

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 24 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03426

研究課題名(和文) 高強度レーザー反応場を利用した高次ナノ構造の高速化学気相析出

研究課題名(英文) Chemical vapor deposition of highly ordered nanostructures under an intense laser field

研究代表者

伊藤 暁彦 (ITO, Akihiko)

横浜国立大学・大学院環境情報研究院・准教授

研究者番号：20451635

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、高強度レーザー反応場での高速化学気相析出を利用した高次ナノ構造体のコーティングプロセスを確立した。アルミナ系およびフェライト系のナノ複合膜を合成し、結晶配向やナノ組織形成、機械的、光学的および磁気的性質を明らかにした。ハフニアや希土類セスキオキサイドは、顕著な自己配向を示し、この成果を基にこれら単結晶厚膜の高速気相合成プロセスを確立した。アルミナ-ハフニア系、アルミナ-希土類セスキオキサイド系において、高次ナノ構造体の形成に成功した。また、ストロンチウムヘキサフェライトやイットリウム鉄ガーネットの高速エピタキシャル成長に成功し、単結晶に匹敵する飽和磁化を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

セラミックス共晶体の合成は、2000℃以上の超高温融液からの凝固が常識である。もしセラミックス共晶体を気相から直接合成できれば、材料開発および組織設計の自由度が格段に高まり、(i) 共晶体の優れた特性をコーティング化して利用できる、(ii) プロセス温度を、溶融凝固法(融点)に対して半減できる、(iii) 非平衡の気相プロセスを駆逐することで熱力学的には難しい組成域・結晶相を利用した材料組織が設計できる、といった利点がある。これはコーティング分野において、新たな材料設計の可能性を拓くものであり、想定する応用先として、医療用高分解能撮像素子や過酷環境から基材を保護するコーティングがある。

研究成果の概要(英文)：Chemical vapor deposition of highly ordered nanostructures under an intense laser field improves freedom in design and material selection with following advantages: utilizing self-organized nanostructures as ceramic coatings, reducing processing temperature of single-crystalline materials by half in comparison to melt-solidification process, and designing coatings including non-thermodynamically stable phases and compositions. In this research project, alumina- and ferrite-based nanocomposite coatings have been synthesized and characterized in terms of mechanical, optical, and magnetic properties.

Hafnia coatings exhibited a self-orientation growth, and CVD route to transparent thick films of Eu-doped hafnia and lutetia for phosphors has been developed. Ceramic coatings with highly ordered nanostructures have been synthesized in alumina-hafnia, -lutetia, and -yttria systems. Epitaxially grown strontium hexaferrite and yttrium iron garnet showed excellent magnetic properties.

研究分野：無機材料合成

キーワード：化学気相析出 自己組織化 コーティング 配向制御 共晶

1. 研究開始当初の背景

材料の持つ性能を最大限引き出し、新たな機能を発現させるためには、材料組織を精緻に制御する必要がある。例えば、合金やセラミックスの溶融凝固においては、液相から樹枝状組織や共晶・共析組織が発達する。共晶組織は、単結晶様の構成相が複雑に絡み合う高次ナノ構造を呈し、優れた特性や物性応答を示す。本申請課題では Al_2O_3 系共晶材料に着目しているが、 Al_2O_3 は硬さと透明性に優れ、多くの酸化物と共晶系をなす実用材料群である。本研究成果を基に、将来的に様々な実用研究への展開が期待できる。

セラミックス共晶体の合成は、 2000°C 以上の超高温融液からの凝固が常識である。もしセラミックス共晶体を気相から直接合成できれば、材料開発および組織設計の自由度が格段に高まり、次のような利点がある：(i) 共晶体の優れた特性をコーティング化して利用できる、(ii) プロセス温度を、溶融凝固法（融点）に対して半減できる、(iii) 非平衡の気相プロセスを駆逐することで熱力学的には難しい組成域・結晶相を利用した材料組織が設計できる。

研究代表者は、高強度レーザー反応場を利用した高速化学気相析出法によるセラミックスコーティングの結晶配向成長に関する研究を進めてきた。本手法で合成したコーティングは、顕著な自己配向成長や樹枝状成長を示す。これは、レーザー反応場では、過飽和原料雰囲気下でも気相-膜界面での反応性が失われず、従来法を卓越する結晶成長が起こるためである。研究代表者は、合成した膜の樹枝状組織を丹念に調べていく中で、凝固組織との類似性を見出し、気相からの共晶成長を着想した。

共晶反応を用いた組織設計の概念は、溶融凝固法の分野が先んじており、鉄鋼材料を筆頭に成熟した学術・産業領域になっている。本研究成果は、溶融凝固法で培われてきた材料組織設計の概念を気相析出法に展開するものであり、コーティング分野において、新たな材料設計の可能性を拓くものである。

