

令和 3 年 5 月 20 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01465

研究課題名(和文) Fe₃₀₄/絶縁体の界面精密制御によるトンネル磁気抵抗素子の高機能化研究課題名(英文) Enhanced Functionality of Tunnel Magnetoresistive Devices by Interface Control of Fe₃₀₄/Insulators

研究代表者

長浜 太郎 (Nagahama, Taro)

北海道大学・工学研究院・准教授

研究者番号：20357651

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：Fe₃₀₄は負のスピンの分極を持つハーフメタル材料であると予測されているが、これまでのFe₃₀₄電極を用いた磁気トンネル接合(MTJ)が示すトンネル磁気抵抗(TMR)効果は大きな値ではなく、その符号も実験的には確立されていない。本研究ではMgO(001)基板上にエピタキシャル成長したFe₃₀₄-MTJを作製し、80Kで-55.8%の負のTMR比を実現した。この値は通常の正のTMRで用いられるTMRの定義では126%に相当する大きな値である。さらに、Fe₃₀₄製膜時のTMRの酸素分圧依存性を調べ、TMR効果がFe₃₀₄の相転移であるVerwey転移に影響されることを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

Fe₃₀₄は第一原理計算により-100%のスピンの分極を持つハーフメタルであると予測されており、スピン分解光電子分光などの分光学的な測定では大きなスピンの分極率が得られていた。今回これまで示されていなかったトンネル磁気抵抗化における高いスピンの分極率が実験的に示されたことは、酸化物磁性体の界面電子物性を調べる上で、学術的に重要な成果と言える。また、スピントロニクス応用の根幹であるTMR効果で大きな値が得られたことは、今後の酸化物を用いたスピントロニクス応用への道をひらく研究成果であり、本分野の今後の発展が期待される。

研究成果の概要(英文)：Fe₃₀₄ is predicted to be a half-metal material with negative spin polarization. However, magnetic tunnel junctions (MTJs) using an Fe₃₀₄ electrode exhibit a small tunnel magnetoresistance (TMR) effect, the sign of which has not been established experimentally. In this study, we fabricated fully epitaxial MTJs using Fe₃₀₄ on MgO (001) substrates and find a large inverse TMR ratio of -55.8% at 80 K, which corresponds to 126% by the optimistic definition of the TMR ratio. Moreover, we investigate the dependence of TMR on oxygen partial pressure during Fe₃₀₄ deposition. It is found that the magneto-transport properties of the MTJs show different behaviors depending on the oxygen partial pressure because the Verwey transition is sensitive to the oxygen concentration.

研究分野：スピントロニクス

キーワード：マグネタイト 強磁性トンネル接合 トンネル磁気抵抗効果

1. 研究開始当初の背景

Fe₃O₄はよく知られた鉄の酸化物で、高いキュリー温度を持つフェリ磁性体であり、室温で電気伝導性を示す。第一原理計算によると非常に大きな負のスピンの分極率を持つことが予測されており、スピントロニクス材料として期待されていた。スピン分解光電子分光などの分光学的な手法によって Fe₃O₄ は大きなスピンの分極率が観測され、トンネル磁気抵抗素子の電極材料として期待を集めていた。そのため多くの実験的な報告はなされたが、期待された大きな TMR 効果は観測されなかった。大きくても 20-30% の TMR 比であり、さらには TMR 効果の符号ですら報告によってまちまちであった。すなわちバンド計算によれば Fe₃O₄ のスピンの分極率は負であるが、実験によっては正の分極率が観測されてしまうということである。その後の研究によってトンネル抵抗が小さいと正、大きいと負の分極率が観測されたり、アニール温度によって TMR 効果の符号が変わる (240°C以下で負、以上で正) などの報告がなされた。後者については MgO バリア層の Mg が Fe₃O₄ 電極層に拡散する効果などが議論されたが、詳細は不明であった。

我々は 2014 年に Fe₃O₄(110)/Al₂O₃/Fe という構造の MTJ を作成し、室温で -15% 程度の負の TMR 効果の観測に成功した。負の分極率を得たという点ではバンド計算と一致する結果だが、TMR の大きさは十分ではない。さらに、MgO バリア層でも MTJ を作製したが、有意な MR が観測されなかった。また我々の実験においてもアニール処理の有無により MR が大きく影響され、界面の状態をよく制御することが重要ではないかと考えられた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、上記のように第一原理計算では巨大な TMR 比を示すことを期待される Fe₃O₄ がそのポテンシャルを発揮するための作製手法を確立するとともに、その原因について解明するものである。高品質なエピタキシャル成長が可能な反応性分子線エピタキシー法を用いて接合を作製し、コヒーレントトンネリングの活用を念頭にトンネルバリア層には MgO を採用した。得られたトンネル接合について、界面形成の最適化、分光学的手法による電子状態の観測、バンド計算に基づいたトンネル伝導のメカニズム検討をおこなった。

