

令和 3 年 5 月 23 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01485

研究課題名(和文)磁気トンネル接合における電圧誘起型巨大磁気キャパシタンス効果の発現

研究課題名(英文) Observation of voltage-induced large magnetocapacitance effect in magnetic tunnel junctions

研究代表者

海住 英生 (KAIJU, Hideo)

慶應義塾大学・理工学部(矢上)・准教授

研究者番号：70396323

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：近年、磁場によりキャパシタンス(=電気容量)が変化する磁気キャパシタンス効果は、高感度磁気センサ、省エネメモリ、大容量蓄電材料への応用が期待されていることから、国内外で大きな注目を集めている。中でも、2層の磁性体の間に絶縁体が挟まれた磁気トンネル接合(MTJ)は、室温にて巨大なトンネル磁気キャパシタンス(TMC)効果を示すことから盛んに研究が進められている。本研究課題では、絶縁層としてMgOを用いたMTJを作製し、TMC効果の電圧依存性を調べた。その結果、室温にて300%を超えるTMC効果の観測に初めて成功し、そのメカニズムが拡張デバイ・フレーリッヒモデルで説明できることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果は、静的なスピン蓄積と交流電場下のスピンドイナミクスに関する新たな学術的知見を提供するとともに、次世代革新的超高性能メモリの実現に向けた重要な設計指針を導くと期待できる。

研究成果の概要(英文)：Magnetocapacitance (MC) effect has attracted much attention due to their potential applications as highly-sensitive magnetic sensors, high-frequency devices and energy storage materials. The MC effect has been observed in multiferroic materials, spintronic devices and magnetic supercapacitors. Here we focus on magnetic tunnel junctions (MTJs) in spintronic devices, and we report a new phenomenon, in which the tunneling magnetocapacitance (TMC) increases with biasing voltage in MgO-based MTJs. We have observed a maximum TMC value of beyond 300%, which is the largest voltage-induced TMC effect ever reported for MTJs. We have found excellent agreement between theory and experiment using extended Debye-Frohlich model. Based on our calculation, we predict that the TMC ratio could reach 1000% in MTJs. Our work has provided a new understanding on AC spin-dependent transports in spintronic devices, and the results reported here may open a novel pathway for spintronics applications.

研究分野：応用物理

キーワード：スピントロニクス 磁性薄膜 誘電体 交流インピーダンス特性 電気容量

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

近年、磁場によりキャパシタンス(=電気容量 C)が変化する磁気キャパシタンス(MC)効果は、高感度磁気センサ、省エネメモリ、大容量蓄電材料への応用が期待されていることから、国内外で大きな注目を集めている。中でも、2層の磁性体の間に極薄の絶縁体(膜厚:数 nm)が挟まれた磁気トンネル接合(MTJ)は、室温にて巨大なトンネル磁気キャパシタンス(TMC)効果を示すことから盛んに研究が進められてきた。TMC効果とは、2層の磁性体の磁化が平行であるとき C が大きくなり、反平行であるとき C が小さくなる現象である。キャパシタンス検出では周波数の変調によって低インピーダンスが実現することから、低ノイズ化も期待でき、これにより超高感度化(=高 S/N 比: S は信号、 N はノイズ)が実現する。さらに、センス電流 (=素子に注入する定電流)と検出電圧の間には位相差が生じることから消費電力も低減できる。これらにより、TMC効果は将来の低ノイズ・省エネデバイス創製のための革新的技術になり得る。

TMC効果は、2002年に本研究代表者により見出された。しかし、約10年間TMC比は伸び悩み、最大でも50%程度に留まっていた。このような中、2015年に本研究代表者らは、MgOベースのMTJを用いることで、これまでで最大となる155%のTMC比を観測することに成功した。その後、2017年にFe₃O₄を用いたMTJにおいて逆トンネル磁気キャパシタンス(iTMC)効果を見出した。iTMC効果とは、両磁性体の磁化が平行であるとき C が小さくなり、反平行であるとき C が大きくなる現象である。ここでのTMC比は10%程度と小さい値を示すが、興味深いことに、素子に直流電圧を印加するとTMC比が向上することがわかった。

2. 研究の目的

そこで、本研究課題では、MgOベースのMTJにおいて、TMC効果の電圧依存性を詳細に調べることで、これまでで最大の電圧誘起巨大磁気キャパシタンス効果の発現を目指すとともに、そのメカニズムを解明する。本研究課題の推進は、静的なスピン蓄積と交流電場下のスピンドYNAMIXSに関する新たな学術的知見を提供するとともに、次世代革新的超高性能メモリの実現に向けた重要な設計指針を導くと期待できる。