2. 研究の目的

本研究課題では、高強度レーザー反応場での高速化学気相析出を利用した高次ナノ構造体のコーティングプロセスを確立することを目的とする。これは、従来の溶融法を用いた共晶組織の形成手法とは異なる、新しい着想によるコーティングの組織設計を示すものである。具体的には、 Al_2O_3 - HfO_2 系、 Al_2O_3 - Lu_2O_3 系、 Al_2O_3 - Y_2O_3 系、 Fe_2O_3 - Y_2O_3 系、 Fe_2O_3 - SrO 系を対象とし、これらナノ構造体膜の気相成長や、機械的、光学および磁気的特性を明らかにする。

3. 研究の方法

出発原料には、各構成元素の有機金属化合物を用いる。アルコキシドや β -ジケトン錯体は、大気中で比較的安定であり、昇華および気化時の蒸気圧も高いことから、本手法の前駆体として好適である。出発原料は所定のモル比になるように気化させ、原料ガスは、Ar ガスを用いて基板直上に搬送する。反応ガスとして酸素ガスを扱い、二重ノズル管を用いて成膜チャンパー内に導入し、基板直前で原料ガスと混合する。成膜チャンパーは、真空ポンプを用いて排気し、成膜時の炉内圧力は、 0.2 – 1.6 kPa とした。

レーザー種には、 CO_2 レーザーおよび半導体レーザーを用い、それぞれ ZnS 窓および石英ガラス窓を通して成膜チャンパー内部に導入する。レーザービームは、レンズで拡大して基板全体に照射する。成膜温度は、赤外放射温度計を用いて測定した。成膜用の基板として、多結晶 AlN 基板、溶融石英ガラス基板、 α - Al_2O_3 単結晶、MgO 単結晶、 MgAl_2O_4 単結晶、 $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (YAG) 単結晶、 $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ (GGG) 単結晶、 SrTiO_3 (STO) 単結晶を用いた。

得られたコーティング膜の結晶相は、X 線回折 (XRD: X-ray diffraction) を用いて同定し、配向度は、X 線回折強度を基に、配向係数を算出して評価を行った。面内配向性は、極点 X 線測定により評価した。得られた膜の微細組織は、走査型電子顕微鏡 (SEM: scanning electron microscope) および透過型電子顕微鏡 (TEM: transmission electron microscope) を用いて観察した。膜の組織は、電子線マイクロプローブアナライザ (EPMA: electron probe micro analyzer)、または SEM および TEM に備え付けられたエネルギー分散型 X 線分光装置 (EDX: energy-dispersive X-ray spectroscopy) を用いて計測した。化学結合状態は、X 線光電子分光法 (XPS: X-ray photoelectron microscopy) により調べた。光学的特性は、紫外可視分光光度計 (UV-Vis-NIR spectrometer) および蛍光分光光度計 (PL: photoluminescence spectrometer)、磁気的特性は、SQUID 磁束計 (superconducting quantum interference device magnetometer) およびパルス磁化測定装置を用いて測定した。機械的特性は、ナノインデントを用いたマイクロカンチレバー法により評価した。

4. 研究成果

本成果報告書では、高強度レーザー反応場での高速化学気相析出 (CVD: chemical vapor deposition) を利用した高次ナノ構造体のコーティングプロセスに関する研究成果のうち、特に $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-HfO}_2$ 系、 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Lu}_2\text{O}_3$ 系、 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Y}_2\text{O}_3$ 系、 $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Y}_2\text{O}_3$ 系、 $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-SrO}$ 系に関する研究成果について報告する。

概要 HfO_2 や希土類セスキオキไซด์ ($\text{Lu}_2\text{O}_3, \text{Y}_2\text{O}_3$) は顕著な自己配向成長を示し、この実験データを基に HfO_2 や Lu_2O_3 単結晶の高速気相合成プロセスを確立した。また、 Al_2O_3 との複合化により、高次ナノ構造体の形成を認めた。一方、 $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ (SrM) や $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ (YIG) の高速エピタキシャル成長に成功し、単結晶に匹敵する飽和磁化を確認した。

(1) HfO_2 および Lu_2O_3

HfO_2 は、融点が高く、靱性や遮熱性に優れた高温構造材料である。切削工具向けの硬質コーティングや航空機向けターボファンエンジンの耐環境性コーティングへの応用が期待される。本研究課題では、 HfO_2 の化学気相析出に関する研究を進める中で、単斜晶 HfO_2 が自発的に結晶方位を揃えて気相成長する自己配向成長効果を見出した (図 1)。熱 CVD 法とレーザー加熱 CVD 法を用いて HfO_2 膜を合成し、それぞれの CVD プロセスにおいて、成膜温度が HfO_2 膜の結晶配向や微細組織、成膜速度に与える影響を明らかにした。特に、 c 面配向 HfO_2 膜については、透過型電子顕微鏡を用いた組織観察を行い、 c 面配向 HfO_2 膜を構成する柱状晶は単結晶様であることを明確にした。また、自己配向成長効果を、結晶学の観点から考察した。

