

令和 5 年 6 月 4 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H01885

研究課題名（和文）時空間制御型マイクロ液相を用いたプラズマ材料プロセスの創成

研究課題名（英文）Development of plasma materials processing using spatiotemporally-controlled micro-droplet

研究代表者

伊藤 剛仁 (Ito, Tsuyohito)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・准教授

研究者番号：70452472

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,600,000円

研究成果の概要（和文）：大気圧非平衡プラズマと時空間制御をされた液滴を用いた基礎および応用研究に取り組んだ。反応場診断においては、液滴の蒸発過程において、プラズマ生成粒子の寄与が存在することを明らかにした。新たな電界計測手法にも取り組み、大気圧雰囲気における最高感度のレーザー電界計測を実現した。インクジェットプリンティングに大気圧非平衡プラズマを重畳させることで、従来の熱処理と組み合わせたものと比較し、低温化、高速化、高解像度化、プラズマ生成反応活性種のその場利用といった特徴が加えられることを実証した。更に、液相を疑似的に閉じた反応場とすることにより、極めて優れた単分散性を伴う粒子合成を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、プラズマ援用インクジェットプリンティングの深化をもたらすのみならず、サイズの揃った粒子合成手法の創出をもたらす等、プラズマ誘起液相反応の材料合成における可能性の一端を示すことができた。また、バイオ応用、農業応用、環境応用など、多彩な広がりを見せているプラズマ誘起液相反応の理解においても、液滴の蒸発現象を通じ、深める事できた。更に、プラズマ反応場を理解するうえで重要なパラメータである電界の高感度非接触計測をもたらした点も、今後の関連分野の発展に貢献し得る成果である。

研究成果の概要（英文）：The research has been performed using atmospheric-pressure non-equilibrium plasma and spatiotemporally-controlled liquid droplets, both by fundamental and applied aspects. As the diagnostics of the reaction environments, it has been revealed that particles provided by plasma play a certain role for the evaporation of the droplets. Highly sensitive electric field measurements have been demonstrated using laser diagnostics under atmospheric pressure conditions. By integrating atmospheric pressure non-equilibrium plasma with inkjet printing, it becomes possible to incorporate the advantages of low temperature, high speed, high resolution, and in-situ utilization of plasma-generated reactive species, as compared to post-heat treatments. The utilization of micro-droplets as pseudo-closed reaction environments has enabled the synthesis of particles with exceptionally high monodispersity.

研究分野：プラズマ材料科学

キーワード：大気圧非平衡プラズマ インクジェット 単分散粒子 描画 電界計測

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

プラズマ液相相互作用を用いたプラズマ誘起液相反応は、プラズマ医療のみならず、各種殺菌・滅菌プロセス、水質改善プロセス、ナノ粒子などの材料合成プロセスなど、国内・国外ともに多方面での応用展開がなされていた。そのような中、界面の増大によりプラズマ液相相互作用を増大させる形となるプラズマ誘起マイクロ液相反応の研究に着目し、液相内部を擬似的に閉じた反応空間とみなすことが出来る粒子合成プロセスを研究代表者は実現していた。

更に、マイクロ液相の生成にインクジェットを用いることによる、プラズマ援用インクジェットプリンティングの創成にも結び付けていた。

### 2. 研究の目的

本研究では、液相が絡むプラズマ材料科学の更なる発展のための学術基盤の創成を目的とした。高度に時空間制御されたマイクロ液相とプラズマとの相互作用に関する研究を通じ、プラズマ援用インクジェットプロセスの進化に取り組み、優れた配線描画プロセスの実現を目指した。更に、バイオ応用、材料合成応用、環境応用などでの新展開をもたらす、プラズマ応用における世界的な潮流の一つとなっている、プラズマ生成活性種が引き起こす液相内反応である“プラズマ誘起液相反応”の理解を深める事を目的とした。

### 3. 研究の方法

本研究では、大気圧非平衡プラズマ中にインクジェット液滴を飛翔させて材料プロセスを行う、プラズマ援用インクジェットプロセスの新展開に取り組むとともに、その反応場診断を通じたメカニズム解明に取り組んだ。

具体的には、主に3つの項目、(ア)プラズマ誘起液相反応に関わる反応場診断、(イ)診断結果と解析を組み合わせることによる反応場の理解、(ウ)制御性の高い材料プロセスの確立を進めた。

(ア)反応場診断：ここでは、主に二つの項目に取り組んだ。一つ目は、(a)プラズマ雰囲気におけるマイクロ液相の蒸発過程の観察とそれに付随したプラズマ診断である。図1に、液滴観察に関する装置概略図を示している。詳細は該当論文[Plasma Sources Sci. Technol. 2023]を参照いただきたいが、長距離顕微鏡及びフラッシュランプによる短時間露光を用いることで、液滴像のプラズマ中飛翔時間依存性を取得した。また、プラズマ雰囲気の温度や密度算出のための発光分光計測に取り組んだ。更に、プラズマ中を飛翔する液滴のレーザー分光にも取り組んだ。

