

非平衡大気圧 He グロー放電の基礎特性と径方向均一性に及ぼす 不純窒素ガス濃度の影響

Influence of Impure Nitrogen Gas Concentration on Fundamental Properties and Radial Uniformity in Non-Equilibrium Atmospheric Pressure Helium Glow Discharges

○小森 郷平、小田 昭紀 (千葉工大)

°Kyohei Komori, Akinori Oda

(Chiba Institute of Technology)

E-mail: s1122131gh@s.chibakoudai.jp

1. 背景

大気圧グロー放電 (Atmospheric Pressure Glow Discharges; APGDs) は、均一かつ化学的に高活性な低温プラズマであることから、薄膜形成をはじめとする材料プロセス分野や、バイオ医療分野などへの産業応用を目指して研究開発がなされている。特に材料プロセス分野では、高機能材料の開発には均質な薄膜の形成が必要とされる⁽¹⁾。また、大気圧環境下でのプラズマ生成では、He や Ar が主に用いられるが、これらのガスボンベには様々な純度が存在し、そのボンベに含まれる不純ガス (N₂, H₂O 等) が放電特性に影響を及ぼすことが知られている⁽²⁾。

そこで、本研究では、この不純ガス濃度が非平衡大気圧グロー放電特性へ如何なる影響をどの程度及ぼすかを解明することを目的としている。

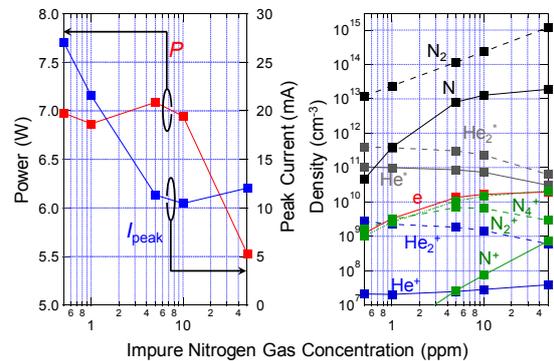
本報告では、不純ガスを窒素ガスで代表させた場合の、不純ガス濃度が非平衡大気圧 He グロー放電の基礎特性と径方向均一性に及ぼす影響の解析を行ったので、その結果を報告する。

2. 大気圧 He グロー放電のモデリング

本研究では、プラズマ中の荷電粒子及び中性粒子の振る舞いを流体として取り扱う流体モデルを適用した。構築したモデルは軸対称3次元モデルであり、Yuanらの実験条件⁽³⁾に合わせ、半径(r)=3.2 cm, その内部に厚さ0.23 cmの誘電体(ガラス, 比誘電率 7.63)に覆われた正弦波交流電圧(駆動周波数 20 kHz, 印加電圧 1.8 kV) 印加用の駆動電極と接地電極を平行に設置した構成とした。その際、放電ギャップ長を 0.50 cm とし、本ギャップにより形成される放電空間内に 0.5 ppmの不純窒素ガスが混入したヘリウムガス(760 Torr, 初期温度 300 K) が封入されているとした。その上で、10種類の荷電粒子種と中性粒子種(e⁻, He⁺, He₂⁺, He, He*, He₂^{*}, N, N₂, N₂⁺, N₄⁺) からなる計 60 種類の反応過程^(2,4,5,6)を考慮しシミュレーションを行った。

3. 結果と考察

図1に非平衡大気圧 He グロー放電における(a)投入電力および電流, (b)荷電粒子・中性粒子密度の不純窒素ガス濃度依存性を示す。本図(a)から、不純(窒素)ガス濃度 5.0 ppm 時において電力は約 7.2 W で最大と



(a) 投入電力・電流 (最大値) (b) 荷電粒子・中性粒子密度

図1 不純窒素濃度特性 ($f = 20$ kHz, $V = 1.8$ kV)

なっており、より高い電力を得られる不純ガス濃度の存在が示唆された。一方、電流パルスの最大値は、0.5 ppm 時に最大(約 7.7 mA)となるが、不純ガス濃度の増加に伴い減少していき、5 ppm 時に最小(約 6.1 mA)となる。しかしながら、50 ppm 時には再び電流パルスが増加している。これは、放電の発生が原料ガスである He による作用から、不純ガスである N₂ による作用に切り替わることから本傾向が生じている。そこで、本図(b)に示す各種正イオン密度に着目すると、主要な正イオン種が 0.5 ppm 時には He₂⁺ イオンであるのに対し、不純ガス濃度の増加に伴い、窒素由来のイオン (N₂⁺, N₄⁺) へと主要なイオン種が変化していることがわかる。これは、不純ガス濃度の増加により、ペニング電離による作用が顕著に現れたためである。そして、50 ppm 時ではこのペニング電離による作用がさらに高まり、誘電体表面への蓄積電荷の急激な増加を引き起こす。これにより生じた強電界と、生成された N₂⁺ から N₄⁺ イオンへ転換されることで、N₄⁺ イオンが支配的になり、窒素由来の放電の発生へと遷移していくことがわかった。そのほか、径方向均一性に及ぼす影響など詳細については、講演当日に報告する。

文献

- (1) T. Nozaki, et al., *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **35**, 2779-2784 (2002)
- (2) X. Yuan, and L. L. Raja, *IEEE Trans. Plasma Sci.*, **31**, 495-503 (2003)
- (3) X. Yuan, et al., *Vacuum*, **80**, 1199-1205 (2006)
- (4) T. Murakami, et al., *Plasma Sources Sci. Technol.*, **22**, 015003 (2013)
- (5) X. Song, et al., *IEEE Trans. Plasma Sci.*, **40**, 3471-3475 (2012)
- (6) D. Lee, et al., *IEEE Trans. Plasma Sci.*, **33**, 949-957 (2005)