

令和 2 年 6 月 28 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01319

研究課題名(和文)セラミックスのメソスケール破壊特性の評価法確立と微構造因子との相関解明

研究課題名(英文) Establishment of the method for evaluating fracture properties of ceramics in mesoscale and elucidation of the relationship between them and microstructural factors

研究代表者

多々見 純一 (Tatami, Junichi)

横浜国立大学・大学院環境情報研究院・教授

研究者番号：30303085

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、セラミックスの破壊を支配するメソスケール破壊特性の評価法確立と微構造因子との相関解明、および、これを活用した高信頼性材料の設計と創製を目的として研究を行った。マイクロカンチレバー試験片を用いた曲げ試験をシリコン、炭化ケイ素、ダイヤモンド、窒化ケイ素、チタン酸バリウム、ガラス等に適用し、ナノスケールの構造の変化がメソスケールの破壊特性に影響を及ぼすことを定量的に示すことができた。得られた多くの知見は従来の手法では実測できなかったものであり、環境エネルギー分野や安心安全な社会を支える材料の研究開発に有効な情報を得ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

マイクロカンチレバー試験片を用いたセラミックスのメソスケール破壊特性評価法により、材料の破壊の支配因子であるにも関わらずブラックボックスとしてきたメソスケールの強度や疲労特性などの破壊特性を測定したい場所に対してピンポイントで定量的に実測することができ、セラミックスの破壊現象の理解と、これに基づく高信頼性材料の社会実装を大幅に推進することができた。また、ここで得られた成果は破壊現象の理解に基づく高信頼性設計による各種セラミックスの社会実装に大きく貢献するとともに、多岐にわたる学術分野への波及も期待される。

研究成果の概要(英文)：The objective of this study was to establish the evaluation technique of fracture properties in meso-scale which control the fracture of bulk ceramics and to clarify the relationship between the fracture properties in meso-scale and the microstructure factor. Bending test using microcantilever beam specimens was applied to silicon, silicon carbide, diamond, silicon nitride, barium titanate, glass, and so on. As a result, it was quantitatively indicated that the change in the structure in nano-scale has an influence on the fracture properties in meso-scale. Most of the obtained results has not been measured by conventional techniques in the previous study. They are effective information for research and development of materials to support environment, energy, and safe and secure society.

研究分野：先進セラミックス

キーワード：セラミックス 破壊 メソスケール 強度 破壊靱性 塑性変形

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

環境エネルギー分野や安心・安全な社会を支える重要な各種構造用セラミックスや機能性セラミックスの研究開発が進められている。これらの材料は社会実装が近づくにつれて、機械的信頼性の向上や耐久性の確保への要求が高まっている。しかし、高信頼性化のための材料設計やその基礎となる破壊現象の理解は十分なされていなかった。セラミックスの破壊の素過程はこれを構成する要素の破壊である。従って、セラミックスの機械的信頼性や耐久性は、結晶粒子や粒界といった構成要素と同程度のサブ $\mu\text{m}$ から数十 $\mu\text{m}$ スケールの領域、すなわち、メソスケールでの破壊特性に支配される。研究代表者は、集束イオンビーム加工装置を利用して断面が縦横数 $\mu\text{m}$ 、長さが約 $10\mu\text{m}$ のマイクロカンチレバー試験片を加工し、これをナノインデントで破壊試験することで、微小領域の強度や破壊靱性を測定できる革新的手法を提案し、バルクな単結晶やバイクリスタルを作製することができない $\text{Si}_3\text{N}_4$ セラミックス中の単一粒子および粒界の破壊靱性の実測に世界で初めて成功していた。この手法を拡張し、多様な構造の部材に対して、他の破壊特性も含めてメソスケールで評価可能になれば、破壊現象の理解に基づく高信頼性設計による各種セラミックスの社会実装に大きく貢献することができる。

### 2. 研究の目的

本研究では、セラミックスの破壊現象の理解に基づく高信頼性材料設計とその社会実装を目指して、①測定される破壊特性に及ぼす試験片形状、破壊試験条件、測定対象の箇所・材料・構造の影響の解明を通じたメソスケール破壊特性評価法の確立、②微構造制御して作製したセラミックスを用いた実験による、高信頼性セラミックスをつくりこむために必要な微構造因子とメソスケールの破壊特性の相関の解明、③メソスケール破壊特性を活用した新たな高信頼性材料の設計手法の提案と創製を目的とした。

