

研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム
産業ニーズ対応タイプ 完了報告書(公開版)概要

技術テーマ : セラミックスの高機能化と製造プロセス革新

研究課題名 : 反応性プラズマを援用したセラミックス材料のダメージフリー形状創成・仕上げ加工技術の開発
プロジェクトリーダー

機関名 : 大阪大学

氏名 : 山村 和也

1. 研究の目的

高精度ガラスモールド用の金型材料には、耐摩耗性、耐熱性、化学的安定性等が要求されるため、高硬度の焼結 SiC や CVD-SiC、あるいは超硬合金(WC)にジルコニア等を混合したナノコンポジットセラミックス等の難加工の高機能セラミックス材料が用いられる。これらの材料は高硬度ゆえに加工工程においてはダイヤモンド工具が用いられる。機械的な加工プロセスでは脆性破壊や塑性変形を加工現象として利用するため、熱衝撃を受けた時に破壊の原因となるマイクロクラック、光散乱の要因となるスクラッチ、摩耗や剥離によって金型寿命を短くする加工変質層が生成される。したがって、従来の機械加工法を材料加工に適用する限り、必然的にダメージが導入されてしまうために、セラミックス材料が有する優れた熱的・機械的・化学的な性質を維持できない。また、工具が接触する加工であるために外部からの振動や熱変形等の影響により、工具の接触状態が変動して加工特性が変化する、いわゆる母性原理に支配されるため、ナノメートルレベルの加工精度を恒常的に得ることは困難である。機械加工の精度を向上させるには、装置本体の剛性、ワークテーブルの運動精度、工具の品質、温度環境等のすべてにおいて高精度化を図る必要があり、装置価格やユーティリティーが高額になるだけでなく、取扱いの難易度も高くなるため、製造現場に導入する際のバリアが高くなることは否めない。

本課題では、大気圧プラズマプロセスを基幹技術として適用し、本プロセスが有する再現性ならびに制御性の高い化学反応現象を除去あるいは表面処理に利用することで、高機能エンジニアリングセラミックス材料の優れた特性を確実に担保した上で、所望する形状や表面粗さが得られる新しい実用的な超精密加工プロセスを構築する。具体的には、数値制御プラズマ CVM (Chemical Vaporization Machining: 化学的気化加工法) による形状創成、およびプラズマ援用研磨 (PAP: Plasma Assisted Polishing) による表面仕上げを組み合わせ、『大気圧プラズマプロセスをベースとしたオールドライ高能率ダメージフリー形状創成・表面仕上げプロセス』を開発することを目的とする。

2. 研究成果の創出状況

マイルストーン	達成状況
(1)プラズマ CVM 加工において放射温度計測により得られた表面温度分布の時間変化パターンを基に、走査速度分布を補正するアルゴリズムを構築し、本アルゴリズムを適用したシミュレーションソフトが動作することを確認する。(平成 28 年度末)	局所プラズマを用いた数値制御加工においては、プラズマからの熱流入により基板の表面温度が変動すると設定した加工量分布に誤差が生じ、結果として形状精度が悪化してしまう。したがって、基板の温度変動分布を基板上の各場所における補正係数データ列としてシミュレーションソフトに入力し、走査速度データの補正を行うためのアルゴリズムを作成し、補正計算が行えることを確認した。

<p>(2) プラズマ CVM 加工実験によってシミュレーションソフトの性能評価を行い、形状精度 10 nm が達成できるかを検証する。(平成 29 年度末)</p>	<p>SiC と Si の 2 相から成る反応焼結 SiC 材料に対して検証実験を行った。従来のプラズマ CVM 加工においては各相のエッチングレートが異なるためにエッチングの進行とともに表面粗さ、ならびに加工精度が大きく悪化することが問題となっていたが、エッチング性ガスと酸化性ガスを最適濃度で混合することで両相のエッチングレートが同一となり、表面粗さと加工精度の悪化を抑制できることを見出し、特許出願を行なった。今後、形状精度の検証を実施する。</p>
<p>(3) 大気圧・減圧兼用型の PCVM・PAP 複合加工装置を開発し、減圧条件にて焼結 SiC 基板の研磨レートとして 1 $\mu\text{m}/\text{h}$ 以上が達成されることを確認する。また、複合加工装置に設置が可能な円筒基板対応研磨ユニットを開発し、円筒面の表面粗さとして 1 nm rms 以下が達成されることを確認する。(令和元年度末)</p>	<p>研磨機メーカーとの共同開発により、PCVM・PAP 複合加工装置を試作した。本装置は 4 インチサイズまでのウエハ状基板の研磨が可能であり、デッドウエイト方式による定圧研磨を行う。円筒基板対応の研磨ユニットも設置が可能となっている。現在研磨レートと表面粗さの評価を実施中である。</p>
<p>(4) プラズマを照射することで連続研磨条件においてドレスフリーに初期研磨レートと加工面粗さが維持できることを確認する。(令和元年度末)</p>	<p>結合剤の主成分が SiO_2 であるビトリファイドボンド砥石と $\text{Ar}+\text{CF}_4$ をプロセスガスとして用いたプラズマを組み合わせることで、プロセス中に結合剤がエッチングされて自動的に適度なドレスリング作用が生じ、研磨レートと良好な表面粗さが維持できることを確認した。</p>
<p>(5) 開発したドレスフリータイプの砥石を用いて各種セラミックス材料の研磨特性を評価し、プラズマ援用研磨のドライ研磨条件において研磨特性を持続できることを確認する。(令和 2 年度末)</p>	<p>焼結 AlN 基板に対して #20000 のビトリファイドボンドダイヤモンド砥石を用いた極低研磨圧力(800Pa)のプラズマ援用研磨実験を行い、プラズマ未照射の場合と比較して研磨レートが 2 倍(333 nm/h)に増加し、算術平均粗さとして従来の機械研磨法の限界を突破する 3 nm を達成するとともに脱粒フリーの表面を得た。</p>
<p>(6) 大気圧プラズマユニットの適用により、大気圧条件にて焼結 SiC 基板の研磨レートとして 1 $\mu\text{m}/\text{h}$ 以上が達成されることを確認する。(令和 2 年度末)</p>	<p>ICP(Inductively Coupled Plasma)方式の大気圧プラズマ生成ユニットを導入済みであり、今後焼結 SiC 基板の研磨レートの評価する予定である。</p>

