

《様式B》

研究テーマ	「その場光計測による大気圧プラズマジェットエッチングの高精度化」		
研究責任者	所属機関名	静岡大学	
	官職又は役職	助教	
	氏名	中澤謙太	メールアドレス nakazawa.kenta@shizuoka.ac.jp
共同研究者	所属機関名		
	官職又は役職		
	氏名		

(令和2年度募集) 第33回 助成研究 完了報告書

1. 実施内容および成果ならびに今後予想される効果の概要 (1,000字程度)

Microelectromechanical Systems (MEMS) は、電子回路とセンサ、アクチュエータなどの機械部品を集積化したデバイスであり、小型、低消費電力、大量生産可能という長所がある。それらの長所から、MEMS は携帯機器や医療機器、輸送機器など幅広い場面で応用されている。MEMS デバイスでは、センシングや駆動の際に素子の共振をしばしば利用する。MEMS のセンサ感度や動作効率を十分に発揮させるためには、デバイスを設計通りの共振振動数で動作させることが要求される。しかし、デバイスの共振振動数は製作誤差により設計値とは異なることがある。

大気圧プラズマジェットはマスクレスな微細加工技術として期待されている。大気圧プラズマジェットは高密度であり、プラズマをノズルサイズに局在化することができる。任意の領域を局所的に加工することができるため、マスクレスで高い加工レートのエッチングが可能である。また、ガス温度が低いため被加工材料に熱的損傷を与えることなく加工を行うことができる。さらに、真空装置を必要としないため小型で低コストの装置構成が可能である。APPJ を用いたエッチングは、高エッチングレート、マスクレスエッチング、安価で容易な装置構成といった優位点から、トリミング技術としての応用が可能であると考えられる。

その場光計測を行うため、大気圧プラズマジェット照射環境下でエッチング深さの変位計測が可能な共焦点レーザー変位計の開発を行った大気圧プラズマジェットを試料表面に照射しながら信号取得を行うことで、開発した装置が大気圧プラズマジェット照射環境下でもエッチング深さ計測が可能であることを実証した。また、計測装置のステップ応答から応答時間と深さ方向分解能を評価した。

大気圧プラズマジェット加工を用いた微細加工法の開発は基礎的な研究段階であり、現時点では特許出願は検討していない。しかし、将来において MEMS だけでなく光学素子の製作など広い分野への応用が期待できる。

## 2. 実施内容および成果の説明

### A. 研究背景・目的

MEMS デバイスでは、センシングや駆動の際に素子の共振をしばしば利用する。MEMS のセンサ感度や動作効率を十分に発揮させるためには、デバイスを設計通りの共振振動数で動作させることが要求される。しかし、デバイスの共振振動数は製作誤差により設計値とは異なることがある。製作誤差を修正するために大気圧プラズマジェットマスクレス微細加工法を用いることを考えた。任意の領域を局所的に加工することができるため、マスクレスで高い加工レートのエッチングが可能である。しかし、エッチング速度の安定性が不十分であるといった課題がある。そこで、その場合光計測によって大気圧プラズマジェット加工のエッチング深さを計測することを提案した。本研究では、その場合光計測を行うため大気圧プラズマジェット照射環境下でエッチング深さの変位計測が可能な共焦点レーザー変位計の開発を行った。

### B. 実験方法

図 1 に本研究で用いた実験装置の概要を示す。その場合光計測に用いる光学計測装置は共焦点光学系となっている。発光波長が 635 nm の半導体レーザーを光源として用い、エッチングに用いる大気圧プラズマジェットの発光波長と重複していない。コリメートされたレーザー光線はビームスプリッター1 を通過後、レンズ 1 とレンズ 2 で構成されているビームエキスパンダで光線直径を拡大される。その後、ビームスプリッター2 を通過後、対物レンズによって加工試料表面に集光される。加工試料表面に集光された反射光は照射時と同じ光路を通り、ビームスプリッター1 で反射する。その後、狭帯域のバンドパスフィルタによって、プラズマ光を遮断し計測に用いているレーザー光のみ通過させる。バンドパスフィルタを通過した光線はピンホールに集光され、フォトダイオードでレーザー光を検出する。フォトダイオードからの電流信号を電流電圧変換回路で電圧信号に変換した後、微分回路によって信号変化を検出する。変化率がゼロとなる場合、光検出強度が最大値となるためレーザー光が試料表面に集光していることがわかる。エッチングによって加工表面が除去されてもレーザー光が試料表面に集光されることを維持させるように、試料直下に設置されている圧電素子によって試料を光軸方向に移動させる。エッチング深さは圧電素子の伸長量と同等である。エッチング開始前に予め設定したエッチング深さに達したら大気圧プラズマジェットの照射を停止する。

