

硝酸銀水溶液を用いた大気圧直流グロー放電電解の二次元数値解析

Two-Dimensional Simulation of Atmospheric-Pressure DC Glow Discharge Electrolysis with AgNO₃ Aqueous Solution

首都大院システムデザイン¹ ○柊久保 文嘉¹, 中川 雄介¹, 内田 諭¹

Tokyo Metropolitan Univ.¹, °Fumiyoshi Tochikubo¹, Yusuke Nakagawa¹, Satoshi Uchida¹

E-mail: tochi@tmu.ac.jp

1. はじめに

液体と接する大気圧非平衡プラズマは医療や農業などのバイオ応用, 水処理などの環境応用, ナノ粒子合成などの材料プロセスを中心に広く研究されている。液体電極を有する大気圧グロー放電は液体と接する大気圧非平衡プラズマの一形態であり, 放電から液面へ入射する荷電粒子やラジカルと液面の相互作用により液中反応が誘起される。このとき, 荷電粒子/ラジカルの輸送速度は気中と液中で桁違いに異なるため, 液面へ入射した粒子種は液中の界面近傍に蓄積される。即ち, 界面近傍相の理解が重要である。我々は, 硝酸銀水溶液を電解液とした大気圧直流グロー放電電解について, 一次元流体モデルを用いた解析を行い, 水和電子生成や Ag⁺の還元反応などが水面からどの程度の深さで起こるかを示した⁽¹⁾。本研究は, これを二次元に拡張したものであり, 放電分布と液中反応の相関等に焦点を当てたものである。

2. 手法

Fig. 1 は計算対象とした大気圧グロー放電である。液面から 1 mm の位置に金属製ノズル電極 (内径 500 μm, 外径 800 μm) を配し, 流速 10 m/s でヘリウムを大気圧窒素中に流す。液体は深さ 1 mm の硝酸銀水溶液とし, 液面に接地電極を置く。ノズル電極に負極性の直流電圧を印加することにより, ノズル電極と液面間に大気圧グロー放電を形成する。密度連続の式による気中と液中の荷電粒子やラジカル種の輸送解析, 及び, ポアソンの式による電界解析を同時に行うことにより, 全領域の電位分布を含む放電構造の解析を行った。なお, 事前にガス流体解析で得られた窒素中ヘリウムのモル分率を考慮している。また, 硝酸銀水溶液の

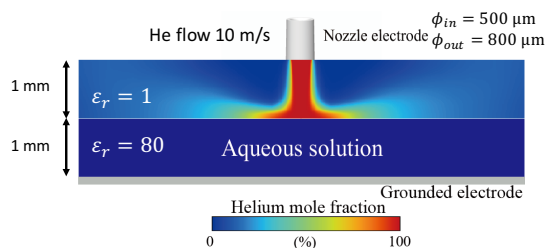


Fig. 1 Geometry of atmospheric-pressure glow discharge with liquid electrode along helium flow in nitrogen, and the calculated helium mole fraction.

濃度は可変できるが, 今回は 10 mmol/L とした。液中では, 6 種類の陽イオン, 8 種類の陰イオン, 9 種類の中性化学種を考慮している。

3. 結果

Fig. 2 はノズル電極に -500 V を印加した時の計算結果である。計算時間を要するため, ここでは 600 ns における結果を示しており, 液中での粒子輸送は定常には至っていない。グロー放電はヘリウム流に沿って形成されおり, 特に, ペニング電離による寄与は大きい。プラズマ中に比べて液中の方が導電率が高くなるため液中の電圧降下は大きくないが, 放電が液面に接する領域の電界は大きくなるので電子の輸送もこの領域に限定される。結果として, 水和電子生成もプラズマ中の電子輸送に対応した形状となり, この場合は中心軸から半径 250 μm 内の領域に限定される。Ag⁺の還元も同領域に限定されるために局所的に Ag⁺の枯渇が生じると推測される。

参考文献

(1) F. Tochikubo et al., HAKONE XVI (Beijing, China, 2018).

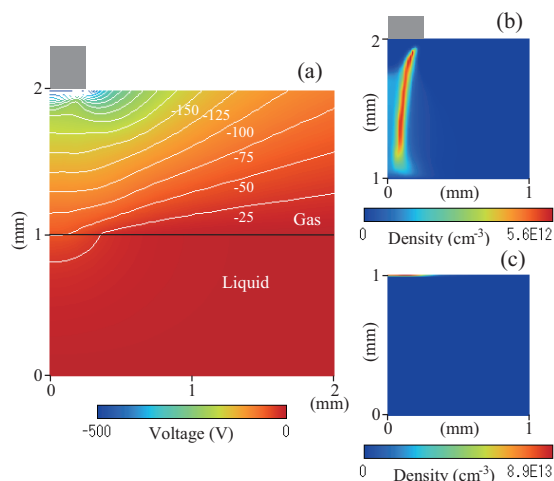


Fig. 2 Calculated discharge structure with 1 mmol/L AgNO₃ aqueous solution at applied voltage of -500 V, (a) potential distribution, (b) electron density and (c) hydrated electron density.