

令和 2 年 7 月 10 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06358

研究課題名(和文)2次元強磁性スピン配列を持つ反強磁性誘電体/強磁性積層膜による電界印加磁化反転

研究課題名(英文) Magnetization reversal with electric field applied in antiferromagnetic dielectric with two dimensional spin arrangement / ferromagnetic multilayer

研究代表者

岩田 展幸 (IWATA, Nobuyuki)

日本大学・理工学部・教授

研究者番号：20328686

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：YA103(YAO) (001)基板上に、格子ミスマッチを低減するためFe-2%をドーブしたCr203薄膜成長を行った。YAO基板上、サファイア基板上薄膜と比較して、グレインサイズは約3.7倍、約1.4倍増大し、溝面積は、約48%、約51%抑制された。Pt(1.5nm)/Co(0.6nm)/Pt(0.5nm)/Cr203積層膜を作製した。観測した交換バイアス磁場(HEB)は、160Kで最大6200eを観測した。2次元強磁性配列を持つr面配向Cr203薄膜を用いては最大の値となった。その後、HEBは温度上昇と共に減少し、Cr203のネール温度(307K)近傍でゼロとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では電流によるジュール損失が極小の不揮発性磁気メモリを提案する。電界印加による磁化反転には、10nm×10nmのセル面積で、書込遅延100ps以下、読出し遅延1ns以下が予想できる。c面配向Cr203薄膜を用いた積層膜で同様な研究報告がある。しかし、双晶を含有し反強磁性(AFM)単一ドメインを得られないことから、電界印加のみによる磁化反転は未だ報告がない。AFM単一ドメインが得られるr面配向Cr203を用いて最大6200eの交換バイアス磁場を観測した事は超低消費電力動作の不揮発性磁気メモリ開発にとって大きな成果となった。

研究成果の概要(英文)：Iron Fe(2%) doped Cr203 thin films were deposited on YA103(YAO)(001) substrate to reduce lattice mismatch. Comparing the results of Cr203 films grown on YAO and sapphire substrates, the size of grains was 3.7 and 1.4 times larger, and the area of trenches was reduced down to 48 and 51%, respectively. Pt(1.5nm)/Co(0.6nm)/Pt(0.5nm)/Cr203 multilayer was grown on YAO substrate. Magnetization curves was measured between 50 and 300K normal to the surface. The maximum exchange bias field (HEB) was observed at 160K. The value of HEB was 6200e, which is the highest value in the multilayers using r-oriented Cr203 thin films. The HEB gradually decreased with temperature increased and became zero around Neel temperature 307K of Cr203.

研究分野：電気電子材料、新機能性薄膜材料、スパッタ法、PLD法、マルチフェロイック材料

キーワード：電気磁気効果 Cr203 交換バイアス磁場 電界効果型不揮発性磁気メモリ 酸化物薄膜 スパッタ法

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、研究者個人に帰属されます。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

Cr_2O_3 のスピン配列、結晶学的観点から r 面が 2 次元強磁性(FM)スピン配列となることを予想した。 r 面の垂直方向には、O で構成される面と Cr で構成される面が交互に現れ、 $[\text{O}^{2-}\text{-Cr}^{3+}\text{-O}^{2-}\text{-Cr}^{3+}\text{-O}^{2-}]$ が一つの成長単位と予想できる。DC-RF マグネトロンスパッタ法を用いて、同じコランダム構造を持つサファイア基板の r 面上に Cr_2O_3 薄膜をエピタキシャル成長させた。膜表面には $[\text{O}^{2-}\text{-Cr}^{3+}\text{-O}^{2-}\text{-Cr}^{3+}\text{-O}^{2-}]$ ブロックと同じステップ高さを持つステップ-テラス構造を明瞭に観測した。つまり、 r 面配向 Cr_2O_3 薄膜の一つのグレイン表面は原子レベルで平坦で 2 次元 FM スピン配列が実現していることを示している。この特色は他の反強磁性(AFM)単結晶薄膜では得られない独創性を持つ。我々が作製する r 面配向 Cr_2O_3 薄膜の AFM ドメインは単一に整列させることができ、非常に大きな交換バイアス磁場(H_{EB})を積層させた FM 金属に印加可能である。また、 Cr_2O_3 は電気磁気(ME)効果を有するため、電界印加によって、積層膜界面の Cr スピンの大きさを変化させ、 H_{EB} の制御が可能である。つまり、電界印加のみによって FM スピンを反転させることができる革新的な特性を示す。この FM 金属 / r 面配向 Cr_2O_3 積層膜は、局所的に電界印加可能であるため「超高密度」、電界制御のため「超低消費電力」、 Cr_2O_3 の比誘電率は 10 程度の誘電体で、極微小の電荷蓄積で ME 効果が働くため「超高速」で動作可能な電界印加型磁化反転デバイス(不揮発性磁気メモリ)として最も有望である。