また、(b)大気圧非平衡プラズマの生成と制御における最重要パラメータの一つと考えている、電界の非接触計測に取り組んだ。ラマン活性な振動エネルギーに対応した赤外光と、もう一つのレーザー光を入射することにより、電界が存在する場合にのみ、電界強度に依存した強度を持つ光が誘起される。水素分子をプローブ分子とした場合には、図2に装置概略図を示す様に、 $2.4\ \mu\text{m}$ の赤外光と、 $532\ \text{nm}$ のレーザー光を入射し、電界強度に依存した $436\ \text{nm}$ の光を得た。 $436\ \text{nm}$ の光子エネルギーは、二つの入射レーザーの物の和に対応し、可視光領域での検出が可能である。本手法は、可

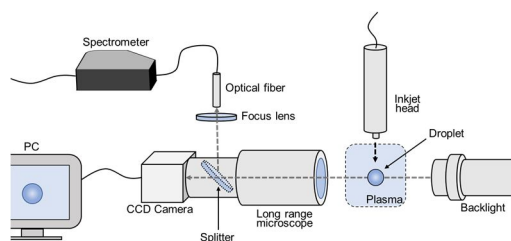


図1. プラズマ中を飛翔する液滴のその場観察の概略図[Plasma Sources Sci. Technol. 2023]

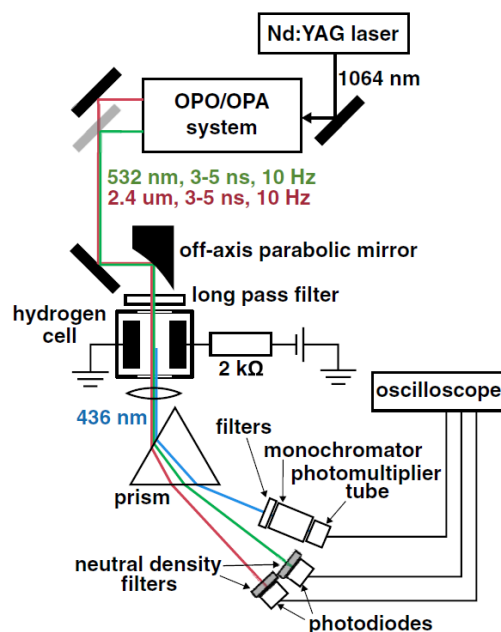


図2. 水素分子をプローブとした E-CARSv による電界計測装置の模式図 [Phys. Rev. Lett. 2023]

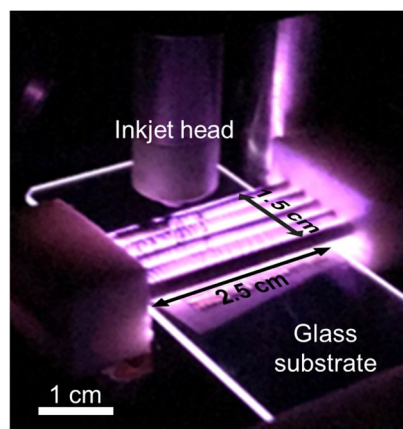


図3. プラズマ援用インクジェットプリンティングによる金配線描画の様子 [Materials Chemistry and Physics 2021]

視光領域の電場誘起コヒーレントアンチストークスラマン散乱(E-CARS<sub>v</sub>)と名付けられた手法である。詳細については、該当論文[Phys. Rev. Lett. 2023]を参照いただきたい。

(イ) プラズマとマイクロ液相との相互作用において、熱による寄与と、プラズマが生成する反応活性種との寄与のバランスは、未だ理解が不十分な状態であり、その理解と、それを通じた材料プロセスの制御をもたらすことが期待されている。最も単純な系として、大気圧非平衡プラズマ中の液滴の蒸発過程に関するモデルを構築し、(ア-a)で得られた実験結果との比較考察を行った。

(ウ) 材料プロセス：ここでは、大きく二つのプロセスに取り組んだ。一つは、(a)基板上への描画であり、もう一つは、(b)粒子合成である。どちらも、インクジェット液滴の持つ時空間再現性の高さが可能とするプロセスであるが、前者は、液滴における反応が完結する前に基板上に付着し、基板上での反応も大きく関与するのに対し、後者は、プラズマ中を飛翔中に反応が完結する系である。材料ごとに若干の修正を加えているものの、(a)図3に示す様に、室温近傍の大気圧非平衡プラズマをナノ秒パルス放電によって基板上に生成し、その上部よりインクジェット液滴を吐出するのが、描画プロセスの実験装置構成である。基板を掃引することにより、パターンを形成する。一方、(b)1000Kほどの比較的温度の高い大気圧非平衡プラズマを高周波電源とともに生成し、その飛翔中に粒子が合成されるのが粒子合成における基本構成である。いずれも、詳細は該当論文を参照いただきたい。