具体的には、Fe₃O₄(001)/MgO(001)/Fe(001) 全エピタキシャル接合を作製し、その TMR について調べることにした。Fe₃O₄/MgO 界面状態と TMR について調べるため、Fe₃O₄ 製膜時の酸素分圧を精密に制御し、TMR 効果との関連をしらべた。また、分光学的な手段によって界面の情報を得るために XMCD 測定を行った。また、一般的に用いられる Fe/MgO/Fe-MTJ では Δ₁ 電子のコヒーレントトンネリングが大きな TMR の源となっているが、Fe₃O₄ の場合は伝導を担うのは d 電子であるためその影響については不明である。そこで、第一原理計算を行い、Fe₃O₄/MgO/Fe においてもコヒーレントトンネリングが関与するのか調査した。

これらの実験から、Fe₃O₄ 本来のスピンの分極率が発揮される MTJ 作製技術の確立と、Fe₃O₄-MTJ のトンネル伝導メカニズムの詳細な解明を目的とした。

3. 研究の方法

製膜手法は反応性分子線エピタキシー法を用いた。基板には MgO(100) を用い、膜構造は MgO(100) 基板/NiO(001)/Fe₃O₄(001)/MgO(001)/Fe(001)/Au とした。NiO は MgO 基板から Fe₃O₄ 層に Mg が拡散するのを防止するために挿入されている。Fe₃O₄ は 300°C で製膜し 600°C でアニールした。Fe の酸素雰囲気中蒸着で作製し、製膜時の純酸素ガスの分圧を、4 x 10⁻⁴ Pa、1 x 10⁻⁴ Pa、5 x 10⁻⁵ Pa とした。MgO バリアは室温で製膜し、その後アニールを施した。上部電極の Fe と Au は室温で製膜した。エピタキシャル成長は RHEED で確認した。また、結晶構造は X 線回折で評価した。

得られた膜を、フォトリソグラフィや Ar イオンミリング等の一般的な微細加工技術によって素子面積 10 ミクロン角のトンネル接合素子に加工し、磁気抵抗効果測定およびその温度依存性を計測した。

また、Fe₃O₄ の電子状態および界面状態を調べるために高エネルギー加速器研究機構フォトンファクトリー (KEK-PF) のビームライン 7A 番 (BL7A) を用いて XMCD 測定を行った。Fe₃O₄ の電子状態を調べるために MgO(001) 基板/NiO/Fe₃O₄/MgO (または Al₂O₃) 多層膜の Fe-L_{2,3} 端の XAS および XMCD 測定を行った。界面状態を調べるために MgO(001) 基板/NiO/Fe₃O₄/CoFe₂O₄/MgO と界面に数 ML の CoFe₂O₄ を挿入した膜の Fe および Co の吸収端の XAS、XMCD 測定を行った。またビームのエネルギーを Fe および Co 吸収端に固定し、吸収の磁場依存

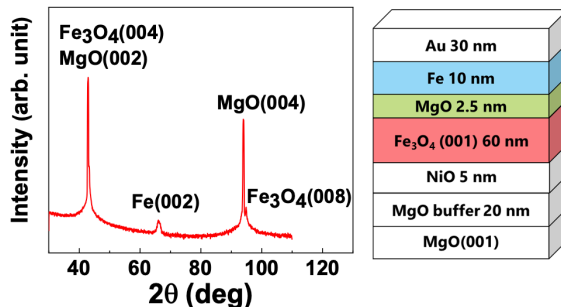


図1 Fe₃O₄(001)/MgO(001)/Fe(001) トンネル接合の構造と XRD プロファイル

性を調べることで、元素ごとの磁気ヒステリシスの測定を行った。

Fe₃O₄-MTJ のトンネル伝導メカニズムを検討するため、Fe₃O₄ のバンド計算を行った。計算にはVASPを用いた。

4. 研究成果

(1) 構造評価

in-situ RHEED 観察によって、各層のエピタキシャル成長が確認された。また Fe₃O₄ はアニールによって特有の表面再構成が観察された。図 1 に X 線回折プロファイルを示す。MgO の格子定数は 0.421nm、Fe₃O₄ の格子定数は 0.84nm であり、ほぼ MgO の 2 倍である。そのため XRD の MgO (002) と Fe₃O₄ (004) は一つのピークに見えるが、拡大すると分かれていることが確認された。また Fe の格子定数は 0.287nm で 45° 面内回転することで MgO 上にエピタキシャル成長する。XRD プロファイルでは Fe (002) 回折ピークが観察された。また、界面の構造を確認するために透過型電子顕微鏡をもちいた断面観察を行い、各界面が十分急峻で有ることが観察された。

