

令和 4 年 6 月 22 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02484

研究課題名（和文）超高融点ホウ化物複合材の高速化学気相成長による高耐酸化性コーティング層の創出

研究課題名（英文）Development of ultra-high-temperature ceramic composite coatings with excellent oxidation resistance via high-speed chemical vapor deposition techniques

研究代表者

且井 宏和 (Katsui, Hiromazu)

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

研究者番号：70610202

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、超高融点ホウ化物系複合材の高速化学気相析出により耐酸化性・超耐熱セラミックスコーティング層の開発を目的とした。有機化合物原料を用い、高強度レーザーを援用した化学気相析出により、炭窒化ジルコニウム層、炭窒化ホウ素層、ホウ素含有炭窒化ジルコニウム層およびSiCとの複合層の高速成膜し、その微細構造や組成、化学結合状態を明らかにした。さらに、タンタル系の炭化物、ホウ素含有炭窒化物、SiCとの複合層の高速成膜にも成功した。これらタンタル系非酸化物層はジルコニウム系に比べて耐酸化性に優れ、また、ホウ素の添加やSiCとの複合化により高温酸化雰囲気での健全性の向上が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

超高融点を持つ遷移金属系非酸化物セラミックス（Ultra-High-Temperature Ceramics: UHTC）は主に粉末冶金プロセスにより作製されたバルク材の研究開発が中心であったが、本研究では有機化合物を原料にした気相プロセスによりコーティング層の合成や複合化に成功し、従来のバルク材とは異なる構造や組成を明らかにした点は無機材料工学や薄膜工学の進展に貢献するものと考えられる。また、UHTCのコーティングは、構造部材として優れた炭素あ炭化ケイ素の繊維強化複合材へ適用可能であり、エンジンやリーディングエッジなど先進航空宇宙部材開発に資する技術になるものと期待できる。

研究成果の概要（英文）： This study aimed to develop ultra-high-temperature boride ceramic coatings with the enhanced oxidation resistivity by a high-speed chemical vapor deposition technique. Coating layers of zirconium-based and boron-based non-oxides, such as zirconium carbonitride, boron carbonitride, boron-containing zirconium carbonitride, and those composites with silicon carbide, were deposited at high deposition rates by laser-assisted chemical vapor deposition using organic compound precursors. High-speed coatings of tantalum-based non-oxides, such as tantalum carbonitride, boron-containing tantalum carbonitride, and those composites with silicon carbide, were also demonstrated. The tantalum-based non-oxide layers exhibited superior oxidation resistance to the zirconium-based ones. The addition of boron and silicon carbides was supposed to enhance the durability of the coating layers under high-temperature oxidation environments.

研究分野：材料加工・組織制御学

キーワード：化学気相析出 超高融点 非酸化物 コーティング レーザー 耐酸化性

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

炭素または SiC やその繊維強化複合材は高温強度に優れるが、超音速機のリーディングエッジやノーズコーンなど超高温の酸化雰囲気で使用される先進航空宇宙部材への応用には表面処理やコーティングによる部材の保護が必要となる。超高融点を持つ遷移金属系非酸化物セラミックス (Ultra-High-Temperature Ceramics: UHTC) は 1700–2200 K を超える高温酸化雰囲気へ暴露されても形状を維持でき、基材 (繊維強化複合材) の耐環境性コーティング層として有望である。UHTC の代表的な遷移金属元素はチタン、ジルコニウム、タンタル、ハフニウムであるが、SiC との複合化により耐酸化性が向上することが報告されており、中でも ZrB_2 -SiC や TaB_2 -SiC、 HfB_2 -SiC などの遷移金属ホウ化物と SiC の複合材は、超高温域で耐酸化性を備えた耐熱材料と期待されている [1]。これらは主に粉末冶金プロセスにより作製され、元素添加を含めた組成の最適化や材料組織制御により機能・耐性強化が試みられてきた。一方で、緻密質で防食性に優れたコーティング技術は確立されていない。

