

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 17 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420697

研究課題名(和文) 極過酷ヒートショック環境に耐えられるセラミックス厚膜の開発

研究課題名(英文) Development of thick ceramics film with structural duration property in ultimate heat-shock environment

研究代表者

中村 淳(Nakamura, Atsushi)

長岡技術科学大学・工学部・客員准教授

研究者番号：90725649

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、30000 /sの極過酷ヒートショック環境に耐えられるセラミックス厚膜の開発を目標に研究を実施した。当初の計画以上の成果を得ることができた。H26年度には専用回転機の導入により、極過酷ヒートショック金属酸化物のモデルとしてSUS基材上のY2O3膜の熱履歴および熱衝撃耐性を明らかにした。H27年度にはSUS基材上のEr2O3膜の熱衝撃耐性から普遍性の証左を得た。H28年度には低融点材料であるアルミニウム合金上にも極過酷ヒートショック環境に耐えられるセラミックス膜を得た。同時にH26-28年度を通じて次世代のTBCコーティング用の新規キレート材料の創製にも成功し、学会発表も行った。

研究成果の概要(英文)：We attempted to develop thick ceramic film with structural duration property in 30000 /s high heat-shock environment such as thermal barrier coatings(TBC). The heat-shock properties of metal-oxide films synthesized from a metal-EDTA complex were investigated. Y2O3 films were synthesized on stainless-steel (SUS) substrate from Y-EDTA through the combustion of H2-O2 gas. A cyclic heat-shock test was conducted on the fabricated Y2O3 films through exposure to the H2-O2 flame. Although the number of cross-sectional cracks, crack lengths, and cracks per unit area was increased by the heat shock, delaminations were not observed in the Y2O3 films. Same phenomena were observed in Er2O3 on SUS substrate in second year. Furthermore, we accomplished to deposit metal oxide with high heat-shock property film on aluminum alloy. These results show that the metal oxide films with chelate materials have high thermal-shock resistance and are promising candidate for as TBC.

研究分野：有機化学

キーワード：熱衝撃耐性 イットリア膜 エルビア膜 アルミニウム合金 キレート材料

1. 研究開始当初の背景

航空宇宙機器向けコーティング層の研究は、ヒートショック現象との戦いの歴史といえる。高温や低温に曝した時、コーティング材と基材の熱膨張係数の差や熱的・機械的な応力によって、コーティング層中に応力が残存する。この残留応力は、クラックや亀裂を生じさせ、酸化層を剥離ないし破壊する。

航空宇宙機器などへのコーティングでは、熱遮蔽コーティング(TBC)が有名である。電子ビーム物理蒸着(EB-CVD)法、プラズマ溶射法や高速ガス炎溶射(HVOF)法が用いられている。材料としては、セラミックマトリックス複合材料(CMC)Aが主流である。①トップコート、②ボンドコート、③金属基材の3層からなる。酸化物や炭化物厚膜を合金や炭素基質材料と複合し、高温強度と耐熱衝撃性が向上させ、高温から基材を保護する。しかし、①-③の層間で発生する残留応力による剥離、クラック発生が急加熱-急冷の材料の繰り返し試験ではほぼ避けられない。こういった問題を解決するためには、異種界面はできるだけ避けなければならない。

極過酷ヒートショックに強いコーティングを開発するためには、そういうヒートショックを伴いながらコーティングを実施すればよいとの発想に至り、平成25年に新コーティング法を開発した。新コーティング法では図1に示すように金属基材を2700°Cの燃焼炎と-196°Cの液体窒素に0.1sのインターバルで交互に約250回繰り返し曝しつつ、酸化セラミック膜のコートを行う。原料にはエチレンジアミン四酢酸(EDTA)などの有機錯体を使う点がオリジナルだ。粉体を使うと粉が飛び散り膜にならない。たとえばSUS316基材上にイットリア(Y_2O_3)膜を40 μm 程度コートした結果、手でこすった位では全く剥がれない。電子顕微鏡観察により、イットリアは基材界面に密着し、膜の表面及び断面には剥離やクラックが全くないことがわかっている。その後、超高温→超低温→超高温→超低温サイクルに曝してもびくともしない。