また、上記デバイス実現のため、AFM および FM ドメインを可視化し、AFM ドメインの単一化と FM 金属スピンとの磁氣的相互作用を明確化することは必須であり、スピントロニクス観点からも要望が高い。さらに、積層膜表面に発生する磁束密度の大きさを微小領域において測定することで、メモリ応用可能性を確実にする。本研究では、物理・工学の両側面から研究を遂行する。

2. 研究の目的

本研究の目的を箇条書きにて下記に示す。1) グレイン間に溝が無く、ステップ-テラス構造を有する単結晶 r 面配向 Cr_2O_3 / $\text{Ca}_{1-x}\text{Ce}_x\text{MnO}_3$ (CCMO) 積層膜を作製する。また、FM 金属を積層する。2) CCMO 下部電極の面内電気特性($10^{-3}\Omega\text{cm}$ 以下)、積層膜の面直リーク電流(1MV/cm で $10^{-4}\text{A}/\text{cm}^2$ 以下)を達成する。3) 積層膜における Cr_2O_3 薄膜の ME 効果を測定する。特にネール温度 T_N は 300K 以上、290~300K で、ME 係数が最大値(約 2.4ps/m)を示す事を確認する。4) AFM ドメインの単一化を立証し、FM ドメインとの関連性を明らかにする。5) SQUID-VSM による FM 金属 / 単結晶 r 面配向 Cr_2O_3 / CCMO 積層膜の磁気特性観測を行う。6) カー効果及びホール効果測定により、電界印加によって 100Oe 以上の H_{EB} 変化を観測する。7) FM 金属を高密度にパターン化(10~100nm セル)した微小領域において発生する磁束密度が実用可能レベルであることを磁気力顕微鏡(MFM)および SQUID 顕微鏡を用いて立証する。

3. 研究の方法

目的 1) 達成のため、 r 面配向 Cr_2O_3 薄膜を YAlO₃(001)基板上に DC-RF マグネトロンスパッタリング法で作製した。また、格子ミスマッチ低減のため、Fe をドーブした $(\text{Cr}_{1-x}\text{Fe}_x)_2\text{O}_3$ を作製した。Cr ターゲット、Fe ターゲットを基板に対しそれぞれ off-axis、on-axis にセットして同時スパッタ成膜を行った。投入電力を調整することで、Fe ドーブ量を制御した。CCMO 薄膜はパルスレーザー堆積(PLD)法を用いて作製した。KrF エキシマレーザーを用いた。PLD 法にて CCMO 薄膜を作製後、スパッタ法にて FM 金属/ Cr_2O_3 薄膜を積層した。成膜前に YAO 基板を 12M の NaOH 水溶液で AlO₂ 層をエッチングし、その後、アニールする事で、ステップ高さ約 0.37 nm のステップ-テラス構造を示す表面を得た。目的 2) 導電性の CCMO に対しては低抵抗測定様の 4 端子法を用いて抵抗値を測定した。また、CCMO を下部電極とした積層構造を十分に条件最適化を行えなかったため、積層方向の Cr_2O_3 に関するリーク電流や目的 3) の測定は行っていない。目的 4, 5, 6) 約 350K まで温度上昇させ、室温まで電場および磁場(1.25kV/cm、0.5T)を印加して冷却(電場磁場冷却:MEFC)した。電場と磁場の方向のかけ算の符号で AFM ドメインを制御することができる。MEFC 後に SQUID-VSM を用いて、FM 金属/単結晶 r 面配向 Cr_2O_3 積層膜の磁化測定を行った。また、van der Pauw 法により異常ホール効果測定を行った。目的 7) FM 金属/単結晶 r 面配向 Cr_2O_3 積層膜の MFM 測定を行ったが FM 金属の FM ドメインを明瞭には得られていない。

4. 研究成果

図 1 に(a)(c)(e)Al₂O₃(1-102)及び(b)(d)(f)YAO(001)基板上に成膜した $(\text{Cr}_{1-x}\text{Fe}_x)_2\text{O}_3$ 薄膜の表面像を示す。図 1(a) Cr_2O_3 // Al₂O₃ (1-102)において、グレイン同士がコアレスネスしている箇所が見られた。コアレスネスしていない箇所は約 24 nm の深い溝が発生した。図 1(b) Cr_2O_3 // YAO(001)において、グレイン間において、15 nm の溝が確認された。しかし単一グレインに着目すると、原子レベルで平坦であり、明瞭にステップテラスを確認できた。図 1(c) $(\text{Cr}_{0.98}\text{Fe}_{0.02})_2\text{O}_3$ // Al₂O₃ (1-102)において、一軸異方性を有し、成長していることが分かった。図 1(d) $(\text{Cr}_{0.98}\text{Fe}_{0.02})_2\text{O}_3$ // YAO(001)において、平均 24 nm の溝を有していたが、ラインプロファイルより単一グレイン上でステップテラス構造が見られた。図 1(b), (c)と比較したとき、グレインの大きさが 3.7, 1.4 倍大きくなり、かつ、溝面積は 48, 51%抑制されたことが確認できた。図 1(e), (f)において、3 次元

