

令和 4 年 9 月 12 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H00734

研究課題名（和文）ウルトラファインバブルの流動・圧壊ダイナミクスの解明と機械加工への展開

研究課題名（英文）Elucidation of Ultrafine Bubble Collapse Dynamics and Applications to Mechanical Manufacturing

研究代表者

厨川 常元（Kuriyagawa, Tsunemoto）

東北大学・工学研究科・教授

研究者番号：90170092

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 36,000,000円

研究成果の概要（和文）：ウルトラファインバブル（UFB）は2000年代の中頃から漁業や農業への適用が始まり、現在では医学、薬学、農学、工学等、その応用範囲は増加している。しかしその作用メカニズムは十分に解明されておらず、科学的に証明することが早急に求められていた。本研究では基礎的なUFBの流動・圧壊ダイナミクスを大規模分子動力学シミュレーションにより解明した。超音波援用供給法によりUFBを圧壊してOHラジカルを発生させ、窒化ガリウム基板の高効率研磨加工に成功した。そしてこれはUFB加工液特有の表面活性化効果によるものであることを発見した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ウルトラファインバブルは“日本発”の技術であり、産業界への波及効果が非常に大きい。“ものづくり JAPAN”ブランド確立のため、経済産業省をはじめとして国を挙げてUFBの国際標準化に取り組んでいる。数年前からはUFBの切削、研削、研磨などの機械加工分野への適用が始まっている。さらにUFBは“水と空気”のみを使う技術であり、化学薬剤は一切不要である。したがって環境にも非常に優しい技術である。本研究はUFBの原子レベルでの挙動解明を行うことにより、UFB利用技術の最適化を行おうとする全く新しい試みである。

研究成果の概要（英文）：Ultrafine bubbles (UFB) began to be applied to the fishery and agricultural fields in the mid-2000s, and at present, their applications are widely expanding such as to medicine, dentistry, pharmacy, engineering fields. However, its mechanism of UFB behaviors has not been fully elucidated, and there is an urgent need to prove it scientifically. In this study, the basic UFB collapse dynamics was clarified by a large-scale molecular dynamics simulation. We have succeeded in improving the efficiency of the polishing process of gallium nitride by collapsing ultrafine bubbles and generating OH radicals by the ultrasonic-assisted coolant supply method. And it was found that this is due to the surface activation effect peculiar to the ultrafine bubble.

研究分野：精密加工学

キーワード：ウルトラファインバブル 研磨加工 切削加工 表面酸化 分子動力学 冷却性能 膜沸騰

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

2000年代の中頃からマスコミ等で、水などの液体中に浮遊する直径 $1\mu\text{m}$ 以下の気泡、いわゆる“ナノバブル”の活用例が紹介されるようになってきた。例えば、公衆トイレ等の清掃・消毒、魚輸送時の鮮度維持等である。空気中のナノバブルが殺菌に効果的であるという結果先行で、その原理やメカニズム解明に関しては十分に明らかにされていなかった。その後、適用分野はますます拡充し、①植物工場等の農業分野、②土壌浄化システム等の土木環境分野、③医療部品の消毒、感染症に対する抗菌処理、消化管の洗浄等の医学分野、④太陽電池用シリコンウエハの分離工程等の製造産業分野等にも使われるようになってきた。このようにナノバブルの有効性が農学、医学、工学をはじめとして多分野で明らかになり、注目されてきてはいるものの、効果ばかりが先行してきたのが現状である。

このような状況の中、ナノバブルは“日本発”の技術として産業界への波及効果が非常に大きいということで、経済産業省が支援し、2013年にはファインバブルとナノバブルの国際標準化が推進され、さらには2017年には規格の発行となった。その結果、直径 $1\mu\text{m}$ 以下のバブル、いわゆるナノバブルをウルトラファインバブル(Ultra-Fine Bubbles; UFB)、 $1\mu\text{m}$ ~ $100\mu\text{m}$ のバブルをマイクロバブル(Micro-Bubbles; MB)と呼称することになった。本研究ではUFBを研究対象とし、それを加工液(クーラント)に適用することとした。しかし適用事例の中には効果的であるという報告もあるが、効果が全く見られないという報告もされており、加工性能向上のメカニズムを科学的に証明することが早急に求められていた。