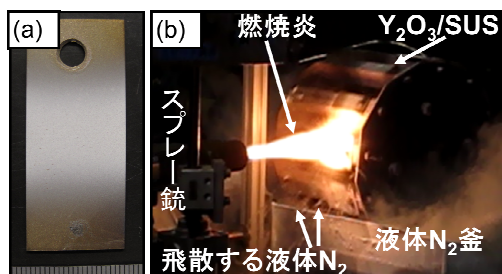


図1 (a)極過酷ヒートショック試験後の Y_2O_3 膜の外観写真、(b)試験時の写真。

極過酷ヒートショックで破壊しないSUS上の Y_2O_3 膜がなぜ得られたのか。新極過酷ヒートショック能の酸化物材料の合成プロセスを提案できる。 Y_2O_3 に限らず他の希土

類酸化物、アルカリ土類金属酸化物の合成技術の提案につながるだろう。また、高い耐熱衝撃性を有する構造材料を次々とラインアップできる。過酷な熱ヒートショックに耐える詳細な膜構造が判明すれば、新たな構造設計の考え方となるだろう。さらには単体の酸化物での極過酷ヒートショックコーティングが可能になれば、これまで課題となっていた欠点を解決し、材料として使用できる新用途や新機能の開拓が可能となるだろう。

2. 研究の目的

本研究では本プロセスで合成すれば、どの原料酸化物+基材金属の組み合わせでも極過酷ヒートショックに耐えうる普遍的な結果が得られるのか明らかにする。

3. 研究の方法

極過酷ヒートショック環境に耐えうる金属酸化物膜の合成方法を図2に示す。金属EDTA錯体の分解・燃焼過程と回転軸型装置による冷却過程に分かれる。出発原料は、金属イオンを担持させた金属EDTA錯体粉末(Y-EDTA、Er-EDTA)である。市販のフレーム溶射装置の水素-酸素フレーム炎中に金属EDTA錯体粉末を導入、金属酸化物を得る。金属EDTA錯体粉末は300-400度で熱分解して、酸化物を形成する。回転軸型装置による冷却過程は、水素-酸素炎によって熱分解・酸化された金属EDTA由来の粒子は、液体N₂釜容器に設置された回転軸上のSUS基板に堆積する。堆積時、基板への衝突から金属酸化物膜の形成が生じる。堆積物は、回転軸型と液体N₂釜容器中を反復することで、急速加熱・冷却される。回転軸型装置は45rpm以上で可変可能である。

製膜時のSUS基板上の堆積物の熱履歴を詳細に調査した。図3に回転軸型装置を用いた金属酸化物合成法の温度測定システムの模式図を示した。回転軸型装置の軸部に配置した熱電対に連結させたデータロガーを設置する。

堆積物の評価として、結晶構造の同定をX線回折(XRD)法、エネルギー分散型X線分析(EDX)装置を装備した走査型電子顕微鏡(SEM)を使って得られる像より、基板-堆積物の密着や膜内のクラックの有無を観察し、極ヒートショックによる影響について考察した。