島状に成長していることが分かった。図 1(a), (b)より、基板との格子ミスマッチを緩和するために、溝が発生した。溝がないところではコアレスセンスをしたと考えられる。図 1(d)より、Fe を 2% ドープしたことで、表面測定では検出できない程度の原子位置のズレが発生し、コアレスセンスが促進した可能性がある。その結果溝の抑制に繋がったと考えている。図 1(e), (f)が三次元島成長した可能性として、2 つ可能性がある。一つは Cr より原子半径が大きい Fe のドープ量が多く、格子ミスマッチが大きくなって三次元島状成長が促進した。次に成膜スピードが早く、かつ基板温度が Fe の成膜最適温度に比べて低いことから、薄膜が最適な条件で成膜されなかったと考えている。

図 2 に $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{CCMO}/\text{YAO}(001)$ の表面像を示す。表面像右下に $\text{CCMO}/\text{YAO}(001)$ の表面像を示す。ヒーター温度、成膜時酸素分圧をそれぞれ(a) 750°C , 1Pa, (b) 720°C , 0.1Pa, (c) 800°C , 1Pa とした。レーザー周波数、エネルギー密度は、4Hz, $1.3\text{J}/\text{cm}^2$ で統一した。試料(a), (b)では、1 辺 400, 600 nm の三角形のグレインが重なり合うように生成しており、起伏の多い表面となっていた。試料(c)は最もグレインが大きく、グレイン表面が平坦になっている箇所も確認できた。

試料(c)の CCMO 膜でのみ、長方形のグレインが角度 90° の関係で膜表面を覆っていた。CCMO の良好な結晶性が促進され、 r 面配向 Cr_2O_3 薄膜成長に大きな影響を与えた事がわかった。

Pt(1.5nm) / Co(0.6nm) / Pt(0.5nm) / $\text{Cr}_2\text{O}_3(375\text{nm})$ 積層膜を YAO 基板に DC-RF マグネトロンスパッタ法で成膜した。この試料を 350K 程度まで加熱し、室温まで $E = +1.25\text{ kV}/\text{cm}$, $H = +0.5\text{ T}$ にて電場磁場冷却後、SQUID-VSM にて磁化測定を行った。図 3 に保持力 H_C と H_{EB} の温度依存性の結果を示す。 H_{EB} は 160K で最大値 6150e を示し、その後、温度上昇に伴い減少し、 Cr_2O_3 のネール温度である 307K に近づくにつれて 0 に近づいた。 H_C は温度上昇に伴い単調に減少した。

r 面では、ステップ-テラス構造を示したとしても、高さの異なるテラス上のすべての Cr スピンは同方向を向き、2 次元強磁性配列を示す。このような特徴的な磁気配列を持つ r 面配向 Cr_2O_3 を用いて、6000e 以上の大きな H_{EB} を観測した。今回の測定では、電場磁場冷却時の電場の大きさが十分ではなく、膜全体に渡って反強磁性ドメインをそろえることができなかったと考えている。ドメインをそろえられていない事を示唆する磁化曲線の結果も得ている。FM 金属と電場磁場冷却条件を最適化すれば数 kOe の H_{EB} を示すと予想している。

図 4 に Pt(1.5nm)/Co(0.6nm)/Pt(0.5nm)/ $\text{Cr}_2\text{O}_3(225\text{nm})$ 積層膜における異常ホール効果(AHE)測定と SQUID-VSM により磁気特性の測定を行った。それらの結果から H_C と H_{EB} の温度依存性の結果を示す。図 3 の試料とは、 Cr_2O_3 の膜厚が異なるだけである。同様に、測定は、試料を 350K 程度まで加熱し、室温まで $E = +1.25\text{ kV}/\text{cm}$, $H = +0.5\text{ T}$ にて電場磁場冷却後に行った。 H_C はどちらの測定においても単調に減少した。 H_{EB} は AHE では 50K で 8350e を示し、温度上昇に伴い増加し 250K で最大値 2180e を示した後、300K に近づき減少した。一方