### 3. 研究の方法

本研究の目的であるメソスケール破壊特性の評価法を確立するために、測定されるメソスケール破壊特性に及ぼすマイクロカンチレバー試験片の形状および破壊試験条件の影響と、強度、モード I 破壊靱性を評価するための手法について検討した。また、メソスケール破壊特性と微構造因子の相関を解明するために、微構造制御された材料を作製し、この材料のメソスケール破壊特性の評価と解析を進めた。具体的な材料として、単結晶シリコン、単結晶 $\text{SiC}$ 、CVD- $\text{SiC}$ コーティング、多孔質 $\text{SiC}$ 、ダイヤモンド、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ セラミックス、チタン酸バリウム積層セラミックコンデンサ、単結晶チタン酸バリウム、シリカガラスなどを用いて実験を行った。

### 4. 研究成果

本研究課題の成果について、主な成果を下記に示す。

#### (1) 単結晶シリコンのメソスケール破壊特性

典型的な脆性材料として単結晶シリコンを用いて実験を行い、マイクロカンチレバー試験片を用いたメソスケール破壊特性評価法の確立を試みた。Fig. 1にマイクロカンチレバー試験片の応力ひずみ曲線を、Table 1に測定された単結晶シリコンの機械的特性を示す。測定されたヤング率と第一原理計算により算出された計算値 ( $169\text{ GPa}^{[1]}$ ) がよく一致したことから、妥当な破壊試験が行われたことが確認された。試験片(大)の応力とひずみは線形関係であり、ある応力でバルクな単結晶シリコンに特徴的な脆性破壊をした。一方、試験片(中)と試験片(小)において、低応力側では応力とひずみは線形関係であったが、応力が高くなると非線形関係となった。破壊前に荷重を除荷する未破壊試験を行ったところ (Fig. 2)、永久ひずみが存在していたことから、試験片(中)と試験片(小)は塑性変形したことが明らかとなった。Fig. 3に未破壊試験片の試験片支持部の TEM 画像を示す。Fig. 3a から、曲げ応力が最も印加されると考えられる試験片支持部の表面にのみ転

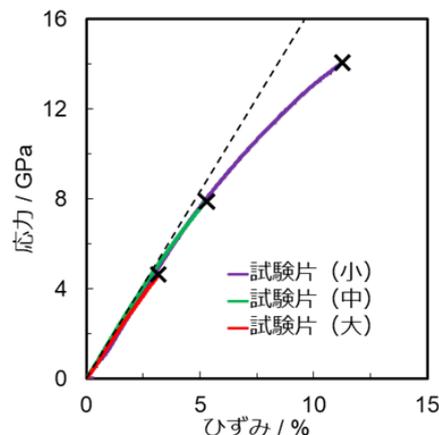


Fig. 1 異なる寸法のマイクロカンチレバー試験片を用いて測定された応力ひずみ曲線

Table 1 寸法の異なるマイクロカンチレバー試験片を用いて測定された単結晶シリコンの機械的特性

	試験片(小)	試験片(中)	試験片(大)
幅 / $\mu\text{m}$	0.5	1.5	3.6
高さ / $\mu\text{m}$	1.2	2.5	6.6
長さ / $\mu\text{m}$	4.9	15.8	22.4
荷重点距離 / $\mu\text{m}$	$3.9 \pm 0.1$	$10.3 \pm 0.4$	$19.5 \pm 0.2$
ヤング率 / GPa	$171 \pm 31$	$175 \pm 10$	$165 \pm 6$
降伏応力 / GPa	$4.1 \pm 1.0$	$4.0 \pm 0.6$	—
パイエルス力 / GPa	$1.7 \pm 0.4$	$1.6 \pm 0.2$	—
曲げ強度 / GPa	$14.2 \pm 1.0$	$9.0 \pm 1.4$	$4.5 \pm 0.4$

位が密集している様子が観察された。Fig. 3a を拡大した Fig. 3b から、これらの転位は積層欠陥に起因することが明らかとなった。応力ひずみ曲線から得られた降伏応力は 4.1 - 4.2 GPa であり、この降伏応力から算出された転位が生成するために必要なパイエルス力は 1.6 - 1.7 GPa であった。圧縮応力下でも転位の生成と移動に起因する単結晶シリコンの塑性変形が報告されており<sup>[2]</sup>、その降伏応力から計算されたパイエルス力とよく一致した。これより、単結晶シリコンは圧縮・引張に関わらず降伏応力を超える応力が印加されたとき、転位活動に起因する塑性変形が起こることがわかった。一方、試験片 (大) の曲げ強度がシリコンの降伏応力と同程度なため、ほとんど塑性変形せずに脆性破壊した。

