

過渡的キャビティリングダウン吸収分光法を用いた 大気中ストリーマ放電における負イオン密度測定の試み

伏見 公花, 白井 直機, 佐々木 浩一

北大工

<https://tyche.qe.eng.hokudai.ac.jp/>

酸素および水蒸気が電氣的に負性であることから、大気中で生成されたプラズマの負電荷は負イオンが主であると考えられる。それにも関わらず、大気中で生成されたプラズマ中の負イオンを実験的に調べた研究の数は非常に少ない。その一因は、従来の減圧プラズマで広く使用されたラングミュアプローブ支援レーザー光脱離法が大気圧プラズマで使用できないためと考えられる。本講演では、大気中で生成したストリーマ放電中の負イオン密度をキャビティリングダウン吸収分光法により測定した試みについて報告する [1]。負イオンの光脱離による微弱な光吸収をキャビティリングダウン吸収分光法によって測定することは従来からなされていたが、ストリーマ放電はナノ秒電源によって生成される短パルス放電で、その持続時間は共振器内の光子寿命より短い。そのため、リングダウン波形の微分操作により過渡的に変化する負イオン密度の時間変化を推定した点が本研究の(プラズマ計測技術としての)新規性となる。

針電極と平板電極の間に生成されるストリーマ放電を2枚の高反射率ミラーからなる共振器内に置いた。波長 777 nm のパルスレーザー光を共振器に入射し、共振器を透過したレーザー光強度の時間変化(リングダウン波形)を光電子増倍管およびデジタルオシロスコープを用いて記録した。波長 777 nm の光子エネルギーは O^- , O_2^- , および H^- の電子親和力を超え、これらの負イオンから電子が脱離するときに光子が消失する。このようにして生じた光吸収はリングダウン波形の指数関数からのずれとして検出される。時間的移動平均により雑音を低減したリングダウン波形を時間微分し、瞬時のリングダウン周波数を求めることによって、負イオン密度を求めた。

パルス幅が 50 ns 程度のパルス高電圧を印加した後、400 ns 程度が経過した時刻において、負イオンが観察され始めた。負イオン密度は 1 μs において最大となり、2 μs においてその密度はほぼゼロとなった。負イオン密度が増加を始める時刻は、第1次ストリーマが陰極に達し、第2次ストリーマに移行する時刻とほぼ一致した。主な負イオンを O_2^- と仮定してその光脱離断面積を光吸収断面積とした場合、負イオン密度の最大値は $2 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ となった。本実験と比較的似た条件の第1次ストリーマにおいてレーザートムソン散乱法によって測定された電子密度は $3 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ と報告されていることから [2], 第1次ストリーマにおける電子の大部分が、換算電場が低下した第2次ストリーマにおいて負イオンに変化したと考えられる。

[1] K. Fushimi, N. Shirai, and K. Sasaki, Plasma Sources Sci. Technol. **33**, 02LT01 (2024).

[2] K. Tomita, Y. Inada, A. Komuro, X. Zhang, K. Uchino, and R. Ono, J. Phys. D: Appl. Phys. **53**, 08LT01 (2020).