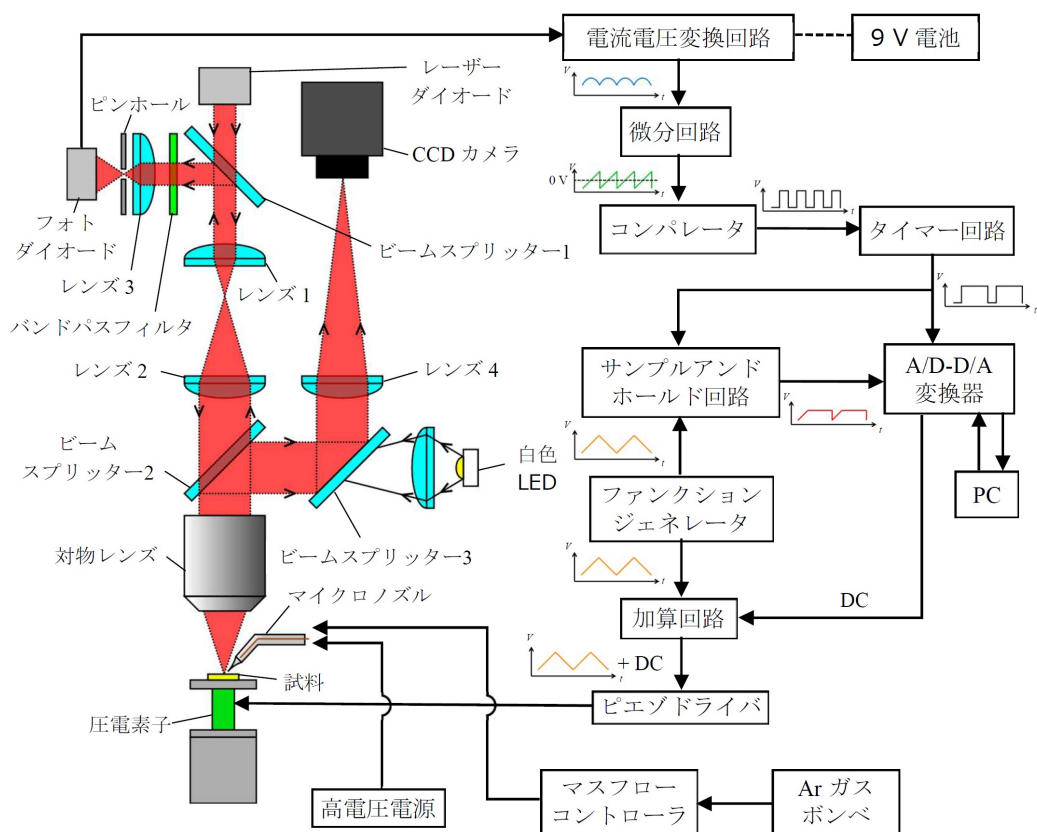


図1 実験装置概要

### C. 実験結果

構築した共焦点レーザー変位計の計測分解能を評価した。図2に大気圧プラズマジェット照射中の共焦点レーザー変位計のステップ応答の計測結果を示す。計測試料には大気圧プラズマジェットではエッチングされない試料を用いた。図2の横軸は時間、縦軸は変位量を示している。図中の黒の実線は、既知の与えた試料変位量を示している。試料の移動ステップ幅は  $0.30\ \mu\text{m}$ ,  $0.25\ \mu\text{m}$ ,  $0.20\ \mu\text{m}$ ,  $0.15\ \mu\text{m}$ ,  $0.10\ \mu\text{m}$  の順に変更した。図中赤色の線で示した変位計測値は、すべてのステップで図中黒色の線で示した試料変位に相当する圧電素子に印加したステップ変位量と同等であることがわかる。しかしながら  $0.1\ \mu\text{m}$  のステップでは変位計測値のノイズの最大最小値幅がステップ幅より大きい。したがって、大気圧プラズマジェット照射環境下での開発した共焦点レーザー変位計の深さ方向計測分解能は  $0.15\ \mu\text{m}$  といえる。

