

令和 3 年 6 月 3 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01745

研究課題名(和文) 粒子衝突および加熱における高配向性セラミックス膜の創生

研究課題名(英文) Formation of highly oriented ceramics films by impact of ceramics powders and heating

研究代表者

長谷川 誠 (Hasegawa, Makoto)

横浜国立大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：50376513

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：常温にて粒子を基材に衝突させることで膜を形成する技術であるエアロゾルデポジション(AD)法では、粒子衝突時の粒子の塑性変形により成膜されることに着目して、結晶方位の揃った高配向なセラミックス膜の実現を試みた。粉末の種類によるものの、成膜時のガス流量の増加および成膜後の熱処理によって、高配向な膜が形成されることが見出された。また、AIP法によるTiN膜に近い力学特性を示す膜がAD法により作製できることも明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、高速変形での集合組織形成を理解し、金属での常温・高温での変形に伴う集合組織形成および熱処理による再結晶集合組織の形成の理解をセラミックスにまで拡張するものである。それゆえ、結晶配向に基づいたAD法の成膜原理の理解に繋がると考える。この配向制御法は低温成膜法の一つであるAD法に新たな用途展開の可能性を開くものであり、異方性を積極的に利用したい圧電素子や熱電変換素子など、様々な分野への応用が期待できる。

研究成果の概要(英文)：In the aerosol deposition (AD) method, which is a technique for producing a coating by colliding particles with a substrate at room temperature, it was tried to produce highly oriented ceramics coatings by the plastic deformation of the particles at collision. Although it depends on the type of powder, it was found that a highly oriented coating was formed by increasing the gas flow rate during coating formation and heat treatment after coating deposition. It was also clarified that a TiN coating produced by AD method shows similar mechanical characteristics than that of the TiN coating produced by the AIP method.

研究分野：材料強度学

キーワード：集合組織 結晶配向 エアロゾルデポジション 常温成膜 耐摩耗性

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、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

基材表面における低温での緻密かつ結晶質な α - Al_2O_3 、TiN、 ZrB_2 の成膜は、超硬合金工具等の力学特性や耐摩耗性、耐熱衝撃性の向上に不可欠である。超硬合金工具等の力学特性や耐摩耗性向上のため、化学気相析出(CVD)法やアークイオンプレーティング(AIP)法等により硬質材料である α - Al_2O_3 やTiNの成膜がなされている。 α - Al_2O_3 の(0001)結晶面が基板面に平行となる結晶配向膜では、無配向な Al_2O_3 膜の約2.2倍の耐摩耗性が見出され、また、耐摩耗性が期待される高いヤング率や硬さは、TiNの(200)面が基板面に平行な膜では(111)面が平行となるよりも2倍程度高く、結晶配向制御は膜特性の向上に極めて重要である。しかし、成膜温度は約1000と基板への影響は極めて大きく、低温化が求められている。我々は粒状の α - Al_2O_3 粒子にてエアロゾルデポジション(AD)法により成膜し、その後1400で熱処理をした場合、基材に対して(0001)面が平行にランダムレベルの約25倍と高配向な集合組織となることを見出し、成膜後であっても基材に対して(0001)面が15度程度傾くものの、集合組織が形成されることを報告した。また、この配向は α - Al_2O_3 のすべり系を考慮して説明できることを明らかにした。しかし、そもそも、本当にAD法により得られる膜の集合組織が成膜中の粒子のすべり系の活動による塑性変形と加熱および成膜後の熱処理による粒成長により発達するのか、また、どのような成膜、加熱および熱処理条件にて集合組織が発達するのかは明らかではない。さらには、より融点が高く塑性変形し難いと考えられるTiNや ZrB_2 、 β -SiAlON粉末において α - Al_2O_3 と同様に集合組織形成がなされるか、また、金属での常温・高温での変形に伴う集合組織形成および熱処理による再結晶集合組織の形成の理解をセラミックスにまで新たに拡張できるかは明らかではない。