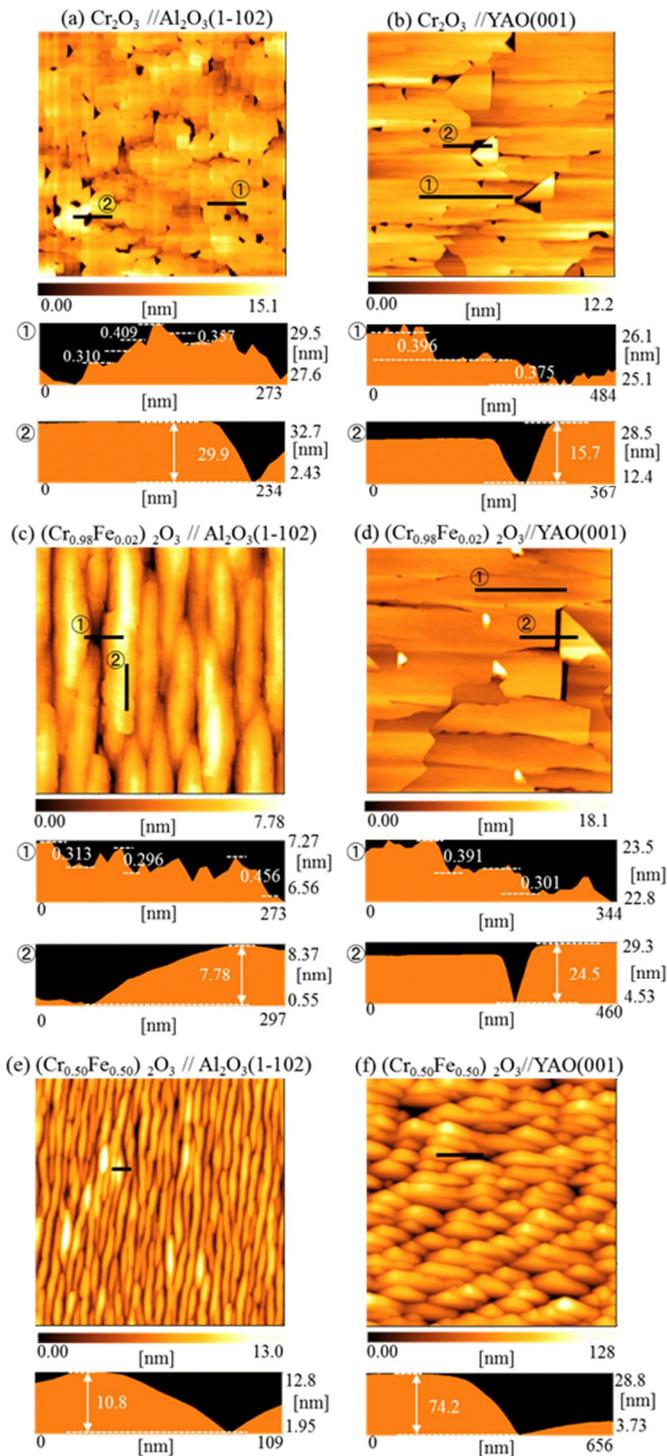


図 1: 左の列、(a)(c)(e)サファイア基板上、右の列、(b)(d)(f)は YAO(001)基板上に成長させた $(\text{Cr}_{1-x}\text{Fe}_x)_2\text{O}_3$ 薄膜の表面像およびラインプロファイルである。(a)(b)はノンドープの Cr_2O_3 薄膜、(c)(d)は Fe2% ドープ、(e)(f)は Fe50% ドープの結果である。

SQUID-VSM による測定では H_{EB} は 50K において 299Oe を示しその後、温度上昇に伴い、一度 100K で 0 に近い値を示した。さらに温度を上昇させると、 H_{EB} は 180K から増加し 230K で 129Oe を示した後、307K 付近で再度 0 に近い値を示した。

低温を除いて、SQUID-VSM、AHE による測定では、数値や温度変化がほぼ同一であった。そのため電界印加測定が行える AHE を用いて、条件を変えて電場磁場冷却を行い、連続して AHE 測定を行うことで、反強磁性ドメインの H_{EB} に対する効果を詳細に調べることができる。