2. 研究の目的

本研究ではUFBを研究対象とし、それを加工液に使用したときの基礎的な流動・圧壊ダイナミクスを大規模分子動力学シミュレーションにより解明し、その知見に基づき窒化ガリウム(GaN)等の最終仕上げ研磨加工と、チタン合金等の高能率切削加工に応用展開し、加工のさらなる高能率化、高精度化を実現することを目的とする。

最初に水溶性の加工液中にUFBを分散させたものをモデル化し、加工液中でのUFBの流動特性や加工点近傍でのUFBの圧壊過程を大規模分子動力学シミュレーションにより可視化する。これらの知見に基づき、UFBの効果を最大化するため研磨加工においては超音波援用供給法を、また切削加工においては工具すくい面にマイクロテクスチャリング処理を施した機能性工具を試作し、それぞれの加工性能向上への影響について検討する。

3. 研究の方法

本研究ではUFB含有加工液を切削加工と研磨加工に適用するため、以下の実験を行う。

(1) UFBの流動・圧壊ダイナミクス解明

UFB含有加工液の挙動は次の2工程からなる。一つは加工点近傍へのUFB含有加工液のマクロ的な挙動、もう一つは、その供給されたUFBの変形、圧壊などのミクロ的な挙動である。特に本研究では後者のミクロ的な挙動解明が重要と考え、分子動力学シミュレーションを用いてその流動・圧壊ダイナミクスを可視化する。UFBモデルは、実際の大きさと同じ 100nm 程度まで試みる。UFBの直径の違い、含有させる気体種の違い、衝撃波の速度等を違えて、UFB自体の変形、圧壊挙動、並びに工作物表面に与える影響等を原子レベルで可視化する。また実際の加工液のように、UFBが複数個存在する場合の圧壊過程もシミュレーションする。

(2) UFB圧壊装置の試作

UFBは液体中で相互に結合、上昇することが非常に少ないため、加工液中に長期間残留する。しかし加工液中に残留しているだけでは効果が無く、衝撃波等で圧壊させないと所期の効果が期待できないと考えた。実際の切削加工においては、工具すくい面と工作物との界面にUFBが強制的に供給され、その高温、高圧環境下で圧壊することが予想される。しかし研磨加工のように高温高圧環境が得にくい加工形態の場合、紫外線照射や超音波照射等の外力を加える必要がある。そこで本研究では超音波振動装置(1MHz、3MHz)を組み合わせて使用する専用治具を試作する。また発生させたUFBの粒径、粒子数密度、集中度等はナノ粒子解析システム(ナノサイト)を用いて、またOHラジカルの定量評価は電子スピン共鳴装置(ESR)(日本電子製)を用いて評価する。

(3) UFBを用いた窒化ガリウムの研磨加工実験

これまで研究代表者らは、GaN半導体基板の高能率・高品位最終仕上げ研磨加工を実現するために、量子分子動力学法によるGaN基板表面の除去メカニズムを可視化すると共に、その知見に基づく新しい加工法の提案、並びにそれを実現させるための加工装置の開発を行った(基盤研究(A)(一般)(H28~H30)、窒化ガリウムウエハの加工メカニズム解明と高能率・高品位テープCMP研磨法の開発)。この装置を使用してUFB研磨実験を行う。実際にGaN基板をUFB含有ナノダイヤモンドスラリーを用いて研磨加工し、その研磨特性に関して検討する。表面粗さ、平坦度などの幾何学的な評価に加え、フォトルミネッセンスによる加工変質層の分布測定、透過型電子顕微鏡(TEM)による評価を行う。