2. 研究の目的

本研究では、AD法によって結晶方位の揃った高配向なセラミックス膜を実現させるとともに、衝突による α - Al_2O_3 やTiN、 ZrB_2 、 β -SiAlON粒子の塑性変形、破壊、高温変形や成膜後の熱処理に基づいて結晶配向(集合組織)の形成を解明する。さらには、結晶配向が膜の力学特性や耐摩耗性に与える影響についても明らかにする。

3. 研究の方法

(1) AD膜の作製: α - Al_2O_3 、TiN、 ZrB_2 、 β -SiAlON粉末を基材へ成膜する。粒径が0.5~2.0 μm 程度の粒子を用いる。キャリアガスは N_2 やHeを用い、異なる粉末巻上流量、粉末搬送流量、粉末衝突角度、試料-ノズル間距離、基板加熱温度により成膜する。膜厚は、1~10 μm 程度とする。
(2) 組織観察: 成膜した試料を対象に組織観察する。結晶粒が微細なため、FE-SEMとTEMによる観察を実施し、膜の緻密度、粒径、粒内の転位状態について評価を実施する。
(3) 集合組織評価・集合組織形成の検討: 成膜した面を対象にシュルツの反射法により集合組織を測定する。使用するX線はCu K α 線であり、加速電圧および電流は40 kV、40 mAとする。得られる回折線の強度を基に作成した不完全正極点図から結晶方位分布関数を求めて集合組織を評価する。集合組織の発達の指標として、主成分から15度以内の極の体積分率を元に定量的な集合組織評価を実施する。すべり系と臨界分解せん断応力(CRSS)に基づいて集合組織形成を検討する。AD法により得られた集合組織が変形を主とした集合組織形成であるかを確認する。
(4) 力学特性、耐摩耗性評価: 球圧子の押し込みおよびスクラッチ試験による膜の特性、膜/基材界面の定性的な剥離特性評価と磨耗試験を行い、組織や配向との関連について明らかにする。得られた特性をフィードバックして成膜プロセス改良に反映させる。
(5) 膜の熱処理および膜組織の評価: 一部の試料を対象に熱処理が組織および集合組織に与える影響を調べる。熱処理は大気あるいは真空中で1000~1400、10~200時間の範囲で実施する。熱処理後に評価を行う。
(6) 結果のまとめ: AD成膜およびその後の熱処理によって形成した膜の集合組織について、塑性変形、高温変形とその後の熱処理による結晶粒成長として、トータルに集合組織の形成機構について明らかにしていく。従来の一般的な集合組織形成に関する知見との相違を明らかにする。

4. 研究成果

(1) AD法により得られた膜の組織と集合組織

1) α - Al_2O_3 膜

図1は、ガス流量および基板加熱温度の違いが成膜レートに与える影響を示したものである。ガス流量の増加とともに、成膜レートが上昇していることがわかる(図1(a))。本来であれば、さらなる流量増加により成膜レートが