Table 1 に示す試験片寸法ごとの曲げ強度からわかるように、試験片寸法が小さくなるにつれて曲げ強度が増加した。特に、試験片 (小) の曲げ強度は 14.2 GPa となり、第一原理計算から得られる Si 間の結合を切断するのに要する理想強度に極めて近い値となった<sup>[3]</sup>。試験片 (中) の曲げ強度から算出したき裂長さは 10.3-25.3 nm となり、Fig. 3b に示す転位の密集領域の大きさとよく一致した。これより、試験片 (中) や試験片 (小) は曲げ試験中に生成した極めて小さな転位の集積が破壊源となるため非常に高い曲げ強度を示したと考えられる。さらに、数  $\mu\text{m}$  スケールの単結晶シリコンの寸法効果は、試験片内部に存在する気孔やき裂に支配されるバルク体とは異なり、転位の集積に支配されることが明らかとなった。

## (2) 4H-SiC 単結晶のメソスケール破壊特性

前述の単結晶シリコンと類似の結晶構造とより高い共有結合を有する SiC の単結晶を用いて実験を行った。SiC は典型的な高温構造用セラミックスということで重要な材料でもある。図 1 にマイクロカンチレバー試験片の応力ひずみ曲線を示す。応力はひずみの増加とともに線形に増加した後、応力ひずみ曲線は非線形となり、最終的には最大応力で試験片は破壊した。応力ひずみ曲線の線形領域から算出したヤング率の平均値は 485 GPa となり、第一原理計算で得られている 4H-SiC の  $\langle 11\bar{2}0 \rangle$  方向のヤング率 (475 GPa) とよく一致した。これは、今回のマイクロカンチレバー試験片を用いた曲げ試験が妥当に行われたことを示している。応力ひずみ曲線に非線形が表れた後、破壊試験前に除荷した場合には残留ひずみが存在していたことから、室温での曲げ試験であるにもかかわらず 4H-SiC は塑性変形を示すことが明らかとなった。除荷後の試験片の TEM 観察では、応力が印加されなかった領域では 4H-SiC に由来する明瞭な格子像が確認されたのに対して、高い引張応力が作用した領域では転位の集積に起因した多数の格子不整合が確認された。これは、塑性変形が転位の生成と移動に起因して生じたことを示している。転位が集積した格子不整合の領域の寸法は 2~5 nm であった。破壊荷重から測定され