Fe の酸化物はいくつか存在し、とくに Fe₃O₄ と γ-Fe₂O₃ はともにスピネル構造を有し、格子定数もほぼ等しい。Fe₃O₄ が過酸化状態になると γ-Fe₂O₃ となり電気特性に大きな違いを生じるが、XRD や断面 TEM 観察などで判別することが難しい。そこで XAS/XMCD にて電子状態の測定を行い、Fe の価数を評価した。その結果、B サイトに 2 価と 3 価の Fe イオンが存在しており、Fe₃O₄ であることが明らかになった。

(2) トンネル磁気抵抗効果

微細加工によって作製した MTJ について TMR 効果の測定を行った。いずれの MTJ においても数十%の負の TMR 効果が得られた。最大の TMR 比は 4 × 10⁻⁴Pa の酸素雰囲気中で Fe₃O₄ を製膜した試料で 80K で得られた -55.8% であった。これはこれまで Fe₃O₄-MTJ で報告された TMR 比の最大値である。TMR の定義は一般的には抵抗変化量を磁化平行状態の抵抗値で規格化した値が用いられており、その理論的な最大値は無限大である (インフレ定義)。しかし、負の TMR では磁化平行状態と磁化反平行状態の抵抗値の大小関係が逆転しているため、この定義では TMR が最大値が 100% となる (デフレ定義)。そこで、負の TMR でインフレ定義にするには反平行磁化状態の抵抗で規格化すればよい。その結果 -126% の TMR 比となった。これは Fe₃O₄ の大きなスピン分極率を示す結果である。図 2 に示すのは 5 × 10⁻⁵Pa で Fe₃O₄ を作製した MTJ の 125K と 100K の TMR 比である。大きな負の TMR を示すとともに大きく形状が異なる。これは Fe₃O₄ の Verwey 転移による変化である。以下に詳細を述べる

(3) TMR 効果の温度依存性

図 2 で示したとおり、TMR 効果は Verwey 温度 (約 120K) 前後で大きな変化を示す。Fe₃O₄ の製膜時の酸素分圧ごとの TMR の温度依存性を示したものが図 3(a) である。全ての試料で室温から温度が低下するに従って TMR 比は増大する。ところが、1 × 10⁻⁴Pa、5 × 10⁻⁵Pa で製膜した MTJ については 120K ほどで極大をとってその後 TMR 比は減少する。一方で 4 × 10⁻⁴Pa で製膜したものについては 80K まで単調に TMR は増大する。極大を示した温度から Verwey 転移の影響が考えられる。そこで、下部電極 (Fe₃O₄ 層) のみで測定した電気抵抗の温度変化を図 3(b) に示す。全体に半導体的な温度依存性を示すが、1 × 10⁻⁴Pa、5 × 10⁻⁵Pa で製膜した Fe₃O₄ 層については 120K 付近で電気抵抗の増大が観測され明確な Verwey 転移が見られた。一方 4 × 10⁻⁴Pa で製膜

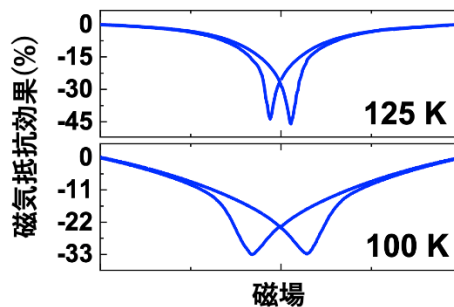


図 2 5 × 10⁻⁵Pa で作製した Fe₃O₄-MTJ の TMR 効果。縦軸は MR(%)。

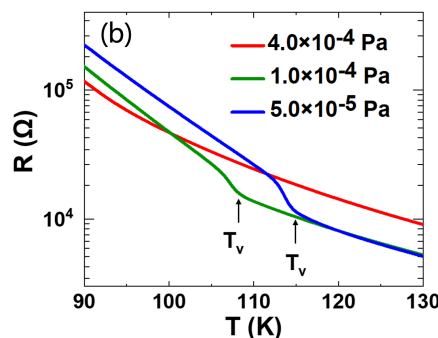
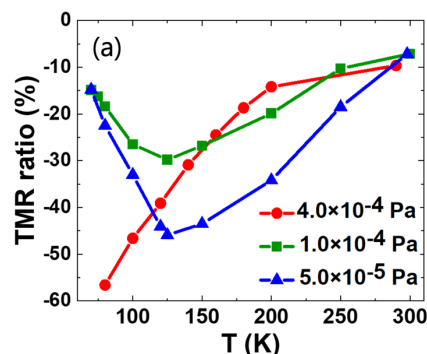