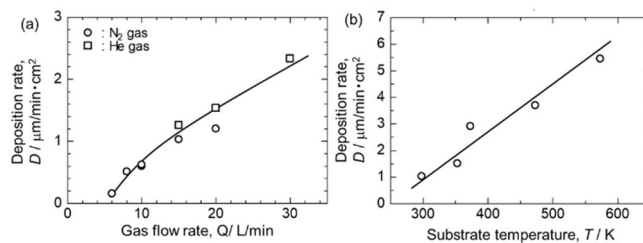


図1 ガス流量および基板温度が α - Al_2O_3 膜形成の成膜レートに与える影響。(a) ガス流量の影響、(b) 基板温度の影響。

低下するのが一般的であるが、使用している装置ではこれ以上に流量を増加させられなかったため、低下する領域が確認できていないと感られる。ガス流量を 15 L/min とし、基板を種々の温度で加熱して成膜すると、基板加熱温度の上昇にともない、成膜レートも大きくなることを見出された(図 1(b))。成膜後の膜の断面を観察すると、室温および基板加熱により成膜した場合においても、緻密な膜が形成した(図 2)。XRD による集合組織測定の結果、(0001)面が成膜面に 15 度程度傾いた繊維集合組織が形成され(図 3)、ガス流量の増加とともに集合組織は発達するが、20 L/min 以上でほぼ一定となることを見出された(図 4)。図 5 は、 α - Al_2O_3 における基本三角形上において活動するすべり系を示した図であり、CRSS にて規格化したシュミット因子を考慮して示したものである。垂面すべりと底面すべりの活動により、極の集積が(0001)から 18 度付近となることが見出されており、集合組織の形成は、 α - Al_2O_3 のすべり系の活動に起因することがわかる。集合組織の発達が塑性変形に起因する場合は、塑性変形量の増大により発達することを見出されていることから、図 4 の結果は、ガス流量が 20 L/min まで増加するにあたっては、 α - Al_2O_3 粒子の塑性変形が支配的で成膜が為されていることを示唆しており、それ以上の流量では、塑性変形以外に粒子の破壊なども同時に生じていることがうかがえる。図 6 は、熱処理を施した後の組織である。成膜後の平均結晶粒径は 20 nm 程度であるが、1200 °C で 5 時間熱処理した場合には、100 nm 程度の大きな結晶粒径となっていた。しかしながら、集合組織は成膜後とほぼ同じ集合組織が形成され、発達した集合組織となっていた(図 7)。繊維集合組織が形成されているため、特定の方位への優先的な結晶粒の成長が生じなかったために、集合組織が維持されたと考えられる。

2) TiN 膜

Mo および SKH51 を基材としてガス流量の違いが成膜レートに与える影響を図 8 に示す。いずれの基材においても、ガス流量の増加とともに、成膜レートが増大し、最大を示した後に低下する傾向を示した。Mo 基材では 30 L/min において最大を、SKH51 においては 33 L/min において最大のレートを示した。また、いずれのガス流量においても Mo 基材での成膜よりも SKH51 基材での成膜よりも高い成膜レートを示した。これは、基材の硬さが Mo の方が SKH51 よりも低いことが理由と考えられる。得られた膜はいずれも緻密な膜であった(図 9)。膜表面からの集合組織測定の結果、ガス流量によらず、{100}繊維集合組織が形成され、(図 10) 集合組織の発達度は、ガス流量によらずほぼ一定であることを見出された。一方、成膜後に 1200 °C にて 10 時間まで熱処理をすると、主成分の位置は同じであるものの、集合組織は熱処理時間の増加とともに発達する傾向がみられた(図 11)。TiN のすべり系は、1027 以下においては、{110}<110>と報告されている。それゆえ、図 12 に