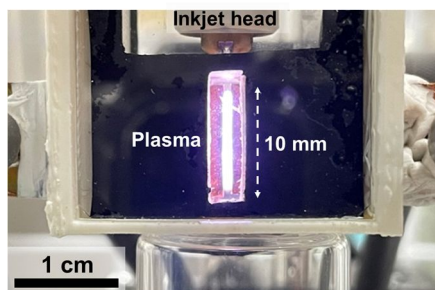


図4. プラズマ援用インクジェットプロセスによる金粒子合成装置 [J. Phys. D: Appl. Phys. 2021]

#### 4. 研究成果

##### (ア-a)および(イ) 液滴の蒸発過程

プラズマ中におけるマイクロ液相の蒸発過程の観察を行い、図5内記号で示す様に、プラズマ投入電力の増加に伴い、液滴の蒸発速度が上昇するといった観測結果を得た。OHの回転温度を計測する事で間接的に算出した雰囲気中のガス温度は、当然ながら投入電力の増加と共に上昇していた。しかしながら、この温度を用いた計算(図5内破線)によると、高温雰囲気からの熱流束のみでは実験によって得られた蒸発過程は説明できないという結論を得た。同時に、水素の発光スペクトルから電子密度を求め、得られた電子密度を用いたモデル計算(実線)を行うと、現実的な電子温度の仮定とともに、蒸発過程が説明できることを示すことができた。詳細は、該当論文を参照いただきたいが、蒸発といった単純な系であるものの、その過程において、プラズマ由来の粒子の寄与が存在することを示すことができた点で価値のある成果ととらえている。

また、この蒸発していく液滴のラマンスペクトルの取得にも取り組み、溶質の有無によるシグナルの変化をとらえる事に成功した。

##### (ア-b) 電界計測

図6に、室温の大気圧水素雰囲気におけるE-CARS<sub>v</sub>シグナル強度と印加電界との関係を示している。シグナル強度の平方根が電界強度と比例関係にあることがわかり、確かに電界の計測が可能であることを確認した。なお、この時点の計測は、プラズマの生成を伴わない既知の電界を用いた実証実験に対応する。同時に、0.5 V/mmまで検出が可能であることを示すことができ、本手法を用いることで

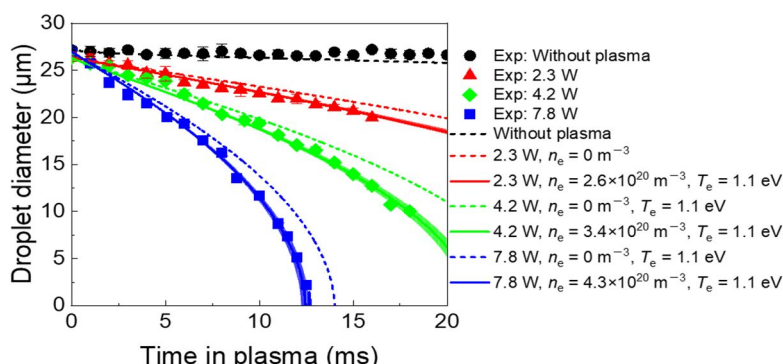


図5. 実験によって観測された液滴のサイズ変化(記号)と、対応するモデルによる変化(破線・実線) [Plasma Sources Sci. Technol. 2023]

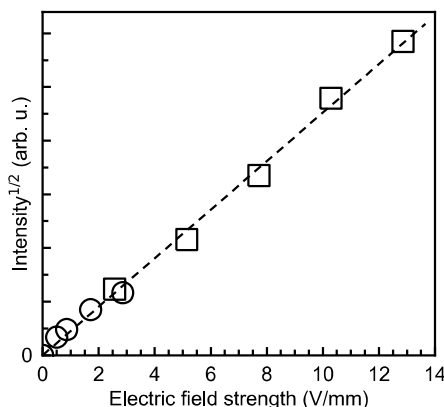


図6. 水素1気圧雰囲気におけるE-CARS<sub>v</sub>シグナル強度の平方根の電界強度依存性[Phys. Rev. Lett. 2023]

高感度の電界計測が可能であることを示すことができた。更に、赤外光の波長を掃引して取得したスペクトルからは、回転温度が 296 K と算出することができ、温度計測に用いることも可能であることを示すことができた。