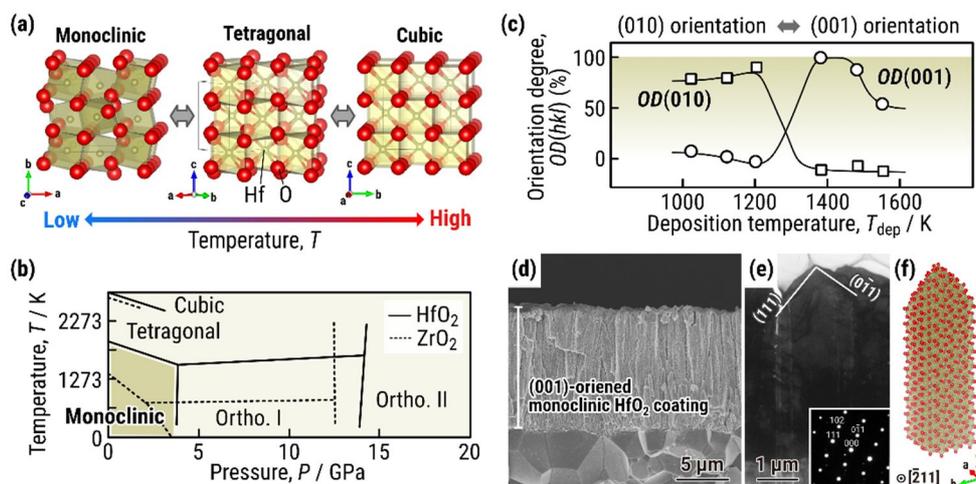


図 1 HfO_2 の (a) 多形と (b) 圧力-温度相図。 (c-f) 単斜晶 HfO_2 の自己配向成長。
(S. Matsumoto, Y. Kaneda, and A. Ito: *Ceram. Int.* **46** (2020) 1810–1815.)

また、 HfO_2 や Lu_2O_3 は、ワイドバンドギャップ (5.8 および 5.5 eV)、高密度 (10.1 および 9.5 Mg m^{-3})、高有効原子番号 (67.3 および 67.4) を示し、シンチレーターやレーザー向けのホスト光学材料として注目される。しかし、これらの材料は、超高融点 (それぞれ 3031 および 2763 K) であり、熔融凝固法により単結晶セラミックスを育成するためには大きなエネルギーが必要となり、超高温融液の保持も簡単ではない。近年、セラミックス粉末を焼結することで、単結晶に匹敵する透明多結晶セラミックスを製造する技術が注目されるが、優れた透光性を引き出すためには、原料粉末の調整や予備処理のノウハウの有無が高い障壁となる。また、特に HfO_2 は、温度によって単斜晶 正方晶 立方晶の間で可逆的に相転移するため (図 1)、熔融凝固法や焼結法では光学結晶を合成することが困難であった。

本研究課題では、単斜晶 HfO_2 および立方晶 Lu_2O_3 の透明厚膜の高速化学気相析出に成功した (図 2)。Hf や Lu 原料ガスとともに Eu 原料ガスを同時供給することで、 Eu^{3+} イオンを HfO および Lu_2O_3 中に均一にドーピングすることが可能であり、紫外線照射下にて Eu^{3+} イオンの $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_J$ 遷移に起因する顕著な赤色蛍光を示す透明蛍光体厚膜が得られた。蛍光発光および蛍光励起スペクトルは、VRBE (Vacuum Referred Binding Energy) スキームおよび Dieke ダイアグラムとともに考察した。 Eu^{3+} イオンは、配位子場環境によって $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_J$ 遷移の発光強度比が異なることが知られており、蛍光スペクトルからも単斜晶 HfO_2 の気相成長を確認できた。一連の研究成果は、本手法がセラミックス光学結晶の迅速製造プロセスとして有用であることを示すものである。

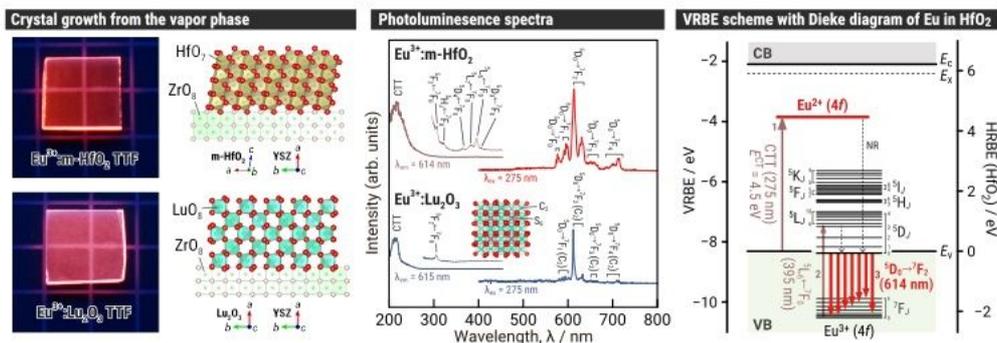


図2 単斜晶 HfO₂ および立方晶 Lu₂O₃ の透明厚膜の高速化学気相析出。
(S. Matsumoto and A. Ito: *Opt. Mater. Express* **10** (2020) 899–906.)