種々のコーティングプロセスの中でも化学気相析出 (CVD) 法は緻密質で高品質な非酸化物セラミックス層を合成でき、段差被覆性にも優れるため、部材の表面の改質や高付加価値化に有用である。CVD はプラズマやレーザーを援用することで成膜速度を向上でき、多様な結晶相・組成・微細組織が発現・制御できる。我々は、近赤外域の高強度レーザー照射下における CVD (レーザーCVD) によりセラミックスの高速気相成長に成功してきた [2]。一般に、CVD による遷移金属系非酸化物や SiC の原料には塩化物やシラン、アンモニア、炭化水素、ジボランが用いられる。これら原料ガスや副生成物の毒性や腐食性により取り扱いが難しく、除害設備が必要なため、実験環境は極めて限られる。本研究では、近年、原子層堆積法の原料としても使用されるアルキルアミド化合物を用いて UHTC コーティングの技術基盤構築を目指した。特に、優れた耐酸化性を期待できるホウ化物や SiC との複合層の気相成長に焦点を当てた。

2. 研究の目的

本研究は、超高融点ホウ化物系複合材の高速な気相成長技術を構築し、優れた耐酸化性を有する超耐熱セラミックスコーティング層の開発を目的とした。そのために、有機化合物原料を用いたレーザーCVD を用い、遷移金属元素としてジルコニウムおよびタンタル基非酸化物に焦点を当て、これらのホウ化物や SiC との複合層の気相成長条件を探索した。得られたコーティング層の構成相や微細組織・構造、化学結合状態、高温酸化挙動を調べ、成膜パラメータが及ぼす影響を検討した。

3. 研究の方法

コーティング層の成膜試験はコールドウォール式のレーザーCVD 装置を用いた。ジルコニウム、タンタル、およびホウ素原料には、それぞれ $Zr(NEtMe)_4$ (TEMAZ)、 $Ta(Nt-Bu)(NEtMet)_3$ (TBTEMT) および $B_2(NMe_2)_4$ (TDMAD) のアルキルアミノ化合物を用いた。SiC 原料として、ヒドリドポリカルボシラン (CVD-4000, Starfire 製) を選定した。液体原料は 333–373 K に加熱し、Ar 輸送ガス (流量: $8.3 \times 10^{-7} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) とともに CVD 反応炉に供給した。基板は炭素、SiC および石英の板材とした。基板を CVD 反応炉内の 673 K のホットステージ上に設置 (予備加熱) し、基材表面には連続発振モードの Nd:YAG レーザーを照射した。照射面積は約 15 mm^2 であり、基材表面全域に照射された。レーザーパワー密度は $80\text{--}120 \text{ W cm}^{-2}$ であり、照射により放射温度計により測定した基材の表面温度 (成膜温度) は 1173–1453 K であった。CVD 反応炉は油回転式ポンプにより減圧され、成膜中の炉内温度は 200–500 Pa とした。成膜時間は 600–900 s とした。

得られたコーティング層の結晶学的構成相は X 線回折法 (XRD; θ - 2θ , Cu-K α ; RINT2500 および SmartLab SE, Rigaku) により同定した。表面および断面微細組織観察は FE-SEM (SEM; 5–15 keV; JSM-IT300HR, JEOL) により観察した。微細構造は集束イオンビーム加工により薄片化した断面を走査透過電子顕微鏡 (STEM, JEM-2100F, JEOL) により調べた。化学結合状態や組成は光電子分光分析 (XPS; Escalab 250Xi XPS system, Thermo Fisher Scientific) により評価した。高温酸化試験は、高強度レーザー照射によりコーティング層を大気中で 1723 K 急速に加熱し、100 s 保持後に冷却し、表面形態や構成相の変化を調べた。

4. 研究成果

(1) 炭窒化ジルコニウムの気相成長: アルキルアミノ化合物を単一原料としたレーザーCVD により炭窒化ジルコニウム ($ZrCN$) を合成し、各種成膜パラメータが構成相や微細組織、成膜速度に及ぼす影響を検討した。基板上での $ZrCN$ の形成に及ぼす重要な成膜パラメータの一つは成膜温度である。異なる成膜温度により合成した $ZrCN$ 膜の XRD 図形を図 1 に示す。1373 K (レーザーパワー密度: 83 W cm^{-2}) で成膜した場合、 $2\theta = 31^\circ$ 近傍にブロードな回折ピークが現れ (図 1(a))、非晶質膜が形成されたことがわかった。一方、より高温で成膜した場合 (1453 K、レーザーパワー密度: 117 W cm^{-2})、 33.3° 、 38.6° および 55.8° にそれぞれ NaCl 構造の $ZrCN$ の 111、200 および 200 に指数付けされる回折ピークが現れ (図 1(b))、結晶質 $ZrCN$ 層の形成を確