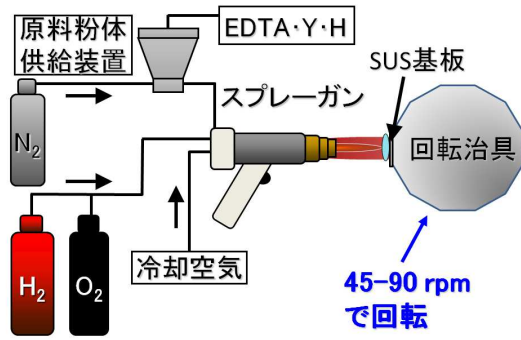


図 2 極過酷ヒートショック環境に耐える Y-EDTA を原料とした Y_2O_3 膜の作製方法。

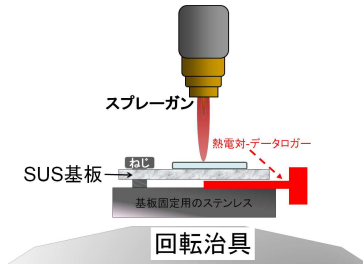


図 3 極過酷ヒートショック環境に耐える金属酸化物膜の温度測定システム。

さらに、本手法をもちいて、低融点材料のアルミニウム合金上に Y_2O_3 膜を堆積させた。図 4 にアルミニウム合金上の Y_2O_3 膜の作製方法を示す。原料に EDTA に Y^{3+} をキレートした Y-EDTA を用いた。原料を粉体供給装置 (5MPE : Sulzer Metco 製) に投入し、キャリアガスに O_2 を用いてスプレーガン (6P-II : Sulzer Metco 製) へ搬送し、原料供給量を 5.0 g/min とし H_2 - O_2 炎に導入した。その後、スプレーガンと基板間の距離を 150 mm としブラスト圧を 0.2, 0.6, 0.8 MPa と変化させた A5052 (Al-Mg 系) 基板上に Y_2O_3 膜を堆積させた。SUS304 基板上に堆積した金属酸化物と同様の評価を実施した。図 5 には実施した熱衝撃試験の模式図を示した。

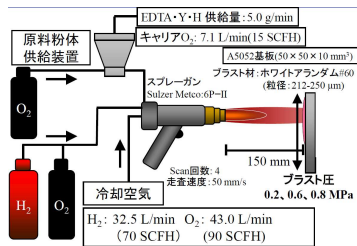


図 4 アルミニウム合金上の Y_2O_3 膜の作製方法。

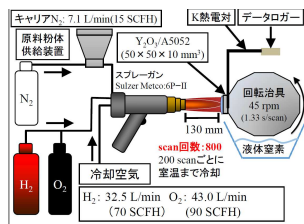


図 5 アルミニウム合金上の Y_2O_3 膜の熱衝撃試験。スキャン数は 800 スキャン。

4. 研究成果

極過酷ヒートショック環境に耐える SUS304 基板上の Y_2O_3 膜の熱履歴および熱衝撃耐性を検討した。SUS 基板上の Y_2O_3 膜に対して、 H_2 - O_2 フレーム炎を用いた (外炎 : 2700°C) 燃焼炎サイクル試験を実施し、基板の熱履歴を調査した。この時、試料がフレームを 1 回通過することを 1 スキャンと定義した。100、300、500 スキャンの熱サイクル試験を行った。SUS304 基材の最高到達温度は、100 スキャンの時は 450.5°C、300 スキャンの時は 625.5°C、そして 500 スキャンの時は 728.5°C だった。SUS 基板上の堆積物は、物質同定の結果、立方晶系の Y_2O_3 結晶を含有しており、副生成物の混入は確認されなかった。

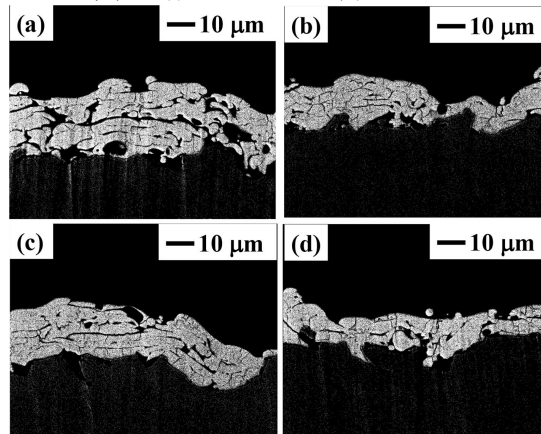


図 6 極過酷ヒートショック環境に耐える Y_2O_3 膜の断面 SEM 像 (a) 熱衝撃試験前、(b) 熱衝撃試験後 (100 スキャン)、(c) 熱衝撃試験後 (300 スキャン)、(d) 熱衝撃試験後 (500 スキャン)。

図 6 に極過酷ヒートショック環境に耐える Y_2O_3 膜の断面 SEM 像を示す。解析の結果、 H_2 - O_2 フレーム炎を用いた 100、300、500 スキャンの熱衝撃試験の前後において膜中での亀裂などの大きな形状の変化は確認できず、堆積物中の元素分布も同様だった。熱衝撃試験前後で Y_2O_3 膜の膜厚は減少したものの、スキャン数の増加に伴う単位面積当たりの亀裂数などの増加は確認されなかった。また、熱衝撃試験による、基板元素の拡散現象なども発生していなかった。本手法で得られる Y_2O_3 膜は、高温に曝されると膜の損傷や膜厚の減少が起ると分かった。

