

令和 2 年 6 月 7 日現在

機関番号：33910

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H04251

研究課題名(和文) ナノ多結晶ダイヤモンド製マイクロフライス工具による難削材の精密テキスチャリング

研究課題名(英文) Micro texturing of hard-to-cut materials using micro milling tool of nano polycrystalline diamond

研究代表者

鈴木 浩文 (SUZUKI, Hirofumi)

中部大学・工学部・教授

研究者番号：20282098

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,200,000円

研究成果の概要(和文)：付加価値を高めるために表面に微細なテキスチャリングを創成することにより、光学レンズにおいては光の回折効果の付加・色消し効果の付加、歯科用Tiインプラントでは生体細胞融合性の向上、表示デバイスでは反射防止機能の付加、撥水性の向上など様々な効果が得られる。多くは量産成形するため、高硬度成形型のテキスチャリングがキー技術となっている。本研究では、断続切削可能な「マイクロフライス工具」に着目し、レーザ加工を応用してナノ多結晶ダイヤモンドなどのマイクロフライス工具の創成技術を開発し、硬質脆性材料のセラミックスに対して、微細で構造的な超精密形状の創成が可能になり、その創成メカニズムを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ナノ多結晶ダイヤモンド製マイクロフライス工具によるセラミックスの超精密・微細加工を提案し実施した。回転多刃工具では工具温度の上昇と摩耗が抑制でき、耐摩耗性が従来砥石に比べ1/百～1/千と飛躍的に向上した。多刃工具であるため実切り込み量は見かけの切込量より十分に小さくなり、硬質脆性材料でも延性モードの切削が実現しやすい。表面粗さ10nmRz(2nmRa)が切削加工のみで可能となり、高脆材料であるセラミックスの延性モード切削のメカニズムを明らかにできた。

研究成果の概要(英文)：There are various types of additional effects by generating structured surface or textured surface on the key component surfaces, such as the effects of diffraction increase and of reflection decrease in optics, increasing of the living body cell fusion in dental Ti implant, and water-repellent improvement and anti-deflection in flat panel display. Texturing technology of the hard molds is a key technology because the most components must be mass-produced by injection molding process. In this study, we focused onto the micro milling tool, which can cut with interrupted cutting, micro milling tool made of nano polycrystal diamond was developed by proposed laser fabrication process. It was clarified that micro textured surface was generated by the developed milling tools, and the mechanism of the cutting and the textured surface generation.

研究分野：精密加工

キーワード：ナノ多結晶ダイヤモンド マイクロフライス工具 セラミックス テクスチャリング 工具摩耗 ナノ多結晶CBN工具 超精密切削 鏡面切削

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 超精密・微細テキスチャリング加工のニーズの増大

近年、光学機器、情報機器、医療機器の領域のデバイスのニーズが増大し、様々な高機能の付加が求められるようになった。以下にその例を示す。

光学系レンズ成形用セラミックス型：DVDなどのAO機器（回折レンズ）、赤外レンズなどの車載センサ、内視カメラ、マイクロカプセル等の医療デバイスなどにおいて、素子の形状のテキスチャリング化、ガラス化、マイクロ（微小）化、高精度化のニーズが激増している。ガラス材料を成形するためにはセラミック型による高温（400～800℃）プレス成形工程が必要であり、「セラミック型の超精密微細加工」が不可欠である。

表示デバイス用反射防止機能表面 スマートフォン、液晶パネルや車載表示パネルに、光の波長レベルの段差の微細なパターンを創成することにより、表示パネルの反射光を防止する効果が付加できる。

歯科用Tiインプラント：チタン（Ti）は既に人工骨にも用いられているように生体細胞との適合性が優れているが、最近の研究では歯科Tiインプラント表面に10μm幅程度の微細溝を設けると生体融合性が高まるとの報告がある。Tiは難削材であり微細加工が困難である。

その他、撥水性の向上、光の吸収率の向上、汚れの付着の防止機能などがあるが割愛する。このように様々なテキスチャリング付加の効果があるが、多くは量産成形するため、高硬度材料や難削材のテキスチャリングがキー技術となっている。