図 3(a) Fe₃O₄-MTJ の TMR 比の温度依存性 (b) Fe₃O₄ 電極の抵抗の温度依存性。

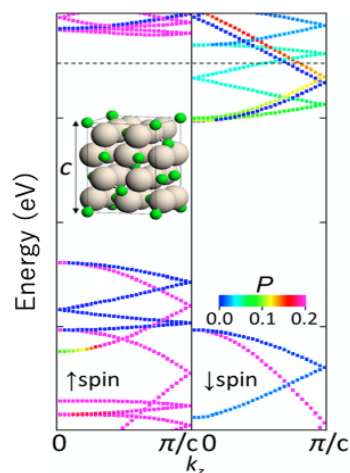


図 4 Fe₃O₄ の (001) 方向のバンド分散。P はコヒーレントトンネルに寄与する電子状態の成分。

したものは抵抗の急激な変化は観測されず、これらの結果は TMR の温度依存性とよく一致した。また、それぞれの Fe_3O_4 膜の磁化測定を行ったところ、Verwey 転移以下の温度では保磁力の大幅な増大が観測され、図 2 の TMR 曲線の形状変化を説明することができた。

(4) トンネル伝導について

$\text{Fe}/\text{MgO}/\text{Fe}$ 構造の MTJ ではトンネル電子の波動関数の対称性が保存されるコヒーレントトンネリングが大きな TMR 効果の源泉となっている。鍵となるには Δ_1 バンドであり、s 電子、 p_z 電子、 d_{z^2} 電子によって構成される。一方 Fe_3O_4 の伝導を担う電子は、単純には t_{2g} 電子 (d_{xy} , d_{yz} , d_{zx}) と言われており、 Fe_3O_4 -MTJ のトンネルプロセスは非コヒーレントトンネリングではないかと推察される。そこで、 Fe_3O_4 のバンド分散関係を計算し、伝導に寄与するフェルミレベルの波動関数を調べた (図 4)。その結果、フェルミレベルの状態には d_{z^2} 電子の成分が存在し、部分的にコヒーレントトンネリングの寄与がある可能性が示された。また一方で、 Fe_3O_4 はハーフメタルであり非コヒーレントなトンネルでも大きな TMR を示す事が可能である。そのため、本研究で得られた大きな TMR 効果が、 MgO バリアを介したコヒーレントなトンネリングに起因するのか、拡散的なトンネリングと大きなスピン分極率によるものか明確ではない。今後アモルファス AlO バリア層での TMR 効果と温度変化などを詳細に比較することによって、理解が進むと期待される。また P、それによって磁性酸化物を用いた高機能 TMR 素子の開発を推進したい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yasui Shoma, Honda Syuta, Okabayashi Jun, Yanase Takashi, Shimada Toshihiro, Nagahama Taro	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 ~ 034042
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 Tsujiie Asaka, Hara Yoshinori, Yanase Takashi, Shimada Toshihiro, Nagahama Taro	4. 巻 116
2. 論文標題 NiCo204 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 ~ 232404
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 Nodo Shoto, Ono Shimpei, Yanase Takashi, Shimada Toshihiro, Nagahama Taro	4. 巻 13
2. 論文標題 Controlling the magnetic proximity effect and anomalous Hall effect in CoFe204/Pt by ionic gating	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 063004 ~ 063004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ab92f1	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 Kikkawa T., Suzuki M., Ramos R., Aguirre M. H., Okabayashi J., Uchida K., Lucas I., Anadon A., Kikuchi D., Algarabel P. A., Morellon L., Ibarra M. R., Saitoh E.	4. 巻 126
2. 論文標題 Interfacial ferromagnetism and atomic structures in high-temperature grown Fe304/Pt/Fe304 epitaxial trilayers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 143903 ~ 143903
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5125761	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 Nodo S., Yamamoto T., Yanase T., Shimada T., Nagahama T.	4. 巻 306
2. 論文標題 Characterization of magnetic properties of ultrathin CoFe204 films by utilizing magnetic proximity effect	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Solid State Communications	6. 最初と最後の頁 113762 ~ 113762
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ssc.2019.113762	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 Jun Okabayashi, Shigeki Miyasaka, Masashi Takahashi, Setsuko Tajima	4. 巻 57
2. 論文標題 Local electronic and magnetic properties of ferro-orbital-ordered FeV204	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 0902BD1-0902BD5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.0902BD	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21件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 9件)