(4) UFB含有加工液を用いたチタン合金の高能率切削加工実験

工具すくい面にテクスチャリング加工を施し、UFB圧壊効果の増大を狙った機能性工具を開発

する。テクスチャリングはピコ秒パルスレーザ加工装置により微細周期構造 (Laser-Induced Periodic Surface Structures、以下 LIPSS) を創成することにより行う。加工時の切削抵抗、切削温度、工具摩耗、仕上面粗さ等を実験により測定する。

(5) 通常加工液と UFB 加工液の特性比較

① 希釈に使用する水質(陽イオン)の影響

通常、加工液を調整する際には水道水や工業用水が使用される。しかし水の硬度は地域によって差がある。そこで UFB 加工液を作成する際に使用する水の硬度が UFB 密度に及ぼす影響について検討する。次に加工対象として金属材料を想定した場合、加工液中には金属陽イオンが溶出することが想定される。そこで金属陽イオンが UFB 密度に及ぼす影響についても検討する。

② 伝熱特性

加工液の役割として“冷却”、“潤滑”、“洗浄”の3つがある。冷却効果について評価するため、UFB 加工液の膜沸騰曲線 (film boiling 現象) を測定し、通常の加工液との伝熱特性の比較検討を行う。

③ 摩擦低減効果

加工表面への影響を調べるため、平板摩擦試験とピンオンディスク摩擦試験を行い、UFB 水と精製水による摩擦低減効果を評価する。また工具表面の微細溝構造の有無による違いも検討する。

④ 表面活性効果

UFB 加工液による加工表面活性効果(表面酸化)を評価する。酸化しにくいアモルファス合金を用い、その表面に UFB 加工液を噴射衝突させ、その違いを TEM、STEM、EDS により解析する。

4. 研究成果

(1) UFB の流動・圧壊ダイナミクス解明

GaN や AlN 等の難加工材料に対する高効率な CMP に最適な UFB のサイズ、密度等の加工条件を検討するため、UFB の圧壊を伴う CMP シミュレーション(工作物 AlN 基板)を行った。UFB が圧壊した際の水分子の速度について解析を行った結果、ジェット流(ナノジェット)の生成を確認した。大きなバブルの場合は局所的に基板深くまで酸化層が生成し酸化層にムラが生じる一方、小さいバブルを複数導入すると基板表面に薄い酸化層が均一に生じることが明らかとなった(図 1)。さらに、UFB の生成プロセスを検討するため、1 億原子の水バルクモデルの引張り計算を行った結果、小さい気泡が生成・消滅・凝集を繰り返すオストワルド成長が見られた。また、8000 万原子で構成される直径 100 nm の大規模 O₂ 内包 UFB モデルおよび 200 万原子の直径 20 nm の O₂ 内包 UFB を作成し、構造の時間変化を検討した。その結果、UFB のサイズの増加に伴い寿命が増加することを明らかにした。このように、UFB の安定性を評価可能なシミュレーション技術の構築に成功した(図 2)。

図 1 の CMP シミュレーションは、複数の UFB の圧壊を伴う AlN 基板の CMP シミュレーションモデルと、高効率な CMP に最適な UFB のサイズ、密度などの導入条件を検討する。10 nm の UFB 1 個を用いた CMP シミュレーションモデルでは、衝撃波の速度変化が示され、生成したジェット流の速度分布 (kms) が -3.0 から 3.0 まで変化し、大きなジェット流が生成後に基板に衝突する。6 nm の UFB 5 個を用いた CMP シミュレーションモデルでは、衝撃波の速度変化が示され、生成したジェット流の速度分布 (kms) が -3.0 から 3.0 まで変化し、生成したジェット流同士が打ち消し合いながら基板に衝突する。