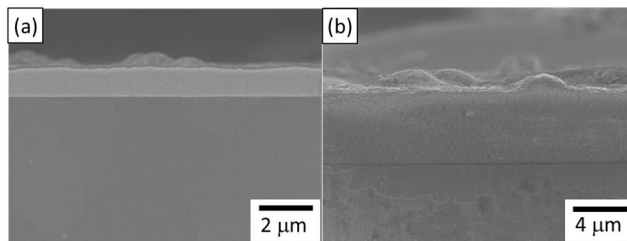


図 2 α - Al_2O_3 膜の断面組織。(a) 室温での成膜、(b) 基板温度300°Cでの成膜。

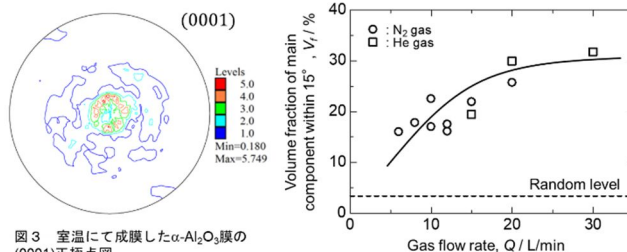


図 3 室温にて成膜した α - Al_2O_3 膜の(0001)正極点図

図 4 α - Al_2O_3 成膜におけるガス流量と集合組織の発達度の関係

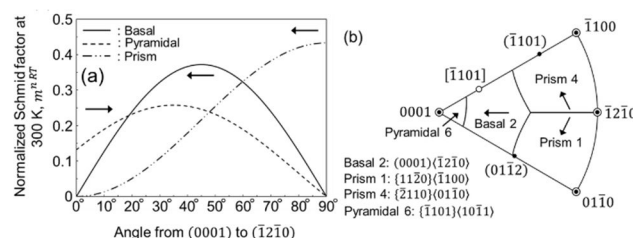


図 5 室温での規格化したシュミット因子を考慮した格子回転方向。(a) (0001)から(1210)までの角度と規格化したシュミット因子との関係、(b) 基本三角形内の活動するすべり系。

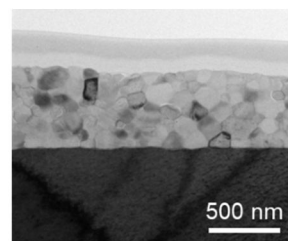


図 6 1200°C、5時間熱処理をした α - Al_2O_3 膜の組織。

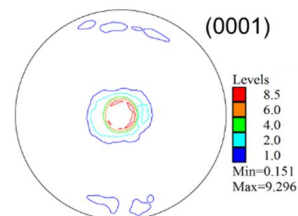


図 7 1200°C、10時間熱処理をした α - Al_2O_3 膜の(0001)正極点図。

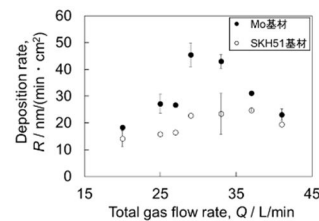


図 8 TiN膜におけるガス流量の成膜レートの関係。

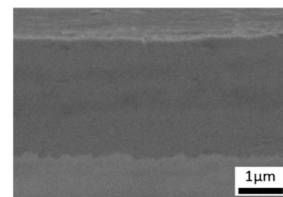


図 9 TiN膜の断面組織。

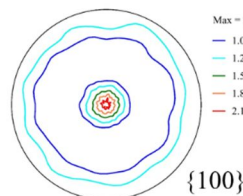


図 10 TiN膜の{100}正極点図。

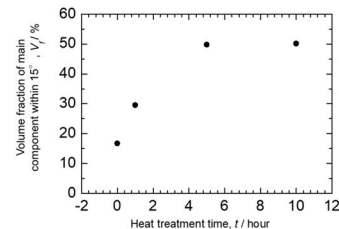


図 11 TiN膜における熱処理時間と集合組織の発達度との関係。

示す形で格子回転が生じ、変形の安定方位として{100}繊維集合組織が形成されると判断できる。

3) ZrB₂ 膜

高融点材料である ZrB₂ においても成膜が可能であり、ガス流量の増加に伴い、成膜レートが増大することが見出された(図13)。しかしながら、膜は比較的緻密に見えるものの、数十から数百 nm 程度の空孔が膜の断面観察より確認された(図14)。空孔率はおおむね5~10%程度であった。六方晶に近い結晶構造のため、α-Al₂O₃と同様な集合組織が形成されると考えたが、集合組織は非常に弱く、ほぼランダムと言っても良い様なものであったが、主成分は強いて言えば{10 $\bar{1}$ 0}が成膜面に30度程度傾いた繊維集合組織が形成された(図15)。すべり系が{10 $\bar{1}$ 0}{ $\bar{1}$ 2 $\bar{1}$ 0}の1種類のみであり、このすべり系の活動により主成分の位置が決まったと予測されるが、集合組織が弱いのは、ZrB₂は容易に塑性変形ができず、成膜においては破壊が支配的なためだったからと考えられる。