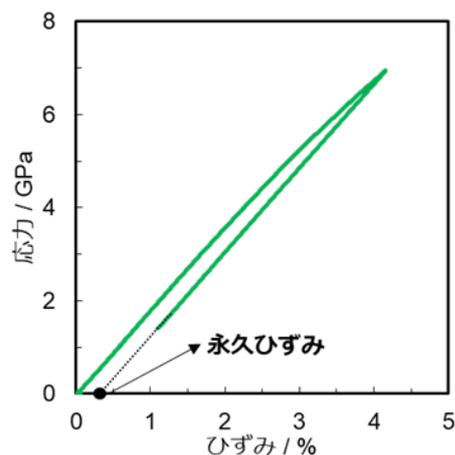


Fig. 2 試験片 (中) の未破壊試験から得られた応力ひずみ曲線

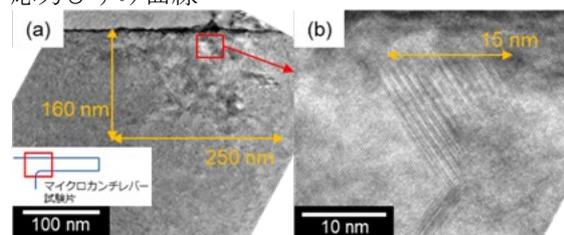


Fig. 3 (a) 未破壊試験片 (中) の試験片支持部の TEM 画像、(b) (a) の拡大図

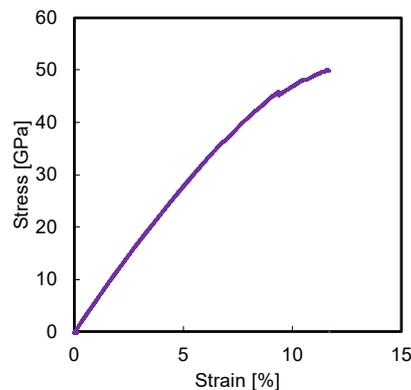


Fig. 4 4H-SiC 単結晶のマイクロカンチレバー試験片で得られた応力ひずみ曲線

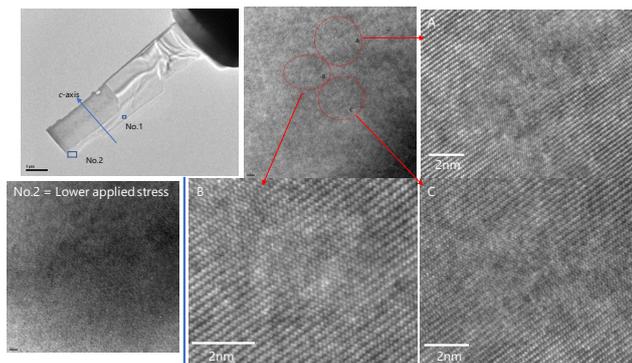


Fig. 5 4H-SiC 単結晶のマイクロカンチレバー試験片の TEM 写真

た曲げ強度の平均値は56.2GPaとなり、SiC ウィスカーなどで報告されている強度（約8.4GPa）よりも極めて高い値となった。これまでに、第一原理計算により得られている4H-SiCの理論強度は約55GPaと報告されており、今回の曲げ強度は理論強度に近い値であることが明らかとなった。一方で、4H-SiCの{1120}面の破壊靱性を片側ノッチ入りマイクロカンチレバー試験片で測定したところ3.76MPam<sup>1/2</sup>となり、この値と曲げ強度から算出される等価き裂長さ2cは約3nmとなった。この値は前述の転位が集積した格子不整合の領域の寸法とよく一致しており、曲げ強度は転位が集積による応力集中に起因している可能性も示唆された。単結晶シリコンと同様の現象が、高い共有結合性を有するSiCにおいて室温でも生じることは新たな知見である。

### (3) 多孔質 SiC のメソスケール破壊特性

多孔質 SiC は DPF 等に用いられている材料であり、さらなる高強度化が求められていた。多孔質 SiC の破壊は粒界で生じることから、高強度化の材料設計に粒界強度に関する知見は重要であるにもかかわらず、実測された例はなかった。そこで本研究では、マイクロカンチレバー法により多孔質 SiC 中の粒界強度を実測することにした。原料粉体として粒径10 $\mu$ mと粒径1 $\mu$ mのSiC粒子を用い、これらを1:1(重量比)の割合で湿式混合した。混合粉体を成形したものを脱脂した後、Ar 雰囲気下、2200 $^{\circ}$ C、3時間保持条件で焼成を行い、粒径10 $\mu$ mの粒子が粒界で接合した多孔質 SiC を作製した (Fig. 6)。多孔質 SiC の粒界強度を測定するために、断面が幅約1 $\mu$ m、高さ約3 $\mu$ mの五角形で片持ち支持梁形状のマイクロカンチレバー試験片をその試験片端が粒界になるように作製した (Fig. 7)。粒界強度の測定結果を Table 1 に示す。値はばらついてはいたが、試験片12本の平均値は39.2 GPaであった。得られた強度のばらつきは、粒界の結晶方位の差異に起因している可能性が示唆される。Table 1 より得られた強度の分布は試験片1~5と6~12で大きく2つに分かれた。まず、試験片1~5の粒界強度の平均値は53.6 GPaであった。第一原理計算で対応粒界の強度は約50 GPaと予測されている。<sup>[4]</sup> この値は、試験片1~5の粒界強度の平均値と概ね等しい値であった。従って、試験片1~5の粒界は対応粒界に近い構造をしていると考えられる。さらに、得られた粒界強度が、SiCの粒界の原子間結合を切断するために必要な理論強度であることを意味していると考えられる。また、本研究で得られたSiC単結晶の強度(56.2 GPa)と比較すると、強度が高い試験片1~5の内さらに高い試験片1~3の平均値57.1 GPaとほぼ一致した。これは、単結晶は原子の配列が規則正しく、整合性の良い粒界に近い構造をしているからであると考えられる。一方、試験片6~12の粒界強度の平均値は、28.9 GPaであった。この値は、得られた非晶質相の強度32.8 GPaと概ね等しい値となった。従って、試験片6~12の粒界は非晶質相に近い構造をしていると考えられる。現時点で、粒界構造と強度の相関は定性的な関連付けにとどまっているが、今後 EBSD などで結晶方位を同定した後、粒界にマイクロカンチレバー試験片を作って実験を行うことで、より精密な議論ができるようになると思われる。

