

交流電圧を印加した金属板上に形成されるイオンシースの 時間分解レーザー誘起蛍光計測

Diagnostics of Ion Sheath on an AC-Biased Metal Plate Using Time-Resolved Laser-Induced Fluorescence Spectroscopy

京大院工¹ ○(M2)高橋 良輔¹, 鬼頭 聖弥¹, 江利口 浩二¹, 占部 継一郎¹

Kyoto Univ.¹, ○R. Takahashi¹, S. Kito¹, K. Eriguchi¹, K. Urabe¹

E-mail: takahashi.ryosuke.72z@st.kyoto-u.ac.jp

【はじめに】低温プラズマを用いた材料プロセスでは、基材や基板に印加する交流バイアスにより材料へのイオン照射エネルギーを制御することが重要である。近年では更なる微細加工や深堀り加工を目的として、正弦波以外のバイアス電圧波形の利用が検討されている[1]。我々はイオン挙動制御の高精度化にはバイアス電圧 1 周期内のイオン速度分布変化を様々なバイアス波形に対して捉えることが重要であると考え、レーザー誘起蛍光 (LIF) 法[2]を用いた時間分解イオン挙動計測に取り組んでいる[3]。本発表では、構築した時間分解 LIF システム及び交流電圧を印加した金属板近傍のイオン挙動計測の結果について報告する。

【実験】本研究では電子サイクロトロン共鳴 (ECR) プラズマ (アルゴン (Ar), 0.05 Pa, 投入電力 200 W) を測定対象とした[3]。LIF 対象粒子は準安定励起アルゴンイオン (Ar^{m}) [4]であり、波長可変半導体レーザーから発振した波長 668.6 nm ($3d^4F_{7/2} \rightarrow 4p^4D_{5/2}$) の LIF 励起レーザーを電気光学変調器 (EOM) で強度変調 (20 MHz) した。蛍光信号を波長 442.6 nm ($4p^4D_{5/2} \rightarrow 4s^4P_{3/2}$) の光帯域フィルタを通した後、光電子増倍管 (PMT) にて検出した。フィルタ及び位相敏感検出器 (PSD) でノイズを低減し、オシロスコープで平均化して蛍光強度の時間変化を取得した (Fig. 1)。PSD の出力帯域は 2 MHz であり, kHz オーダの信号強度変化に対して十分な時間分解能を有する。本実験ではプラズマ中に設置した金属板に周波数 10 kHz, 振幅 20 V, DC オフセット -11.23 V (= 正弦波印加時の $V_f + V_{\text{DC}}$) の交流電圧を正弦波及び三角波 (2 種) で印加し、金属板から 1 mm 離れた位置における蛍光信号を取得した。レーザー波長を変化させて得た各波長の蛍光信号強度の時間変化からイオン速度分布 (IVDF) の時間変化を求め、バイアス電圧波形と比較した。

【結果及び考察】Fig. 2 に金属板に印加した三角波の波形, 及びこの電圧印加時に計測された IVDF の時間変化を示す。印加電圧の低下に伴いイオンが金属板方向に加速され、速度が最大になるタイミングが三角波の頂点と一致していることが分かる。また、計測されたイオンの速度はこの放電条件のボーム速度 (~ 3.7 km/s) と同等である。これらのことから、本研究で構築した時間分解 LIF システムは交流電圧印加によるイオン挙動変化を適切に捉えていると考えている。

【おわりに】交流バイアス電圧により変化するイオン挙動を解析可能な時間分解 LIF システムの構築を行った。様々な波形の交流電圧を印加した際の IVDF 時間分解計測により、材料に照射されるイオン挙動の理解が進み、プラズマ材料プロセスの更なる発展に寄与することが期待される。

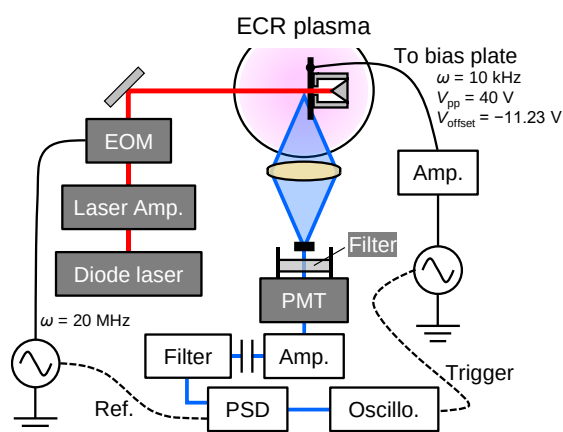


Fig. 1: Schematic diagram of time-resolved LIF measurement system developed in this study.

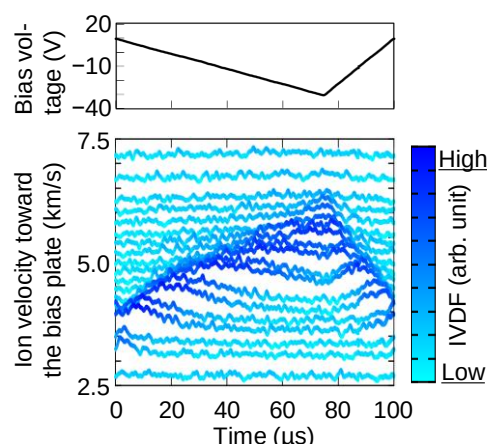


Fig. 2: Temporal evolution of IVDF at 1 mm from the bias plate plotted with the bias-voltage waveform.

謝辞：本研究はノベリオンシステムズ (株), および JSPS KAKENHI (19H01886) のサポートのもと遂行しました。

参考文献: [1] F. L. Buzzi *et al.*, Plasma Source Sci. Technol. **18**, 025009 (2009). [2] R. W. Dreyfus *et al.*, Pure Appl. Chem. **57**, 1265 (1985). [3] R. Takahashi *et al.*, Proc. 75th GEC / 11th ICRP, HW6.00018 (Sendai, Japan, 2022). [4] G. D. Severn *et al.*, Rev. Sci. Instrum. **69**, 10 (1998).