認した。1373 および 1543 K で合成した膜の表面および断面 SEM 像を図 2 に示す。1373 K で成膜した非晶質膜の表面は数 μm サイズのコーン状組織が形成され、各コーンは nm サイズの微細な粒状組織の集合体であり、コーン間にはクラックの発生もみられた (図 2(a))。破断面は、見かけ上緻密質なノジュール組織であった (図 2(b))。膜厚は $35.0 \mu\text{m}$ であり、成膜速度は $210 \mu\text{m h}^{-1}$ であった。1543 K で成膜した結晶質 ZrCN 膜の表面組織 (図 2(c)) は 1373 K で成膜した非晶質膜と類似したが、コーン状組織間にクラックの発生はみられなかった。破断面観察からの膜厚は $6.6 \mu\text{m}$ であり (図 2(d))、成膜速度は $40 \mu\text{m h}^{-1}$ であった。既往報告におけるアルキルアミド系原料を用いた熱 CVD またはプラズマ CVD による ZrCN 膜の成膜速度は $\sim 3 \mu\text{m h}^{-1}$ 程度であり [例えば 3–5]、これらと比較して本研究のレーザー照射下での CVD による成膜速度は 1 桁以上高速で気相成長することがわかった。

1373 K で成膜した結晶質 ZrCN 膜の断面 STEM 像と制限視野電子線回折像を図 3 に示す。高角度環状暗視野 (HAADF) 像 (図 3(a)) から、二つのコントラスト (明色および暗色) によりノジュール状構造が形成された。制限視野電子線回折像は NaCl 構造の ZrCN を反映したデバイシェラー環が現れ、これは HAADF 像の明色コントラスト部に対応すると考えられる (図 3(b))。高倍率の HAADF 像 (図 3(c)) および環状明視野 (ABF) 像 (図 3(d)) から二つの相がナノレベルで混ざり合ったコンポジットが形成されたことがわかった。XPS による化学結合状態分析では、C 1s スペクトルにおいて Zr–C 結合以外にも C–C 結合に起因するピークがみられたことから、HAADF 像における暗色部は遊離炭素であることが示唆された。したがって、本研究でレーザーCVDにより成長した ZrCN 膜中には ZrCN–C ナノコンポジット構造が形成されたものと考えられる。

(2) 炭化タンタルの気相成長：Ta や Hf 基の UHTC は、Ti や Zr 基に比べて耐熱特性に優れ、高価ではあるが付加価値の高いコーティング層を部材表面に付与できる。TEMAZ 原料からの ZrCN 気相成長で得られた知見を基盤とし、TBTEMT を用いたレーザーCVDによる Ta 基非酸化物の気相成長条件を探索し、その微細組織や組成、成膜速度を調べた。成膜温度 1323 K で合成したコーティング層の XRD 図形からは、NaCl 構造の炭化タンタル (TaC) 相の 111, 200 および 200 回折ピークが認められ、TaC 層が形成されたことがわかった。図 4 に示すように断面 SEM 像から緻密な樹枝状組織が形成され、その成膜速度は $73.5 \mu\text{m h}^{-1}$ であった。TBTEMT 原料には窒素が含まれるが、コーティング (TaC) 層中の N 量は少なく、XPS や EDS では Ta 由来の光電子や特性 X 線ピークと干渉するため正確な評価は難しかった。また、比較的低成膜温度 (1173 K) であっても、成膜中に水素ガスを導入することで、不純物元素が 1% 以下の $\text{Ta}_{0.43}\text{C}_{0.57}$ が形成されることがわかった。

(3) 炭窒化ホウ素の気相成長：UHTCs コーティングへのホウ素やホウ化物の添加により耐酸化性の向上が期待できる。一般に、ホウ化物の CVD 原料にはジボランや三塩化ホウ素が用いられるが、本研究では、アルキルアミノ化合物を原料とした気相成長を試みた。TDMAD 原料を用いたレーザーCVDにより成膜温度 1323 K で合成した BCN 膜の外観写真と断面 SEM 像を図 5 に示す。BCN 膜の外観は黒色であり、緻密質で均質な BCN 膜が形成された。XPS 分析による元素組成は $\text{B}_{0.38}\text{C}_{0.35}\text{N}_{0.25}$ であり、TEM 観察からは turbostratic BN 構造が形成されることを明らかにした。成膜速度は $18.4 \mu\text{m h}^{-1}$ であり、アルキルアミド化合物からホウ化物層が一般的な熱 CVD ($\sim 1 \mu\text{m h}^{-1}$) と比べて高速に気相