開発した共焦点レーザー変位計を用いてエッチング中の加工深さを計測した。図3にその場合光計測によるエッチング深さの計測結果を示す。横軸は時間で縦軸は圧電素子による試料ステージの変位量を示している。試料ステージの変位量が大きくなるに従ってエッチングが進み、深く加工されていることを示している。横軸が 11 s 時点で大気圧プラズマジェットの照射を開始し、30 s 時点で照射を停止した。本結果より、大気圧プラズマジェット加工の加工深さをその場合光計測によって計測

することができたことがわかる。

#### D. まとめ

本研究では、その場光計測を行うため大気圧プラズマジェット照射環境下でエッチング深さの変位計測が可能な共焦点レーザー変位計の開発を行った。プラズマ照射時でも深さ分解能が  $0.15\ \mu\text{m}$  で変位計測計測可能であった。また、大気圧プラズマジェットによる加工の進行を計測することに成功した。

#### 参考文献

1. 富田丈瑠, 中澤謙太, 平岡尊宏, 大塚優一, 中村謙介, 岩田 太, “大気圧プラズマジェット照射時に動作可能な共焦点レーザー変位計の開発”, 2021年度精密工学会秋季大会学術講演会 E20, 2021

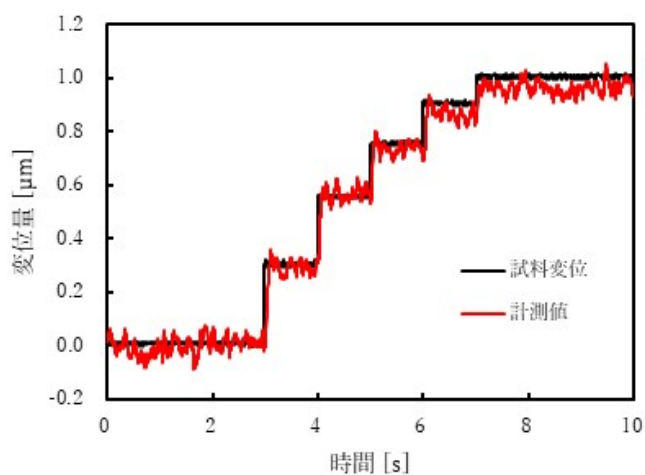


図2 大気圧プラズマジェット照射中の試料変位計測

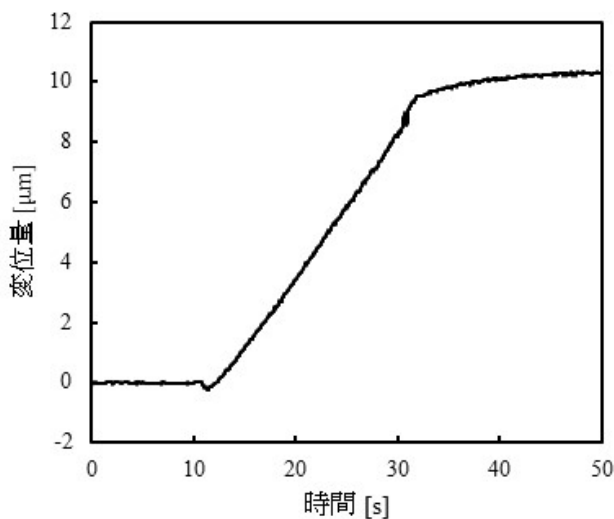


図3 その場光計測によるエッチング深さ計測