同様に原料に EDTA に Er^{3+} をキレートした Er-EDTA から極過酷ヒートショック環境に耐える SUS304 基板上の Er_2O_3 膜の熱履歴および熱衝撃耐性を検討した。SUS 基板上の Er_2O_3 膜に対して、 H_2 - O_2 フレーム炎を用いた燃焼炎サイクル試験を実施し、基板の熱履歴を調査した。この時、試料がフレームを 1 回通過することを 1 スキャンと定義した。100、225、450 スキャンの熱サイクル試験を行った。

SUS 基材の最高到達温度は、100 スキャンの時は 481.5°C、225 スキャンの時は 577.0°C、そして 450 スキャンの時は 671.0°C だった。

SUS304 基材上の堆積物は、物質同定の結果、立方晶系および単斜晶系の Er_2O_3 結晶を含有しており、副生成物の混入は確認されなかった。

作製した Er_2O_3 膜の断面解析により、熱衝撃試験により膜厚が $13.5\ \mu\text{m}$ から $\sim 6\ \mu\text{m}$ に減少したものの、スキャン数の増加に伴う単位面積当たりの亀裂数などの増加は確認されず、いずれも 2 次元気孔率 3% の緻密な膜であった。本手法で得られる Er_2O_3 膜は、高温に曝されると膜の損傷や膜厚の減少が起ると分かった。

そしてプラスト圧を変化させアルミニウム合金上 (Al-Mg 系 A5052、融点：約 660°C) に Y_2O_3 膜を作製した。プラスト圧と A5052 基材の表面粗さ R_a の関係を図 7 に示す。プラスト圧の増加に伴って、 R_a は 1.795, 4.015, 4.681 μm と増加した。

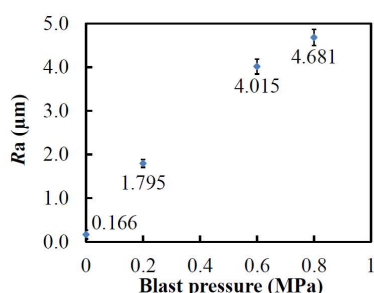


図 7 プラスト圧とアルミ合金(A5052)基板の表面粗さ R_a の関係。

次に熱サイクル試験専用回転機に取り付け $\text{H}_2\text{-O}_2$ フレームを用いた (外炎： 2700°C) 燃焼炎サイクル試験を実施し、セラミックス膜の熱衝撃耐性を調査した。図 8 に A5052 基材上に作製した Y_2O_3 膜の熱衝撃試験中の温度プロファイルを示す。A5052 基材の最高温度は、 $488\text{-}522^\circ\text{C}$ だった。

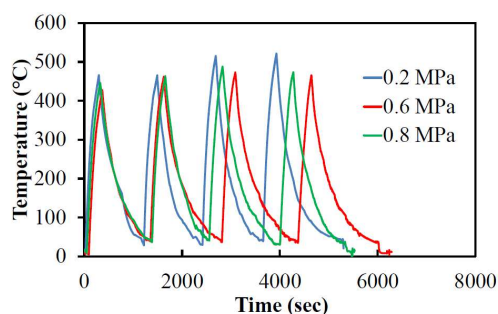


図 8 アルミ合金(A5052)基材上に作製した Y_2O_3 膜の熱衝撃試験中の温度プロファイル。

物質同定の結果、立方晶系の Y_2O_3 結晶を含有しており、副生成物の混入は確認されなかった。図 9 に A5052 基材上の Y_2O_3 膜の断面 SEM 像を示す。断面解析により、熱衝撃試験による膜厚および気孔率の変化はほぼなく、 Y_2O_3 膜中の亀裂の増加や膜の脱落も確認されなかった。