(2) Al₂O₃–HfO₂ 系、Al₂O₃–Lu₂O₃ 系、Al₂O₃–Y₂O₃ 系

Al₂O₃ と HfO₂ および RE₂O₃ (RE: Lu, Y, Yb 等の希土類元素) は、共晶型の平衡状態図をとる。セラミックスの熔融凝固においては、液相から樹枝状組織や共晶・共析組織が発達する。共晶組織は、単結晶様の構成相が複雑に絡み合う高次ナノ構造を呈し、優れた特性や物性応答を示す。中でも、Al₂O₃ 系セラミックスの共晶組織は、高温強度に優れる構造材料や発光効率に優れる蛍光材料として期待される。

まず、Al₂O₃–HfO₂ 系において、種々の条件で Al₂O₃–HfO₂ 系複合膜を合成した (図 3)。Al(acac)₃ および Hf(acac)₄ それぞれの気化量を制御することにより、Al₂O₃–HfO₂ 系複合膜の組成を制御できることを、EDX 分析によって明らかにした。合成した膜の結晶相は、α-Al₂O₃、単斜晶 HfO₂ および正方晶 HfO₂ であり、一部の膜中には、準安定相の正方晶 HfO₂ が室温まで安定化されていた。既報の正方晶 HfO₂ における臨界結晶子サイズ (4 nm) に比べ、粒径が 12–36 nm と大きい領域でも、40 mol% Al₂O₃ 以上で合成した Al₂O₃–HfO₂ 膜中には正方晶 HfO₂ が存在していることから、本研究における正方晶安定化は、Al₂O₃ マトリクスによるものであると推察される。原料ガス中の Al₂O₃ 分率を変えることで、単斜晶 HfO₂ の樹枝状結晶中に α-Al₂O₃ ナノ粒子が分散したナノ複合膜、α-Al₂O₃ 柱状晶中に単斜晶 HfO₂ ロッド状結晶が分散したナノ複合膜、α-Al₂O₃ 柱状晶中に単斜晶および正方晶 HfO₂ のナノ粒子が分散したナノ複合膜であった。以上の結果から、化学気相析出法を用いたロッド状ナノコンポジット膜の合成に成功した。

Al₂O₃–Y₂O₃ 系においても、種々の条件で Al₂O₃–Y₂O₃ 系複合膜を合成した。Al(acac)₃ および Y(dpm)₃ それぞれの気化量を制御することにより、Al₂O₃–Y₂O₃ 系複合膜の組成を制御できた。原料ガス中の Y₂O₃ 分率の上昇に伴い、膜の結晶相は、α-Al₂O₃、γ-Al₂O₃、Y₃Al₅O₁₂ (YAG)、YAlO₃ (YAP)、Y₂Al₄O₉ (YAM)、単斜晶 Y₂O₃、立方晶 Y₂O₃ へと変化した。また、YAG 単結晶および α-Al₂O₃ 単結晶基板上では、共晶組織を有する YAG–α-Al₂O₃ 複合膜が得られた。さらに、共晶組織を有する YAG–α-Al₂O₃ 複合膜 においては、原料ガス中の Y₂O₃ 分率を変化させることで、母相と分散相を入れ替えることができた。Al₂O₃–Lu₂O₃ 系においても、同様の組織が観察されており、得られた実験結果を順次まとめて原著論文として公開していく。

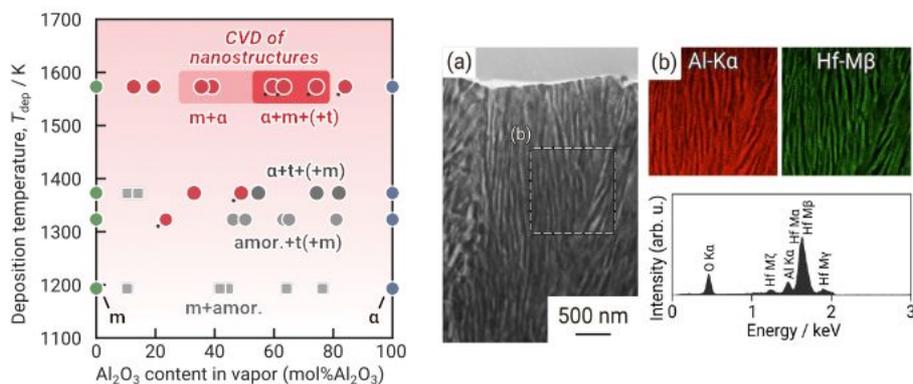


図3 (左) Al₂O₃–HfO₂ 系複合膜の生成相マップと (右) 分析電顕観察結果。

(3) Fe₂O₃-Y₂O₃ 系

イットリウムフェライト系化合物は、物質の磁化に伴い旋光性や電気分極を発現する機能性材料群である。中でも Y₃Fe₅O₁₂ (YIG) は、大きなファラデー効果を示し、YIG 中を透過する光の偏光面を回転させることができることから、レーザー光源を戻り光から保護する光アイソレータとして、レーザー加工や光通信システムで実用される。YIG 結晶は主に、液相エピタキシー (LPE: liquid phase epitaxy) 法を用いて生産されるが、量産性にはやや難がある。一方、YIG 薄膜に関する基礎研究では、近年、パルスレーザー蒸着法を用いて (111)Gd₃Ga₅O₁₂(GGG) 単結晶基板上に合成した YIG 薄膜において飽和磁化増大が報告されているが、飽和磁化増大の機序は明らかになっていない。