3. 研究の方法

超高真空マグネトロンスパッタ装置を用いて、熱酸化Si基板上にTa/Co₅₀Fe₅₀/IrMn/Co₅₀Fe₅₀/Ru/Co₄₀Fe₄₀B₂₀/MgO/Co₄₀Fe₄₀B₂₀/Ta/Ruから構成されるMTJを作製した。最高到達真空度は 2×10^{-8} Torrである。スパッタ中のArガス圧力は1.0 mTorr程度とした。Co₄₀Fe₄₀B₂₀強磁性層の膜厚は3 nm、MgO絶縁層の膜厚は2 nmとした。素子のパターニングにはフォトリソグラフィ法とイオンミリング法を用い、接合面積を1800 μm^2 とした。パターニング後、Co₄₀Fe₄₀B₂₀強磁性層に磁気異方性を付与するため、 1×10^{-6} Torr、310°C、4hの条件で磁場中熱処理(印加磁場 $H = 4.5$ kOe)を行った。TMC効果、並びに、トンネル磁気抵抗(TMR)効果の測定には磁場中交流4端子法を用いた。周波数帯域は20 Hz–1 MHzとした。最大印加磁場は1.4 kOeとした。最大印加直流電圧は200 mVとした。

4. 研究成果

初めに、ゼロバイアスでのTMCとTMRの周波数特性を調べた。その結果、TMRは周波数に依存せず一定で105%を示した。一方で、TMCは60 Hzで最大値となり、96%を示した。そこで、周波数を60 Hzに固定し、TMCの電圧依存性を調べた。図1にTMRとTMCの電圧依存性を示す。電圧が大きくなるに従い、TMRは減少する。一方で、TMCはゼロバイアス付近では下がるが、高バイアスでは上昇する。すなわち、電圧に対してロバスト性を示すことがわかる。これは電圧誘起TMC効果の観測に成功したことを意味する。また、TMCは最大で102%に達し、従来の最大値である17%を大きく超えた。

次に、この電圧誘起TMCのメカニズムを明らかにするため、理論的な検討を行った。直流電圧を印加すると、絶縁層中のバリア高さが変化し、実効的な絶縁層膜厚が変化する。これによりキャパシタンスが変化すると考えられる。本計算では、従来のデバイ・フレリッヒモデルに加え、4次関数バリア近似(QBA)を用いた。QBAは交流電場下でのバリア形状を記述するための良い近似とされている。図2(a)に磁化平行状態におけるキャパシタンスの電圧依存性を示す。実験結果と計算結果が良い一致を示すことがわかる。図2(b)に磁化反平行状態におけるキャパシタンスの電圧依存性を示す。磁化反平行状態の

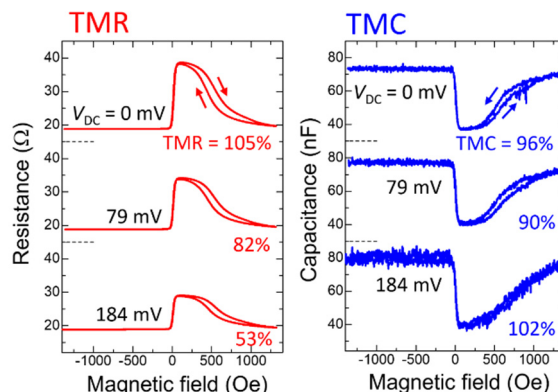


図1 TMRとTMCの電圧依存性

ときは、互いの磁性層における同スピン同士の化学ポテンシャルに差が生じることから、スピン蓄積が生じる。このスピン蓄積によるキャパシタンスはスピンキャパシタンスと呼ばれる。スピンキャパシタンスはスピン依存ドリフト拡散模型により記述し、磁化反平行状態ではスピンキャパシタンスが動的キャパシタンスに対して直列に繋がると考えた(図 2(c))。図 2(b)より、実験結果と計算結果が良い一致を示すことがわかる。このとき、200 mV の高い電圧ではキャパシタンスは下がる。この減少がスピンキャパシタンスに由来する。これにより、図 3 に示すように、高バイアスでは TMC が上昇する。以上より、電圧誘起効果による TMC の向上は実効的な絶縁層膜厚の変化とスピンキャパシタンスの出現に起因することが明らかになった。