また、4.3  $\mu\text{m}$  の赤外光を用いることで、窒素分子を用いた E-CARSv による電界計測も可能であることを、大気開放雰囲気における測定により実証することもできた。[Jpn. J. Appl. Phys. 2023]

#### (ウ-a) プラズマ援用インクジェットプリンティング

本研究期間においては、既開発済みであった本手法における適応対象の拡大をもたらした。低温化、高速化、高解像度化の可能性を示していたナノ粒子分散インクを用いた描画プロセスに留まらず、プラズマ生成ラジカルによる重合反応を描画中に行うことによる高分子材料の描画や、安定で扱いやすいインクとしての水溶液インクからの還元による金属配線の描画に成功した。これらにより、従来の熱処理と組み合わせた描画プロセスと比較し、低温化、高速化、高解像度化、プラズマ生成反応活性種のその場利用といった特徴を、インクジェットプリンティングに加えることができた。

#### (ウ-b) プラズマ援用インクジェットプロセスによる粒子合成

粒子合成においては、単分散かつサイズ制御性を備えた粒子合成を実現した。例えば、図 7 にその粒径分布を示す様に、塩化金酸水溶液を原料とした金粒子合成においては、変動係数が 0.1 以下の単分散粒子の合成に成功し、また、溶液濃度の変更によって、その粒径も制御可能であることを示すことができた。更に、プラズマに投入する電力のパルス化を用い、雰囲気温度制御をもたらすことなどにより、銀粒子の合成において、変動係数 0.015 といったシングルステップにおける無機粒子合成において、極めて優れた単分散性をもたらした。酸化亜鉛および銀混合系においては、いくつかの特徴的な形状を伴う粒子の合成に成功した。溶質の拡散と溶媒の蒸発速度との関係性を制御することなどにより、中空粒子の合成も、その粒径の単分散性を保ったまま可能となっている。

以上の様に、本科学研究費補助金によって、応用、基礎共に、十分な成果を得ることができた。

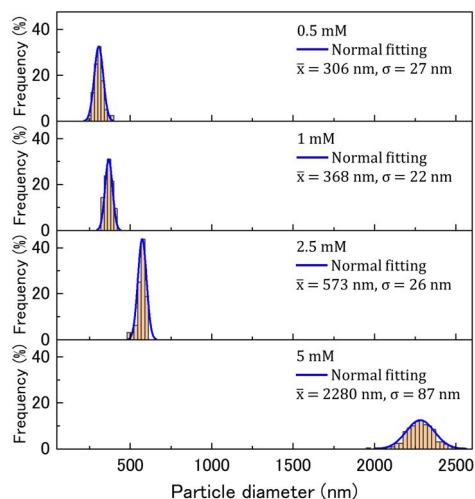


図 7. 合成された金粒子の粒径分布 [J. Phys. D: Appl. Phys. 2021]

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

|  |                               |
|--|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Nitta Kaishu, Muneoka Hitoshi, Shimizu Yoshiki, Kobayashi Hiromichi, Terashima Kazuo, Ito Tsuyohito  | 4. 巻<br>32                    |
| 2. 論文標題<br>Evaporation behavior of liquid microdroplets in atmospheric-pressure nonequilibrium plasma  | 5. 発行年<br>2023年               |
| 3. 雑誌名<br>Plasma Sources Science and Technology  | 6. 最初と最後の頁<br>055008 ~ 055008 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1088/1361-6595/acd3ab   | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |
| 1. 著者名<br>Inoue Kenichi, Sakakibara Noritaka, Goto Taku, Ito Tsuyohito, Shimizu Yoshiki, Hakuta Yukiya, Ishikawa Kenji, Hori Masaru, Terashima Kazuo | 4. 巻<br>14                    |
| 2. 論文標題<br>Carbon Layer Formation on Hexagonal Boron Nitride by Plasma Processing in Hydroquinone Aqueous Solution                                   | 5. 発行年<br>2022年               |
| 3. 雑誌名<br>ACS Applied Materials & Interfaces   | 6. 最初と最後の頁<br>53413 ~ 53420   |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1021/acsami.2c15951   | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |
| 1. 著者名<br>Koike Takeru, Muneoka Hitoshi, Terashima Kazuo, Ito Tsuyohito  | 4. 巻<br>62                    |
| 2. 論文標題<br>Generation of electric-field-induced anti-Stokes Raman scattering in the visible region (E-CARSv) from nitrogen in air                    | 5. 発行年<br>2022年               |
| 3. 雑誌名<br>Japanese Journal of Applied Physics  | 6. 最初と最後の頁<br>SA1015 ~ SA1015 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.35848/1347-4065/ac91db  | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |
| 1. 著者名<br>Koike Takeru, Muneoka Hitoshi, Terashima Kazuo, Ito Tsuyohito  | 4. 巻<br>129                   |
| 2. 論文標題<br>Electric-Field-Induced Coherent Anti-Stokes Raman Scattering of Hydrogen Molecules in Visible Region for Sensitive Field Measurement      | 5. 発行年<br>2022年               |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review Letters  | 6. 最初と最後の頁<br>033202-1-6      |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevLett.129.033202   | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |

