

反応性プラズマのレーザー分光計測

Diagnostics of reactive plasmas by laser spectroscopy

佐々木 浩一

名古屋大学大学院 工学研究科 電子工学専攻

Koichi Sasaki

Department of Electronics, Nagoya University

はじめに 材料プロセッシングのための反応性プラズマ研究において、レーザー分光計測法はプラズマの内部状態の把握に著しく貢献してきた。本稿では、筆者の所属する研究室で推進してきたレーザー分光計測によって得られたプラズマ診断結果のいくつかを紹介する。

レーザー誘起蛍光法による粒子密度計測 反応性プラズマ中のラジカル密度を高い時空間分解能で測定するために、レーザー誘起蛍光法を適用してきた。これまでに検出した粒子は、 CF 、 CF_2 、 C_2 、 C_3 、 O 、 H 、 Ti 、 Ti^+ 、 TiO 、 CN 、 NO 、 NO_2 、および F (ただし準安定状態) と多岐にわたる。中でも特筆すべき成果は、 C_4F_8 などのフルオロカーボンプラズマ中の CF_x ラジカル密度の空間分布から、 CF_x ラジカルの表面生成 (真空容器に堆積したフルオロカーボン膜から CF_x ラジカルが生成される過程) を指摘したことである。

レーザー誘起蛍光法の画像計測化 反応性プラズマ研究の一環として、レーザーアブレーションプラズマに関する研究を行っている。レーザーアブレーションプラズマは強い空間分布とダイナミックな時間変化を有するので、その全体像を把握するためには画像計測法を用いた可視化診断技術が有効である。そのために、レーザー誘起蛍光計測を2次元化した。図1は、雰囲気ガスを C_4F_8 とし、その中にグラファイトターゲットを設置して YAG レーザーパルスを照射した時に観測された C_2 ラジカル (ターゲットから放出された粒子) と雰囲気ガスの密度分布である。ただし、雰囲気ガスの可視化のために、雰囲気の一部をプラズマによって CF_2 に分解し、 CF_2 の密度分布を画像計測した。ターゲットから放出された粒子が雰囲気ガスを押しのけながら広がっていく様子が明瞭に観測されている。

レーザー誘起蛍光減光法による電界計測 レーザーシュタルク分光法による電界計測の検出下限は、従来、 $0.8\text{--}1\text{ kV/cm}$ 程度であったが、レーザー誘起蛍光減光法を用いると測定感度は著しく向上し、検出下限として 10 V/cm 未満が得られる。我々は、 Ar 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た。 Ar の微量添加は反応性プラズマに与える擾乱が少ないので、この方法を用いれば、様々な反応性プラズマ中の電界計測が可能となる。図2は、この方法によって誘導結合 Ar プラズマ (ガス圧 5 mTorr 、電子密度 $2 \times 10^8\text{ cm}^{-3}$) 中のシース電界分布を計測した結果を示している。プラズマ中に金属板を挿入し、真空容器 (接地) に対して -50 V の電位を加えた時にその前面に生じたシース電界を計測したものである。現在までに 6 V/cm の検出下限が得られており、今後、様々な反応性プラズマへの適用が期待できる。

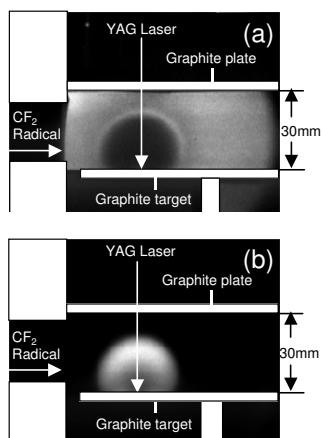


図 1: レーザーアブレーションプラズマにおける (a) 雰囲気ガス (CF_2) および (b) ターゲットから放出された粒子 (C_2) の密度分布の可視化計測結果。白が高密度、黒が低密度をあらわす。

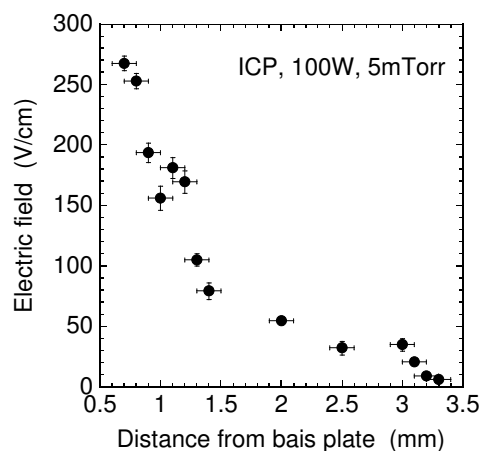


図 2: ICP Ar プラズマ (ガス圧 5 mTorr 、 $n_e = 2 \times 10^8\text{ cm}^{-3}$) 中で -50 V にバイアスされた金属板前面の電界分布をレーザー誘起蛍光減光法で計測した例。