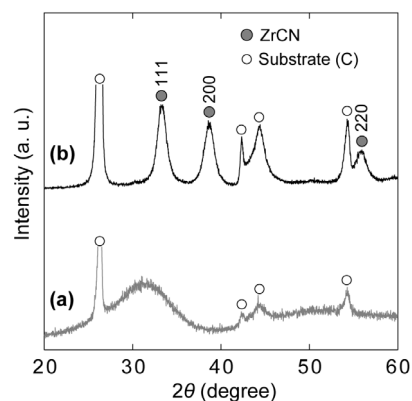


図 1 レーザーCVDにより 1373 (a)および 1453 K で合成した ZrCN 層の XRD 図形

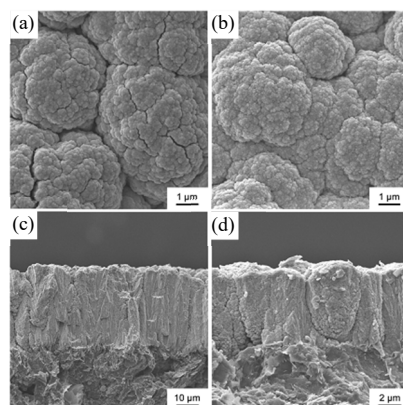


図 2 レーザーCVDにより 1373 (a, b) および 1453 K (c, d) で合成した ZrCN 層の SEM 像：(a) および (b) は表面 SEM 像、(c) および (d) は破断面の SEM 像。

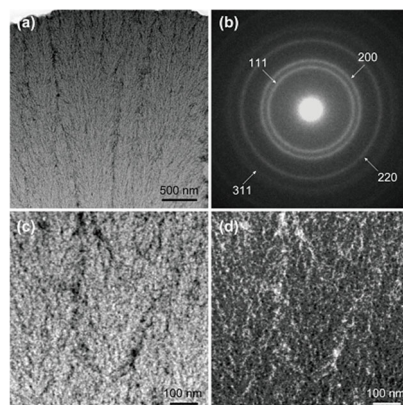


図 3 レーザーCVDにより 1453 K で合成した ZrCN 膜の断面 STEM 像：(a) 低倍率 HAADF 像、(b) 制限視野電子線回折像、(c) 高倍率 HAADF 像、および (d) 高倍率 ABF 像

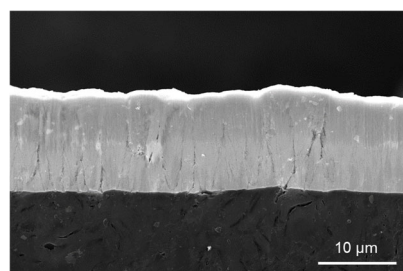


図 4 レーザーCVDにより 1323 K で合成した TaC 層の断面 SEM 像 (イオンミリングによる研磨面)

成長することがわかった。また、BCN コーティング層は、酸化雰囲気でのレーザー照射による急速加熱・酸化処理 (1223 K) を施すことで、コーティング層の表面は酸化され BCNO 蛍光体層が形成されることを見出した。

(4) ホウ素含有炭窒化物の気相成長：上記で用いた遷移金属系およびホウ素系アルキルアミノ化合物を原料としたレーザーCVD によりホウ素を含む UHTC コーティングを試みた。Ta 原料 (TBTEMT) とホウ素原料 (TDMAD) を用いてレーザーCVD により成膜したコーティング層の XRD 測定からは TaCN 相の形成が認められた。このホウ素を含有した TaCN (TaCN-B) 層の微細組織を図 6 に示す。表面は数十 nm の微細粒が密に集合した数 μm サイズのコーン状組織であった。断面は緻密質な組織であり、成膜速度は $34.1 \mu\text{m h}^{-1}$ であった。これは単一の TBTEMT 原料での TaC 合成時の成膜速度よりも低く、TDMAD を加えることで気相中での反応・核生成が促進され成膜効率が低下したものと推察される。EDS 測定では Ta、C、N、B に由来する収量増加を確認したが、定量評価は難しかった。成膜条件は異なるが、比較的低温で合成したコーティング層の XPS 分析の結果、Ta : C : N : B = 33 : 30 : 29 : 8 (at.%) の TaCN-B 層が気相成長することを明らかにした。このように、アルキルアミノ化合物原料を用いたレーザーCVD による気相成長では、遷移金属二ホウ化物 (TaB_2 , AlB_2 型構造) の形成は確認できなかったが、ホウ素を含有する UHTC コーティング層の形成に成功した。