さらに、MTJ を最適化した結果、図 4 に示すように、周波数 160 Hz、印加電圧 92 mV の条件下で 300% を超える TMC 比を観測することに成功した。TMC 比は、ある特定の電圧範囲内で増加し、最大値を示す。また、TMC 比の電圧依存性は周波数 160 Hz で最も大きな挙動を示すこともわかる。これらの実験結果は、放物線バリア近似、スピン依存ドリフト拡散モデル、デバイ・フレリッヒモデルに加えて、シグモイド関数を取り入れたジャンモデルによる計算結果と良い一致を示した。これはジャンモデルにおけるスピンフリップが巨大な電圧誘起 TMC 効果に大きな影響を及ぼすことを意味する。また、本理論計算によると、スピン分極率がより大きな MTJ を用いることで、1000% を超える TMC が得られることも明らかになった。この巨大な TMC は、緩和時間が短く (~ μs) になると、高周波側 (~MHz) にシフトすることも明らかになった。

磁気キャパシタンス効果は、MTJ やマルチフェロイック材料のみならず、ここ数年で、磁気ナノグラニューラー、強磁性単電子トランジスタ、分子スピンバルブ素子、磁気スーパーキャパシタ、有機ヘテロ接合などの様々な系で相次いで見出されている。その他、強磁性ナノシートとペロブスカイトナノシートの多層膜から構成される人工超格子や通常の絶縁体とトポロジカル絶縁体の積層膜から構成されるトポロジカル超格子においても発見されており、材料の観点から見ても大きな広がりを見せている。また、学術的な観点からも、これらの現象は空間反転対称性と時間反転対称性が同時に破れた系で見出されていることから普遍的な物理を議論する上でも興味深い。今後、MTJ を含む様々な物質・材料・デバイスにおける磁気キャパシタンス効果の発展が大いに期待でき、これにより新たな分野横断的学術分野が誕生するものと期待できる。