### (4) 溶融 Al に接触した Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> セラミックス表面近傍のメソスケール破壊特性

溶融 Al と接触していた Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> セラミックスの表面近傍のみの破壊特性をピンポイントで測定することで、短時間接触での劣化評価及び劣化メカニズムの解明を試みた。Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> に焼結助剤として Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を内掛けで 5wt.% ずつ添加し、ガス圧焼成 (0.9 MPa N<sub>2</sub> 中 1750 $^{\circ}$ C-2h 保持) によ

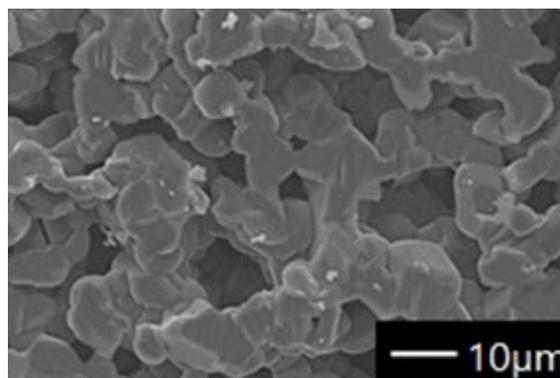


Fig. 6 粒界強度の測定に用いた多孔質 SiC

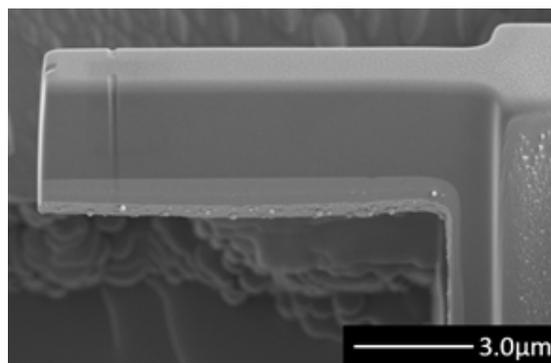


Fig. 7 多孔質 SiC 中の粒界が端部に来るように作製したマイクロカンチレバー試験片

Table 1 マイクロカンチレバー法で測定した多孔質 SiC の粒界強度

試験片	強度[GPa]	試験片	強度[GPa]
1	61.7	7	38.5
2	55.4	8	29.7
3	54.1	9	27.8
4	49.5	10	24.9
5	47.1	11	22.4
6	40	12	18.9

り  $\text{Si}_3\text{N}_4$  セラミックス焼結体を得た。焼結体表面を鏡面研磨し、鑄造用 Al-Si 合金をのせ、大気中にて  $750^\circ\text{C}$ -6h 保持した。 $\text{Si}_3\text{N}_4$  セラミックスの鏡面研磨面と、溶融 Al と 6h 接触させた面に対し、集束イオンビーム加工装置を用い、断面

が幅  $1\mu\text{m}$  高さ  $3\mu\text{m}$  の五角形で長さが  $15\mu\text{m}$  の片持ち支持梁形状のマイクロカンチレバー試験片を作製した。ナノインデントを用い、支持部から  $12\mu\text{m}$  の位置を荷重点とする破壊試験を行った。 $\text{Si}_3\text{N}_4$  セラミックス表面近傍の強度は、溶融 Al と 6h 接触することで約 50%低下した (Table 3)。よって、マイクロカンチレバー法を用いることで、6h という短時間の接触で  $\text{Si}_3\text{N}_4$  セラミックスの溶融 Al による劣化を評価することに成功した。 $\text{Si}_3\text{N}_4$  セラミックス表面近傍の破壊靱性も、溶融 Al と 6h 接触することで約 50%低下した。脆性固体の強度は、破壊靱性  $K_{\text{IC}}$  に比例し、欠陥寸法の半長  $c$  の  $1/2$  乗に反比例することから、溶融 Al との接触による  $\text{Si}_3\text{N}_4$  セラミックスの強度低下は破壊靱性の低下に起因すると考えられる。走査型電子顕微鏡によるマイクロカンチレバー試験片の破面観察の結果、溶融 Al との接触の有無によらず、き裂が粒界を進展して破壊していることが確認された。また、溶融 Al 接触後の試験片のみ、特異な網目状の形態を有する粒