本研究課題では、MOCVD 法による YIG 厚膜の高速エピタキシャル成長に関する研究に着手するにあたり、YIG を (100) や (111) といった低指数面へ高速成長させた場合、ガーネット構造は結晶学的に異方向性が小さいことから、マルチドメイン成長によって高品質の結晶を得ることは困難であると推察した。そこで、高指数面を持つ (420)Y₃Al₅O₁₅(YAG) 単結晶基板を、敢えて下地基板として選択した。(420) YAG 単結晶基板上に、(420) YIG 厚膜が cube-on-cube の関係でエピタキシャル成長し、成膜速度は毎時 33 μm に達した。SQUID 磁化測定により、(420) YIG 厚膜は軟磁性的な磁化挙動を示し、室温における飽和磁化は 202 emu cm⁻³ に達した (図 4)。XPS 測定により、YIG 結晶中の Fe²⁺ の存在が、飽和磁化増大に寄与していることが示唆された。

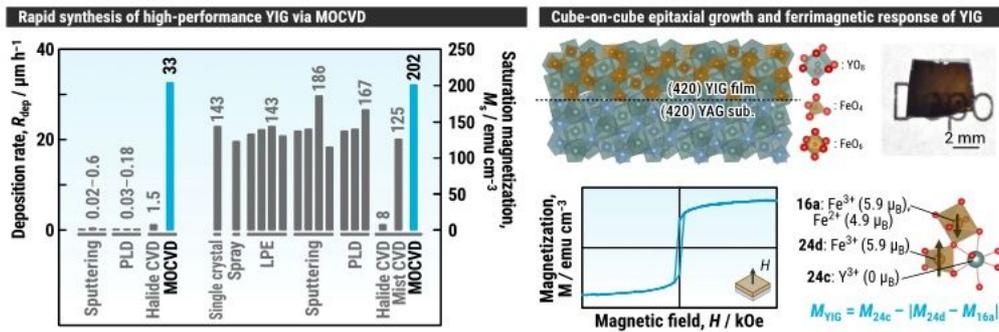


図 4 イットリウム鉄ガーネット (YIG) 膜の高速化学気相析出。
(H. Aida, R. Watanuki, and A. Ito: *submitted to journal*)

(4) Fe₂O₃-SrO 系

デジタルデータ流通量の増加に伴い、大容量データを長期保管するために磁気記録媒体の記録密度や信頼性の向上が求められている。本研究課題では、高強度レーザー場での MOCVD を用いた高速気相合成プロセスを M 型 Sr 六方晶フェライト (SrM) 膜に適用し、その最適合成条件や磁気特性を報告した (図 5)。サファイア基板上への高速エピタキシャル成長に成功し、観察された成膜速度 (毎時 14 μm) は、従来の液相法や物理気相成長法の 25-1400 倍に達する一方、合成した SrM 膜の飽和磁化 (380 emu cm⁻³) は単結晶 (404 emu cm⁻³) に匹敵する値に達した。