(2) これまでのキーパーツの精密加工法とその問題点

従来のセラミック型などの高硬度材、難削材の精密加工には、マイクロ・ダイヤモンドホイール（砥石）により行われてきた。本提案者らはマイクロ非球面の超精密研削・切削加工システム、レアメタルによるダイヤモンドホイールの高精度・高能率ツルレーイング技術、マイクロダイヤモンドホイールを開発し、マイクロデバイス用ガラスレンズを成形するためのセラミック製成形型の精密加工への適用を行ってきた。その結果、セラミック製の超精密・微細金型の精密加工を、ダイヤモンド砥石を用いた研削加工法により実現し、0.05～0.1μmP-Vの形状精度と、10～20nmRzの表面粗さが得られた。

しかし、従来のダイヤモンドホイールによる研削加工では、次の問題点を有する。

機上での砥石のツルレーイング（成形）・ドレッシング（目立て）が不可欠で、非加工時間が長い。工具摩耗などのために工作物の加工精度に限界が生じており、また、加工形状が安定しないため、何度も補正加工をする必要があった。

また、それに伴う複雑な補正加工プロセスが不可欠であり、加工形状精度の安定化が重要な課題である。微細な形状や構造的な形状に対して、砥石の砥粒は鈍な形状であり、切れ味が良くない。

一方、単結晶ダイヤモンドバイトによる旋削加工（連続切削）では、工具刃先の顕著な温度上昇と工具摩耗により非実用的である。名古屋大学の社本らは「ダイヤモンドバイトを用いた超音波楕円振動切削法」を提案し、焼入れ鋼、超硬などの高硬度材の超精密切削を可能にしているが、メカニズムは断続切削の効果、切りくずの押し上げ効果、せん断角の減少など言われているが、明確にはなっていない。

2. 研究の目的

そこで、本研究提案書では、断続切削を実現できる「マイクロフライス工具」による切削に着目し、レーザ加工を応用してナノ多結晶ダイヤモンド（NPD）製マイクロフライス工具を創成することを提案した。これまで単結晶ダイヤモンドのレーザ加工は提案者からも実績があるが、さらにへき開性や結晶方位性の無いNPD製の工具を試みる。硬質脆性材料であるセラミックスに対して、耐摩耗特性が最も優れ、超精密金型などの形状精度と表面粗さが安定し、長寿命の工具が期待できる。また、研削加工や旋削加工では実現できなかったが、セラミック材に微細で構造的な形状を超精密に創成できる切削技術を確立することを目的とした。

このように本提案のナノ多結晶ダイヤモンド製マイクロフライス工具によるセラミックの切削加工では、学術的特長を有し、セラミックの超精密・微細加工に対して、以下の結果と効果が期待できる。

(a) 回転する多刃工具による切削（フライス加工）では、断続切削であるため工具の加熱期間が短く、クーラントによる冷却期間が長いため、工具温度が旋削加工のように上がらない。

(b) その結果、従来の旋削におけるRバイトほど工具摩耗が大きくなり、工具摩耗が飛躍的に抑制でき、耐摩耗性が飛躍的に向上する。従来砥石に比べて1/千～1/万の摩耗抑制が期待できる。

(c) 回転工具は刃先の輪郭度精度の影響を受けず真円として扱え、非球面形状の加工精度に高周波の形状誤差（うねり）が転写されない。計測補正加工無しで0.1μmP-V以下の形状精度が期待できる。

(d) 多刃工具であるため実切込み量は見かけの切込量より十分に小さくなり、硬質脆性材料でも延性モードの切削が実現しやすい。表面粗さ10nmRz(2nmRa)が切削加工のみで期待できる。

(e) 高脆材料であるセラミックの延性モード切削のメカニズムを明らかにできる。

3. 研究の方法

(1) レーザビーム走査装置の設計・試作

パルス・ファイバーレーザに集光光学系を付加したレーザ走査システムの仕様を策定した。レーザ波長 1.06-1.08 μm 、ピークパワー 50W、パルス幅 35-30ns、集光スポット径 1 μm とした。次に、これらの設計・試作したパルス・ファイバーレーザとレーザ集光光学系を、既存の 4 軸制御・超精密加工機（同時 4 軸制御）に搭載し、加工機上で工具を微細加工できるレーザビームスキャンシステムを製作した。走査システムの基本的な仕様は、X 軸ストローク 300mm、Y 軸ストローク 100mm、Z 軸ストローク 100mm、位置決め精度は 10nm で工具仕様は満足するが 1nm とした。