界破壊を呈していた (Fig. 8)。作製した  $\text{Si}_3\text{N}_4$  セラミックスの粒界ガラス相は、 $\text{SiO}_2$  を主成分とした Y-Si-Al-O-N ガラスにより構成されている。 $\text{SiO}_2$  ガラスは溶融 Al と接触した際に  $\text{Si}^{4+}$  と  $\text{Al}^{3+}$  のイオン交換反応が生じ、反応に伴う体積収縮により、き裂が生じることが報告されている。同様の反応が  $\text{Si}_3\text{N}_4$  セラミックスの粒界ガラス相と溶融 Al の間で生じていたとすれば、収縮応力により粒界ガラス相中にマイクロクラックが形成する可能性がある。マイクロクラックの存在により、脆性固体のヤング率は低下することが報告されている。マイクロカンチレバー法で測定した  $\text{Si}_3\text{N}_4$  セラミックス表面近傍のヤング率は、溶融 Al との接触により低下していた (Table 2)。したがって、溶融 Al との接触による粒界ガラス相中のマイクロクラックの形成が破壊靱性の低下原因であり、このマイクロクラックが破面で観察された網目形態であったと考えられる。溶融 Al と反応し収縮応力が生じたとしても、粒界ガラス相が強固であればマイクロクラックは形成されないと考えられる。 $\text{Si}_3\text{N}_4$  セラミックスは、添加する希土類イオンの偏析量の差異 ( $\text{Y} > \text{Lu}$ ) に起因し、粒界破壊靱性が  $\text{Y}_2\text{O}_3$  添加の場合よりも  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  添加の方が大きくなること、マイクロカンチレバー法によって実測されている。そこで、焼結助剤を  $\text{Y}_2\text{O}_3$  から  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  に変更した  $\text{Si}_3\text{N}_4$  セラミックスを作製し、表面近傍の破壊特性を測定したところ、破壊特性が低下せず (Table 3)、破面に網目形態、すなわちマイクロクラックも観察されなかったことから、耐溶融 Al 性の向上に成功した。このように、マイクロカンチレバー試験片を用いたメソスケール破壊特性を材料中でピンポイントにて測定することで、高い信頼性を有するセラミックスの開発に活用できることが明らかとなった。

Table 2 マイクロカンチレバー法で測定した溶融 Al 接触前後の  $\text{Si}_3\text{N}_4$  セラミックス表面近傍のメソスケール破壊特性

	接触前	6h 接触後
曲げ強度 [GPa]	$5.89 \pm 1.33$	$3.03 \pm 0.29$
破壊靱性 $K_{\text{IC}}$ [ $\text{MPa m}^{1/2}$ ]	$3.28 \pm 0.61$	$1.60 \pm 0.43$
等価き裂長さ $2c$ [nm]	197	178
ヤング率 $E$ [GPa]	$343 \pm 48$	$212 \pm 81$

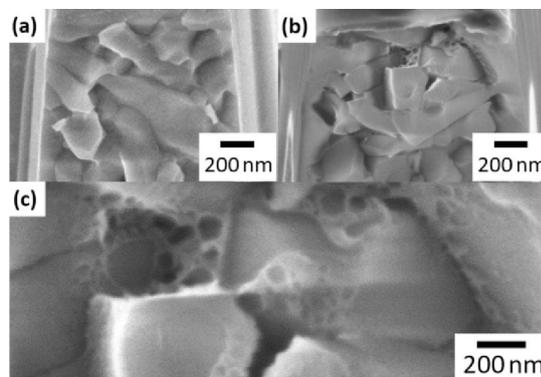


Fig. 8 マイクロカンチレバー試験片の破面 (a) 溶融 Al 接触前 (b) 溶融 Al 6h 接触後 (c) (b) の拡大像

Table 3  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  添加  $\text{Si}_3\text{N}_4$  セラミックスのメソスケール破壊特性

	接触前	6h 接触後
曲げ強度 [GPa]	$5.27 \pm 0.97$	$6.11 \pm 0.71$
破壊靱性 $K_{\text{IC}}$ [ $\text{MPa m}^{1/2}$ ]	$2.61 \pm 0.35$	$2.40 \pm 0.58$