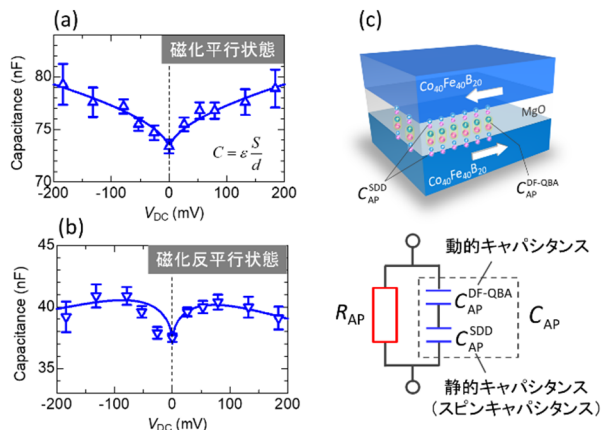


図 2 (a)磁化平行状態と(b)磁化反平行状態におけるキャパシタンスの電圧依存性、(c)磁化反平行状態のスピンキャパシタンスと動的キャパシタンス

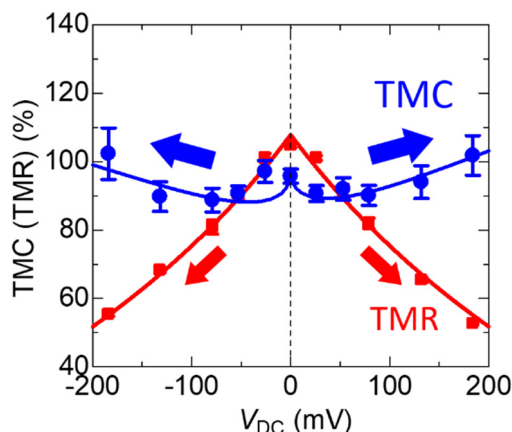


図 3 TMC 比と TMR 比の電圧依存性

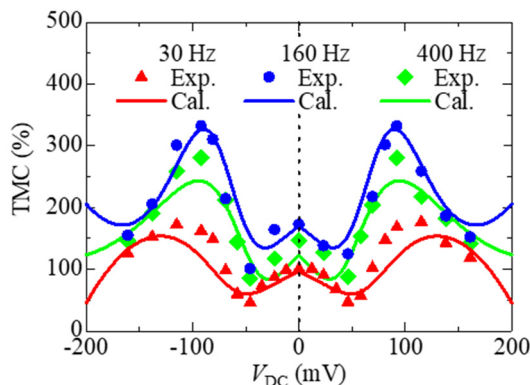


図 4 最適化した MTJ における TMC 比と TMR 比の電圧依存性

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 H. Kaiju, M. Fujioka and J. Nishii	4. 巻 139
2. 論文標題 Realization of Novel Nanoscale-Junction Devices using Magnetic Thin-Film Edges	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of The Institute of Electrical Engineers of Japan	6. 最初と最後の頁 730-735
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejjournal.139.730	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 R. Msiska, S. Honjo, Y. Asai, M. Arita, A. T. Fukuchi, Y. Takahashi, N. Hoshino, T. Akutagawa, O. Kitakami, M. Fujioka, J. Nishii and H. Kaiju	4. 巻 116
2. 論文標題 Tunnel Magnetocapacitance in Fe/MgF ₂ Single Nanogranular Layered Films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 082401(1-5)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5139702	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 該当する
1. 著者名 H. Kaiju	4. 巻 59
2. 論文標題 Voltage-induced Magnetocapacitance Effect in Magnetic Tunnel Junctions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materia Japan	6. 最初と最後の頁 191-198
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/materia.59.191	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. Kaiju, T. Misawa, T. Nagahama, T. Komine, O. Kitakami, M. Fujioka, J. Nishii and G. Xiao	4. 巻 8
2. 論文標題 Robustness of Voltage-induced Magnetocapacitance	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 14709(1-10)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-33065-y	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 Asaka Tsujie, Yoshinori Hara, Takashi Yanase, Toshihiro Shimada, Taro Nagahama	4. 巻 116
2. 論文標題 NiCo2O4 films fabricated by reactive molecular beam epitaxy and annealing in various oxygen atmospheres	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 232404(1-5)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0008677	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 Shoma Yasui, Syuta Honda, Jun Okabayashi, Takashi Yanase, Toshihiro Shimada, and Taro Nagahama	4. 巻 15
2. 論文標題 Large Inverse Tunnel Magnetoresistance in Magnetic Tunnel Junctions with an Fe304 Electrode	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Applied	6. 最初と最後の頁 034042(1-7)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.15.034042	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. Kaiju and T. Nagahama	4. 巻 141
2. 論文標題 Principle and Recent Advances in Tunnel Magnetocapacitance Effect	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials	6. 最初と最後の頁 270-278
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejfms.141.270	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. Nakagawa, K. Ogata, Y. Nakayama, G. Xiao, and H. Kaiju	4. 巻 118
2. 論文標題 Sign Inversion Phenomenon of Voltage-induced Tunnel Magnetocapacitance	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 182403(1-5)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0050304	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 該当する