(2) レーザビームによるナノ多結晶材料の加工特性の評価

構築したレーザビーム走査装置を用い、ナノ多結晶材料（NPCD、NPCBN）に対する基礎的な加工特性を評価する。

一定時間、レーザビームをナノ多結晶材料に照射すると、レーザビームのエネルギー密度分布により凹面形状に加工される。これは研磨加工における「単一加工痕」に相当し、この形状が最も良好な粗さ分布が得られるレーザ照射条件を解明した。このナノ多結晶材料上の単一加工痕の分布形状から、デコンボリューション理論によりレーザ走査軌跡と速度分布を計算する理論を明らかにし、レーザの 3 次元軌跡を逆算する方法を確立した。滞留時間制御レーザ加工システムを構築し、0.5~5mm 程度のナノ多結晶材料の形状誤差分布を最小にするための形状修正手法、レーザ走査条件を明らかにした。

(3) ナノ多結晶材料製マイクロフライス工具の試作

NPCD 製マイクロフライス工具の形状を設計し、CAM データを作成し、マイクロ工具を試作した。工具は超硬のシャンクにろう付けし、シャンクの外周を基準にレーザ加工した。摩耗特性を比較するため、先端がシャープなものとアール加工をしたものを試作した。

(4) ナノ多結晶材料製マイクロフライス工具の摩耗特性評価

ナノ多結晶材料（NPCD、NPCBN）の刃先のエッジのアールなど工具の仕様を変化させ、摩耗特性を評価する。試作した工具を超高速空気静圧スピンドルに取り付け、平面形状のセラミックス（超硬合金、SiC）、難削材（Ti）を切削加工し、様々な形状の工具の摩耗速度を比較評価した。摩耗の評価法：工具をスピンドルに取り付けた直後と、所定の切込回数毎に、カーボン板をダミー材としてプランジカットし、その形状を非接触形状測定装置（三鷹光器(株)製 NH3SP）により計測し、そのデジタルデータから PC にて摩耗量を計算した。（被削材の除去体積）/（ダイヤモンドの摩耗体積）< 研削における研削比に相当 > により評価した。

単結晶ダイヤモンドや cBN の各結晶方位と比較しながら、ナノ多結晶材料（NPCD、NPCBN）に対するセラミックスの耐摩耗特性を評価し、データベース化した。

(5) ナノ多結晶 cBN 製マイクロフライス工具による Ti 合金のテキスチャリングの加工特性の評価

最も優れた形状のナノ多結晶 cBN 製工具を用いて、Ti 合金のテキスチャリング形状を超精密切削し、表面粗さ、形状精度、摩耗量の変化を評価し、従来の旋削加工の結果と比較調査した。

切削加工実験装置：同時 4 軸（X,Y,Z,C）超精密加工装置 ULG100DSH3（位置決め分解能 1nm）

評価装置：（表面粗さ）ZYGO 社製表面粗さ計 NewView6200

（形状精度）三鷹光器(株)製形状測定器 NH3SP

生体融合性の評価：様々なピッチのパターン[文献*2]（溝形状：矩形、円弧、溝幅：2~20 μm 、深さ：1~5 μm ）の Ti 合金試験サンプルを製作し、生体細胞の融和性を評価した。

(6) ナノ多結晶ダイヤモンド製マイクロフライス工具による表示パネル反射防止テキスチャの型加工と加工性の評価

NPCD 製工具を用いて、超硬や SiC 製の微細テキスチャリング金型を超精密切削し、表面粗さ、形状精度、摩耗量の変化を評価した。

切削加工実験装置：同時 4 軸（X,Y,Z,C）超精密加工装置 ULG100DSH3（位置決め分解能 1nm）

評価装置：（表面粗さ）ZYGO 社製表面粗さ計 NewView6200

（形状精度）三鷹光器(株)製形状測定器 NH3SP

従来の無電解 Ni 切削面の加工精度（形状精度、表面粗さ、エッジの精度）を比較する。

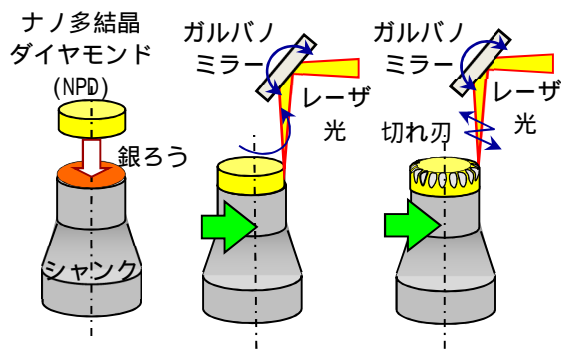
光学特性の評価：中部大で試作した金型を基に成形し、菱光社にて反射特性を光学的に評価する（光の入射角、光の波長に対する反射特性の評価）。