本手法でえられるセラミックス膜は、低融点基材への製膜も可能であり、得られたセラ

ミックス膜は高い熱衝撃耐性を有することがわかった。

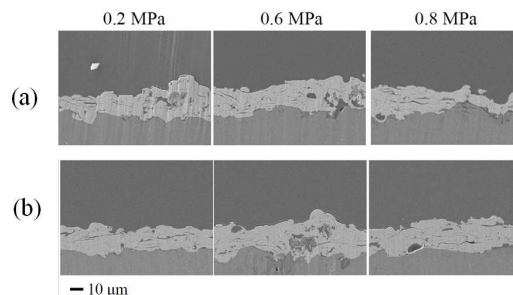


図 9 アルミ合金(A5052)基材上に作製した Y_2O_3 膜の断面 SEM 像、(a)熱衝撃試験前、(b)熱衝撃試験(800 スキャン)後。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 7 件)

- ① K. Komatsu, T. Tsuchiya, Y. Hasebe, T. Sekiya, A. Toyama, A. Nakamura, H. Akasaka, H. Saitoh, Synthesis of metal oxide particles using reaction route from rare-earth metal-EDTA complexes, Journal of Thermal Spray Technology, 23 巻, 5 号, 885 頁 ~ 889 頁(2014).
- ② K. Komatsu, T. Sekiya, A. Toyama, Y. Hasebe, A. Nakamura, M. Noguchi, Yu Li, S. Ohshio, H. Akasaka, H. Muramatsu, H. Saitoh, Deposition of thick metal oxide films from metal-EDTA complexes by flame spray technique, Journal of Thermal Spray Technology, 23 巻, 5 号, 833 頁 ~ 838 頁(2014).
- ③ K. Komatsu, T. Sekiya, A. Toyama, A. Nakamura, I. Toda, S. Ohshio, H. Muramatsu, H. Saitoh, Synthesis of Y_2O_3 Films by Spray Coating with Milled EDTA · Y · H Complexes, International Journal of Chemical, Nuclear, Metallurgical and Materials Engineering, 8 巻, 12 号, 1322 頁 ~ 1326 頁(2014).
- ④ Komatsu Keiji, Sekiya Tetsuo, Toyama Ayumu, Shirai Tomoyuki, Nakamura Atsushi, Ohshio Shigeo, Toda Ikumi, Muramatsu Hiroyuki, Saitoh Hidetoshi, Synthesis of $(\text{Y,Er})_2\text{O}_3$ Films from Multiple-Nuclei EDTA · (Y,Er) · H Complexes by Flame Spray Method, MATERIALS TRANSACTIONS, 57 巻, 1 号, 1 頁 ~ 4 頁(2015).
- ⑤ Keiji Komatsu, Tetsuo Sekiya, Hasebe Yasuhiro, Ayumu Toyama, Atsushi Nakamura, Masahiro Noguchi, Yu Li, Shigeo Ohshio, Hiroki Akasaka, Hidetoshi Saitoh, Effects of Combustion Gas Species on Y_2O_3 Film Produced from Metal-EDTA Complex

by Flame-Spraying Technique , MRS Advances, (2016).

- ⑥ Keiji Komatsu, Ayumu Toyama, Tetsuo Sekiya, Tomoyuki Shirai, Atsushi Nakamura, Ikumi Toda, Shigeo Ohshio, Hiroyuki Muramatsu, Hidetoshi Saitoh, Flame-Sprayed Y_2O_3 Films with Metal-EDTA Complex Using Various Cooling Agents, Journal of Thermal Spray Technology, 26 巻, 5 号, 195 頁 ~ 202 頁(2017).
- ⑦ D.Y.Xin, Keiji Komatsu, Keita Abe, Takashi Costa, Yutaka Ikeda, Atsushi Nakamura, Shigeo Ohshio, Hidetoshi Saitoh, Heat-shock properties in yttrium-oxide films synthesized from metal-ethylenediamine tetraacetic acid complex through flame-spray apparatus, Applied Physics A, 123 巻, 194 号, (2017).