一方、遷移金属系アルキルアミノ化合物とヒドリドポリカルボシラン原料を用いたレーザーCVD により UHTC と SiC との複合層の合成を試みた。図 7 は Zr 原料 (TEMAZ) と SiC (CVD-4000) 原料により 1373 K で炭素基材上に合成したコーティング層の XRD 図形と SEM-EDS 像を示す。XRD 図形から ZrCN 相および SiC 相の回折ピークを確認した。表面や断面微細組織は単一の TEMAZ 原料からの ZrCN 層と類似したが、SEM-EDS 元素マッピングでは、ZrCN 相と SiC 相が微細に混じり合った組織であった。さらに TEM 観察の結果、ZrCN および SiC とともに数ナノ程度の結晶子で構成され、ナノコンポジット層が形成されることがわかった。また、Ta 原料 (TBTEMT) と SiC (CVD-4000) 原料を用いた場合も同様の TaCN-SiC コンポジット層が形成された。さらに、遷移金属 (Zr または Ta) 原料、ホウ素原料および SiC 原料を用いることで図 8 に示すようなコーティング層が形成され、ホウ素を含有する Zr(Ta)CN-B-SiC コンポジット層の形成が示唆された (図 8 は TaCN-B-SiC コンポジット層の例であり、表面および断面 SEM 像)。

(5) 高温酸化試験：炭素基材上に成膜した Zr および Ta 系非酸化物の各種コーティング層の簡易的な高温酸化試験を実施した。Zr 系非酸化物コーティング層の酸化処理前後の光学顕微鏡観察による表面形態を図 9 に示す。単一の Zr 原料から成膜した ZrCN 層は酸化処理によりコーティング層は酸化物 (ZrO_2) に変化する (明色部) とともに、その大部分が消失した (図 9(a)および(a'))。ホウ素原料とともに成膜した ZrCN-B 層では酸化後のコーティング層の消失は低減されたが、基材表面 (黒色部) が露出した (図 9(b)および(b'))。さらに SiC 原料を加えて成膜した ZrCN-B-SiC 層では、気泡が形成されるなど酸化後の損傷は著しいが、酸化物層として残存することがわかった (図 9(c)および(c'))。Ta 系非酸化物コーティング層の酸化処理前後の表面形態を図 10 に示す。Ta 原料から成膜した TaC 層は酸化処理により疎な酸化物層に変化した (図 10(a)および(a'))。ホウ素原料を加えて成膜した TaCN-B 層の酸化では、若干の空隙が形成されるとともにガラス様に変質したものの、緻密質な形態を保持した (図 10(b)および(b'))。さらに SiC 原料を加えて成膜した TaCN-B-SiC 層では酸化後の形態変化は比較的抑制された (図 10(c)および(c'))。また、Ta 系非酸化物コーティング層 (図 10) は Zr 系 (図 9) と比較して耐酸

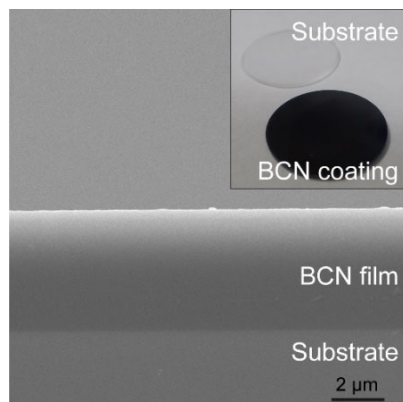


図 5 レーザーCVD により 1323 K で成膜した BCN 層の断面 SEM 像と外観写真 (右上)