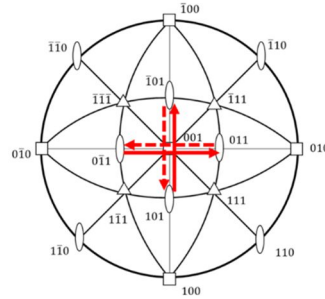


図12 TiNiにおけるすべり系の活動による格子回転の方向。

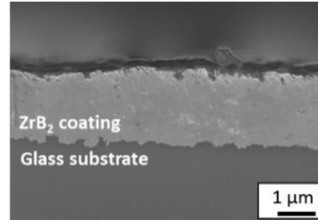


図14 ZrB₂膜の断面組織。

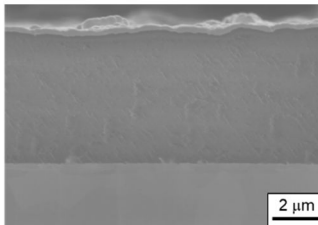


図16 β-SiAlON膜の断面組織。

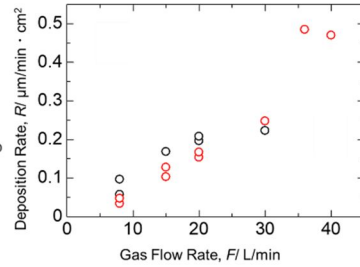


図13 ZrB₂膜におけるガス流量の成膜レートの関係。

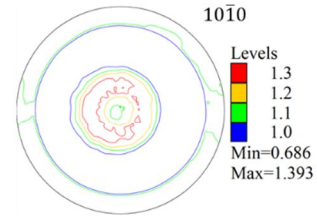


図15 ZrB₂膜の{10 $\bar{1}$ 0}正極点図。

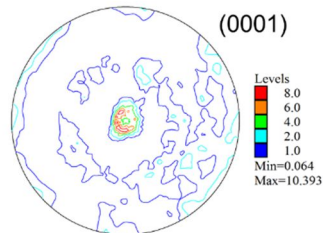


図17 β-SiAlON膜の(0001)正極点図。

4) β-SiAlON 膜

β-SiAlON 粉末での成膜においてもガス流量および基板加熱温度の増加にともなって成膜レートの増加が見られた。緻密かつ結晶質な膜が形成され(図16)、(0001)面が成膜面に10度ほど傾いた繊維集合組織が形成された(図17)。β-SiAlONにおける活動すべり系は、{ $\bar{1}$ 100}{0001}、{ $\bar{2}$ 110}{01 $\bar{1}$ 0}、{ $\bar{1}$ 011}{ $\bar{1}$ 2 $\bar{1}$ 0}、{01 $\bar{1}$ 1}{ $\bar{1}$ $\bar{1}$ 23}、{ $\bar{1}$ 2 $\bar{1}$ 2}{ $\bar{1}$ 2 $\bar{1}$ 3}と5種類と報告されている。各すべり系における臨界分解せん断応力(CRSS)は把握されていないものの、全てCRSSを等しいと仮定して計算した時、(0001)面から15度の位置に極の集積が形成され、{ $\bar{1}$ 011}{ $\bar{1}$ 2 $\bar{1}$ 0}のCRSSを他のすべり系のCRSSの60%として仮定して場合には、(0001)面から10度の位置に極の集積が形成される結果となった。それゆえ、β-SiAlON粉末では、基本的に成膜は粒子の基材衝突時の塑性変形によって生じたと考えられる。

(2) 力学特性、耐摩耗性評価

1) ヤング率・硬さ

α-Al₂O₃粉末で形成した膜では、ガス流量の増加とともに、ヤング率、硬さともに上昇する傾向が見られた。α-Al₂O₃ではガス流量に伴う集合組織の発達が見られることから、集合組織の発達度とヤング率、硬さの関係を図18に示した。集合組織が発達するとともにヤング率と硬さの値がいずれも上昇することが見られた。α-Al₂O₃のヤング率は方位により異なり、E₍₀₀₀₁₎=444.4 GPa、E_{1014}=441.2 GPa、E_{1012}=424.6 GPaと報告されている。成膜面からのインデントーションによるヤング率測定のため、(0001)面の配向が高くなっているためにヤング率が上昇していると考えられる。硬さの上昇については、配向に伴うすべり変形がしにくくなったためと考えたと説明がつく。TiN粉末で形成した膜では、ガス流量に関係なく、ヤング率と硬さの値は一定であり、それぞれ250 GPaおよび1200 MPa程度であった。一方、AIP法により作製された膜のヤング率と硬さはそれぞれ、300 GPaおよび1800 MPaであった。