〔学会発表〕 計34件（うち招待講演 10件 / うち国際学会 16件）

1. 発表者名 海住英生、長浜太郎、北上修、西井準治、Gang Xiao
2. 発表標題 磁気トンネル接合における室温巨大磁気キャパシタンス効果
3. 学会等名 日本磁気学会第224回研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 海住英生、長浜太郎、北上修、西井準治、Gang Xiao
2. 発表標題 磁気キャパシタンス効果の新展開とその学理
3. 学会等名 第1回慶大スピントロニクス研究開発センター研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 海住 英生、長浜 太郎、北上 修、西井 準治、Gang Xiao
2. 発表標題 磁気キャパシタンス効果の新展開
3. 学会等名 電気学会 第7回ナノスケール磁性体研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 辻榮朝香、柳瀬隆、島田敏宏、長浜太郎
2. 発表標題 反応性MBEで作製したNiCo ₂ O ₄ の磁性と伝導性
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 H. Kaiju, T. Nagahama, O. Kitakami, J. Nishii, and G. Xiao
2 . 発表標題 Magnetocapacitance Effect in Spintronic Devices
3 . 学会等名 The 6th Japan-Korea International Symposium on Materials Science and Technology 2019 (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 R. Msiska, S. Honjo, Y. Asai, M. Arita, A. T. Fukuchi, Y. Takahashi, N. Hoshino, T. Akutagawa, O. Kitakami, M. Fujioka, J. Nishii and H. Kaiju
2 . 発表標題 Experimental and Theoretical Study on Tunnel Magnetocapacitance in Fe/MgF ₂ Nanogranular Films
3 . 学会等名 The 6th Japan-Korea International Symposium on Materials Science and Technology 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 SASAKI, Yuma; MSISKA, Robin; MISAWA, Takahiro; MORI, Sumito; KOMINE, Takashi; HOSHINO, Norihisa; AKUTAGAWA, Tomoyuki; FUJIOKA, Masaya; NISHII, Junji; KAIJU, Hideo
2 . 発表標題 Electric and magnetic properties in Ni ₇₈ Fe ₂₂ /Mq ₃ (M=Al, Er)/Ni ₇₈ Fe ₂₂ nanoscale junction devices utilizing magnetic thin-film edges
3 . 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Asaka Tsujie, Takashi Yanase, Toshihiro Shimada, Taro Nagahama
2 . 発表標題 Epitaxial Growth of NiCo ₂ O ₄ Films by Reactive Molecular Beam Epitaxy Method
3 . 学会等名 The 3rd Functional Material Symposium (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名	Yuma Sasaki, Robin Msiska, Takahiro Misawa, Sumito Mori, Takashi Komine, Norihisa Hoshino, Tomoyuki Akutagawa, Masaya Fujioka, Melbert Jeem, Madoka Ono, Junji Nishii, and Hideo Kaiju
2. 発表標題	Junction Area and Bias Voltage Dependence of MR Ratio in Ni78Fe22/Mq3(M=Al, Er)/Ni78Fe22 Nanoscale Junction Devices Utilizing Magnetic Thin-film Edges
3. 学会等名	2019 International Symposium of Research Institute for Electronic Science (RIES) Hokkaido University & Center for Emergent Functional Matter Science (CEFMS) National Chiao Tung University (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	Y. Sasaki, R. Msiska, T. Misawa, S. Mori, T. Komine, N. Hoshino, T. Akutagawa, M. Fujioka, J. Nishii, H. Kaiju
2. 発表標題	Molecular nano-spintronic devices utilizing magnetic thin-film edges
3. 学会等名	Industry-UCB-UEC-Keio Workshop 2019 (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	Asaka Tsujie, Andrea Fernandez, Lora Veneracion, Takashi Yanase, Toshihiro Shimada, Taro Nagahama
2. 発表標題	The crystal structure and magneto-transport properties of NixCo3-xO4 films
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	Y. Sasaki, R. Msiska, T. Misawa, S. Mori, T. Komine, N. Hoshino, T. Akutagawa, M. Fujioka, J. Nishii, and H. Kaiju
2. 発表標題	Ni78Fe22/Mq3(M=Al, Er)/Ni78Fe22 nanoscale junction devices utilizing magnetic thin-film edges
3. 学会等名	The 3rd Workshop on Functional Materials Science (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名 H. Kaiju, T. Nagahama, O. Kitakami, J. Nishii, and G. Xiao
2. 発表標題 Magnetocapacitance effect in magnetic tunnel junctions
3. 学会等名 14th Hokkaido University-Nanjing University-NIMS/MANA Joint Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Sasaki, R. Msiska, T. Misawa, S. Mori, T. Komine, N. Hoshino, T. Akutagawa, M. Fujioka, J. Nishii and H. Kaiju
2. 発表標題 Molecular nano-spintronic devices utilizing Ni78Fe22 thin-film edges
3. 学会等名 14th Hokkaido University-Nanjing University-NIMS/MANA Joint Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Sasaki, R. Msiska, T. Misawa, S. Mori, T. Komine, N. Hoshino, T. Akutagawa, M. Fujioka, J. Nishii, and H. Kaiju
2. 発表標題 Ni78Fe22/Alq3/Ni78Fe22 nanoscale junction devices utilizing magnetic thin-film edges
3. 学会等名 The 19th RIES-Hokudai International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Taro Nagahama, Yuki Goto, Masato Araki, Takashi Yanase, Shimada Toshihiro, Masahito Tsujikawa and Masafumi Shirai