|  |                       |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名<br>伊藤剛仁, 小池健                                      | 4. 巻<br>46            |
| 2. 論文標題<br>電界誘起コヒーレントアンチストークスラマン散乱 - 高密度雰囲気における高感度電界計測 - | 5. 発行年<br>2022年       |
| 3. 雑誌名<br>静電気学会誌   | 6. 最初と最後の頁<br>188-193 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし                           | 査読の有無<br>無            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Nitta Kaishu, Shimizu Yoshiki, Terashima Kazuo, Ito Tsuyohito   | 4. 巻<br>54                    |
| 2. 論文標題<br>Plasma-assisted synthesis of size-controlled monodisperse submicron gold particles using inkjet droplets | 5. 発行年<br>2021年               |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Physics D: Applied Physics   | 6. 最初と最後の頁<br>33LT01 ~ 33LT01 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1088/1361-6463/ac02f8  | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |

|  |                             |
|--|-----------------------------|
| 1. 著者名<br>Kanno Moriyuki, Kitao Takashi, Ito Tsuyohito, Terashima Kazuo  | 4. 巻<br>11                  |
| 2. 論文標題<br>Synthesis of a metal-organic framework by plasma in liquid to increase reduced metal ions and enhance water stability | 5. 発行年<br>2021年             |
| 3. 雑誌名<br>RSC Advances   | 6. 最初と最後の頁<br>22756 ~ 22760 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1039/D1RA00942G   | 査読の有無<br>有                  |
| オープンアクセス<br>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<br>-                   |

|   |                             |
|---|-----------------------------|
| 1. 著者名<br>Sakakibara Noritaka, Inoue Kenichi, Takahashi Shion, Goto Taku, Ito Tsuyohito, Akada Keishi, Miyawaki Jun, Hakuta Yukiya, Terashima Kazuo, Harada Yoshihisa | 4. 巻<br>23                  |
| 2. 論文標題<br>Soft X-ray emission spectroscopy for the electronic state of water molecules influenced by plasma-treated multi-walled carbon nanotubes                    | 5. 発行年<br>2021年             |
| 3. 雑誌名<br>Physical Chemistry Chemical Physics   | 6. 最初と最後の頁<br>10468 ~ 10474 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1039/D0CP05990K  | 査読の有無<br>有                  |
| オープンアクセス<br>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<br>-                   |

|   |                                 |
|---|---------------------------------|
| 1. 著者名<br>Kanno Moriyuki, Ito Tsuyohito, Shimizu Yoshiki, Terashima Kazuo   | 4. 巻<br>18                      |
| 2. 論文標題<br>Cuboid Cu(HBTC)(H <sub>2</sub> O) <sub>3</sub> synthesis via plasma pretreatment of trimesic acid solution | 5. 発行年<br>2021年                 |
| 3. 雑誌名<br>Plasma Processes and Polymers   | 6. 最初と最後の頁<br>2100047 ~ 2100047 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1002/ppap.202100047  | 査読の有無<br>有                      |
| オープンアクセス<br>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<br>-                       |

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Inoue Kenichi, Goto Taku, Ito Tsuyohito, Shimizu Yoshiki, Hakuta Yukiya, Ito Kohzo, Terashima Kazuo                 | 4. 巻<br>54                    |
| 2. 論文標題<br>Boron nitride with high zeta potential via plasma processing in solution for preparation of polyrotaxane composite | 5. 発行年<br>2021年               |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Physics D: Applied Physics   | 6. 最初と最後の頁<br>425202 ~ 425202 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1088/1361-6463/ac15d1  | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>K. Nitta, K. Ishizumi, Y. Shimizu, K. Terashima, T. Ito   | 4. 巻<br>258                   |
| 2. 論文標題<br>One-step gold line fabrication from particle-free inorganic salt-based ink via atmospheric pressure nonequilibrium plasma-assisted inkjet printing | 5. 発行年<br>2021年               |
| 3. 雑誌名<br>Materials Chemistry and Physics   | 6. 最初と最後の頁<br>123836 ~ 123836 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.matchemphys.2020.123836   | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>K. Inoue, T. Goto, M. Iida, T. Ito, Y. Shimizu, Y. Hakuta, K. Terashima                         | 4. 巻<br>53                    |
| 2. 論文標題<br>Aqueous dispersion of hexagonal boron nitride via plasma processing in a hydroquinone solution | 5. 発行年<br>2020年               |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Physics D: Applied Physics   | 6. 最初と最後の頁<br>42LT01 ~ 42LT01 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1088/1361-6463/ab97dd  | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |

|  |                               |
|--|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>T. Ito, T. Goto, K. Inoue, K. Ishikawa, H. Kondo, M. Hori, Y. Shimizu, Y. Hakuta, K. Terashima | 4. 巻<br>13                    |
| 2. 論文標題<br>In-plane modification of hexagonal boron nitride particles via plasma in solution             | 5. 発行年<br>2020年               |
| 3. 雑誌名<br>Applied Physics Express  | 6. 最初と最後の頁<br>066001 ~ 066001 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.35848/1882-0786/ab916c  | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>K. Inoue, S. Takahashi, N. Sakakibara, S. Toko, T. Ito, K. Terashima  | 4. 巻<br>53                    |
| 2. 論文標題<br>Spatiotemporal optical emission spectroscopy to estimate electron density and temperature of plasmas in solution | 5. 発行年<br>2020年               |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Physics D: Applied Physics   | 6. 最初と最後の頁<br>235202 ~ 235202 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1088/1361-6463/ab78d5  | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |

|  |                          |
|--|--------------------------|
| 1. 著者名<br>Kaishu Nitta, Masanao Tsumaki, Tomoya Kawano, Kazuo Terashima, Tsuyohito Ito | 4. 巻<br>52               |
| 2. 論文標題<br>Printing PEDOT from EDOT via plasma-assisted inkjet printing                | 5. 発行年<br>2019年          |
| 3. 雑誌名<br>J. Phys. D: Appl. Phys.  | 6. 最初と最後の頁<br>315202-1-6 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1088/1361-6463/ab1ef2                                   | 査読の有無<br>有               |
| オープンアクセス<br>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<br>-                |

〔学会発表〕 計34件 (うち招待講演 9件 / うち国際学会 18件)

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>K. Nitta, H. Muneoka, Y. Shimizu, H. Kobayashi, K. Terashima, and T. Ito   |
| 2. 発表標題<br>Droplet Evaporation Behavior in Atmospheric-Pressure Nonequilibrium Plasma |
| 3. 学会等名<br>ISPlasma2023 and IC-PLANTS2023 (国際学会)                                      |
| 4. 発表年<br>2023年   |



|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>K. Inoue, T. Ito, Y. Shimizu, K. Ito, and K. Terashima   |
| 2. 発表標題<br>Functionalization of Carbon Layer on Hexagonal Boron Nitride Formed by Plasma Processing in Solution |
| 3. 学会等名<br>ISPlasma2023 and IC-PLANTS2023 (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2023年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>K. Nitta, T. Hato, T. Sakai, H. Muneoka, Y. Shimizu, K. Terashima, T. Ito                                    |
| 2. 発表標題<br>Synthesis of metal and metal oxide particles via atmospheric-pressure plasma processing with inkjet droplets |
| 3. 学会等名<br>Advances in Functional Materials 2023 (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2023年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>T. Koike, H. Muneoka, K. Terashima, T. Ito  |
| 2. 発表標題<br>Electric field measurements in high-pressure hydrogen and nitrogen environments by detecting visible lights induced in coherent anti-Stokes Raman scattering scheme |
| 3. 学会等名<br>2022 MRS Fall Meeting and Exhibit (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>T. Koike, H. Muneoka, K. Terashima, T. Ito   |
| 2. 発表標題<br>Development of sensitive electric-field measurement method via electric- field-induced coherent anti-Stokes Raman scattering |
| 3. 学会等名<br>11th International Conference on Reactive Plasmas / 75th Annual Gaseous Electronics Conference (国際学会)                        |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>S. Takamatsu, K. Inoue, H. Muneoka, T. Ito, K. Terashima  |
| 2. 発表標題<br>Analysis of OH Emission Spectra Using Deep Learning   |
| 3. 学会等名<br>11th International Conference on Reactive Plasmas / 75th Annual Gaseous Electronics Conference (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>T. Ito  |
| 2. 発表標題<br>Plasma-assisted materials processing with inkjet droplets |
| 3. 学会等名<br>11th International Workshop on Microplasmas (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>K. Inoue, T. Ito, Y. Shimizu, K. Terashima  |
| 2. 発表標題<br>Surface charges of hexagonal boron nitride with carbon layers formed by plasma in hydroquinone aqueous solution |
| 3. 学会等名<br>第32回MRS年次大会(国際シンポジウム)   |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>T. Sakai, K. Nitta, H. Muneoka, Y. Shimizu, K. Terashima, T. Ito          |
| 2. 発表標題<br>Zirconia hollow particles synthesis via plasma-assisted inkjet processing |
| 3. 学会等名<br>第32回MRS年次大会(国際シンポジウム)   |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|  |
|--|
| 1 . 発表者名<br>Takeru Koike, Hitoshi Muneoka, Kazuo Terashima, and Tsuyohito Ito  |
| 2 . 発表標題<br>Highly Sensitive Electric Field Measurement via Electric-Field-Induced Coherent Anti-Stokes Raman Scattering in Visible Region |
| 3 . 学会等名<br>ISPlasma2022 and IC-PLANTS2022 ( 国際学会 )  |
| 4 . 発表年<br>2021年   |

