# マテリアル先端リサーチインフラ利用報告書
# ARIM User's Report

【Release：2025.06.10】　【Update：2025.03.24】

## 課題データ / Project Data

| | |
|---|---|
| 課題番号<br>Project Issue Number | 24UT1034 |
| 利用課題名<br>Title | エレクトロスプレーイオン源の作製 |
| 利用した実施機関<br>Support Institute | 東京大学 / Tokyo Univ. |
| 機関外・機関内の利用<br>External or Internal Use | 外部利用/External Use |
| ARIM半導体基盤PF<br>関連課題<br>Related to ARIM-SETI | 指定なし / No Designation |
| 横断技術領域<br>Cross-Technology Area | 加工・デバイスプロセス/Nanofabrication |
| 重要技術領域<br>Important Technology Area | 高度なデバイス機能の発現を可能とするマテリアル/Materials allowing high-level device functions to be performed |
| キーワード<br>Keywords | 推進機、エレクトロスプレー、イオン液体,ダイシング/ Dicing,MEMS/NEMSデバイス/ MEMS/NEMS device,光リソグラフィ/ Photolithgraphy,膜加工・エッチング/ Film processing/etching |

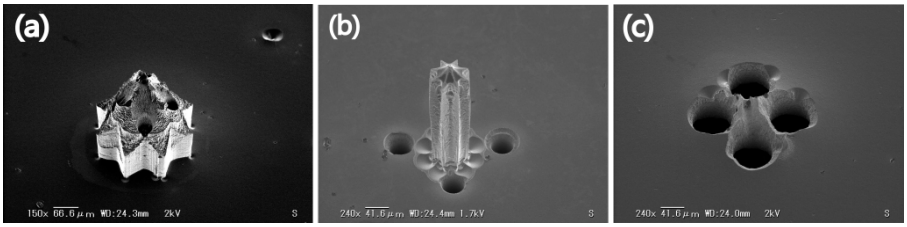
## 利用者と利用形態 / User and Support Type

| | |
|---|---|
| 利用者名（課題申請者）<br>User Name (Project Applicant) | 鷹尾 祥典 |
| 所属名<br>Affiliation | 横浜国立大学大学院工学研究院システムの創生部門 |
| 共同利用者氏名<br>Names of Collaborators Excluding Supporters in the Hub and Spoke Institutes | 青木 里奈,中島 惟子,保野 文音,駒 成隆 |
| ARIM実施機関支援担当者<br>Names of Supporters in the Hub and Spoke Institutes | 水島彩子,藤原誠 |
| 利用形態<br>Support Type | 機器利用/Equipment Utilization |

## 利用した主な設備 / Equipment Used in This Project

| | |
|---|---|
| 利用した主な設備<br>Equipment ID & Name | UT-505：レーザー直接描画装置 DWL66+2018<br>UT-604：高速シリコン深掘りエッチング装置<br>UT-900：ステルスダイサー |

## 報告書データ / Report

| | |
|---|---|
| 概要（目的・用途・実施内容）<br>Abstract (Aim, Use Applications and Contents) | 微細かつ高精度な推力制御が求められるミッションに用いる推進機として、エレクトロスプレースラスタが注目されている。この推進機は表面に多数のエミッタを有するエミッタチップと対向するエクストラクタ電極から構成される。推進剤はイオン液体であり、両電極間に数 kVの電圧を印加することでエミッタ先端に電界集中を発生させ、エミッタ先端部のイオン液体からイオンを放出する。放出したイオンは静電的に加速され、排気することで推力を得る。精密な推力制御を行うためには、推力に寄与する電流に対する推進剤流量依存性を明らかにする必要がある。本研究では供給するイオン液体がエミッタ先端に可能な限り損失なく輸送されるよう、内部に流路を持つ構造のエミッタをシリコンウエハ上に均一に作製することを目的とした。 |
| 実験<br>Experimental | まず、レーザー直接描画装置（DWL66$^{+}$）により4インチシリコンウエハ表面に塗布したフォトレジストのフォトリソグラフィを行う。現像後、このレジストをエッチングマスクとして高速シリコン深堀りエッチング装置（MUC-21 ASE-Pegasus）を利用しエッチングを行う。エミッタ先端への輸送性を向上させるため、エッチングマスクは星形とする。初めに等方性エッチングによりエミッタ先端部の形状を作製する。次にBoschプロセスによる異方性エッチングを行い、イオン液体貯蔵部を作製する。レジスト除去後、最後にもう一度等方性エッチングを行うことで、エミッタ先端部を鋭利にする。 次にエミッタ内部に流路を設けるため、レーザー直接描画装置によりウエハ裏面に塗布したフォトレジストのフォトリソグラフィを行う。エッチングマスクは4つの円形状とする。現像後、高速シリコン深堀りエッチング装置を利用しBoschプロセスによる異方性エッチングを行い、エミッタ内部に流路を貫通させる。エミッタ作製後、ステルスダイサー（DFL7340）を利用し、ウエハからエミッタチップへの切り出しを行う。 |
| 結果と考察<br>Results and Discussion | Fig. 1(a) にウエハ中央部に作製したエミッタのSEM画像、Fig. 1(b) に等方性エッチングと異方性エッチングを組み合わせて作製した従来のエミッタのSEM画像、Fig. 1(c) にウエハ周辺部に作製したエミッタのSEM画像を示す。 ウエハ中央部のエミッタでは、狙い通りエミッタ内に流路を設けることに成功し、従来よりも流路が先端に近いため、損失するイオン液体の量が少なくなることが期待できる。しかし、ウエハ周辺部ではFig. 1(c)のようにエミッタが消失しており、現在のプロセスでは均一な作製が難しいことが分かった。そのため作製プロセスを見直し、流路を先に形成した後にエミッタを作製する手法へ変更する必要があると考えられる。 |
| 図・表・数式 1<br>Figures, Tables and Equations 1 |  <br>Fig. 1. SEM images of (a) the emitter fabricated at the center of the wafer, (b) our conventional emitter, and (c) the emitter fabricated at the peripheral region of the wafer. |
| その他・特記事項（参考文献・謝辞等）<br>Remarks(References and Acknowledgements) | 本研究成果の一部はJSPS科研費JP24K01076、JST創発的研究支援事業JPMJFR2129、JAXA戦略的開発研究費(工学)による助成を受けたものです。SEM観察は横浜国立大学機器分析評価センターにて実施されました。東京大学ARIM微細加工部門武田先端知スーパークリーンルームの藤原誠様、水島彩子様、技術スタッフの皆様に感謝致します。 |