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

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 Fe304/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

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 マグネタイト強磁性トンネル接合のTMR効果の温度依存性
3. 学会等名 強的秩序とその操作に関わる第12回 講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Taro Nagahama, Shoma Yasui, Takashi Yanase, Toshihiro Shimada
2. 発表標題 Large TMR Effect of Magnetic Tunnel Junctions with Fe3O4
3. 学会等名 The 4th Symposium for the Core Research Cluster for Spintronics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 辻榮朝香, 原 吉典, 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NiCo2O4のアニール時酸素分圧依存性
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Asaka Tsujie, Yoshinori Hara, Takashi Yanase, Toshihiro Shimada, 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 S. Nodo, S. Ono, T. Yanase, T. Shimada, T. Nagahama
2. 発表標題 Voltage Control of Magnetic Proximity Effect and Anomalous Hall Effect in CoFe204/Pt Bilayer by Ionic Liquid Gating
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、岡林潤、島田敏宏、柳瀬隆、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 負のトンネル磁気抵抗効果
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 Shoma Yasui, Jun Okabayashi, Toshihiro Shimada, Takashi Yanase, Taro Nagahama
2. 発表標題 Inverse tunneling magnetoresistance in Fe304/MgO/Fe epitaxial magnetic tunnel junction
3. 学会等名 応用物理学会第80回秋季学術講演会
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 Shoto Noda, Takumi Yamamoto, Takashi Yanase, Toshihiro Shimada, Taro Nagahama
2. 発表標題 Controlling magnetic proximity effect in CoFe204/Pt by applying voltage on Pt layer
3. 学会等名 応用物理学会第80回秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Yasui, J. Okabayashi, T. Shimada, T. Yanase, T. Nagahama
2. 発表標題 Tunnel magnetoresistance effect of magnetic tunnel junction with Fe304(001) electrodes grown by reactive MBE
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 Asaka Tsujie, Takashi Yanase, Toshihiro Shimada, Taro Nagahama
2. 発表標題 Epitaxial Growth of NiCo204 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 S. Noda, T. Yamamoto, T. Yanase, T. Shimada, and T. Nagahama
2. 発表標題 Ionic liquid gating control of magnetic proximity effect in CoFe204/Pt bilayer
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 S. Yasui, J. Okabayashi, T. Yanase, T. Shimada and T. Nagahama
2. 発表標題 Large tunnel magnetoresistance effects in Fe ₃₀₄ (001)/MgO(001)/Fe(001) epitaxial magnetic tunnel junctions
3. 学会等名 64th annual conference on magnetism and mamgnetic materials (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 The crystal structure and magnetotransport properties of CoxFe _{3-x} O ₄ films and CoxFe _{3-x} O ₄ / MgO or AlO _x / FePt multilayers
3. 学会等名 応用物理学会第79回秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野土翔登, 山本 匠, 柳瀬 隆, 島田敏宏, 長浜太郎
2. 発表標題 磁気近接効果を用いたPt/CoFe ₂₀₄ 超薄膜の磁気特性評価
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 Y. Goto, M. Araki, N. Takahashi, T. Yanase, T. Shimada, M. Tsujikawa, M. Shirai, A. Kamimaki, S. Iihama, S. Mizukami and T. Nagahama
2. 発表標題 Fabrication of metastable B2-type Fe _{1-x} Sn _x epitaxial films on MgO(001) substrates
3. 学会等名 2019 Joint MMM-Intermag (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡林潤, 宮坂茂樹
2. 発表標題 軌道秩序を示すFeV2O4の構造と磁性と軌道状態
3. 学会等名 XAFS討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡林 潤
2. 発表標題 メスバウアー分光にて軌道角運動量を捉えられるか
3. 学会等名 強制的秩序とその操作に関わる研究グループ 第8回 研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jun Okabayashi
2. 発表標題 Probing orbital magnetic moments by Mossbauer and x-ray absorption spectroscopies in FeV2O4
3. 学会等名 4th Mediterranean Conference on the Applications of the Moessbauer Effect (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〕

-

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	岡林 潤 (Okabayashi Jun) (70361508)	東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・准教授 (12601)	

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	本多 周太 (Honda Syuta) (00402553)	関西大学・システム理工学部・准教授 (34416)	

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