4. 研究成果

(1) レーザ光によるナノ多結晶ダイヤモンド（NPD）

レーザ光によるナノ多結晶ダイヤモンド（NPD）製マイクロフライス工具のナノ多結晶ダイヤモンド（NPD）を図 1 に示すように超硬製の円柱状シャンクにろう付けし、3 軸制御駆動テーブ

ルに固定してレーザービームを3次元制御して多数の切刃を有するマイクロフライス工具を試作した。このようにしてレーザービームを用いた三次元加工により試作したナノ多結晶ダイヤモンド (NPD) 製のマイクロフライス工具のSEM写真を図2に、仕様を表1に示す。工具径は2mm、先端Rは0.2mm、刃数20とした。



(1)ダイヤモンドの接合 (2)ダイヤモンドの外周加工 (3)切れ刃の創成
図1 ナノ多結晶 (NPD) マイクロフライス工具のレーザーファブリケーションプロセス

表1 工具の仕様

外径	2 mm
すくい角	-40 °
刃数	20
エッジ先端の曲率半径	0.2 mm
刃幅	0.075 mm

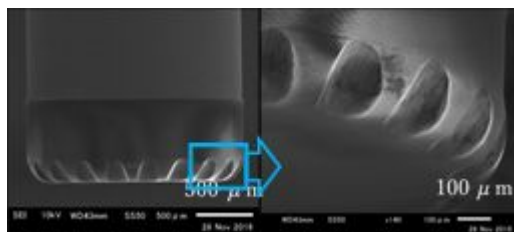


図2 試作したナノ多結晶ダイヤモンド (NPD) 製のマイクロフライス工具

(2) SiC基板の超精密切削 (テキスチャリング) 工具摩耗の評価結果

試作したナノ多結晶ダイヤモンド製マイクロフライス工具を用いて、SiC製非球面アレイレンズ金型の切削実験を行った。超精密加工装置および切削の様子を図3に示す。10nm分解能のボールネジ駆動の超精密加工機を用いて、Y、Z軸の同時2軸制御で加工を行った。工具スピンドルは高速エアスピンドルを45°傾斜させて斜軸切削を行った。工具の取付けは同軸度0.5μm以下になるように調整した。加工実験ではCVD-SiC (東海エンジニアリング)、単結晶SiC (新日鐵住金株) を用いた。切削条件を表2に示す。



図3 超精密切削装置の外観

表2 切削条件

材料	単結晶ダイヤモンド (SCD)	
回転数	50,000 min	
ワーク	CVD-SiC	単結晶 SiC Si面
硬度	3175 HV	3623 HV
形状	非球面アレイ (n _x 9 × n _y 8)	
曲率半径	1.4 mm	
切込み	2 μm	
切込み回数	20	
送り測	0.4 mm/min	
クーラント	ソリューションタイプ	

アレイレンズの加工実験は図4に示すように、工具を50,000min⁻¹の回転速度で回転させながらY方向に駆動させを行った。工具摩耗の評価は、各アレイの加工では切込み2μmで20回切り込んで加工を行った。9×8個(計72個)のアレイを加工し、9個加工ごとにグラファイトカーボン板に工具形状を転写し工具摩耗の評価を行った。工具摩耗の評価は工具を取り外すことなく、工作物の横に設置したグラファイト板に工具を押付けて刃先形状のレプリカをとり、レーザープロブ走査方式の非接触測定器 (NH3-3UP) により計測して、曲線を重ね合わせて表示し、その差を計算して評価した。

