浜賢志, 野本拓也, 富田崇弘, 肥後友也, Muhammad Ikhlas, 大谷義近, 水上成美, 有田亮太郎, 中辻知
2. 発表標題 Spin-dynamics of a chiral antiferromagnet Mn ₃ Sn
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 一色弘成, 近藤浩太, 瀧澤誓, 下瀬弘輝, 河辺健志, 南谷英美, 山口直也, 石井史之, 塩足亮隼, 杉本宜昭, 三輪真嗣, 大谷義近
2. 発表標題 単分子膜で修飾された金属表面のスピン依存機能性
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三輪真嗣
2. 発表標題 電場印加中オペランド分光と次世代放射光への期待
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会: シンポジウム「次世代スピントロニクスに向けた軟X線放射光計測技術の発展」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三輪真嗣, 飯浜賢志, 野本拓也, 富田崇弘, 肥後友也, Muhammad Ikhlas, 大谷義近, 水上成美, 有田亮太郎, 中辻知
2. 発表標題 カイラル反強磁性体Mn ₃ Snの超高速スピンダイナミクス
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松島真之, Sergey Dushenko, 伏屋雄紀, 河辺健志, 三輪真嗣, 重松英, 新庄輝也, 大島諒, 安藤裕一郎, 白石誠司
2. 発表標題 高配向Biを用いたスピントルク強磁性共鳴法によるスピン変換
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Miwa
2. 発表標題 Operando X-ray absorption spectroscopy with spintronic devices
3. 学会等名 Young Researchers Workshop on Synchrotron Radiation Science 2019 (YRWS2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三輪真嗣, 飯浜賢志, 野本拓也, 富田崇弘, 肥後友也, Muhammad Ikhlas, 大谷義近, 水上成美有田亮太郎, 中辻知
2. 発表標題 カイラル反強磁性体Mn ₃ Snの超高速スピンダイナミクス
3. 学会等名 J-Physics 地域研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 E. Minamitani
2. 発表標題 Molecular spins at surfaces: from Kondo singlet to application for spintronics
3. 学会等名 The 3rd Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 E. Minamitani
2. 発表標題 Theory of single spin spectroscopy at surfaces: from Kondo singlet to spin-orbit interaction
3. 学会等名 Exploring the Limits of Nanoscience with Scanning Probe Methods (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三輪真嗣
2. 発表標題 分子/金属界面を用いたスピントロニクスデバイス
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会, シンポジウム「有機分子と表面の出会いがもたらす多体相関物性」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡壁翼, 後藤穰, 三輪真嗣, 鈴木義茂
2. 発表標題 Voltage control of magnetic anisotropy in Mn inserted Magnetic tunnel junction
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 Shinji Miwa
2. 発表標題 Electric-field-induced change of perpendicular magnetic anisotropy at metal/dielectric interface
3. 学会等名 Topological Phases and Functionality of Correlated Electron Systems (TPFC2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三輪真嗣
2. 発表標題 界面スピノートロニクス - 磁気異方性の基礎と応用 -
3. 学会等名 東京大学物性研究所談話会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J. Suwardy, K. Nawaoka, M. Goto, Y. Suzuki, and S. Miwa
2. 発表標題 Voltage-controlled magnetic anisotropy and voltage-induced Dzyaloshinskii-Moriya interaction change in Fe, Co, Ni and Pd
3. 学会等名 2019 Joint MMM-Intermag Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Miwa
2. 発表標題 Voltage control of interfacial spin-orbit phenomena
3. 学会等名 2018 KPS Fall Meeting Pioneer Symposia "Symposium on Interface Spin-Orbitronics" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Miwa, M. Suzuki, M. Tsujikawa, K. Matsuda, T. Nozaki, K. Tanaka, T. Tsukahara, T. Kawabe, K. Nawaoka, M. Goto, Y. Kotani, T. Ohkubo, E. Tamura, K. Hono, T. Nakamura, M. Shirai, S. Yuasa, and Y. Suzuki
2. 発表標題 X-ray absorption spectroscopy for voltage-controlled magnetic anisotropy effect
3. 学会等名 NIMS Academic Symposium Magnetic Materials Innovations (NIMS WEEK 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 E. Minamitani, S. Miwa, and Y. Miura
2. 発表標題 Perpendicular magnetic anisotropy enhancement of an Fe(001) surface by Co-phthalocyanine molecule
3. 学会等名 14th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures (ACSIN-14) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三輪真嗣
2. 発表標題 遷移金属及び分子による磁性界面制御
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会: シンポジウム「スピントロニクス材料研究の新潮流～二次元系を中心に～」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 河辺健志, 宮風里紗, 塚原拓也, 小谷佳範, 豊木研太郎, 後藤穰, 中村哲也, 鈴木義茂, 三輪真嗣
2. 発表標題 Voltage-controlled magnetic anisotropy in ultrathin nickel
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 下瀬弘輝, 榎涼斗, 蒲生寛武, 河辺健志, 塚原拓也, 小谷佳範, 豊木研太郎, 中村哲也, 後藤穰, 鈴木義茂, 新田淳作, 好田誠, 三輪真嗣
2. 発表標題 Hysteretic magnetoresistance of Pt covered with monolayer Fe-phthalocyanine
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Joko Suwardy, 後藤穰, 鈴木義茂, 三輪真嗣
2. 発表標題 Voltage-controlled magnetic anisotropy of Co _{1-x} Ni _x ultrathin alloy at interface with MgO
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Suzuki, M. Tsujikawa, T. Nozaki, T. Nakamura, M. Shirai, S. Yuasa, Y. Suzuki, and S. Miwa
2. 発表標題 Microscopic mechanism of the electric-field effects on spintronics devices elucidated by x-ray magnetic circular dichroism spectroscopy
3. 学会等名 2018 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 茂木優樹, 金俊延, 瀧澤誓, 近藤浩太, 下瀬弘輝, 河辺健志, 三輪真嗣, 一色弘成, 大谷義近
2. 発表標題 PbPcで修飾されたCu表面を用いたEdelstein磁気抵抗効果の測定
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三輪真嗣
2. 発表標題 放射光を利用した電圧誘起磁気異方性変調の研究
3. 学会等名 第7回実用スピントロニクス新分野創成研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Miwa
2. 発表標題 The origin of electric-field-induced change of magnetocrystalline anisotropy in metallic multilayered structures
3. 学会等名 23rd International Colloquim on Magnetic Films and Surfaces (ICMFS 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Takizawa, K. Kondou, H. Isshiki, K. Shimose, T. Kawabe, S. Miwa, and Y. Otani
2. 発表標題 Enhanced spin relaxation and spin-to-charge conversion at the surface of Cu thin film decollated with molecules
3. 学会等名 INTERMAG 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三輪真嗣
2. 発表標題 電界誘起磁気異方性変化のX線磁気円二色性分光による検討
3. 学会等名 第6回界面スピン軌道結合研究会 - 界面四極子相互作用の徹底討論 -
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Miwa
2. 発表標題 Quantum spintronics for application
3. 学会等名 International Workshop: Novel Phenomena in Quantum Materials driven by Multipoles and Topology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

東京大学物性研究所 三輪研究室
<https://miwa.iissp.u-tokyo.ac.jp/>
分子科学研究所 南谷グループ
<https://www.ims.ac.jp/research/group/minamitani/>

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	南谷 英美 (Minamitani Emi) (00457003)	分子科学研究所・理論・計算分子科学研究領域・准教授 (63903)	

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