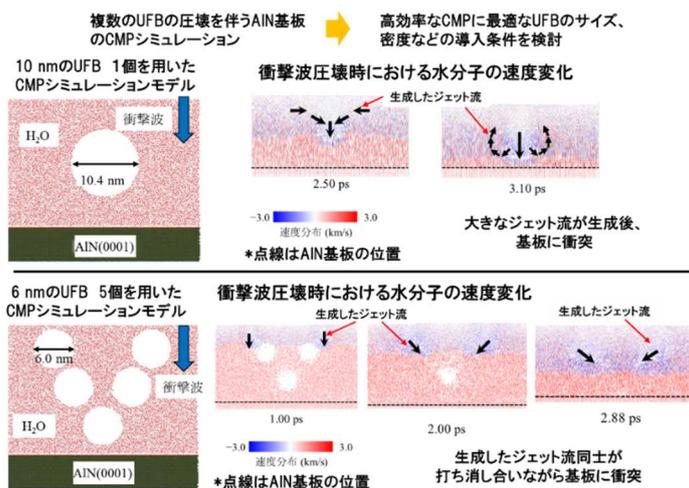


図 1 UFB を用いた AlN 基板の CMP シミュレーション

(2) UFB 圧壊装置の試作

UFB 加工液に超音波振動 (1MHz、3MHz) を用いて UFB を圧壊させ OH ラジカルを生成させながら研磨加工や切削加工に供するための装置を試作した。図 3 に、超音波振動援用 UFB 供給装置を設置したテーブ研磨装置を示す。この加工法ではテーブ上に固定されたダイヤモンド

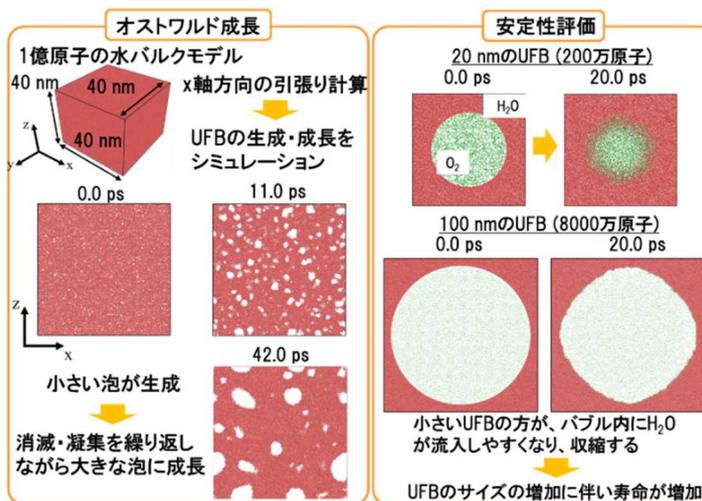


図 2 UFB の大規模分子動力学シミュレーション

ンド砥粒の結合度が小さいため加工中に容易に脱落し、加工領域では遊離砥粒状態になっているものと考えられる。

またこの超音波振動援用 UFB 供給装置の中を精製水や UFB 水が通過する過程でバブルが圧壊され、OH ラジカルが発生すると考えられる。この OH ラジカル量を ESR で測定した結果を図 4 に示す。図より、超音波振動が無ければ UFB は圧壊されず OH ラジカルはほとんど発生しないが、超音波振動を付与することにより圧壊され、OH ラジカルが生成されることが明らかになった。