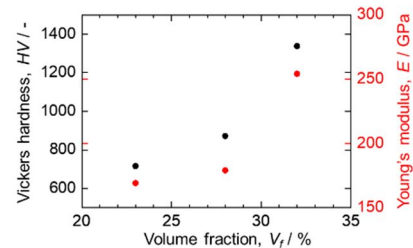


図18 α-Al₂O₃膜における集合組織の発達度とヤング率および硬さとの関係。

得られたα-Al₂O₃およびTiN膜を1200℃にて熱処理を実施すると、熱処理時間の増加に伴って、ヤング率および硬さが上昇した後、低下する傾向が見られた(図19)。AD法により作製される膜の平均結晶粒径は10~20 nm程度であり、1200℃での熱処理に伴い、結晶粒径が50 nm程度と大きくなることは報告している。硬さは降伏応力と関連があり、一般に粒径が小さくなるほど降伏応力が高くなるホールペッチの関係が知られている。硬さがある熱処理時間を越えると低下するのは、ホールペッチの関係に基づいて硬さが低下していると考えられる。一方、熱処理初期の硬さの上昇については、結晶粒径が非常に小さいため、逆ホールペッチの関係が成り立つ条件であったためと考えられる。

2) スクラッチ試験

図 20 は TiN 膜に対して連続荷重増加方式でスクラッチ試験を行った時の一例である。AIP 法により作製した膜について行った結果である。AE プロファイルにおいて最小荷重でのピークが発生した荷重を初期クラックが発生した臨界荷重 LcAE とし、摩擦係数の急激な変化が発生した荷重を膜が完全に剥離し基材が露出した臨界荷重 LcFt とした。スクラッチ試験から得られた荷重に対する AE 及び摩擦係数の変化を図 20(a)に示す。また、スクラッチ条痕の例を図 20(b)に示し、LcAE および LcFt が生じた箇所を同時に示した。表 1 は、AD 法により作製した α -Al₂O₃ 膜および TiN 膜においてスクラッチ試験により得られた LcAE および LcFt の値である。異なるガス流量にて成膜を実施した試料についての結果であるが、ガス流量の増加に伴い、LcAE は増加、LcFt は減少の傾向を示した。また、AIP 法による TiN 膜と比較し、AD 法による TiN 膜および Al₂O₃ 膜の LcAE は低いものの LcFt の値はほぼ同等かそれ以上であり、膜 - 基材界面において強い密着力を示していると言える。このことから、ベンチマーク材である AIP 法による TiN 膜とほぼ同等の特性が AD 法により作製された TiN 膜および Al₂O₃ 膜が示すことが見出された。

3) 球圧子押し込み試験

同一条件にて押し込み試験を実施後、圧痕周辺の表面組織を観察すると、AIP 法による TiN 膜の圧痕周辺では膜の剥離は見られず、放射状のクラックが確認された。一方、AD 法にて作製された膜では、成膜時のガス流量の違いおよび基板加熱温度の違いによらず、膜の剥離が見られた(図 21)。しかしながら、膜と基材界面での剥離ではなく、膜内での剥離であるため、基材表面に残った TiN 膜が摺動部における保護層として働く可能性がある。それゆえ、AD 法にて作製された膜は、AIP 法による TiN 膜に代わる膜となり得る特性を有していると判断できる。