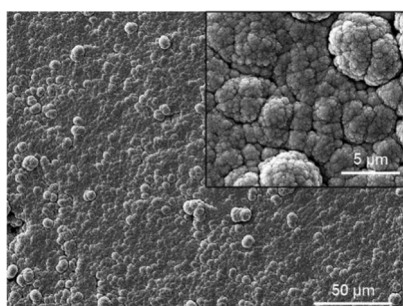


図 6 レーザーCVD により 1323 K で成膜した TaCN-B 層の表面 SEM 像

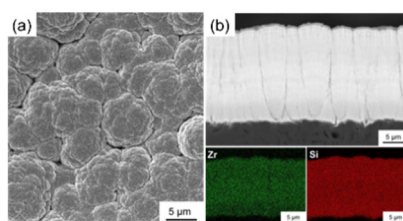


図 7 レーザーCVD により 1323 K で成膜した ZrCN-SiC 層の表面(a)および断面(b)SEM 像。右下図は Zr および Si の EDS 元素分布像。

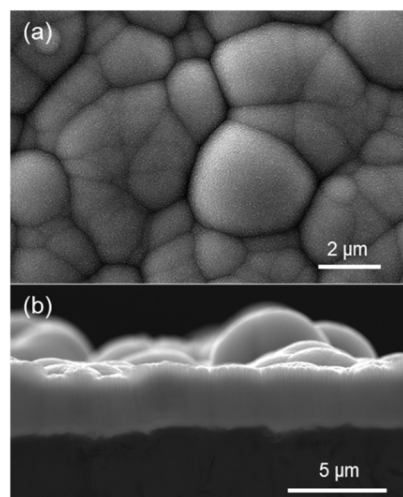


図 8 レーザーCVD により 1323 K で成膜した TaCN-B-SiC 層の表面(a)および断面(b)SEM 像。

化性に優れることがわかった。このように、アルキルアミノ化合物原料を用いたレーザーCVDによるZr系およびTa系UHTCコーティングではホウ素やSiCと複合化することで耐酸化性が著しく向上することを明らかにした。

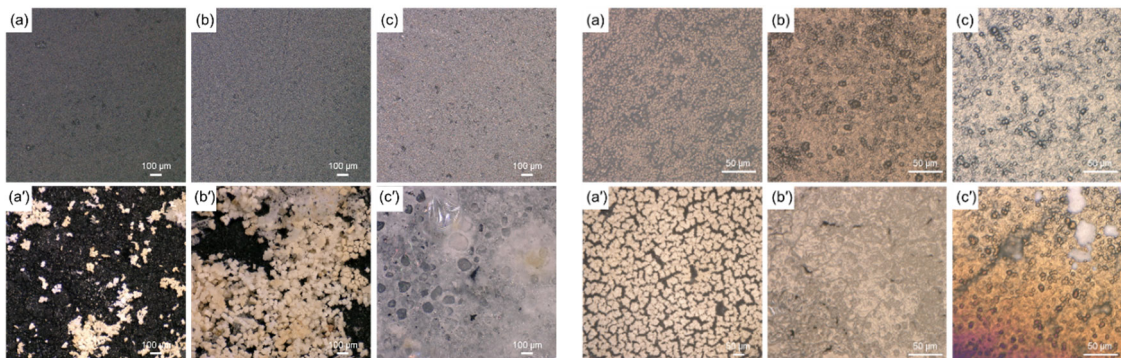


図9 レーザーCVDにより1323 Kで成膜したZrCN層 (aおよびa')、ZrCN-B層 (bおよびb') およびZrCN-B-SiC層 (cおよびc') の高温酸化処理前後の光学顕微鏡写真：上段(a-c)は酸化処理前、下段(a'-c')は酸化処理後の表面形態。

図10 レーザーCVDにより1323 Kで成膜したTaC層 (aおよびa')、TaCN-B層 (bおよびb') およびTaCN-B-SiC層 (cおよびc') の高温酸化処理前後の光学顕微鏡写真：上段(a-c)は酸化処理前、下段(a'-c')は酸化処理後の表面形態。