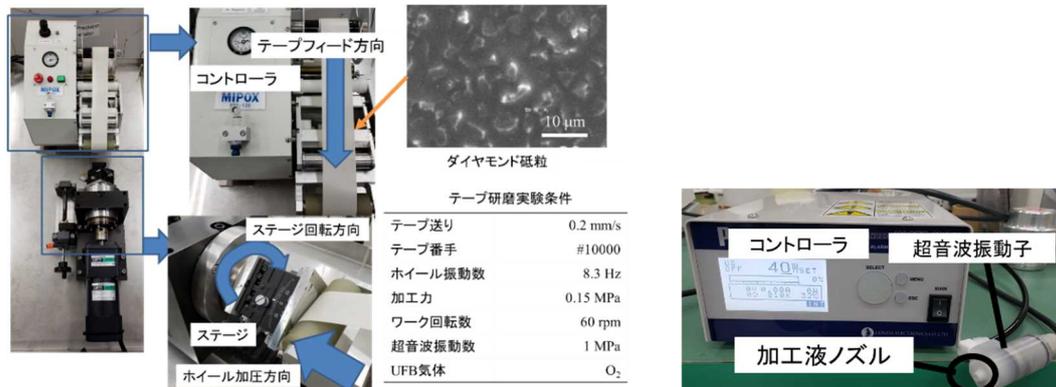


図 3 超音波振動援用 UFB 供給装置(右図)と使用したテープ研磨装置

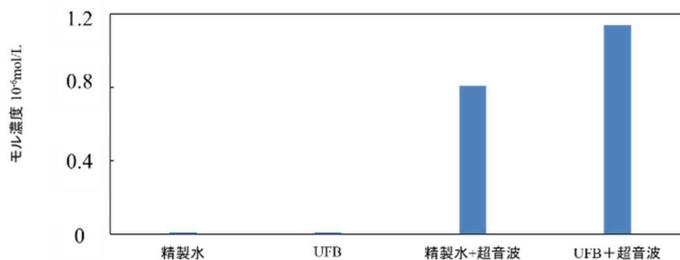


図 4 電子共鳴スピン法による発生 OH ラジカル量の比較

(3) UFB を用いた窒化ガリウムの研磨加工実験

図 3 に示した加工装置を用いて GaN の研磨加工実験を行った。図 5 に加工結果を示す。図に示すように加工レートは UFB 加工液を用いることにより約 2 倍に、さらに超音波で UFB を圧壊させ、OH ラジカルを発生させることによりさらに 1.3 倍に増加することが明らかとなった。しかし表面粗さ、フォトルミネッセンス法で測定した加工変質層厚さはすべての加工液でほぼ同じで、加工液の種類や超音波援用の有無による違いは見られなかった。

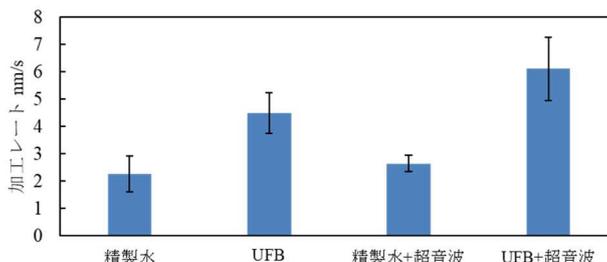


図 5 超音波振動援用 UFB 加工液供給による加工レートの向上

(4) UFB 含有加工液を用いたチタン合金の高効率切削加工実験

チタン合金(Ti-6Al-4V 合金)切削用の超硬合金製切削チップ(TiN, TiCN コーティング)のすくい面に、ピコ秒パルスレーザ加工機により LIPSS を創成した。すくい面の SEM 写真を図 6 に示す。この工具で切削加工(切込量 10、50、100 μ m)をすると、切削抵抗の最大値は主分力、送り分力ともに減少することが確認された。これは LIPSS の創成面においては接触角の測定値も減少しており、このことにより工具と加工液の親和性が高まり、切削時の工具への負荷が減少したものと考えられる。しかし LIPSS を創成した工具を用いても、被削材の表面粗さや残留応力にはあまり影響を与えなかった。

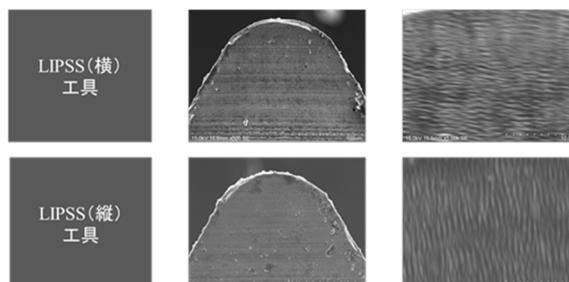


図 6 LIPSS を創成したすくい面の SEM 写真

次に、UFB 加工液と通常の加工液の比較をするために、同じ被削材をエンドミル加

工(切込量 0.1mm/tooth)した。そのときの切削温度への影響を調べた結果、UFB 密度を変化させてもほとんど違いは見られなかった。このことは、UFB の有無よりも LIPSS の有無が律速になっていることを示している。

