

# 大気圧非平衡プラズマ内の単一液滴の帯電過程及び液相反応の数値解析

## Numerical analysis of charging process and liquid phase reaction of a single droplet in atmospheric pressure non-equilibrium plasma

都立大院 システムデザイン ○(M2) 横田剛, 中川雄介, 朽久保文嘉

Tokyo Metropolitan Univ. °Go Yokota, Yusuke Nakagawa and Fumiyoshi Tochikubo

E-mail: yokota-go@ed.tmu.ac.jp

### 1. はじめに

大気圧非平衡プラズマは簡易な装置で多様な媒質にプラズマを照射することができる。その特徴を利用し、近年では医療、材料合成、環境分野への応用を目的として、プラズマと液体の相互作用に関する研究が活発に行われている。プラズマ誘起液中反応の一次反応は界面近傍で起こるため、比表面積の大きい微小液滴の利用は有利である。前回は NaCl 液滴を用いて、液滴内部の生成物の解析を行った[1]。今回は、AgNO<sub>3</sub> 液滴を用いた銀ナノ粒子合成を視野に入れて、電界中での荷電粒子の輸送を考慮したモデルを構築し、プラズマ中の AgNO<sub>3</sub> 液滴における帯電過程とそれに伴う反応を数値解析によって調べ、考察した。

### 2. 解析手法

本解析では液滴の周囲に均一な大気圧ヘリウムプラズマが存在する場を想定し、極座標系の軸対称2次元でモデルを考えた。液滴の半径は 4 μm であり、液滴同士の相互作用などは起こらないものとした。また、液滴は球形状であるとし、計算時間のスケールでは形状の変化が起こらないと仮定して、蒸発は考慮していない。本解析の支配方程式はポアソンの方程式と密度連続式である。プラズマ中から液滴表面には電子、He<sup>+</sup>、ラジカルの3種が入射するが、ここでは荷電粒子による液滴の帯電について考察するため、電子とHe<sup>+</sup>の入射のみを考慮した。電界は大気圧直流ヘリウムグロー放電中の値として 1000 V/cm を用い、プラズマ密度は 10<sup>11</sup>cm<sup>-3</sup>とした。

### 3. 結果と考察

Fig.1 に 10<sup>-2</sup> mol/L の AgNO<sub>3</sub> 液滴の液滴表面部分の帯電量の時間変化と、6.0 μs 時の液滴表面に流入する電子とイオンのフラックスを示す。帯電はおよそ 1 μs で定常に達し、液滴の高電位側が最も負に帯電していた。プラズマ空間からの電子の入射は低電位側が多く、高電位側が少ない。よって、液滴帯電に空間的な偏りがあり液相イオン濃度が影響する。Fig.2 に Ag<sup>+</sup>の反応生成物の時間変化を示す。液滴内部の Ag<sup>+</sup>はプラズマから入射する水和電子、OH により還元または酸化され

ていた。Ag<sup>+</sup>の還元により形成された Ag, Ag<sub>2</sub>, Ag<sub>2</sub><sup>+</sup>, Ag<sub>4</sub><sup>2+</sup>は銀ナノ粒子の前駆体と考えられ、銀ナノ粒子の形成が期待される。

### 謝辞

本研究は JSPS 科研費 18H01207 の助成を受けたものです。

### 参考文献

[1] 横田剛 他, 第 81 回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集, 11p-Z05-9 (2020).

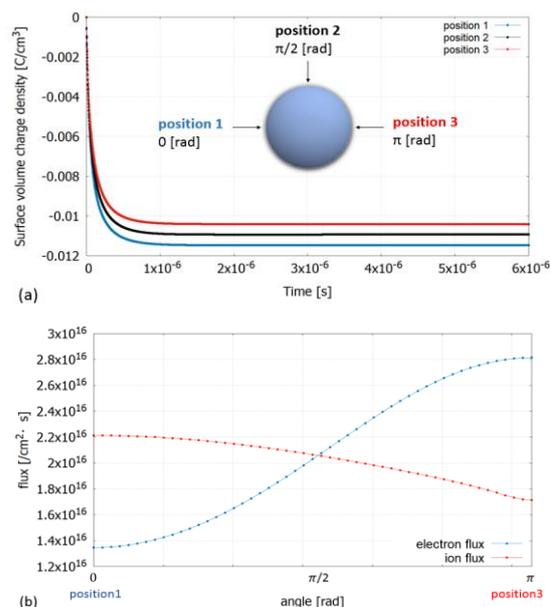


Fig. 1 Characteristics of droplet charging for 10<sup>-2</sup> mol/L AgNO<sub>3</sub> droplet; (a) time variation of charge density on the droplet surface, and (b) fluxes of electrons and ions flowing onto the droplet surface at 6.0 μs.

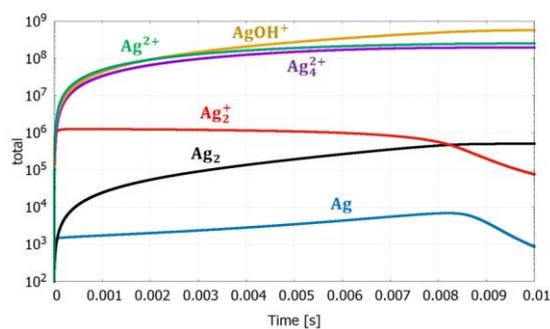


Fig.2 Time evolution of reaction products of Ag<sup>+</sup>.