|   |
|---|
| 1 . 発表者名<br>T. Ito, K. Nitta, Y. Shimizu, K. Terashima  |
| 2 . 発表標題<br>Plasma Materials Processing with Controlled Microdroplets: Printing and Particles Synthesis |
| 3 . 学会等名<br>2021 MRS Fall Meeting and Exhibit ( 招待講演 ) ( 国際学会 )   |
| 4 . 発表年<br>2021年  |

|   |
|---|
| 1 . 発表者名<br>M. Kanno, T. Ito, Y. Shimizu, and K. Terashima  |
| 2 . 発表標題<br>Synthesis of Cuboid Cu(HBTC)(H <sub>2</sub> O) <sub>3</sub> Using Plasma-in-Solution Treatment to Organic Ligands |
| 3 . 学会等名<br>2021 MRS Fall Meeting and Exhibit ( 国際学会 )  |
| 4 . 発表年<br>2021年  |

|  |
|--|
| 1 . 発表者名<br>K. Nitta, H. Muneoka, Y. Shimizu, K. Terashima, T. Ito   |
| 2 . 発表標題<br>In-situ observation of inkjet droplets in atmospheric-pressure radio frequency argon plasma and demonstration for synthesis of monodisperse submicron gold particles |
| 3 . 学会等名<br>74th Annual Gaseous Electronics Conference ( 国際学会 )  |
| 4 . 発表年<br>2021年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>T. Ito, K. Nitta, M. Tsumaki, Y. Shimizu, K. Terashima                          |
| 2. 発表標題<br>Particles synthesis via atmospheric-pressure plasma with solution microdroplets |
| 3. 学会等名<br>5th Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (招待講演) (国際学会)                     |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>T. Ito, K. Nitta, K. Terashima   |
| 2. 発表標題<br>Plasma-assisted Deposition using Microdroplets   |
| 3. 学会等名<br>The International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films 2021 (ICMCTF-2021) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>小池 健、宗岡 均、寺嶋 和夫、伊藤 剛仁             |
| 2. 発表標題<br>コヒーレント反ストークスラマン散乱を用いた高感度電界計測手法の開発 |
| 3. 学会等名<br>第69回応用物理学会春季学術講演会                 |
| 4. 発表年<br>2022年                              |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>新田 魁洲、宗岡 均、清水 禎樹、小林 宏充、寺嶋 和夫、伊藤 剛仁 |
| 2. 発表標題<br>大気圧非平衡プラズマ中のインクジェット液滴の蒸発挙動の観察      |
| 3. 学会等名<br>第69回応用物理学会春季学術講演会                  |
| 4. 発表年<br>2022年                               |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>伊藤 剛仁                               |
| 2. 発表標題<br>プラズマ援用インクジェット：プラズマ・液体相互作用の材料分野への一応用 |
| 3. 学会等名<br>第69回応用物理学会春季学術講演会（招待講演）             |
| 4. 発表年<br>2022年                                |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>羽藤 健、新田 魁洲、宗岡 均、清水 禎樹、寺嶋 和夫、伊藤 剛仁 |
| 2. 発表標題<br>プラズマ援用インクジェットプロセスによる酸化亜微粒子の合成     |
| 3. 学会等名<br>第69回応用物理学会春季学術講演会                 |
| 4. 発表年<br>2022年                              |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>榊原 教貴、井上 健一、高橋 史音、後藤 拓、伊藤 剛仁、赤田 圭史、宮脇 淳、伯田 幸也、寺嶋 和夫、原田 慈久 |
| 2. 発表標題<br>軟X線発光分光測定を用いたプラズマ表面改質カーボンナノチューブが水分子の電子状態に与える影響の解明         |
| 3. 学会等名<br>第69回応用物理学会春季学術講演会   |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>伊藤 剛仁、新田 魁洲、妻木 正尚、宗岡 均、清水 禎樹、寺嶋 和夫 |
| 2. 発表標題<br>液相を用いたプラズマ材料プロセッシング                |
| 3. 学会等名<br>第38回 プラズマ・核融合学会 年会（招待講演）           |
| 4. 発表年<br>2021年                               |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>新田 魁洲, 宗岡 均, 清水 禎樹, 寺嶋 和 夫, 伊藤 剛仁 |
| 2. 発表標題<br>プラズマ援用インクジェットプロセスによる単分散粒子 の合成     |
| 3. 学会等名<br>第82回応用物理学会秋季学術講演会                 |
| 4. 発表年<br>2021年                              |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>小池 健, 宗岡 均, 寺嶋 和夫, 伊藤 剛仁    |
| 2. 発表標題<br>大気圧水素雰囲気におけるCARSを用いた高感度電界計測 |
| 3. 学会等名<br>第82回応用物理学会秋季学術講演会           |
| 4. 発表年<br>2021年                        |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>K. Inoue, S. Takahashi, N. Sakakibara, S. Toko, T. Ito, K. Terashima |
| 2. 発表標題<br>Spatiotemporal optical emission spectroscopy of plasma in solution   |
| 3. 学会等名<br>ISplasma 2021 & IC-PLANTS2021 ( 国際学会 )                               |
| 4. 発表年<br>2020年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>T. Ito   |
| 2. 発表標題<br>Further development of plasma-assisted inkjet printing               |
| 3. 学会等名<br>73rd Annual Gaseous Electronics Virtual Conference ( 招待講演 ) ( 国際学会 ) |
| 4. 発表年<br>2020年   |