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4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 Yamaguchi Hiroshi, Tatami Junichi, Yahagi Tsukaho, Nakano Hiromi, Iijima Motoyuki, Takahashi Takuma, Kondo Toshiyuki	4. 巻 55
2. 論文標題 Dislocation-controlled microscopic mechanical phenomena in single crystal silicon under bending stress at room temperature	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Materials Science	6. 最初と最後の頁 7359 ~ 7372
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10853-020-04528-3	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 Tatami Junichi, Imoto Yumi, Yahagi Tsukaho, Takahashi Takuma, Iijima Motoyuki	4. 巻 40
2. 論文標題 Relationship between bending strength of bulk porous silicon carbide ceramics and grain boundary strength measured using microcantilever beam specimens	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the European Ceramic Society	6. 最初と最後の頁 2634 ~ 2641
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jeurceramsoc.2019.12.029	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 YAMAGUCHI Hiroshi, TATAMI Junichi, IIJIMA Motoyuki	4. 巻 127
2. 論文標題 Measurement of mechanical properties of BaTiO <sub>3</sub> layer in multi-layered ceramic capacitor using a microcantilever beam specimen	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 335 ~ 338
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.19030	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 Fujita Saho, Tatami Junichi, Yahagi Tsukaho, Takahashi Takuma, Iijima Motoyuki	4. 巻 37
2. 論文標題 Degradation evaluation of Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> ceramic surface layer in contact with molten Al using microcantilever beam specimens	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of the European Ceramic Society	6. 最初と最後の頁 4351 ~ 4356
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jeurceramsoc.2017.01.016	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29件（うち招待講演 10件 / うち国際学会 16件）

1. 発表者名 Junichi Tatami, Yumi Imoto, Tsukaho Yahagi, Takuma Takahashi, Motoyuki Iijima
2. 発表標題 Mechanical properties of SiC measured using microcantilever beam specimens
3. 学会等名 Engineering Ceramics 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Junichi Tatami, Tsukaho Yahagi, Takuma Takahashi, Motoyuki Iijima
2. 発表標題 Mesoscale characterization of mechanical properties of ceramics using microcantilever beam specimens
3. 学会等名 CICC-11 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Junichi Tatami, Yumi Imoto, Akihiko Ito, Motoyuki Iijima, Tsukaho Yahagi, Takuma Takahashi
2. 発表標題 Measurement of mechanical properties of SiC coating using microcantilever beam specimens
3. 学会等名 GFMAT-2 and Bio-4 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 多々見純一、山口拓志、中野裕美、飯島志行、矢矧束穂、高橋拓実
2. 発表標題 単結晶シリコンの微粒子スケールでの強度と変形
3. 学会等名 粉体工学会第54回技術討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroshi Yamaguchi, Junichi Tatami, Motoyuki Iijima
2. 発表標題 Mechanical properties of single crystal BaTiO <sub>3</sub> measured using microcantilever beam specimens
3. 学会等名 PACRIM13 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Junichi Tatami, Yumi Imoto, Hiroshi Yamaguchi, Hiromi Nakano, Tsukahara Yahagi, Takuma Takahashi, Motoyuki Iijima
2. 発表標題 Mechanical properties of single crystal, bicrystal and amorphous SiC measured using microcantilever beam specimens
3. 学会等名 PACRIM13 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Junichi Tatami, Yumi Imoto, Tsukahara Yahagi, Takuma Takahashi, Motoyuki Iijima
2. 発表標題 Mechanical properties of silicon carbide in mesoscale measured by bending using microcantilever beam specimens
3. 学会等名 MRM2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroshi Yamaguchi, Junichi Tatami, Motoyuki Iijima
2. 発表標題 Mechanical properties of single crystal BaTiO <sub>3</sub> measured using microcantilever beam specimen
3. 学会等名 MRM2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山口拓志、多々見純一、飯島志行
2. 発表標題 マイクロカンチレバー試験片を用いて測定した単結晶BaTiO <sub>3</sub> の機械的特性
3. 学会等名 第14回セラミックフェスタin神奈川
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宇田充伸、多々見純一、飯島志行、高橋拓実
2. 発表標題 マイクロカンチレバー試験片を用いて測定されるシリカガラスの水中高強度化
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