<引用文献>

- [1] J. Han, P. Hu, X. Zhang, S. Meng, W. Han, *Compos. Sci. Technol.* 68 (2008) 799-806.
- [2] H. Katsui, N. Kondo, *J. Cryst. Growth* 519 (2019) 46-53.
- [3] I.-W. Kim, S.-J. Kim, D.-H. Kim, H. Woo, M.-Y. Park, S.-W. Rhee, *Korean J. Chem. Eng.* 21 (2004) 1256-1259.
- [4] H. Berndt, A.-Q. Zeng, H.-R. Stockand, P. Mayr, *Surf. Coat. Technol.* 74-75 (1995) 369-374.
- [5] H. Wendeland, H. Suhr, *Appl. Phys. A-Mater.* 54 (1992) 389-392.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2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 KATSUI Hirokazu, HARADA Katsuyoshi, KONDO Naoki, HOTTA Mikinori | 4. 巻 128 |
| 2. 論文標題 Preparation of zirconium carbonitride by laser chemical vapor deposition using alkyl-amide precursor as a single source | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan | 6. 最初と最後の頁 855 ~ 862 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.20081 | 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 Katsui Hirokazu, Harada Katsuyoshi, Kondo Naoki, Hotta Mikinori | 4. 巻 394 |
| 2. 論文標題 Preparation of boron carbon oxynitride phosphor film via laser chemical vapor deposition and annealing | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Surface and Coatings Technology | 6. 最初と最後の頁 125851 ~ 125851 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.surfcoat.2020.125851 | 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10件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 4件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 H. Katsui, K. Harada, N. Kondo, M. Hotta |
| 2. 発表標題 Coatings of zirconium-based non-oxides and composites by laser chemical vapor deposition |
| 3. 学会等名 45th International Conference and Expo on Advanced Ceramics and Composites (ICACC2021) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 H. Katsui, M. Hotta |
| 2. 発表標題 Coatings of protective and functional ceramic layers by CVD techniques utilizing laser |
| 3. 学会等名 2nd Global Forum on Smart Additive Manufacturing, Design & Evaluation (Smart MADE2021) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 且井宏和 |
| 2. 発表標題 化学気相析出による耐熱性・機能性セラミックス層の作製と微細構造 |
| 3. 学会等名 第73回CVD研究会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 且井宏和、堀田幹則 |
| 2. 発表標題 化学気相析出によるセラミックコーティングの微細構造と機能 |
| 3. 学会等名 第3回表面改質技術研究委員会（招待講演） |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 且井宏和、堀田幹則 |
| 2. 発表標題 走査型レーザー照射下での化学気相析出による炭化ケイ素の微細描画 |
| 3. 学会等名 日本セラミックス協会第33回秋季シンポジウム |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 H. Katsui, N. Kondo, M. Hotta |
| 2. 発表標題 Ceramic coatings for high-temperature durable materials by chemical vapor deposition |
| 3. 学会等名 1st Global Forum on Smart Additive Manufacturing, Design & Evaluation (Smart MADE)（招待講演）（国際学会） |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 且井宏和、原田 勝可、堀田 幹則 |
| 2. 発表標題 単一有機錯体原料を用いた炭化ジルコニウムの高速化学気相析出 |
| 3. 学会等名 第58回セラミックス基礎科学討論会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 且井宏和 |
| 2. 発表標題 エンジニアリングセラミックスの化学気相析出とコーティング形態制御 |
| 3. 学会等名 2019 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 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 H. Katsui, K. Harada, M. Hotta |
| 2. 発表標題 Coatings of zirconium carbide and its composites by laser chemical vapor deposition using metal organic precursors |
| 3. 学会等名 PACRIM13 (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名 且井宏和、原田 勝可、堀田 幹則 |
| 2. 発表標題 化学気相成長による炭窒化ホウ素膜の合成と蛍光特性 |
| 3. 学会等名 日本セラミックス協会 2020年年会 |
| 4. 発表年 2020年 |

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

| | | |
|--|--------------------|------------------------|
| 産業財産権の名称 無機被膜を有する被覆材及びその製造方法並びに製造装置 | 発明者 且井 宏和、原田 勝可 | 権利者 産業技術総合研究所、名古屋大学 |
| 産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-110850 | 出願年 2019年 | 国内・外国の別 国内 |

| | | |
|---|--------------------------|--------------------------|
| 産業財産権の名称 BCN膜又はBCNO膜を有する被覆材並びにそれらの製造方法 | 発明者 且井 宏和、堀田 幹則、原田 勝可 | 権利者 国立研究開発法人産業技術総合研究所 |
| 産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-033829 | 出願年 2020年 | 国内・外国の別 国内 |

〔取得〕 計0件

〔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 | 近藤 直樹 (Kondo Naoki) (50357050) | 国立研究開発法人産業技術総合研究所・材料・化学領域・上級主任研究員 (82626) | |
| 研究分担者 | 原田 勝可 (Harada Katsuyoshi) (60552726) | 名古屋大学・未来材料・システム研究所・客員教授 (13901) | |

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 |
|---------|---------|