

液相を用いたプラズマ材料プロセッシング Plasma materials processing with liquid phase

伊藤 剛仁^{1,2}、新田 魁洲¹、妻木 正尚¹、宗岡 均¹、清水 禎樹²、寺嶋 和夫^{1,2}
Tsuyohito Ito^{1,2}, Kaishu Nitta¹, Masanao Tsumaki¹, Hitoshi Muneoka¹, Yoshiki Shimizu², Kazuo Terashima^{1,2}

¹東京大学新領域創成科学研究科

²産業技術総合研究所先端オペランド計測技術オープンイノベーションラボラトリ

¹Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

²OPERANDO-OIL, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

液相と大気圧非平衡プラズマの重畳を用いた反応場は、材料プロセッシングのみならず、プラズマ医療やプラズマ農業など、多方面にわたる新展開を導いてきている。更に、液相をマイクロ化¹⁻⁸することによって、プラズマの影響をより強く示す液相反応場の出現や、新規プロセス開発も期待できる。本発表では、インクジェット液滴を用いた材料プロセッシングに関し、以下3点の我々の取り組みを報告する。

(1) プラズマ援用インクジェットプリンティング： インクジェット液滴は、時空間再現性の高いマイクロ液相であり、大気圧プラズマ反応場と重畳することにより、新たなプリンティング法の実現を可能とする。これまで、銀ナノ粒子分散インクを用いた大気開放雰囲気でのプラズマ援用インクジェットプリンティングに組み込み、銀配線解像度の向上、プロセスの低温・高速化を実現してきた⁵。更に、3,4-エチレンジオキシチオフェン(EDOT)をインクとして用いたPEDOT配線描画を行い、インクジェットプリンティングに、プラズマ生成ラジカルを用いた重合反応を重畳できることを実証した⁶。また、ノズル詰りの確率を低減できる水溶液インクを用いた金パターン形成も実現している⁷。以上のように、大気圧非平衡プラズマは、次世代のオンデマンド型デバイスプロセスとして期待されるインクジェットプロセスの高付加価値化に貢献できる。

(2) 単分散粒子合成： ミクロ液相は、条件にもよるが、疑似的に閉じた反応場として、材料プロセッシングに新たな制御性を付与することが可能である⁴。例えば、サイズ制御性の高い

インクジェット液滴は、一つの液滴に保持される原材料量の高い再現性をもたらす。この特徴を生かし、塩化金酸水溶液から単分散金粒子合成を実現した⁸。また、原料濃度により、粒径も制御可能である。未だ限られた材料、粒径での実証に留まってはいるが、単分散粒子合成手法として、高い可能性を秘めている。

(3) プラズマ中マイクロ液相観察： 上記システムは、高い時空間再現性とともにもマイクロ液相をプラズマ中に供給できる。その特徴を生かし、10 μm程の液滴の蒸発過程の観察に組み込み、プラズマ生成条件や溶媒種への依存性を確認してきた。今後、プラズマ診断や計算科学と組み合わせることにより、上記プロセスの向上のみならず、プラズマ-液相相互作用の理解に貢献できるものと考えている。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金若手研究(A)および基盤研究(B)の助成を受けております。また、慶応大学の小林教授には、計算科学に関するご助言を頂いております。ここに謝意を表します。

References

- ¹ K. Takenaka, Y. Okumura, and Y. Setsuhara, *Jpn. J. Appl. Phys.* **51**, 08HF05 (2012).
- ² K. Takenaka, Y. Okumura, and Y. Setsuhara, *Jpn. J. Appl. Phys.* **52**, 01AC11 (2013).
- ³ K. Takenaka and Y. Setsuhara, *Plasma Sources Sci. Technol.* **28**, 065015 (2019).
- ⁴ M. Tsumaki, Y. Shimizu, and T. Ito, *Materials Letters* **166**, 81 (2016).
- ⁵ M. Tsumaki, K. Nitta, S. Jeon, K. Terashima, and T. Ito, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **51**, 30LT01 (2018).
- ⁶ K. Nitta, M. Tsumaki, T. Kawano, K. Terashima, and T. Ito, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **52**, 315202 (2019).
- ⁷ K. Nitta, K. Ishizumi, Y. Shimizu, K. Terashima, and T. Ito, *Materials Chemistry and Physics* **258**, 123836 (2021).
- ⁸ K. Nitta, Y. Shimizu, K. Terashima, and T. Ito, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **54**, 33LT01 (2021).