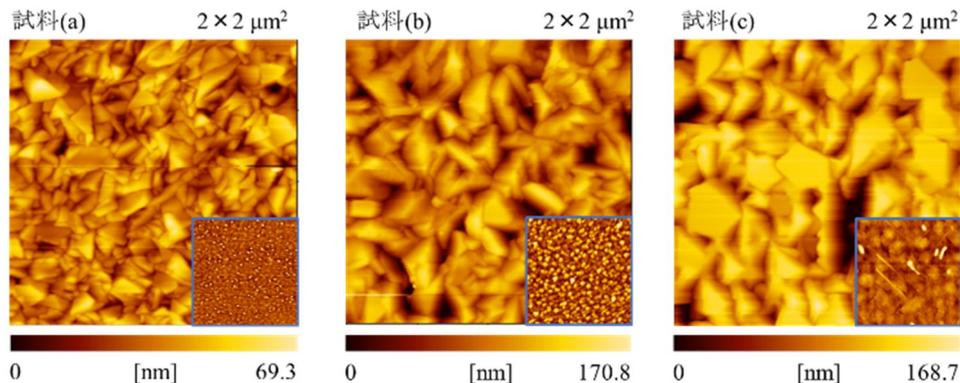


図 2 : $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{CCMO}/\text{YAO}(001)$ の表面像、右下に CCMO 薄膜の表面像を示す。レーザー周波数、エネルギー密度は、4Hz、 $1.3\text{J}/\text{cm}^2$ とし、ヒーター温度、成膜時酸素分圧をそれぞれ (a) 750°C 、1Pa、(b) 720°C 、0.1Pa、(c) 800°C 、1Pa で CCMO を PLD 法にて成膜した。大気暴露後、表面像観察、X 線回折で評価を行った後、スバツタ装置にて Cr_2O_3 薄膜を成膜した。

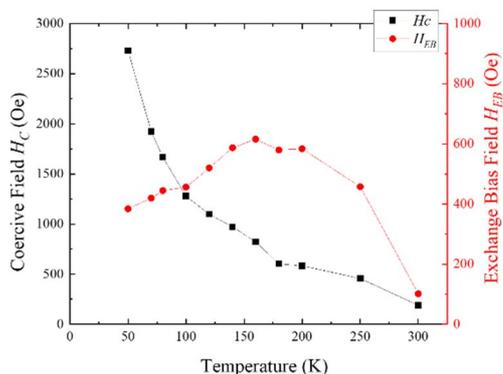


図 3 : $\text{Pt}(1.5\text{nm}) / \text{Co}(0.6\text{nm}) / \text{Pt}(0.5\text{nm}) / \text{Cr}_2\text{O}_3(375\text{nm})$ 積層膜の磁化曲線を SQUID-VSM にて測定した。測定前には、試料を 350K 程度まで加熱し、室温まで $E=+1.25\text{ kV}/\text{cm}$ 、 $H=+0.5\text{T}$ にて電場磁場冷却を行った。

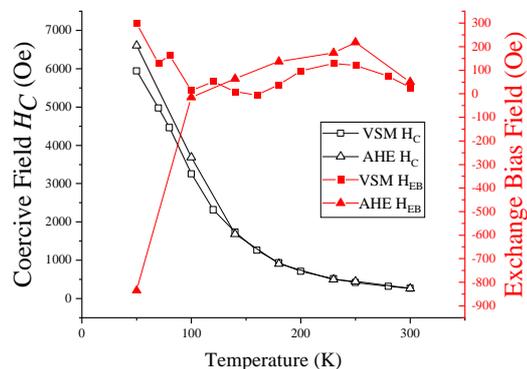


図 4 : $\text{Pt}(1.5\text{nm}) / \text{Co}(0.6\text{nm}) / \text{Pt}(0.5\text{nm}) / \text{Cr}_2\text{O}_3(225\text{nm})$ 積層膜の磁化曲線を SQUID-VSM にて測定した。また、4 プローバーを用いてホール効果を測定した。測定前には、試料を 350K 程度まで加熱し、室温まで $E=+1.25\text{ kV}/\text{cm}$ 、 $H=+0.5\text{T}$ にて電場磁場冷却を行った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Nagata T., Ikeda N.	4. 巻 8
2. 論文標題 Modulation in charge ordering structure of ferroelectric YbFe2O4 by magnetic ordering	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 075312 ~ 075312
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5026921	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 Nagata Tomoko	4. 巻 2
2. 論文標題 Review of thin films of RFe2O4 (R=Lu, Yb, Tm or In)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Material Science & Engineering International Journal	6. 最初と最後の頁 34 ~ 37
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15406/mseij.2018.02.00031	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 Nagata Tomoko, Hiraoka Kyoya, Okamoto Takuya, Iwata Nobuyuki	4. 巻 665
2. 論文標題 Crystal structure of YbFe2O4 films prepared under different partial oxygen pressure	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Thin Solid Films	6. 最初と最後の頁 96 ~ 98
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tsf.2018.09.012	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 Hara Shuta, Aisu Jumpei, Kato Masahiro, Aono Takashige, Sugawa Kosuke, Takase Kouichi, Otsuki Joe, Shimizu Shigeru, Ikake Hiroki	4. 巻 13
2. 論文標題 One-pot synthesis of monodisperse CoFe2O4@Ag core-shell nanoparticles and their characterization	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nanoscale Research Letters	6. 最初と最後の頁 176(1~7)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s11671-018-2544-z	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 Muhammady Shibghatullah, Kurniawan Yudhi, Ishiwata Seiya, Rousuli Awabaikeli, Nagasaki Toshiki, Nakamura Shogo, Sato Hitoshi, Higashiya Atsushi, Yamasaki Atsushi, Hara Yoshiaki, Rusydi Andriwo, Takase Kouichi, Darma Yudi	4. 巻 57
2. 論文標題 Electronic and Thermoelectric Properties of Layered Oxychalcogenides (BiO)CuCh (Ch = S, Se, Te)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 10214 ~ 10223
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.8b01396	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 榎本 翼・福井慎二郎・平戸剛志・小野寺 巧・永田知子・山本 寛・岩田展幸	4. 巻 117
2. 論文標題 酸化物単結晶基板上に成膜したCr2O3薄膜の結晶性向上のための成長条件探索	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術報告書 信学技報(IEICE Technical report),	6. 最初と最後の頁 11-14
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 平戸剛志・福井慎二郎・榎本 翼・小野寺 巧・永田知子・山本 寛・岩田展幸	4. 巻 117
2. 論文標題 Co/Pt/Cr2O3単結晶積層膜の結晶構造解析およびホール効果	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術報告書 信学技報(IEICE Technical report),	6. 最初と最後の頁 15-17
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 -