(5) 通常加工液と UFB 加工液の特性比較

① 希釈に使用する水質(陽イオン)の影響

精製水を使用して作成した UFB 水のゼータ電位 -30.42mV が、 Ca^{2+} を添加することにより -0.74mV と変化した。これは、もともとマイナスに帯電している UFB に陽イオンである Ca^{2+} が引き寄せられることによって電荷が中和され、ゼータ電位が 0 付近に変化したためである。その結果、UFB は凝集し平均粒径は 2 倍と大きくなるとともに UFB 密度は 1/10 以下となった。他の金属陽イオン (Mg^{2+} 、 Ba^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 等) 存在下においても同様の傾向が見られた。

② 伝熱特性

精製水と UFB 水の沸騰曲線を作成し比較した。また高速度カメラにより沸騰現象を観察した。その結果、準定常的な沸騰の過程において精製水と UFB 水の差異はほとんど見られなかった(図 7)。

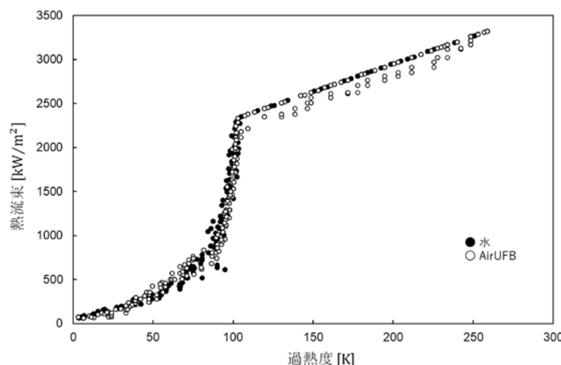


図 7 沸騰曲線の比較

③ 摩擦低減効果

面接触状態での UFB の影響を検証するために平板摩擦試験を行った。供試試料には鏡面加工と微細溝構造を創成したものをを用いた。その結果、鏡面平板の場合、精製水と UFB 水で摩擦界面の状態の違いは見られず、摩擦係数に差は見られなかった。しかし微細溝構造の場合には溝部に UFB 水が侵入し、結合して MB やサブミリバブルになるのが観察された。この場合、予想に反し、UFB 水の方が精製水の場合より摩擦係数が増大した。これは摩擦界面に発生したサブミリバブルにより乾式摩擦領域が増大したためと考えられる。一方、ピンオンディスク摩擦試験の場合には接触面積が小さいため、両者には平板摩擦試験結果ほど顕著な影響は見られなかった。

④ 表面活性効果 → UFB 加工液の新しい作用の発見

一般に加工液の役目として、潤滑、冷却、洗浄の 3 つの作用があげられる。しかし上記②、③により精製水と UFB 加工液との差異は見いだせなかった。そこで 4 番目の作用、表面活性効果(表面酸化)を想定した。一般に酸化しにくいといわれている Fe-Si-Cr-B 基アモルファスにそれぞれ加工液を噴射衝突させ、その違いを TEM、STEM、EDS により解析した。その結果、図 8 に示すようにアモルファス表面に針状に成長した組織が観察され、さらにその上にはシリコンを主成分とするスケール状の領域の存在が認められた。針状の領域からは Fe ならびに O のシグナルが強く、水酸化鉄もしくは酸化鉄が特定の方向に優先成長したものと考えられる。UFB を含有しない水の場合もこの針状の領域は存在するが、大きさは 30%程度にとどまり、UFB の存在により酸化反応が促進したものと考えられる。この酸化層は容易に除去できるため、加工能率が増加したものと考えられる。またその酸化層の生成速度は 0.4nm/s と小さく、研磨加工のように 1 個の切れ刃の切込量が極小である加工形態では、その効果が出やすかったものと思われる。