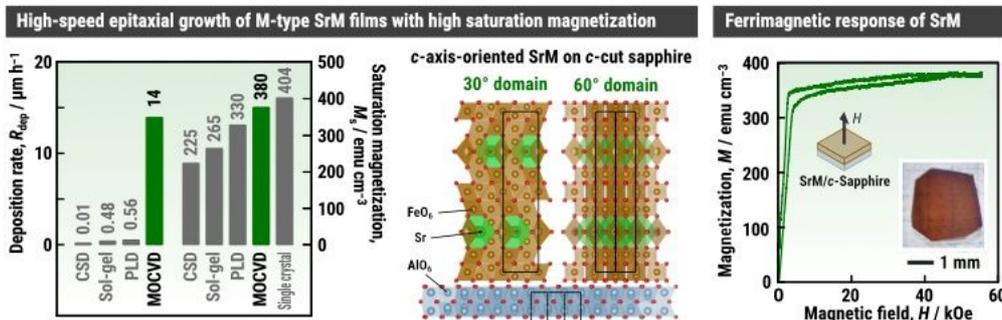


図 5 M 型 Sr 六方晶フェライト (SrM) 膜の高速化学気相析出。
(K. Kato, R. Watanuki, and A. Ito: *Mater. Lett.* **274** (2020) 128046.)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 K. Kato, R. Watanuki, A. Ito	4. 巻 274
2. 論文標題 High-speed Epitaxial Growth of M-type Strontium Hexaferrite Films on Sapphire using Metal-Organic Chemical Vapor Deposition and Their Magnetic Property	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Letters	6. 最初と最後の頁 128046
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matlet.2020.128046	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 J. Chen, A. Ito, T. Goto	4. 巻 177
2. 論文標題 High-speed epitaxial growth of SrTiO ₃ transparent thick films composed of close-packed nanocolumns using laser chemical vapor deposition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Vacuum	6. 最初と最後の頁 109424
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.vacuum.2020.109424	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 S. Matsumoto, A. Ito	4. 巻 10
2. 論文標題 Chemical vapor deposition route to transparent thick films of Eu ³⁺ -doped HfO ₂ and Lu ₂ O ₃ for luminescent phosphors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optical Materials Express	6. 最初と最後の頁 899-906
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OME.386425	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 A. Ito, M. Sekiyama, T. Hara, T. Goto	4. 巻 46
2. 論文標題 Self-oriented growth of -Yb ₂ Si ₂ O ₇ and X ₁ /X ₂ -Yb ₂ Si ₅ O ₁₅ coatings using laser chemical vapor deposition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Ceramics International	6. 最初と最後の頁 9548-9553
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ceramint.2019.12.217	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 S. Matsumoto, Y. Kaneda, A. Ito	4. 巻 46
2. 論文標題 Highly self-oriented growth of (020) and (002) monoclinic HfO ₂ thick films using laser chemical vapor deposition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Ceramics International	6. 最初と最後の頁 1810-1815
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ceramint.2019.09.156	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 A. Ito, Y. Morishita	4. 巻 258
2. 論文標題 Selective self-oriented growth of (200), (002), and (020) -WO ₃ films via metal-organic chemical vapor deposition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Letters	6. 最初と最後の頁 126817
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matlet.2019.126817	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 L.Q. An, L. Wang, L. Wang, R. Fan, A. Ito, T. Goto	4. 巻 40
2. 論文標題 Fabrication of Lu ₂ Ti ₂ O ₇ -Lu ₃ NbO ₇ solid solution transparent ceramics by spark plasma sintering and their electrical conductivities	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the European Ceramic Society	6. 最初と最後の頁 4589-4594
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jeurceramsoc.2020.05.008	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 伊藤暁彦	4. 巻 55
2. 論文標題 レーザーを援用した化学気相析出法によるセラミックスの自己配向成長	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 セラミックス	6. 最初と最後の頁 98-102
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 伊藤暁彦, 後藤健	4. 巻 55
2. 論文標題 SiC繊維表面への界面制御コーティング技術と力学特性評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 セラミックス	6. 最初と最後の頁 431-435
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 Masakazu Ikai, Akihiko Ito	4. 巻 45
2. 論文標題 Self-oriented growth of (020) MgSiO ₃ -orthopyroxene and (002) -Mg ₂ SiO ₄ films using metal-organic chemical vapor deposition	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Ceramics International	6. 最初と最後の頁 13567-13570
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ceramint.2019.03.212	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 伊藤暁彦	4. 巻 55
2. 論文標題 レーザーを利用した高速CVDによるセラミックコーティングの新展開	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 溶射	6. 最初と最後の頁 176-182
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 -