〔学会発表〕 計34件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 15件)

1. 発表者名 Y. Kubota, T. Tateno, H. Kashimoto, T. Sato, N. Iwata
2. 発表標題 Magnetic Properties of Ferromagnetic Materials/r-plane oriented Cr2O3 Multilayers grown on YAlO3(001) Substrate
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 K. Hiraoka, T. Okamoto, T. Teraji, K. Sakamoto, S. Yamada, N. Iwata
2. 発表標題 The Growth of YbFe ₂ O ₄ Thin Films Prepared by Pulsed Laser Deposition Method with Different Energy Density at the Target Surface and Different Oxygen Partial Pressure
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 岡本卓也, 平岡恭也, 寺地勇博, 坂本洸大, 岩田展幸
2. 発表標題 LaFeO ₃ /CaFeO _x 人工超格子および積層膜のCaFeO _x の酸化度およびLaFeO ₃ 膜厚が磁気特性に与える影響
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 平岡 恭也, 寺地 勇博, 岡本 卓也, 山田 隼平, 岩田 展幸
2. 発表標題 パルスレーザー堆積法を用いたYbFe ₂ O ₄ /Fe ₃ O ₄ 積層膜の作製
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 Nobuyuki Iwata, Takuya Okamoto, Kyoya Hiraoka, Yukiya Kubota, Hiroki Teraji and Hiroki Kashimoto
2. 発表標題 Investigation of Materials Design and Fabrication Technique of Oxides Films for Electric Field Driven Novel Devices
3. 学会等名 The 7th International Conference on Advanced Materials Science and Technology 2019 (ICAMST2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Kubota, T. Tateno, H. Kashimoto, T. Sato, N. Iwata
2. 発表標題 Growth and Exchange Bias Field Behavior of Ferromagnetic Metals / (1-102) oriented Cr2O3 Multilayers on YAlO3(001) Substrates
3. 学会等名 26th International Workshop on Oxide Electronics (iWOE26) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Ogawa, T. Kishida, T. Kasagami, T. Kobayashi, N. Iwata
2. 発表標題 成長中の自由電子レーザー照射によって面内配向およびカイラリティ制御された単層カーボンナノチューブの作製
3. 学会等名 第29回日本MRS年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Suzuki, H. Takehara, T. Kotani, N. Iwata
2. 発表標題 DC-RFマグネトロンスパッタリング法により作製したエピタキシャルCu-Ni (111) 合金上へのグラフェン成長
3. 学会等名 第29回日本MRS年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Hiraoka, T. Teraji, T. Okamoto, K. Sakamoto, S. Yamada, N. Iwata
2. 発表標題 パルスレーザー堆積法によるエピタキシャルYbFe2O4/ Fe3O4積層膜の作製と電気的特性
3. 学会等名 第29回日本MRS年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Kubota, H. Kashimoto, T. Sato, T. Tateno N. Iwata
2. 発表標題 YAlO ₃ 基板上に成膜したPt/Co/r-Cr ₂ O ₃ 積層膜における交換バイアス磁場のr-Cr ₂ O ₃ 膜厚依存性
3. 学会等名 第29回日本MRS年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Teraji, K. Hiraoka, K. Sakamoto, S. Yamada, T. Okamoto, N. Iwata
2. 発表標題 パルスレーザ堆積法によるYSZ(111)およびAl ₂ O ₃ (0001)基板上的YbFe ₂ O ₄ の薄膜作製
3. 学会等名 第29回日本MRS年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Okamoto, K. Sakamoto, K. Hiraoka, T. Teraji N. Iwata
2. 発表標題 CaFeO _x /LaFeO ₃ 人工超格子及び積層膜のCaFeO _x 層中のCaFeO ₃ 存在比率に対する磁気特性比較
3. 学会等名 第29回日本MRS年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Iwata, H. Nishikawa, K. Fujiwara and T. Yamamoto
2. 発表標題 Advanced Functional Oxides
3. 学会等名 日本MRS創立30周年記念シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nobuyuki Iwata, Takuya Okamoto, Kyoya Hiraoka, Xinweilong Li, Kazuki Hirose, Tomoko Nagata
2. 発表標題 CaFeOx / LaFeO3 Superlattices and/or Multilayers, Candidate Materials for Magnetic Property Controlled by Electric Field
3. 学会等名 7th International Symposium on Transparent Conductive Materials, 4th EMRS & MRS-J Bilateral Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nobuyuki Iwata*, Tsuyoshi Hirato, Takuya Okamoto, Kyoya Hiraoka, Yukiya Kubota, Tomoko Nagata