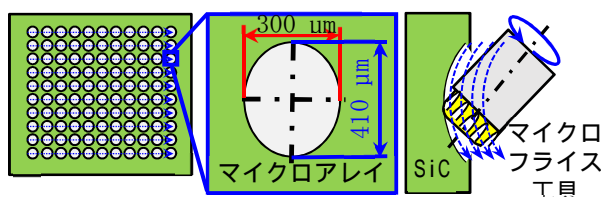
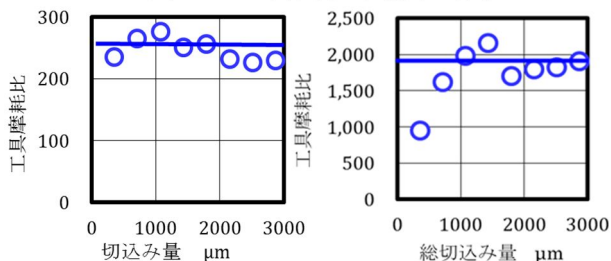


図4 アレイ形状の切削加工方法

上述のマイクロフライス工具により CVD-SiC、単結晶 SiC 製の非球面アレイレンズ金型の切削加工を行い、工具摩耗を評価した。

単結晶ダイヤモンド (SCD) を切削した場合の工具摩耗比の変化を図5に示す。工作物の除去体積を工具の摩耗体積で除したものを計算して工具摩耗比を求めた。ナノ多結晶ダイヤモンド (NCD) を用いた場合の摩耗比は約2000程度であった (CVD-SiCの場合は単結晶 SiC とほぼ同じであったので省略)。それに対して、単結晶ダイヤモンド製のマイクロフライス工具で切削加工した場合の工具摩耗比は200-300程度となった。ナノ多結晶ダイヤモンド工具は単結晶ダイヤモンド



(a)単結晶ダイヤモンド (b)ナノ多結晶ダイヤモンド

図5 単結晶 SiC を切削した場合の工具摩耗比の変化

工具に比べて耐摩耗性は8倍程度と非常に高いことがわかった。

楕円体アレイのテキスチャリング加工

図4に示すようにして楕円体アレイ成型を試作した結果を次に示す。工作部物としては単結晶SiCのSi面を用いた。各アレイの加工では切込み2μmで20回切り込んで加工を行い、9×8個(計72個)のアレイ形状をテキスチャリング加工した。X(横)方向(工具回転方向)の曲率半径は1.4mmで、Y(縦)方向(工具走査方向)の曲率半径は2.4mmとした。切削加工後のノマルスキー顕微鏡写真を図6に示す。楕円体アレイの表面粗さは工具回転方向の表面粗さが良好であった。工具走査方向では工具摩耗により工具刃先の輪郭度が悪化したため表面粗さも悪化した。同様に形状精度も工具回転方向で良好であった。

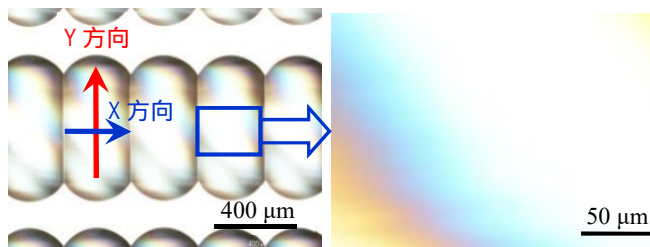
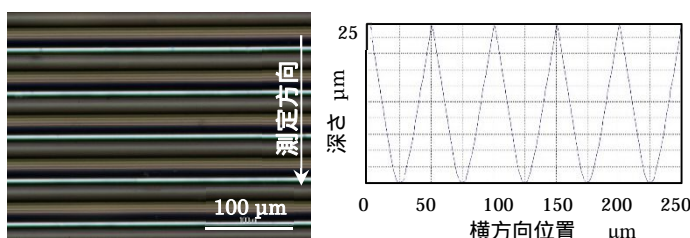


図6 切削加工後の単結晶SiC製アレイの微分干渉顕微鏡写真

V溝のテキスチャリング加工

先端が90度と尖ったナノ多結晶ダイヤモンド(NPD)製のマイクロフライス工具を同様にレーザファブ리케이션プロセス試作し、45度傾斜して回転させ、回転方向に走査して単結晶SiC上にV溝加工を施した。工具の回転数を50,000min⁻¹とし、深さ25μm、ピッチ50μmとした。切削加工後の単結晶SiC基板上のV溝加工結果を図7に示す。非常に尖ったV溝が得られた。