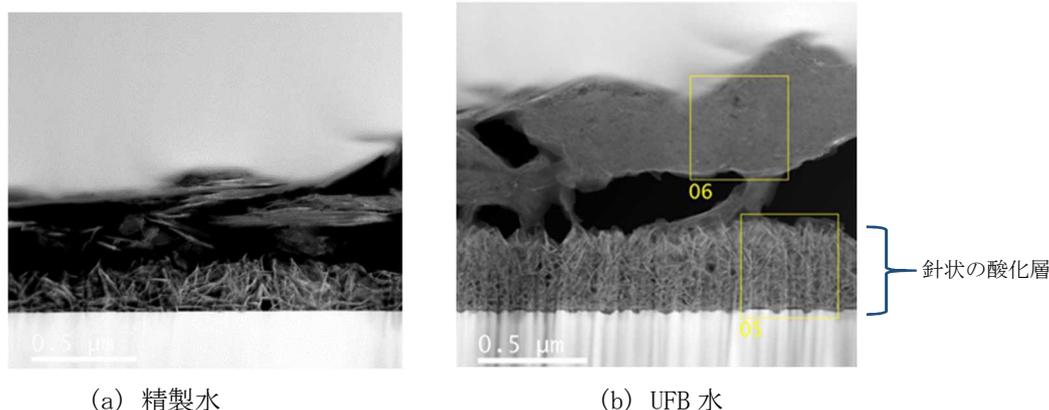


図 8 アモルファス表面上に成長した針状組織

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Kawaguchi Kentaro, Wang Yang, Xu Jingxiang, Ootani Yusuke, Higuchi Yuji, Ozawa Nobuki, Kubo Momoji	4. 巻 23
2. 論文標題 Cooperative roles of chemical reactions and mechanical friction in chemical mechanical polishing of gallium nitride assisted by OH radicals: tight-binding quantum chemical molecular dynamics simulations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 4075 ~ 4084
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0CP05826B	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 該当する
1. 著者名 Kawaguchi Kentaro, Wang Yang, Xu Jingxiang, Ootani Yusuke, Higuchi Yuji, Ozawa Nobuki, Kubo Momoji	4. 巻 13
2. 論文標題 Atom-by-Atom and Sheet-by-Sheet Chemical Mechanical Polishing of Diamond Assisted by OH Radicals: A Tight-Binding Quantum Chemical Molecular Dynamics Simulation Study	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 41231 ~ 41237
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsmi.1c09468	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 該当する
1. 著者名 SANO Shintaro, SHIRAIISHI Takahisa, KIGUCHI Takanori, KONNO Toyohiko. J.	4. 巻 129
2. 論文標題 Effect of Ta substitution on the synthesis of (K,Na)(Nb,Ta)O ₃ ; powders by hydrothermal reaction: Insight into the combination of alkaline solution and raw powder	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 365 ~ 371
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.20240	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 Kuji Chieko, Takenaka Kana, Mizutani Masayoshi, Shimada Keita, Kuriyagawa Tsunemoto, Konno Toyohiko J.	4. 巻 56
2. 論文標題 Crystallization behavior and machining properties of annealed Fe-Si-B-Cr amorphous alloys	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Materials Science	6. 最初と最後の頁 16697 ~ 16711
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10853-021-06346-7	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 Yamada Hiroko, Konishi Kensuke, Shimada Keita, Mizutani Masayoshi, Kuriyagawa Tsunemoto	4. 巻 15
2. 論文標題 Effect of Ultrafine Bubbles on Pseudomonas Aeruginosa and Staphylococcus Aureus During Sterilization of Machining Fluid	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Automation Technology	6. 最初と最後の頁 99 ~ 108
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/ijat.2021.p0099	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 Kawaguchi Kentaro, Wang Yang, Xu Jingxiang, Ootani Yusuke, Higuchi Yuji, Ozawa Nobuki, Kubo Momoji	4. 巻 23
2. 論文標題 Cooperative roles of chemical reactions and mechanical friction in chemical mechanical polishing of gallium nitride assisted by OH radicals: tight-binding quantum chemical molecular dynamics simulations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 4075 ~ 4084
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0CP05826B	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 該当する