2. 発表標題 FABRICATION OF METASTABLE B2 Fe _{1-x} Sn _x FILMS BY EPITAXIAL GROWTH ON MgO(001)
3. 学会等名 23rd International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces ICMFS (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐々木悠馬、Msiska Robin、三澤貴浩、森澄人、小峰啓史、星野哲久、芥川智行、藤岡正弥、西井準治、海住英生
2. 発表標題 磁性薄膜エッジを利用した分子ナノ接合素子の作製と電気磁気特性
3. 学会等名 日本材料科学会第4回マテリアルズ・インフォマティクス基礎研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 海住英生、三澤貴浩、長浜太郎、小峰啓史、北上修、藤岡正弥、西井準治、Xiao Gang
2. 発表標題 強磁性トンネル接合における電圧誘起磁気キャパシタンス効果
3. 学会等名 第42回日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐々木悠馬、Msiska Robin、三澤貴浩、森澄人、小峰啓史、星野哲久、芥川智行、藤岡正弥、西井準治、海住英生
2. 発表標題 磁性薄膜エッジを利用したNi78Fe22/Alq3/Ni78Fe22ナノ接合素子の電気磁気特性
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 海住英生、藤岡正弥、西井準治
2. 発表標題 薄膜エッジを利用した磁性体/分子/磁性体ナノ接合デバイスの創製
3. 学会等名 日本化学会第9回分子アーキテクトニクス研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Asaka Tsujie, Takashi Yanase, Toshihiro Shimada, Taro Nagahama
2. 発表標題 The crystal structure and magnetotransport properties of $\text{Co}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$ films and $\text{Co}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4 / \text{MgO}$ or $\text{AlO}_x / \text{FePt}$ multilayers
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 海住 英生、藤岡 正弥、西井 準治
2. 発表標題 磁性薄膜エッジを利用したナノ接合分子スピントロニクスデバイス
3. 学会等名 ダイナミックアライアンスG1および物質・デバイス領域共同研究拠点事業合同研究会「有機分子集積体の機能設計と精密計測」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Kaiju, T. Misawa, T. Nagahama, T. Komine, O. Kitakami, M. Fujioka, J. Nishii and G. Xiao
2. 発表標題 Voltage-induced Magnetocapacitance in Magnetic Tunnel Junctions
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 Y. Sasaki, R. Msiska, T. Misawa, S. Mori, T. Komine, N. Hoshino, T. Akutagawa, M. Fujioka, J. Nishii, H. Kaiju
2. 発表標題 Electric and magnetic properties of $\text{Ni}_{78}\text{Fe}_{22}/\text{Alq}_3/\text{Ni}_{78}\text{Fe}_{22}$ nanoscale junction devices utilizing magnetic thin-film edges
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 海住 英生、長浜 太郎、北上 修、西井 準治、Gang Xiao
2. 発表標題 磁気キャパシタンス効果の新展開
3. 学会等名 電気学会 第7回ナノスケール磁性体研究会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 海住 英生、長浜 太郎、北上 修、西井 準治、Gang Xiao
2. 発表標題 磁気トンネル接合における室温巨大磁気キャパシタンス効果
3. 学会等名 磁気学会第224回研究会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Ogata, Y. Nakayama, G. Xiao, and H. Kaiju
2. 発表標題 Voltage-induced large magnetocapacitance effect in MgO-based magnetic tunnel junctions
3. 学会等名 International Microprocesses and Nanotechnology Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Ogata, Y. Nakayama, G. Xiao, and H. Kaiju
2. 発表標題 Observation and theoretical calculation of voltage-induced large tunnel magnetocapacitance
3. 学会等名 The 4th International Symposium for The Core Research Cluster for Spintronics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 海住英生
2. 発表標題 磁気キャパシタンス効果の基礎と最近の新展開
3. 学会等名 強制的秩序とその操作に関わる第12回講演会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 緒方健太郎, 中山雄介, Gang Xiao, 海住英生
2. 発表標題 電圧誘起巨大トンネル磁気キャパシタンス効果の観測と理論的解明
3. 学会等名 第44回日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 緒方健太郎, 中山雄介, Gang Xiao, 海住英生
2. 発表標題 MgOベース磁気トンネル接合における電圧誘起巨大磁気キャパシタンス効果
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020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 Fe ₃₀₄ (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

1. 発表者名 Asaka Tsujie, Yoshinori Hara, Takashi Yanase, Toshihiro Shimada, and Taro Nagahama
2. 発表標題 NiCo2O4 Thin Films Prepared by Reactive Molecular Beam Epitaxy and Annealing under High Pressure Oxygen Atmosphere
3. 学会等名 65th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安井 彰馬, 柳瀬 隆, 島田 敏宏, 長浜 太郎
2. 発表標題 Fe3O4/MgO/Fe磁気トンネル接合におけるトンネル磁気抵抗効果
3. 学会等名 第56回応用物理学会北海道支部/第17回日本光学会北海道支部合同学術講演会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

研究室HP https://www.kaiju.appi.keio.ac.jp/
--

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	西井 準治 (NISHII Junji) (60357697)	北海道大学・電子科学研究所・教授 (10101)	

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	長浜 太郎 (NAGAHAMA Taro) (20357651)	北海道大学・工学研究院・准教授 (10101)	

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			
米国	ブラウン大学			