2. 発表標題 Fabrication of Novel Materials and its Magnetic Properties for Electric Field Driven Magnetic Memory
3. 学会等名 19th International Union of Materials Research Societies International Conference in Asia (IUMRS-ICA 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 N. Iwata, T. Okamoto, K. Hiraoka, X. Li, K. Hirose and T. Nagata
2. 発表標題 Induced Ferromagnetism and its Mechanism in CaFeOx / LaFeO3 Superlattices and Multilayers
3. 学会等名 第28回日本MRS年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 N. Iwata, T. Akazawa, S. Ohashi, H. Matsuyama, T. Koyama, H. Song, J. Geessinck, G. Koster, M. Huijben, G. Rijnders, T. Nagata, H. Yamamoto
2. 発表標題 Mechanism and Development of Induced Ferromagnetism at the Interface in CaFeOx / LaFeO3 Superlattices and Multilayers
3. 学会等名 International Union of Materials Research Societies - The 15th International Conference on Advanced Materials (IUMRS-ICAM 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1 . 発表者名 T. Nagata, Y. Watabe, T. Koyama, K. Nakayama, H. Yamamoto and N. Iwata
2 . 発表標題 Stoichiometric Study of Electronic Ferroelectric, YbFe ₂ O ₄ Film
3 . 学会等名 International Union of Materials Research Societies - The 15th International Conference on Advanced Materials (IUMRS-ICAM 2017) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 S. Fukui, T. Hirato, T. Nagata, H. Yamamoto and N. Iwata
2 . 発表標題 Fabrication and Structure Analysis of (Cr _{1-x} Fe _x) ₂ O ₃ Film by Sputtering Method
3 . 学会等名 International Union of Materials Research Societies - The 15th International Conference on Advanced Materials (IUMRS-ICAM 2017) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 T. Akazawa, S. Ohashi , H. Matsuyama, T. Koyama, H. Song, J. Geessinck, G. Koster, G. Rijnders, T. Nagata, H. Yamamoto, and N. Iwata
2 . 発表標題 Preparation and Magnetic Property of CaFeO ₃ /LaFeO ₃ Hetero-Structure Grown on SrTiO ₃ (001) and LaAlO ₃ (001) Substrates
3 . 学会等名 International Union of Materials Research Societies - The 15th International Conference on Advanced Materials (IUMRS-ICAM 2017) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 T. Koyama, S. Ohashi, T. Akazawa, H. Matsuyama, H. Song, T. Nagata, H. Yamamoto and N. Iwata
2 . 発表標題 Crystal Growth and Electric Property of SrFeO _x Thin Films Deposited by Pulsed Laser Deposition Method
3 . 学会等名 International Union of Materials Research Societies - The 15th International Conference on Advanced Materials (IUMRS-ICAM 2017) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 H. Matsuyama, C .Wang, H. Song, T. Akazawa, S. Ohashi, T. Koyama, T. Nagata, H. Yamamoto, N. Iwata
2 . 発表標題 Crystal Structure Analysis and Interface Electric Properties of LaMnO3/BiFeO3/SrRuO3Multilayered Thin Films Grown by Pulsed Laser Deposition Method
3 . 学会等名 International Union of Materials Research Societies - The 15th International Conference on Advanced Materials (IUMRS-ICAM 2017) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 S. Ohashi, H. Matsuyama ,T. Akazawa, T. Koyama, H, Song, J. Geessinck, G. Koster, M. Huijben, G. Rijnders, T. Nagata, H. yamamoto, and N. Iwata
2 . 発表標題 The Origin of Induced Ferromagnetism in [(CaFeOx)/(LaFeO3)] Artificial Superlattices
3 . 学会等名 International Union of Materials Research Societies - The 15th International Conference on Advanced Materials (IUMRS-ICAM 2017) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 H.Matsuyama, S. Ohashi, T. Koyama, T. Akazawa, H. Song, T. Nagata, H. Yamamoto, N. Iwata