1. 著者名 Shimada Yusuke, Kazukawa Makoto, Hishinuma Yoshimitsu, Ikeda Ken-ichi, Noto Hiroyuki, Ma Bing, Takeguchi Masaki, Muroga Takeo, Konno Toyohiko J.	4. 巻 14
2. 論文標題 Multiscale structural characterization of yttria dispersed copper alloys fabricated by hot isostatic processing of mechanically alloyed powders	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materialia	6. 最初と最後の頁 100892 ~ 100892
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mtla.2020.100892	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 該当する

1. 著者名 Shiraishi T., Suzuki S., Kiguchi T., Konno T. J.	4. 巻 128
2. 論文標題 Energy storage properties of epitaxially grown $x\text{CaZrO}_3-(1-x)\text{NaNbO}_3$ thin films prepared with chemical solution deposition method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 044102 ~ 044102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0004239	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8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Yasuhiro KUNIEDA, Kenta NAKAMURA, Keita SHIMADA, Masayoshi MIZUTANI, Tsunemoto KURIYAGAWA
2. 発表標題 Effect of Bubble Concentration Added to Coolant on Cutting
3. 学会等名 The 6th International Symposium on Micro/Nano Mechanical Machining and Manufacturing (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 畑山陽介, 大越広夢, 水谷正義, 厨川常元
2. 発表標題 ウルトラファインバブルクーラントのぬれ性と研削性能
3. 学会等名 2021年度砥粒加工学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Keita Shimada, Kazuki Suzuki, Masayoshi Mizutan, Tsunemoto Kuriyagawa
2. 発表標題 Ultrasonic assistance on the generation of hydroxyl radicals in ultrafine bubble suspended water
3. 学会等名 The 8th international Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology (ASPEN 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroko Yamada, Kensuke Konishi, Keita Shimada, Masayoshi Mizutani, Tsunemoto Kuriyagawa
2. 発表標題 Bactericidal effect of ultrafine bubble against Pseudomonas aeruginosa in grinding fluid
3. 学会等名 The 22nd International Symposium on Advances in Abrasive Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sota Kimura, Wang Yang, Narumasa Miyazaki, Yusuke Ootani, Nobuki Ozawa, Momoji Kubo
2. 発表標題 Large-scale Molecular Dynamics Simulations on Chemical Mechanical Polishing Process of AlN Substrate with Nanobubbles
3. 学会等名 WINDS2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sota Kimura, Narumasa Miyazaki, Yusuke Ootani, Nobuki Ozawa, Momoji Kubo
2. 発表標題 Chemical Mechanical Polishing Process with Nanobubbles of Nitride Semiconductor Substrate: Molecular Dynamics Investigation
3. 学会等名 ITC2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sota Kimura, Narumasa Miyazaki, Yusuke Ootani, Nobuki Ozawa, Momoji Kubo
2. 発表標題 Nanobubble Collapse Simulation for Efficient Chemical Mechanical Polishing of Aluminum Nitride by Molecular Dynamics Method
3. 学会等名 Tribochemistry (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木村颯太, 王楊, 宮崎成正, 大谷優介, 尾澤伸樹, 久保百司
2. 発表標題 複数のナノバブルを用いたAlN基板の化学機械研磨における大規模分子動力学シミュレーション
3. 学会等名 精密工学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔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	水谷 正義 (Mizutani Masayoshi) (50398640)	東北大学・工学研究科・准教授 (11301)	
研究分担者	久保 百司 (Kubo Momoji) (90241538)	東北大学・金属材料研究所・教授 (11301)	
研究分担者	今野 豊彦 (Konno Yoyohiko) (90260447)	東北大学・金属材料研究所・教授 (11301)	
研究分担者	嶋田 慶太 (Shimada Keita) (30633383)	東北大学・工学研究科・助教 (11301)	2021年度はKEKに異動のため分担者から外す。

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
---------	---------