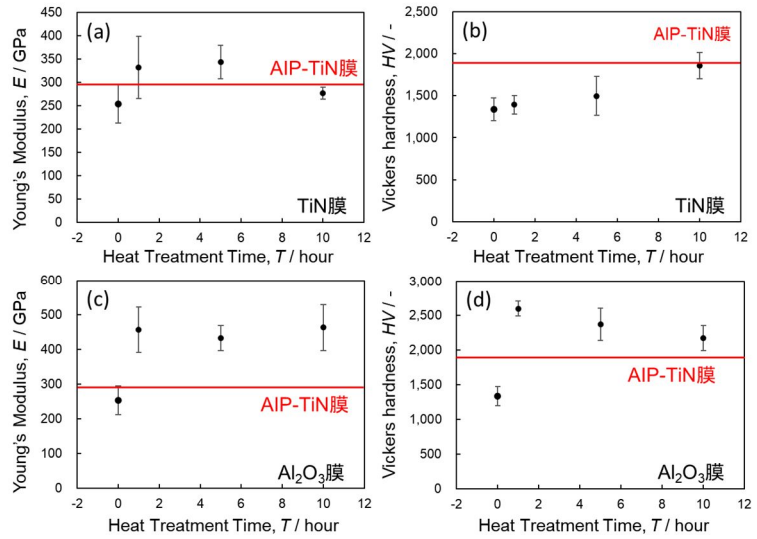


図19 α -Al₂O₃膜とTiN膜における1200°Cでの熱処理におけるヤング率および硬さの変化。

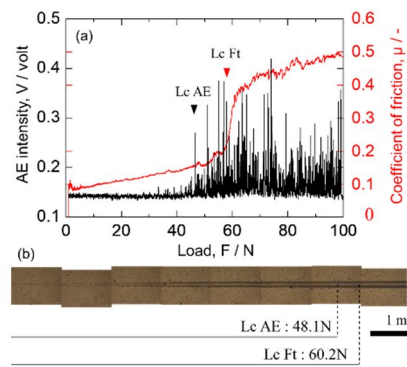


図20 AIP法により作製したTiN膜の垂直荷重に対するAE強度及び摩擦係数の変化の様子。

表 1 スクラッチ試験により得られたLcAEおよびLcFt。

TiN膜	20 L/min	33 L/min	41 L/min	
LcAE[N]	8.2	11.4	14.7	
LcFt [N]	81.5	62.0	65.6	
Al ₂ O ₃ 膜	10 L/min	15 L/min	20 L/min	AIP膜
LcAE[N]	25.9	25.5	28.8	48.1
LcFt [N]	58.9	31.6	54.8	60.2

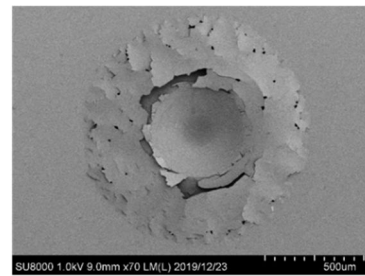


図21 AD法により作製したTiN膜における圧痕周辺の表面組織。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 3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 長谷川 誠, 渋屋 俊貴, 井内 敦久, 水野 泰輔	4. 巻 57
2. 論文標題 エアロゾルデポジション法により作製したモデル環境バリアコーティングの大気熱曝露による組織変化	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 溶射	6. 最初と最後の頁 88-96
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 長谷川誠, 渋屋俊貴, 井内敦久, 水野泰輔	4. 巻 40
2. 論文標題 エアロゾルデポジション法により作製したモデル環境バリアコーティングの大気熱曝露による組織変化	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 溶射技術	6. 最初と最後の頁 58-67
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 M. Hasegawa, M. Komuro, K. Kimura, S. Hashimoto, M. Tanaka, S. Kitaoka, Y. Kagawa	4. 巻 129
2. 論文標題 Formation Mechanism of Texture in γ -Alumina Coatings Produced by Aerosol Deposition	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 7-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.20135	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 長谷川誠	4. 巻 55
2. 論文標題 エアロゾルデポジション法による環境遮蔽コーティングのための酸素遮蔽コーティング技術の開発	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 セラミックス	6. 最初と最後の頁 454-458
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 Hasegawa Makoto, Kimura Kyonosuke, Aoki Koichiro, Komuro Masahiro	4. 巻 60
2. 論文標題 Texture Evolution of Nickel Coatings Fabricated by Aerosol Deposition	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 MATERIALS TRANSACTIONS	6. 最初と最後の頁 2305 ~ 2310
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.MT-M2019161	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 -