[学会発表] (計 25 件)

- ① K. Komatsu, T. Sekiya, A. Toyama, A. Nakamura, I. Toda, S. Ohshio, H. Muramatsu, H. Saitoh, Synthesis of Y_2O_3 Films By Spray Coating With Milled EDTA · Y · H Complexes, ICMSME 2014 : 16th International Conference on Materials Science and Mechanical Engineering, 179, Bangkok (Thailand), December 2014.
- ② Tomoyuki Shirai, D.Y. Xin, Keiji Komatsu, Atsushi Nakamura, Shigeo Ohshio, Hidetoshi Saitoh, Microstructures on Metal Oxide Films with Diameter-Controlled Metal-EDTA Complexes. MO-10, The 4th International GIGAKU Conference in Nagaoka (IGCN 2015), 19th June (Fri) - 21st June (Sun), 2015, Nagaoka, Niigata.
- ③ Keiji Komatsu, Tetsuo Sekiya, Hasebe Yasuhiro, Ayumu Toyama, Atsushi Nakamura, Masahiro Noguchi, Yu Li, Shigeo Ohshio, Hiroki Akasaka, Hidetoshi Saitoh, Effects of Combustion Gas Species on Y_2O_3 Film Produced from Metal-EDTA Complex by Flame-Spraying Technique. W4.11, 2015 MRS Fall Meeting & Exhibit, 29th November 4th December , 2015, Boston, Massachusetts, USA.
- ④ K. Komatsu, D. Y. Xin, K. Abe, T. Kosuta, Y. Ikeda, A. Nakamura, S. Ohshio, H. Saitoh, Heat-shock properties on Y_2O_3 films synthesized with metal ethylenediamine tetraacetic acid complex, International Thermal Spray Conference & Exposition (ITSC) 2016, NO4847, 口頭発表.
- ⑤ Keiji Komatsu, Ayumu Toyama, Tetsuo Sekiya, Tomoyuki Shirai, Atsushi Nakamura, Ikumi Toda, Shigeo Ohshio, Hiroyuki Muramatsu, Hidetoshi Saitoh, Flame-Sprayed Y_2O_3 Films with Metal-EDTA Complex Using Various Cooling Agents, International Thermal Spray Conference & Exposition (ITSC) 2016, NO5116, 口頭発表.
- ⑥ 白井友之、中村淳、大塩茂夫、戸田育民、小松啓志、齋藤秀俊、フレイムデポジション法により合成した酸化イットリウム膜の気孔率,第 75 回応用物理学会学術講演会, 17p-A11-5, 北海道, 2014 年 9 月.
- ⑦ 白井友之、中村淳、大塩茂夫、戸田育民、小松啓志、齋藤秀俊、フレイムデポジション法により合成した酸化エルビウム膜の堆積速度と気孔率,第 75 回応用物理学会学術講演会, 17p-A11-6, 北海道, 2014 年 9 月.
- ⑧ 白井友之、淡エンキン、小松啓志、中村淳、大塩茂夫、齋藤秀俊、金属-EDTA の原料粒径を制御して合成した酸化物、第 62 回応用物理学関係連合講演会, 11a-D8-10, 神奈川県, 2015 年 3 月.
- ⑨ 白井友之、淡エンキン、小松啓志、中村淳、大塩茂夫、齋藤秀俊、金属-EDTA 原料粒径を制御し合成した酸化物膜の微細構造、日本セラミックス協会 2015 年年会, 2L35, 岡山県, 2015 年 3 月.
- ⑩ 外山歩、白井友之、伊関孝郎、小松啓志、中村淳、大塩茂夫、戸田育民、村松 寛之、齋藤秀俊、金属-EDTA 錯体由来の高い熱衝撃性を有する Y_2O_3 膜の合成 日本セラミックス協会 第 27 回秋季シンポジウム、2P043、鹿児島県、2014 年 9 月.
- ⑪ 外山歩、白井友之、佐藤彰紀、淡エンキン、小松啓志、中村淳、戸田育民、大塩茂夫、村松寛之、齋藤秀俊、金属-EDTA 錯体由来の急速加熱冷却に耐えうる Y_2O_3 膜の合成、第 62 回応用物理学関係連合講演会, 13p-P6-10, 神奈川県, 2015 年 3 月.
- ⑫ 淡エンキン、中村淳、小松啓志、齋藤秀俊、金属-EDTA 錯体由来の Y_2O_3 膜の熱衝撃耐性. 13p-2Q-27, 第 76 回応用物理学会秋季学術講演会, 名古屋国際会議場, 2016 年 9 月.
- ⑬ 淡エンキン、中村淳、小松啓志、齋藤秀俊、キレートフレイム法で合成した Y_2O_3 膜と Er_2O_3 膜の断面観察. 22a-P5-18, 第 63 回応用物理学会春季学術講演会, 東京工業大学大岡山キャンパス、2016 年 3 月.
- ⑭ 淡エンキン、中村淳、小松啓志、齋藤秀俊, [14a-A37-8] キレートフレイム法で SUS304 と Al 合金基板上に合成した Er_2O_3 膜の断面観察, 第 77 回応用物理学会秋季学術講演会, 朱鷺メッセ, 2016 年 9 月.
- ⑮ 小寿田 貴士、中村淳、小松啓志、齋藤秀俊, [14a-A37-9] キレートフレイム法によるアルミニウム合金上のイットリア膜の合成, 2016 年 第 77 回応用物理学会秋季学術講演会, 朱鷺メッセ, 2016 年 9 月.
- ⑯ 中村 祥太、中村淳、小松啓志、齋藤秀