(a)微分干渉顕微鏡写真 (b)断面形状(深さ25μm, ピッチ50μm)

図7 切削加工後の単結晶SiC製V溝の加工結果

超硬のV溝のテキスチャリング加工

図8に示すような大型の多結晶ダイヤモンド(PCD)製フライス工具を試作した。刃付けは放電加工と研削加工を複合して行った。シャンク径は6mm、工具径は25mmで、刃数は200枚とした。図9に示すように微粒子超硬合金に断続切削によりV溝加工を行い、切削抵抗、切削精度について評価し、可能性について検証した。V溝加工面のSEM画像とV溝部の表面形状を図10に示す。工具の回転数10,000min⁻¹、切込み28μm、送り速度100mm/minとした。

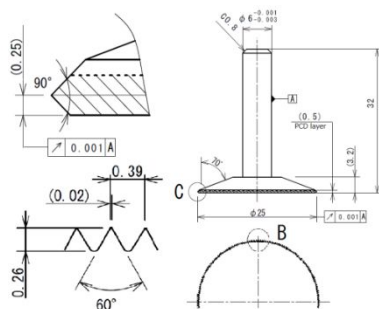


図8 PCD製V溝工具

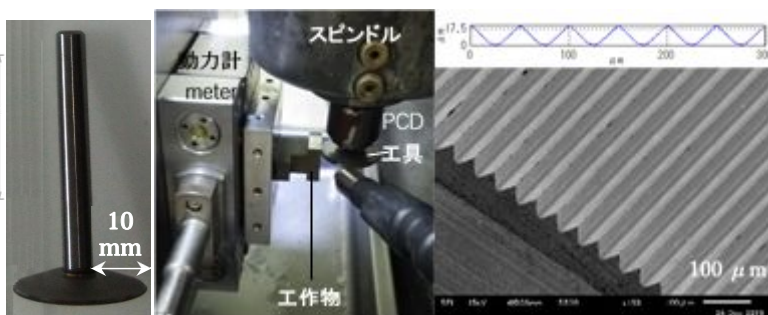


図9 V溝切削の様子

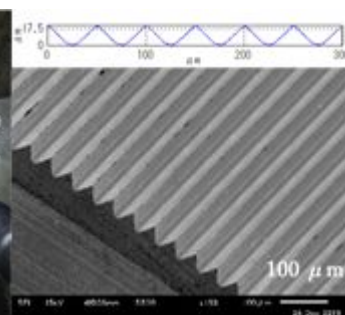


図10 V溝切削後の超硬型

(3) まとめ

本研究では、レーザファブ리케이션技術や放電加工を用いてナノ多結晶ダイヤモンドやナノ多結晶cBNに微細加工を施し、マイクロフライス(回転)工具を試作し、これにより高硬度材のSiCを超精密切削の検討を行った。またナノcBN工具に微細加工を施し、難切削材であるTiなどを微細切削加工する検討を行った。その検討により得られた主な結果を以下にまとめる。CVD-SiC、単結晶SiCの基板に非球面アレイを超精密切削加工し、ナノ多結晶ダイヤモンド工具は単結晶ダイヤモンド工具に比べて、約8倍の耐摩耗性があることがわかった。