1. 発表者名 山口拓志、多々見純一、飯島志行、高橋拓実、矢矧束穂、近藤敏之
2. 発表標題 マイクロカンチレバー試験片の曲げ試験で測定された単結晶シリコンの強度の寸法効果及び降状現象
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 多々見純一、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を用いた部材局所領域の機械的特性評価
3. 学会等名 第38回エレクトロセラミックス研究討論会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 多々見純一、井本有美、飯島志行、高橋拓実、矢矧束穂
2. 発表標題 Grain boundary strength in porous SiC ceramics measured using microcantilever beam specimens
3. 学会等名 ICC7 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山口拓志、多々見純一、飯島志行、矢矧束穂
2. 発表標題 Mechanical properties of single crystal silicon measured by microcantilever method
3. 学会等名 ICCC12018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 井本有美、多々見純一、飯島志行、高橋拓実、矢矧束穂、堀内崇弘、横内正洋、近藤敏之
2. 発表標題 Measurement of grain boundary strengths of porous SiC by microcantilever beam technique
3. 学会等名 ICCC12018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 多々見純一、藤田紗帆、飯島志行、矢矧束穂、高橋拓実
2. 発表標題 Degradation Evaluation of Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> ; Ceramic Surface Corroded by Molten Aluminum Using Microcantilever Beam Specimens,
3. 学会等名 ISHOC2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山口拓志、多々見純一、高橋拓実、飯島志行、矢矧束穂、中野裕美
2. 発表標題 Mechanical properties of single crystal silicon and diamond measured using Microcantilever beam specimens
3. 学会等名 ICACC2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 多々見純一、藤田紗帆、矢矧束穂、高橋拓実、飯島志行
2. 発表標題 Bending strength and fracture toughness of Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> ceramic surface in contact with molten aluminum measured using microcantilever beam specimens
3. 学会等名 1.PacRIM12 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 多々見純一
2. 発表標題 Local mechanical properties of advanced structural ceramics measured using microcantilever beam specimens
3. 学会等名 7.ECerS2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 多々見純一、井本有美、飯島志行、矢矧束穂、高橋拓実
2. 発表標題 Measurement of grain boundary strength of the neck in porous SiC Ceramics using microcantilever beam specimens
3. 学会等名 ICACC2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 井本有美、多々見純一、飯島志行、高橋拓実、矢矧束穂
2. 発表標題 Relationship between strengths of a neck and a bulk body of porous SiC
3. 学会等名 ISNT2017 & ISSNOX5 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 井本有美、多々見純一、飯島志行、高橋拓実、矢矧束穂
2. 発表標題 多孔質SiCの粒子間接合部の強度とバルク体強度の関係
3. 学会等名 粉体工学会春季研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 井本有美、多々見純一、飯島志行、矢矧束穂、高橋拓実、堀内崇弘、横内正洋、近藤敏之
2. 発表標題 多孔質SiCの粒界強度とバルク体強度の関係
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 2017年

1. 発表者名 多々見純一、藤田紗帆、矢矧束穂、高橋拓実、飯島志行
2. 発表標題 溶融アルミニウムと接触した窒化ケイ素セラミックス表面のメソスケール破壊特性評価
3. 学会等名 第30回日本セラミックス協会秋季シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 井本有美、多々見純一、飯島志行、矢矧束穂、高橋拓実、堀内崇弘、横内正洋、近藤敏之
2. 発表標題 マイクロカンチレバー法で測定した多孔質SiCの粒界強度
3. 学会等名 第30回日本セラミックス協会秋季シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 多々見純一、高橋拓実、飯島志行、矢矧束穂
2. 発表標題 マイクロカンチレバー試験片を用いたセラミックスの強度および破壊靱性のメソスケール測定
3. 学会等名 第56回セラミックス基礎科学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山口拓志、多々見純一、飯島志行、矢矧束穂
2. 発表標題 マイクロカンチレバー法で測定した単結晶シリコンの機械的特性
3. 学会等名 日本セラミックス協会2018年年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 多々見純一
2. 発表標題 マイクロカンチレバー法による部材局所領域の破壊特性評価
3. 学会等名 神奈川県ものづくり技術交流会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 多々見純一
2. 発表標題 マイクロカンチレバー法による破壊特性評価
3. 学会等名 熱処理技術セミナー（招待講演）
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<a href="http://ceramics.ynu.ac.jp">http://ceramics.ynu.ac.jp</a> 横浜国立大学 多々見・飯島研究室 <a href="http://ceramics.ynu.ac.jp/">http://ceramics.ynu.ac.jp/</a>
--

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	中野 裕美  (Nakano Hiromi)  (00319500)	豊橋技術科学大学・教育研究基盤センター・教授   (13904)	
研究分担者	伊藤 暁彦  (Ito Akihiko)  (20451635)	横浜国立大学・大学院環境情報研究院・准教授   (12701)	
研究分担者	高橋 拓実  (Takahashi Takuma)  (30715991)	地方独立行政法人神奈川県立産業技術総合研究所・「革新的高信頼性セラミックス創製」プロジェクト・研究員(任期有)   (82718)	

## 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 分 担 者	飯島 志行  (Iijima Motoyuki)  (70513745)	横浜国立大学・大学院環境情報研究院・准教授     (12701)	