|                                       |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>新田 魁洲, 清水 禎樹, 寺嶋 和夫, 伊藤 剛仁 |
| 2. 発表標題<br>インクジェット液滴を用いたプラズマ支援単分散粒子合成 |
| 3. 学会等名<br>日本金属学会2021年春季(第168回)講演大会   |
| 4. 発表年<br>2021年                       |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>新田 魁洲, 石角 健, 清水 禎樹, 寺嶋 和夫, 伊藤 剛仁         |
| 2. 発表標題<br>塩化金酸水溶液をインクとしたプラズマ援用インクジェットプロセスによる金細線の描画 |
| 3. 学会等名<br>日本金属学会第167回講演大会                          |
| 4. 発表年<br>2020年                                     |

|                                      |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>伊藤剛仁                      |
| 2. 発表標題<br>ミクロ液相を用いた大気圧プラズマ材料プロセッシング |
| 3. 学会等名<br>第37回プラズマ・核融合学会年会(招待講演)    |
| 4. 発表年<br>2020年                      |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>K. Nitta, M. Tsumaki, T. Kawano, K. Terashima, T. Ito  |
| 2. 発表標題<br>Plasma-assisted inkjet printing of poly(3,4-ethylenedioxythiophene) from 3,4-ethylenedioxythiophene stock solution |
| 3. 学会等名<br>72nd Annual Gaseous Electronics Conference (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>T. Ito, K. Nitta, M. Tsumaki, T. Kawano, K. Terashima |
| 2. 発表標題<br>Plasma-assisted inkjet printing                       |
| 3. 学会等名<br>XXXIV ICPIG & ICRP-10 (招待講演) (国際学会)                   |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>K. Nitta, M. Tsumaki, K. Terashima T. Ito   |
| 2. 発表標題<br>Plasma-assisted inkjet printing of molybdenum disulfide from ammonium tetrathiomolybdate aqueous solution |
| 3. 学会等名<br>10th International Workshop on Microplasmas (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>新田 魁洲, 石角 健, 寺嶋 和夫, 伊藤 剛仁       |
| 2. 発表標題<br>塩化金酸溶液からの金のプラズマ援用インクジェットプリンティング |
| 3. 学会等名<br>第67回応用物理学会春季学術講演会               |
| 4. 発表年<br>2020年                            |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>井上 健一, 高橋 史音, 榊原 教貴, 都甲 将, 伊藤 剛仁, 寺嶋 和夫 |
| 2. 発表標題<br>時空間分解発光分光測定による液中プラズマの電子密度/電子温度推定        |
| 3. 学会等名<br>第67回応用物理学会春季学術講演会                       |
| 4. 発表年<br>2020年                                    |



|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>伊藤 剛仁, 後藤 拓, 井上 健一, 石川 健治, 近藤 博基, 堀 勝, 清水 禎樹, 伯田 幸也, 寺嶋 和夫 |
| 2. 発表標題<br>液中プラズマ表面改質六方晶BN微粒子のESR測定                                   |
| 3. 学会等名<br>第67回応用物理学会春季学術講演会  |
| 4. 発表年<br>2020年   |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

|  |
|--|
| 所属研究室ホームページ<br><a href="http://www.plasma.k.u-tokyo.ac.jp/">http://www.plasma.k.u-tokyo.ac.jp/</a> |
|--|

|         |                           |                       |
|---------|---------------------------|-----------------------|
| 6. 研究組織 |                           |                       |
|         | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号) | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号) |
|         |                           | 備考                    |

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 |
|---------|---------|