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 長谷川誠
2. 発表標題 固相粒子衝突による高結晶配向性膜の形成技術
3. 学会等名 表面技術協会 第143回講演大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年 ~ 2021年

1. 発表者名 古谷祐樹、長谷川誠、田中誠、北岡諭
2. 発表標題 エアロゾルデポジション法における新たな粒子衝突速度測定手法の提案
3. 学会等名 日本セラミックス協会 2021年年会
4. 発表年 2020年 ~ 2021年

1. 発表者名 Koichiro Aoki, Makoto Hasegawa, Shinichi Takagi
2. 発表標題 Titanium Nitride Coating Produced by Aerosol Deposition Method for Die Repair
3. 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13), October 27- November 1, 2019, 'Okinawa Convention Center' Okinawa, Japan (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Soma Hashimoto, Kyonosuke Kimura, Makoto Hasegawa, Makoto Tanaka, Satoshi Kitaoka, Yutaka Kagawa
2. 発表標題 Effect of Difference in Alumina Particle Size on the Development of Microstructure and Texture of Dense Alumina Coating for Advanced EBCs
3. 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13), October 27- November 1, 2019, 'Okinawa Convention Center' Okinawa, Japan (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長谷川誠
2. 発表標題 エアロゾルデポジションによるセラミックス膜の環境遮蔽膜としての可能性
3. 学会等名 第5回 セラミックコーティング研究体 研究会 「高信頼性・高機能デバイスの実現に向けた先進コーティングの先端評価技術」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長谷川誠
2. 発表標題 Development of Texture on Alumina Coating Processed by Aerosol Deposition
3. 学会等名 International Symposium for Advanced Materials Research 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小室雅大、木村響之介、長谷川誠
2. 発表標題 エアロゾルデポジション法によるアルミナ膜の集合組織形成
3. 学会等名 第2回 金属・無機・有機材料の結晶方位解析と応用技術研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長谷川誠、小室雅大、木村響之介、田中誠、北岡諭、香川豊
2. 発表標題 エアロゾルデポジション法による成膜時の厚さおよび温度の違いがアルミナ膜の集合組織に与える影響
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第31回秋季シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 青木皓一郎、木村響之介、長谷川誠、高木真一
2. 発表標題 エアロゾルデポジション法によるTiN膜の形成
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第31回秋季シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長谷川誠
2. 発表標題 エアロゾルデポジション法により作製したセラミックスコーティングの組織と結晶配向性
3. 学会等名 セラミックコーティング研究体 研究会 「常温・低温プロセスを支える接合界面現象の解明に向けて」
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 長谷川誠	4. 発行年 2020年
2. 出版社 (株)技術情報協会	5. 総ページ数 288-299
3. 書名 エレクトロニクス用セラミックスの応用、開発と評価手法、第7章 第4節 エアロゾルデポジション法により作製したセラミックスコーティングの組織と結晶配向性	

〔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	小沼 誠司 (Seiji Konuma) (00580581)	地方独立行政法人神奈川県立産業技術総合研究所・川崎技術支援部・グループリーダー (82718)	
研究分担者	高木 眞一 (Shinichi Takagi) (60426369)	地方独立行政法人神奈川県立産業技術総合研究所・機械・材料技術部・グループリーダー (82718)	

	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
研究協力者	古谷 祐樹 (Furuya Yuki)		
研究協力者	渋谷 俊貴 (Shibuya Toshiki)		
研究協力者	木村 響之介 (Kimura Kyonosuke)		
研究協力者	青木 皓一郎 (Aoki Koichiro)		
研究協力者	武田 眞一 (Takeda Shinichi)		

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
研究協力者	橋本 壮馬 (Hashimoto Souma)		

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