

アルゴンをプローブ粒子としたレーザー誘起蛍光減光法による 超高感度電界計測

Sensitive measurement of electric field by laser-induced fluorescence-dip spectroscopy using argon as the probe particle

佐々木 浩一, 滝沢 一樹, 河野 明廣, ガブリレンコ¹

名古屋大学大学院 工学研究科 電子工学専攻

¹ ロシア標準委員会 表面真空研究所

K. Sasaki, K. Takizawa, A. Kono, and V. P. Gavrilenko¹

Department of Electronics, Nagoya University

¹Center for Surface and Vacuum Research, Russian State Committee for Standards

プラズマ中の電界を高感度・高分解能で計測することは、放電物理およびプラズマ物理の観点からはもちろん、プラズマ応用の観点からも極めて重要な課題である。特に、プレース領域の微弱な電界の空間分布は興味を持たれるところである。また、応用上重要な電氣的負性プラズマのシース電界構造は基礎的にも未解明であり、信頼できる実験が必要である。レーザーシュタルク分光法は、プラズマに非接触で空間分解能が高く、これまでいくつかの条件でプラズマ中の電界計測が行われてきた。しかしながら、従来のレーザーシュタルク分光法は感度が不十分(検出下限が 500–800 V/cm)であり、プラズマの放電条件に対する制約が多いなどの問題があった。数年前、水素をプローブ粒子としたレーザー誘起蛍光減光法が開発され、電界検出下限が 5 V/cm と一気に改善された [1]。この方法は、プラズマの放電条件に対する制約がほとんどなく、非常に優れた電界計測法である。ただし、水素をプローブ粒子としている点が問題で、そのため、応用上重要な各種のプロセッシングプラズマや電氣的負性プラズマ中の電界計測への適用は困難である。

我々は、アルゴンをプローブ粒子としたレーザー誘起蛍光減光法を開発し、検出下限が 3 V/cm の超高感度電界計測技術を確立した [2]。アルゴンを少量添加することはプラズマへの著しい擾乱にはならないので、アルゴンをプローブ粒子に用いるのは汎用性の点で優れている。しかし、アルゴンのリユドベリ状態のシュタルク効果の理論計算は極めて難しく、プラズマ中でシュタルクスpekトルを測定できたとしても、それから電界を求めることが困難であるという問題がある。我々は、アルゴンリユドベリ状態のシュタルク効果の理論計算を進める一方で、無プラズマ・既知電界中でシュタルクスpekトルを実測し、その結果との比較によってプラズマ中の電界を決定することを可能にした。アルゴン ICP プラズマにおけるシース電界分布の測定例を図 1 に示す。真空容器内に設置した ICP アンテナにより低ガス圧 (5 mTorr) アルゴンプラズマを生成した。プラズマ中にステンレス電極を挿入し、その前面に形成されるシース中の電界分布を測定した。図 1 の条件では、プラズマの電子密度および電子温度はそれぞれ $2 \times 10^9 \text{ cm}^{-3}$ および 4 eV であり、プラズマと電極の間に 40 V の電位差が印加されている。ただし、図 1 はデバイ長 λ_D および電子温度 T_e を用いて規格化された物理量を軸に用いて表示されている。プロットが実験結果であり、実線が流体モデルによるシース電界分布の計算結果、破線は電界分布の計算結果を積分して得られる電位分布を示している。縦軸に平行な破線はシース端の位置を表している。この条件では、規格化電界の 1 はほぼ 100 V/cm に対応しており、プレース中では 10 V/cm 未満の微弱電界が高感度に計測されていることがわかる。シース中の電界は大きさ・分布ともに計算結果とよく一致したが、プレース中では計算結果より大きな電界が観測された。講演では、電氣的負性プラズマにおける実験結果についても報告する。

[1] U. Czarnetzki, D. Luggenhölscher, and H. F. Döbele, Phys. Rev. Lett. **81**, 4592 (1998).

[2] K. Takizawa, K. Sasaki, and K. Kadota, Jpn. J. Appl. Phys. **41**, L1285 (2002).

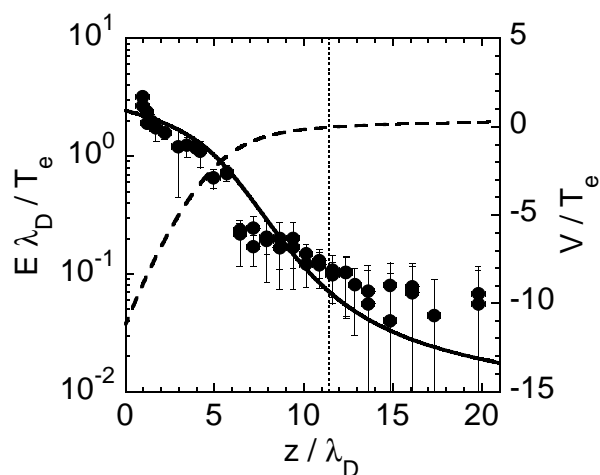


図 1: アルゴン ICP プラズマで観測されたシース電界分布