- 俊,[14a-A37-10] キレートフレーム法による Gd 添加 CeO₂ 粒子の合成と構造評価, 第 77 回応用物理学会秋季学術講演会, 朱鷺メッセ,2016 年 9 月.
- ⑰ 池田 裕、中村 淳、小松 啓志、齋藤 秀俊,[13p-D62-14] Zr-EDTA 錯体原料を用いたキレートフレーム法による ZrO₂ 膜の作製, 第 77 回応用物理学会秋季学術講演会, 朱鷺メッセ,2016 年 9 月.
- ⑱ 小寿田貴士、中村淳、小松啓志、齋藤秀俊,108,大気アニールによるイットリア膜-アルミニウム合金の界面変化の調査, 第 104 回 日本溶射学会 (2016 年度秋季) 全国講演大会,北九州市戸畑区(福岡県) 2016 年 11 月.
- ⑲ 中村 祥太、中村 淳、小松 啓志、齋藤 秀俊, [14p-213-13], キレートフレーム法により合成した Gd 添加 CeO₂ 膜の封孔 処理, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会, 横浜市,2017 年 3 月.
- ⑳ 中村 祥太、中村 淳、小松 啓志、齋藤 秀俊,[14p-213-14] キレート焼成法にキレートフレーム法を組み合わせた Gd 添加 CeO₂ 膜の合成, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会,横浜市,2017 年 3 月.
- 21 池田 裕、中村 淳、小松 啓志、齋藤 秀俊,[15p-311-18],キレートフレーム法を用いた ZrO₂ 膜の緻密化, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会,横浜市,2017 年 3 月.
22. 小寿田 貴士、中村 淳、小松 啓志、齋藤 秀俊,[15p-311-16], アルミニウム合金の表面粗さがキレートフレーム法で合成されたイットリア膜へ及ぼす影響, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会,横浜市,2017 年 3 月.
23. 小寿田 貴士、小松 啓志、齋藤 秀俊、中村 淳,[3F01],キレートフレーム法による表面粗さを変えた アルミニウム合金上へのイットリア膜の合成,公益社団法人日本セラミックス協会 2017 年年会 日本大学駿河台キャンパス 2017 年 3 月.
24. 淡 エンキン、中村 淳、小松 啓志、齋藤 秀俊,[3F02] キレートフレーム法による石英ガラス上に合成した Er₂O₃ 膜の断面観察, 公益社団法人日本セラミックス協会 2017 年年会,日本大学駿河台キャンパス 2017 年 3 月.
25. 池田 裕、小松 啓志、齋藤 秀俊、中村 淳,[3F03] キレートフレーム法による Zr-EDTA を用いた ZrO₂ 膜の合成, 公益社団法人日本セラミックス協会 2017 年年会,日本大学駿河台キャンパス 2017 年 3 月.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 出願年月日：
 国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 取得年月日：
 国内外の別：

〔その他〕
 該当なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 淳 (NAKAMURA,Atsushi)
 長岡技術科学大学・工学部・客員准教授
 研究者番号：90725649

(2) 研究分担者

齋藤 秀俊 (SAITOH,Hidetoshi)
 長岡技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・教授
 研究者番号：80250984

小松啓志 (KOMATSU,Keiji)
 長岡技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・助教
 研究者番号：70721231