

大気圧He直流グロー放電における微粒子導入の影響

Effect of fine particles on atmospheric pressure helium dc glow discharge

首都大院理工, °村山 史也, 内田 諭, 朽久保 文嘉

TokyoMetro. Univ., °Fumiya Murayama, Satoshi Uchida, Fumiyoshi Tochikubo,

E-mail: murayama-fumiya@ed.tmu.ac.jp

1. はじめに

近年、プラズマと液体の界面での反応を利用した材料プロセス、水処理、バイオ応用などの分野が注目されており、当研究室でも液体を電極とした大気圧直流グロー放電を用いた金ナノ粒子と銀ナノ粒子[1]、磁性ナノ粒子[2]の生成を行っている。我々はプラズマ液体界面を効果的に活用する手法として液体のミスト化に着目した。ミストとプラズマの相互作用として熱や帯電等の物理的作用、化学種の溶解や電子・イオンによる化学的作用が考えられるが、その詳細は明らかではない。

ミストは帯電等の影響によりプラズマを構成する成分の一つとみなすことができ、プラズマの特性自体を変化させると考えられるが、プラズマ中の反応は非常に多く複雑であるため、実験だけでは正確な機構を知るのは難しい。よって、数値解析を用いてミストとプラズマの相互作用の詳細を解明することを目的とする。複雑な現象に対する確かなモデル化に向けた基礎の確立のため、本研究では、大気圧 He 直流グロー放電における微粒子導入の影響について調査した。

2. 解析手法

本モデルでは、平行平板電極間に生成される大気圧直流グロー放電を一次元流体モデルで模擬し、放電条件として母ガスは He、圧力 760 Torr、温度 300 K、ギャップ 0.5 mm とし、印加電圧を 1 kV とした。考慮する粒子は、He のイオンが 2 種類、He の励起種が 2 種類及び電子であり、反応式は 7 種類を導入している。母ガス-電子反応にはボルツマン方程式解析ソフト BOLSIG+ を使用し、イオン-分子反応、分子-分子反応の反応速度係数は文献[3]を参考にした。

3. 解析結果

当研究室で行っているミストプラズマの実験でのミストは概算で半径 1 μm 、数密度 $\sim 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ であるため、本研究では微粒子の条件を半径 1 μm 、数密度 $n_d = 0.0$ または 10^8 cm^{-3} と設定した。微粒子はプラズマが定常状態に到達した後、均一な密度で導入する。

微粒子の導入により、プラズマを構成する荷電粒子は微粒子に付着する。電子とイオンの熱速度の違いにより、定常状態で微粒子は負に帯電する。イオン温度を室温と仮定しているため、微粒子の平衡帯電量は電子温度により決定し、今回の条件では電荷素量の $10^3 \sim 10^4$ 倍を示した。しかし、大気圧ではプラズマ密度が大きいために、 $\sim 10^7 \text{ cm}^{-3}$ 程の微粒子密度では、放電部に大きな変化は見られない結果となった。一方、微粒子密度が 10^8 cm^{-3} では荷電粒子の電荷密度及び微粒子の電荷密度が近い値を示し、放電部に大きな変化をもたらす。図 1 から読み取れるように、電子密度は大きく減少する。また、図 2 より微粒子の帯電により失われる電子を補うために、陽光柱の電界が増加することが分かる。これは、負イオンを考慮した際に現れる変化と類似している。

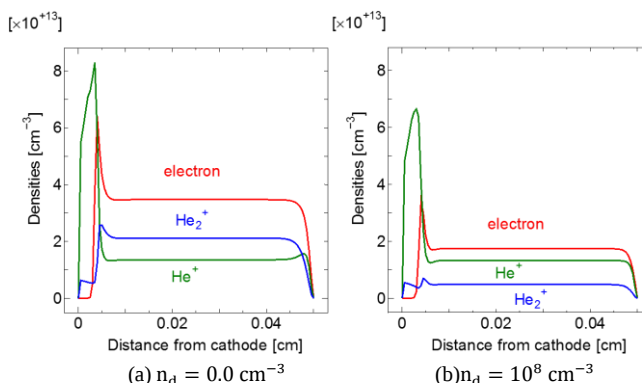


図 1 微粒子の有無による電子及びイオンの空間密度分布比較

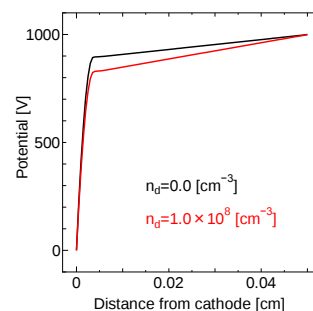


図 2 電位分布比較

微粒子の数密度が 10^9 cm^{-3} 以上の場合、電子密度の減少量が非常に大きく、プラズマを維持できない結果となった。今回の条件でプラズマを維持できる微粒子の数密度は $\sim 10^8 \text{ cm}^{-3}$ であるが、印加電圧を上げ、電離を促すことでより多くの微粒子を考慮できると推察される。

今回の解析において、微粒子は陰極付近を除き陽極方向への速度を持ち、陽光柱では約 100 cm/s である。図 1 は微粒子を導入してから 1 μs 後の解析結果であり、荷電粒子の密度分布は解析時間を長く取ることでさらに変化する。本条件では 600 μs までに微粒子が電極間に存在しなくなるが、定常的に新たな微粒子が投入されれば、荷電粒子密度分布を含めた放電も定常に達する。

謝辞

本研究は科学研究費補助金(No 26600128)の助成を受けて実施された。

文 献

- [1] N. Shirai, S. Uchida and F. Tochikubo, Jpn. J. Appl. Phys. 53 (2014) 046202.
- [2] Y. Yamazaki et al., 13th APCPST PC2 (2016)
- [3] F. Tochikubo et al., Jpn. J. Appl. Phys. 38(1999) p. 5244.