〔学会発表〕 計48件 (うち招待講演 11件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 松本昭源, 多々見純一, 伊藤暁彦
2. 発表標題 化学気相析出法による単斜晶HfO ₂ 膜の合成とその機械的特性評価
3. 学会等名 日本セラミックス協会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 A. Ito
2. 発表標題 Chemical Vapor Deposition and Microcantilever Beam Testing of Alumina-hafnia Eutectic Composite Films
3. 学会等名 The American Ceramic Society (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 A. Ito
2. 発表標題 High-speed Epitaxial Growth of Functional Oxide Films Using Metal-organic Chemical Vapor Deposition and Their Luminescence and Magnetic Responses
3. 学会等名 The American Ceramic Society (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 相田穂乃香, 綿貫竜太, 伊藤暁彦
2. 発表標題 Yフェライトのエピタキシャル成長における結晶相制御と磁気特性
3. 学会等名 セラミックフェスタ in神奈川実行委員会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松本昭源, 伊藤暁彦
2. 発表標題 ハフニア膜の高速配向成長およびマイクロカンチレバー法による機械的特性評価
3. 学会等名 セラミックフェスタ in神奈川実行委員会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤起基, 綿貫竜太, 伊藤暁彦
2. 発表標題 化学気相析出法を用いたSrフェライトの合成と磁気特性
3. 学会等名 セラミックフェスタin神奈川実行委員会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Matsumoto, A. Ito
2. 発表標題 Preparation of HfO ₂ -Al ₂ O ₃ composite films using chemical vapor deposition and their nanostructures
3. 学会等名 MRS-J (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 後藤健, 伊藤暁彦, 松田哲志
2. 発表標題 SiC/SiC複合材料向けYbシリケート繊維コーティングの開発
3. 学会等名 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤暁彦, 松本昭源, 後藤健, 多々見純一
2. 発表標題 化学気相析出法による耐環境性コーティングの合成とその機械特性評価
3. 学会等名 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Ito, S. Matsumoto
2. 発表標題 Optical and Mechanical Properties of HfO ₂ Films Prepared Using Metal organic Chemical Vapor Deposition
3. 学会等名 The Ceramic Society of Japan, and the Korean Ceramic Society (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Matsumoto, J. Tatami, A. Ito
2. 発表標題 Preparation of HfO ₂ Thick Films Using Chemical Vapor Deposition and Their Mechanical Properties Measured with Microcantilever Beam
3. 学会等名 The Ceramic Society of Japan (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Ito, T. Hara, K. Goto
2. 発表標題 Multilayered Ytterbium Silicate Coatings on SiC fiber using Chemical Vapor Deposition for SiC Ceramic Matrix Composite
3. 学会等名 The Ceramic Society of Japan (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松本昭源, 多々見純一, 伊藤暁彦
2. 発表標題 単斜晶HfO ₂ 厚膜の自己配向成長とマイクロカンチレバー試験片を用いた機械的特性評価
3. 学会等名 日本セラミックス協会 関西支部 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤瑛美香, 伊藤暁彦
2. 発表標題 PLD法を用いたLu ₂ Ti ₂ O ₇ 薄膜の合成とその電気的特性
3. 学会等名 日本セラミックス協会 関東支部
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松本昭源, 多々見純一, 伊藤暁彦
2. 発表標題 単結晶HfO ₂ 膜の化学気相析出とマイクロカンチレバ 法による機械的特性評価
3. 学会等名 日本セラミックス協会 関東支部
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤起基, 伊藤暁彦
2. 発表標題 MOCVDを用いたSrFe ₂ O ₇ 膜の合成
3. 学会等名 日本セラミックス協会 関東支部
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 相田穂乃香, 綿貫竜太, 伊藤暁彦
2. 発表標題 化学気相析出法によるY ₃ Fe ₅ O ₁₂ -YFeO ₃ 系膜の合成と磁気特性評価
3. 学会等名 日本セラミックス協会 関東支部
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北村朱里, 伊藤暁彦
2. 発表標題 MOCVDを用いたTiO ₂ /グラファイト複合材料の合成とその光触媒活性
3. 学会等名 日本セラミックス協会 関東支部
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 相田穂乃香, 伊藤暁彦
2. 発表標題 MOCVD法によるYIGおよびYIP 膜の合成と磁気特性
3. 学会等名 日本セラミックス協会 エンジニアリングセラミックス部会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松本昭源, 伊藤暁彦
2. 発表標題 ハフニア膜の気相合成とマイクロカンチレバー試験片を用いた機械的特性評価
3. 学会等名 日本セラミックス協会 エンジニアリングセラミックス部会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤起基, 伊藤暁彦
2. 発表標題 MOCVD法によるSrFe ₂ O ₇ 膜の合成と磁気特性
3. 学会等名 日本セラミックス協会 エンジニアリングセラミックス部会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Ito
2. 発表標題 Ceramic Coatings for Structural and Functional Applications
3. 学会等名 横浜国立大学 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akihiko Ito, Tomohiro Hara
2. 発表標題 Chemical Vapor Deposition of Ytterbium Silicate Coatings for SiC Ceramic Matrix Composite
3. 学会等名 ICACC 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松本昭源, 伊藤暁彦
2. 発表標題 化学気相析出法によるHfO ₂ -Al ₂ O ₃ 共晶系ナノ複合膜の合成
3. 学会等名 日本セラミックス協会 2019年年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 多々見純一, 井本有美, 伊藤暁彦, 飯島志行, 矢矧束穂, 高橋拓実
2. 発表標題 マイクロカンチレバー試験片で測定したSi-C-Oコーティングのメソスケール機械的特性
3. 学会等名 日本セラミックス協会 2019年年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池田憲優, 後藤 健, 向後保雄, 井上 遼, 伊藤暁彦, 伊海雅和
2. 発表標題 ZrO ₂ 界面相を有するSiC/SiCミニコンポジットの作製と界面力学特性の評価
3. 学会等名 日本セラミックス協会 2019年年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松本昭源, 伊藤暁彦
2. 発表標題 化学気相析出法によるHfO ₂ -Al ₂ O ₃ 共晶セラミックス被膜の合成
3. 学会等名 第13回セラミックフェスタin神奈川
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松本昭源, 伊藤暁彦
2. 発表標題 化学気相析出法を用いたHfO ₂ -Al ₂ O ₃ 共晶系ナノ複合膜の合成
3. 学会等名 日本セラミックス協会 関西支部第21回 若手フォーラム(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松本昭源, 伊藤暁彦
2. 発表標題 MOCVD を用いたHfO ₂ -Al ₂ O ₃ 共晶系ナノ複合膜の合成における成膜温度が膜組織に及ぼす影響
3. 学会等名 日本セラミックス協会 関東支部研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松本昭源, 伊藤暁彦
2. 発表標題 MOCVD を用いたHfO ₂ -Al ₂ O ₃ 共晶系ナノ複合膜の合成
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第31回秋期シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 原 朋弘, 伊藤暁彦
2. 発表標題 化学気相析出法によるYbシリケートの繊維コーティング
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第31回秋期シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 後藤 健, 伊藤暁彦, 高橋誠治, 松田哲志, 北岡諭, 後藤孝
2. 発表標題 SiC/SiC向けYbシリケート繊維コーティングの開発
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第31回秋期シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 池田憲優, 松村佳子, 後藤 健, 向後保雄, 井上 遼, 伊藤暁彦, 伊海雅和
2. 発表標題 ZrO ₂ 界面相を有するSiC/SiCミニコンポジットの作製と界面力学特性の評価
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第31回秋期シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小澤祐哉, 伊藤暁彦
2. 発表標題 MOCVD 法による自己配向Y2O3膜の合成
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第31回秋期シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤暁彦
2. 発表標題 気相法による新しい光学材料の合成法の開発
3. 学会等名 第13回次世代先端光科学研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松本昭源, 伊藤暁彦
2. 発表標題 気相からのHfO2-Al2O3共晶系ナノ複合膜の合成
3. 学会等名 2018年度エンジニアリングセラミックス若手セミナー
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤起基, 伊藤暁彦
2. 発表標題 MOCVD法によるSrO-Fe2O3系膜の合成
3. 学会等名 先進セラミックス研究会 若手セミナー-2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 北村朱里, 伊藤暁彦
2. 発表標題 MOCVD法によるTiO ₂ 膜コーティング
3. 学会等名 先進セラミックス研究会 若手セミナー-2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小澤祐哉, 伊藤暁彦
2. 発表標題 MOCVD法によるエピタキシャルY ₂ O ₃ 膜の合成
3. 学会等名 先進セラミックス研究会 若手セミナー-2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 原 朋弘, 伊藤暁彦
2. 発表標題 化学気相析出法によるYbシリケートの繊維コーティング
3. 学会等名 先進セラミックス研究会 若手セミナー-2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 相田穂乃香, 伊藤暁彦
2. 発表標題 MOCVD法によるY ₂ O ₃ -Fe ₂ O ₃ 系薄膜の合成
3. 学会等名 先進セラミックス研究会 若手セミナー-2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森下裕貴, 伊藤暁彦
2. 発表標題 MOCVD法を用いたW03膜の合成
3. 学会等名 先進セラミックス研究会 若手セミナー-2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤暁彦
2. 発表標題 ナノ構造制御した高機能ナノ複相膜コーティング技術
3. 学会等名 JSTイノベーション・ジャパン2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akihiko Ito
2. 発表標題 Chemical Vapor Deposition of Nanostructured Ceramic Coatings
3. 学会等名 ISAC-6 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akihiko Ito
2. 発表標題 Nanostructured Ceramic Coatings Synthesized by Metal-Organic Chemical Vapor Deposition
3. 学会等名 ICACC 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤暁彦
2. 発表標題 気相法とレーザープロセスを活用したセラミックスコーティング
3. 学会等名 第6回バルクセラミックス若手セミナー（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松本昭源、伊藤暁彦
2. 発表標題 化学気相析出法によるハフニア厚膜の高速合成
3. 学会等名 第6回バルクセラミックス若手セミナー
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Akihiko Ito
2. 発表標題 High-speed Structural Control for Functionalization of Various Oxide Films
3. 学会等名 ICMCTF-2017（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計4件