ダイヤモンドの結晶方位によって不均一に工具刃先が摩耗することで有効切れ刃が減少し、切削特性に影響を与えたと考えられる。

本工具は、SiC、超硬合金、その他のセラミックなどの高硬度材、Tiなどの難切削材の加工に有効である。

本回転工具によりテキスチャリングを行うことにより、撥水性の付与、濡れ性の向上、反射率の向上、吸収率の向上など高付加価値の創成に有効であると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 6件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Jiang Guo, Hirofumi Suzuki	4. 巻 9
2. 論文標題 Effects of Process Parameters on Material Removal in Vibration-Assisted Polishing of Micro-Optic Mold	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 micromachines	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/mi9070349	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 Jiang Guo, Ka Hing Au, Chen-Nan Sun, Min Hao Goh, Chun Wai Kum, Kui Liu, Hirofumi Suzuki, Renke Kang	4. 巻 264
2. 論文標題 Novel rotating-vibrating magnetic abrasive polishing method for double-layered internal surface finishing	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Materials Processing Technology	6. 最初と最後の頁 422-437
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jmatprotec.2018.09.024	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 Yusuke Akiyama, Mutsumi Okada, Hirofumi Suzuki, Toshio Fukunishi, Yoshiyuki Asai, Noriyuki Ogasawara, Kazuma Iizawa	4. 巻 12
2. 論文標題 Scribing Characteristics of Glass Plate with Ground PCD Scribing Wheel	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Int. J. of Automation Technology	6. 最初と最後の頁 760-766
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20965/ijat.2018.p0760	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 H. Suzuki, M. Okada, W. Asai, H. Sumiya, K. Harano, Y. Yamagata, K. Miura	4. 巻 66
2. 論文標題 Micro milling tool made of nano-polycrystalline diamond for precision cutting of SiC	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Annals of the CIRP	6. 最初と最後の頁 93-96
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.cirp.2017.04.017	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 K. Miura, A. Nose, H. Suzuki, M. Okada	4. 巻 11
2. 論文標題 Cutting tool edge and textured surface measurements with a point autofocus probe	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Int. J. of Automation Technology	6. 最初と最後の頁 761-765
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/ijat.2017.p0761	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 W. Asai, H. Suzuki, M. Okada, Y. Itoh, K. Fujii	4. 巻 16
2. 論文標題 Ultraprecision cutting of silicon carbide using micro milling tool made of single crystalline diamond	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of 16th euspen International Conference	6. 最初と最後の頁 269-270
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 該当する

1. 著者名 Y. Akiyama, M. Okada, Y. Masuda, H. Suzuki, T. Funishi, Y. Asai, N. Ogasawara, K. Iizuka, N. Tomei	4. 巻 16
2. 論文標題 Study on scribing characteristics of wafer with precision of ground scribing wheel	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of 16th euspen International Conference	6. 最初と最後の頁 271-272
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 該当する

〔学会発表〕 計6件(うち招待講演 0件/うち国際学会 1件)

1. 発表者名 楠 直人, 三田 晃平, 岡田 睦, 鈴木浩文, 後藤友尋
2. 発表標題 ナノダイヤモンドによるセラミックスの超精密研磨
3. 学会等名 2018年度砥粒加工学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Suzuki, M. Okada, W. Asai, Y. Itoh, K. Fujii
2. 発表標題 Ultraprecision cutting of silicon carbide using micro milling tool of single crystalline diamond
3. 学会等名 International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 浅井 涉, 鈴木浩文, 岡田 睦, 升田裕樹, 藤井一二, 伊藤洋介, 岡田浩一
2. 発表標題 単結晶ダイヤモンド製マイクロフライス工具によるSiC 製マイクロ型の超精密切削
3. 学会等名 2017年度砥粒加工学会学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 秋山裕亮, 岡田 睦, 升田裕樹, 鈴木浩文, 福西利夫, 浅井義之, 小笠原規幸, 飯澤一馬
2. 発表標題 PCD 工具の精密研削 研削方向による加工特性への影響
3. 学会等名 2017年度砥粒加工学会学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鈴木浩文, 浅井 涉, 岡田 睦, 角谷 均, 原野佳津子
2. 発表標題 ナノ多結晶ダイヤモンド製マイクロフライス工具によるSiC の超精密切削
3. 学会等名 2017年度精密工学会秋季大会学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 浅井 涉, 鈴木浩文, 岡田 睦, 升田裕樹, 藤井一二, 伊藤洋介, 森田晋也
2. 発表標題 ダイヤモンド製マイクロフライス工具によるSiCの超精密切削
3. 学会等名 精密工学会2017年度春季学術講演会講演論文集
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 鈴木浩文	4. 発行年 2017年
2. 出版社 機械と工具	5. 総ページ数 7
3. 書名 超精密マイクロ微細加工の動向	

1. 著者名 鈴木浩文	4. 発行年 2017年
2. 出版社 機械技術	5. 総ページ数 7
3. 書名 IoT時代に求められる微細精密加工とスマート化技術	

〔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
研究協力者	岡田 睦 (OKADA Mutsumi)		試験片の計測評価

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 協力者	藤井 一二 (FUJII Katsuji)		工具試作アドバイス