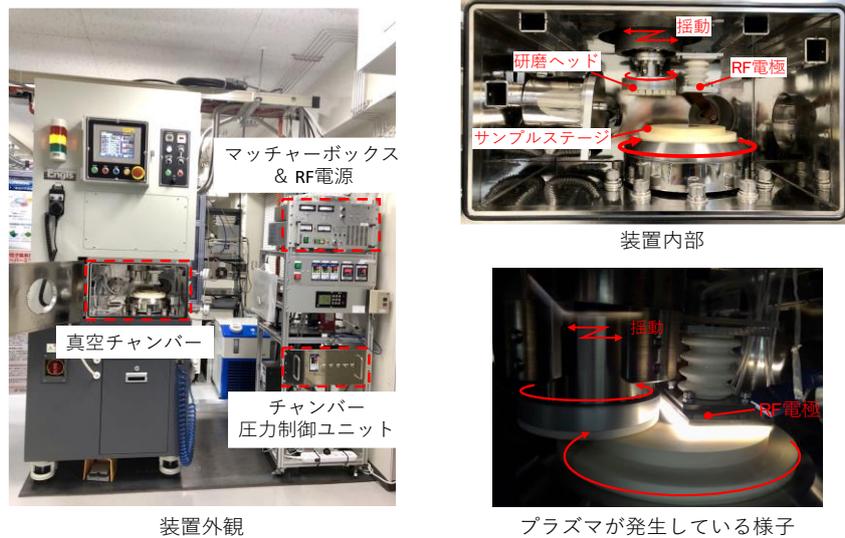


図 1 雰囲気圧力制御型 PCVM・PAP 複合加工装置

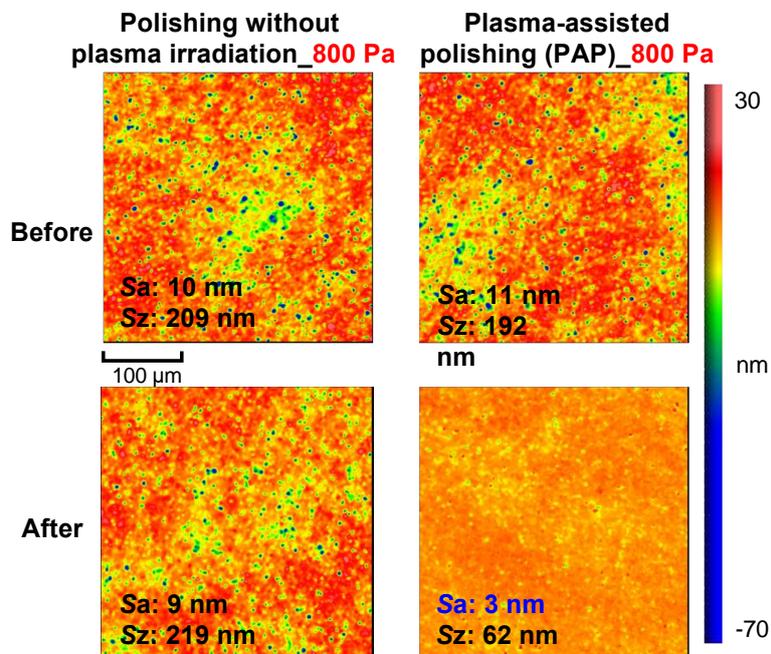


図 2 焼結 AlN 基板の CMP 面に対する研磨結果

プラズマを照射しない通常のドライ研磨の場合(図 2 左列)には表面モフォロジーは改善されず、脱粒が原因と考えられるピットが残留している。一方、プラズマ援用研磨の場合には脱粒ピットが見られず、従来の機械研磨法の限界を突破する算術平均粗さ Sa 3 nm が得られた。

3. 今後の展開

本課題において試作した形状加工用のプラズマ CVM 装置、ならびに表面仕上げ用のプラズマ援用研磨装置を用いて各種材料の加工特性を論文発表、展示会への出展、ホームページへの掲載等を通じて広く発信するとともに、企業等から依頼されたサンプル加工を精力的に行い、実用化のための共同研究の実施へと展開したい。

以上