## 成果発表・成果利用 / Publication and Patents

| | |
|---|---|
| DOI（論文・プロシーディング）<br>DOI (Publication and Proceedings) | |
| 口頭発表、ポスター発表および、その他の論文[1]<br>Oral Presentations etc. | Momoko Naemura, and Yoshinori Takao, "Measurement System Dependence of Time-of-Flight Mass Spectrometry and Neutral Detection for Electrospray," 38th International Electric Propulsion Conference, Jun. 23-28, 2024, Centre de Congrès Pierre Baudis, Toulouse, France, IEPC-2024-248. |
| 口頭発表、ポスター発表および、その他の論文[2]<br>Oral Presentations etc. | Yuiko Nakashima, Koki Matsukawa, and Yoshinori Takao, "Ion Emission Characteristics of Electrospray Thrusters with Grooved Emitters Fabricated using Grayscale Lithography," 38th International Electric Propulsion Conference, Jun. 23-28, 2024, Centre de Congrès Pierre Baudis, Toulouse, France, IEPC-2024-249. |
| 口頭発表、ポスター発表および、その他の論文[3]<br>Oral Presentations etc. | 苗村桃子, 鷹尾祥典, 「エレクトロスプレースラスタを対象とした飛行時間型質量分析の高精度化と中性粒子検出」, 令和6年度 宇宙輸送シンポジウム, 2025年1月23-24日, 宇宙科学研究所, STEP-2024-006. |
| 口頭発表、ポスター発表および、その他の論文[4]<br>Oral Presentations etc. | 青木里奈, 鷹尾祥典, 「エレクトロスプレースラスタを対象とした直接推力測定および推進性能評価」, 令和6年度 宇宙輸送シンポジウム, 2025年1月23-24日, 宇宙科学研究所, STEP-2024-008. |
| 口頭発表、ポスター発表および、その他の論文[5]<br>Oral Presentations etc. | 伊達俊輔, 大森稜介, 伊里友一朗, 鷹尾祥典, 「ADN-HEHNを利用したエレクトロスプレースラスタのビーム特性評価」, 令和6年度 宇宙輸送シンポジウム, 2025年1月23-24日, 宇宙科学研究所, STEP-2024-043. |
| 口頭発表、ポスター発表および、その他の論文[6]<br>Oral Presentations etc. | 保野文音 , 鷹尾祥典, 「エレクトロスプレースラスタにおけるイオンビーム電流の流量依存評価系の構築」, 第68回宇宙科学技術連合講演会, 2024年11月5-8日, 姫路文化コンベンションセンター アクリエひめじ, P038. |
| 口頭発表、ポスター発表および、その他の論文[7]<br>Oral Presentations etc. | 中島惟子 , 鷹尾祥典, 「エレクトロスプレースラスタのエミッタ構造改善による推進性能向上」, 第68回宇宙科学技術連合講演会, 2024年11月5-8日, 姫路文化コンベンションセンター アクリエひめじ, P052. |
| 口頭発表、ポスター発表および、その他の論文[8]<br>Oral Presentations etc. | 青木里奈, 鷹尾祥典, 「エレクトロスプレースラスタを対象とした直接推力測定系の構築および推進性能評価」, 第55期定時社員総会および年会講演会, 2024年4月18-19日, &BIZ conference日本橋室町三井タワー, 1D-13(JSASS-2024-1047) |
| 口頭発表、ポスター発表および、その他の論文[9]<br>Oral Presentations etc. | Koki Matsukawa and Yoshinori Takao, "Evaluation of Grooved Needle Emitter Performance for Ionic Liquid Electrospray Thrusters," Journal of Evolving Space Activities, Vol. 2, Jun. 2024, p. 149 (4pp). https://doi.org/10.57350/jesa.149 |
| 口頭発表、ポスター発表および、その他の論文[10]<br>Oral Presentations etc. | Momoko Naemura and Yoshinori Takao, "Time-of-Flight Measurements of Ion Beam Compositions in Electrospray Thrusters," Journal of Evolving Space Activities, Vol. 2, Jun. 2024, p. 146 (5pp). https://doi.org/10.57350/jesa.146 |
| 特許出願件数<br>Number of Patent Applications | 0件 |
| 特許登録件数<br>Number of Registered Patents | 0件 |