産業財産権の名称 セラミックス被膜とその製造方法	発明者 伊藤暁彦, 松本昭源	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-058685	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 セラミックス蛍光体およびセラミックス蛍光体の製造方法	発明者 伊藤暁彦, 松本昭源, 柳田健之, 河口範明	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-048265	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 繊維強化複合材料に利用される耐熱環境性の被覆強化繊維	発明者 中村, 小谷, 後藤, 伊藤暁彦, 北岡, 横 江, 松田	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願 PCT/JP2018/04342	出願年 2018年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 強化繊維を被覆する耐環境性コーティングおよび被覆方法	発明者 中村, 小谷, 後藤, 伊藤暁彦, 北岡, 横 江, 松田	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2017-226714	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

<p>ITO LAB YNU - 横浜国立大学大学院 環境情報研究院 伊藤研究室 https://itonium.net/ynu/</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
研究分担者	吉川 彰 (YOSHIKAWA Akira) (50292264)	東北大学・金属材料研究所・教授 (11301)	
研究分担者	後藤 孝 (GOTO Takashi) (60125549)	長岡技術科学大学・工学研究科・特任教授 (13102)	
研究分担者	鎌田 圭 (KAMADA Kei) (60639649)	東北大学・未来科学技術共同研究センター・准教授 (11301)	
研究分担者	且井 宏和 (KATSUI Hirokazu) (70610202)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・材料・化学領域・主任研究員 (82626)	