

Ar プラズマ中の光捕捉微粒子を用いたシース近傍電界計測法の開発

Development of a sheath electric field measurement method using an optically trapped fine particle in Ar plasma

九大総理工¹, 九大シス情² ○富田 健太郎¹, 大友 洋², 鎌滝 晋礼²,
板垣 奈穂², 古閑 一憲², 白谷 正治²

Kyushu Univ., ¹Kentaro Tomita, Hiroshi Ohtomo, Kunihiro Kamataki,

Naho Itagaki, Kazunori Koga, Masaharu Shiratani

E-mail: tomita.kentaro.424@m.kyushu-u.ac.jp

1. 背景・目的

シース近傍の電界強度分布はプラズマプロセス制御の重要パラメータである。非侵襲な電界計測はレーザー分光法を用いたものがよく知られている。一方でプラズマ中の微粒子は負に帯電し、シース近傍で静電力により浮遊することから、微粒子挙動を電界計測へ応用することも行われている^[1]。本発表では光捕捉した単一微粒子をプローブとした、シース近傍の新しい電界計測手法確立に向けた実験的取り組みについて報告する。

2. 実験方法

実験で用いたプラズマ容器の概要を Fig.1 に示す。容器の上部と下部はそれぞれ石英窓、サファイア窓(厚さ 2.2 mm)である。リング型(内径 10 mm)の放電電極を底面に設置し、装置中央に接地電極としてパンチングメタルを設置した。この容器を落射型光学顕微鏡内に設置した。容器内に Ar を供給し、圧力を 100 Pa とした。電極間に 13.56 MHz、334-352 Vpp の電圧を印加してプラズマを生成した。パーティクルドロップを用いて、プラズマ中に直径 10 μm の PMMA 微粒子を導入した。微粒子はプラズマ中で負に帯電し、プラズマ/シース境界付近で鉛直上向きの静電力と、下向きに働く重力及びイオン抗力とが釣り合う位置に浮遊し、移動が水平方向の等ポテンシャル平面に制限される。この状態で 50 倍の対物レンズを通し容器下部から赤外波長レーザー(波長 1064 nm)を微粒子に照射し、光ピンセット法の原理に基づいて 1 個の微粒子を焦点位置付近で光捕捉した。放射圧による光捕捉力 F_{trap} は $F_{\text{trap}} = QnP/c$ であらわされる(Q :捕捉係数、 n :微粒子と周囲の屈折率比、 P :レーザーパワー、 c :光速)^[2]。 F_{trap} を定量評価するため、ビームプロファイラを用いて集光点付近のスポット形状評価を行った。次に、光捕捉が可能な P の範囲を調査した。容器を水平方向に移動させることで、捕捉微粒子をプラズマ内で移動させた。

3. 実験結果と考察

集光点周辺でのビーム開口数 (NA) は、対物レンズ単体の場合 (NA=0.67) と異なる結果 (NA=0.37) であった。これによりスポット直径 ($1/e^2$) は 4 μm 程度と評価されるが、依然として微粒子直径よりも小さく、入射レーザーはすべて微粒子まで到達したと考えられる。安定捕捉可能な P には下限と上限があり、それぞれ 0.18 mW、30 mW であった。微粒子移動は $P=4.2$ mW で行った。このとき、垂直方向の光捕捉力は最大で 6.7 pN と見積もられた (Q は典型値の 0.3 とした)。微粒子を初期位置($x=0$)から水平移動した時、 $x = 400 \mu\text{m}$ で光捕捉力を超える力が鉛直上向き方向に加わり、微粒子はスポットから逸脱した。新たに上向きに加わった力は $x=0$ および 400 μm での微粒子に加わる静電力の差 $\Delta F = Q_s \Delta E$ と考えられる(Q_s :帯電量)。 ΔF が F_{trap} を上回ることで、捕捉微粒子が逸脱したと仮定すると、両位置での電界強度差は $2.4 \times 10^3 \text{ V/m}$ となる。さらに、捕捉微粒子の 2 次元移動や P を変更しての実験などを進めている。

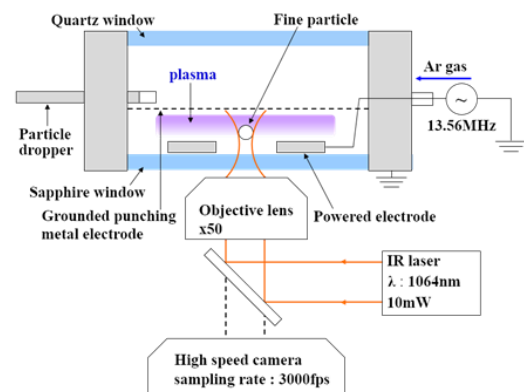


Fig. 1. Experimental setup

参考文献

1. V. Land et al., *IEEE Trans. Plasma Sci.* **38**, 768(2010).
2. A. Ashkin, *Biophys. J.* **61**, 569 (1992).