2 . 発表標題 Crystal Structure Analysis and Magnetic / Electric Properties of [CaFeOx/BiFeO3] Superlattice Grown on SrTiO3(110) Substrate
3 . 学会等名 International Union of Materials Research Societies - The 15th International Conference on Advanced Materials (IUMRS-ICAM 2017) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 T.Hirato, S.Fukui, T.Nagata, H.Yamamoto, N.Iwata
2 . 発表標題 Exchange Bias Field of Co/Pt/r-oriented and c-oriented Cr2O3 Multilayer
3 . 学会等名 International Union of Materials Research Societies - The 15th International Conference on Advanced Materials (IUMRS-ICAM 2017) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 大橋 祥平 松山 裕貴 赤澤 孝徳 宋 華平 小山 智之 岡本 卓也 舘野 友優 永田 知子 山本 寛 岩田 展幸
2. 発表標題 CaFeOx / LaFeO3人工超格子界面に現れる誘起強磁性とその起源
3. 学会等名 電子情報通信学会 電子部品・材料研究会 (CPM)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松山 裕貴 大橋 祥平 小山 智之 赤澤 孝徳 宋 華平 舘野 友優 岡本 卓也 永田 知子 山本 寛 岩田 展幸
2. 発表標題 BiFe1-xMnxO3単相膜及び[CaFeOx/BiFe1-xMnxO3]人工超格子の面直方向に関する電気特性
3. 学会等名 電子情報通信学会 電子部品・材料研究会 (CPM)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 永田 知子 小野寺 巧 山本 寛 岩田 展幸
2. 発表標題 電子型強誘電体YbFe2O4薄膜の作製と化学当量性の評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 電子部品・材料研究会 (CPM)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 榎本 翼・福井慎二郎・平戸剛志・小野寺 巧・永田知子・山本 寛・岩田展幸
2. 発表標題 Investigation for Improvement of Crystalline Quality of Cr 2 O 3 Thin Film Deposited on Oxide Single Crystal Substrates
3. 学会等名 電子情報通信学会 電子部品・材料研究会 (CPM)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 平戸剛志・福井慎二郎・榎本 翼・小野寺 巧・永田知子・山本 寛・岩田展幸
2. 発表標題 Crystal structure analysis and Hall effect of Co/Pt/single crystalline Cr2O3 Multilayer
3. 学会等名 電子情報通信学会 電子部品・材料研究会 (CPM)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Nagata, T. Onodera, H. Yamamoto and N. Iwata
2. 発表標題 Fabrication of Electronic Ferroelectric YbFe2O4 Film under Stoichiometric Consideration
3. 学会等名 27th Annual Meeting of MRS-J (2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 S.Ohashi, H.Matsuyama, T.Akazawa, T.Koyama, T.Okamoto, T.Nagata, H.song, Y.Hiroshi, and N.Iwata
2. 発表標題 Electric Properties and The origin of induced Ferromagnetism in [(CaFeO _x) _n /(LaFeO ₃) _n] (n=1, 3, 5, 7) Artificial Superlattices
3. 学会等名 27th Annual Meeting of MRS-J (2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 H.Matsuyama, S.Ohashi, T.Koyama, T.Akazawa, T.Okamoto, T.Nagata, H.song, Y.Hiroshi, and N.Iwata
2. 発表標題 Electric Properties of BiFe1-xMnxO3 Films Related Superlattices G
3. 学会等名 27th Annual Meeting of MRS-J (2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 S. Fukui, T. Hirato, T. Nagata, H. Yamamoto and N. Iwata
2. 発表標題 Fabrication and Structure Analysis of (Cr1-xFex)2O3 Film by Sputtering Method
3. 学会等名 27th Annual Meeting of MRS-J (2017)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

http://yamanoya.ecs.cst.nihon-u.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	永田 知子 (NAGATA Tomoko) (00733065)	日本大学・理工学部・助教 (32665)	
研究分担者	高瀬 浩一 (TAKASE Kouichi) (10297781)	日本大学・理工学部・教授 (32665)	
研究協力者	木村 剛 (KIMURA Tsuyoshi) (80323525)	東京大学・創成科学研究科・教授 (12601)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	白土 優 (SHIRATSUCHI Yu) (70379121)	大阪大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授 (14401)	
研究協力者	有沢 俊一 (ARISAWA Shunichi) (00354340)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・その他部局等・グループリーダー (82108)	