

軟 X 線光源用多価電離プラズマのイオン価数・電子密度・電子温度 計測手法の開発

Development of a measurement system of ionic charge, electron density, and electron temperature for high-Z Soft X-ray light source plasmas

○富田 健太郎, 佐藤 祐太, Nima Bolouki, 江口寿明、築山晶一、内野喜一郎 (九大総理工)

○Kentarō Tomita, Yuta Sato, Nima Bolouki, Toshiaki Eguchi, Syoichi Tsukiyama, Kiichiro Uchino
(Kyushu Univ.)

E-mail: tomita@ence.kyushu-u.ac.jp

レーザー生成プラズマ (Laser Produced Plasma, LPP) 方式は、低コストで軟 X 線光を生成可能である。LPP による波長 13.5 nm の極端紫外リソグラフィ用光源 (Extreme Ultra-violet, EUV) は商用化間近である。また現在では、2.3-4.4 nm 帯の水の窓領域における生体その場観測用光源や、さらに短波長の光源 (波長 6 nm 台) の研究・開発も、LPP を用いて精力的に進められている。

プラズマ光源からの波長ピークは、プラズマ中のイオンの価数 (Z) により直接的に決定される。したがって、最適なプラズマの電子温度 (T_e) を達成し、 Z を制御することが重要となる。しかし、LPP 内の Z や、それと深く関連する T_e 、さらには発生した放射光のプラズマ自身による吸収 (自己吸収) に関与する電子密度 (n_e) を、同時に、その場で観測できないため、きわめて非線形な応答しか示さない、数限りない外部パラメータの変更を繰り返し、最適化を目指す開発が主流である。この状況を改善し、プラズマ状態を Z , T_e , n_e 等の内部パラメータで表現できれば、理論やシミュレーションとの突合せが容易となり、光源最適化への着実な進歩が可能となる。

このような背景の下、我々はレーザー生成 EUV 光源用プラズマの n_e , T_e , Z の同時計測を、協同的トムソン散乱法で進めてきた^[1]。そこではプラズマからの強い自発光と、計測用レーザーによるプラズマ擾乱を考慮して、イオン項計測に注力した。イオン項スペクトルはイオンの熱速度程度のスペクトル広がりしか持たないため、計測用レーザーが可視波長の場合、数百 pm 程度の広がりしか持たない。さらにターゲットからの強い迷光を除去する必要がある。これらの課題に対し、20pm 程度の波長分解能と優れた迷光除去性能を有する分光器を作製し、対処してきた。

協同トムソン散乱では電子項スペクトルも得られる。しかし、イオン項に対して装置関数幅内の信号強度は 2 桁程度低く、プラズマ発光との強度比に注意しなければならない。現在我々は、イオン項計測に加え、電子項を同時に取得することを目指している。第一段階として、レーザー生成空気中プラズマを対象とする。このプラズマは、 n_e , T_e 範囲がよく知られている上、ターゲット等の反射物がプラズマ周辺にないので迷光がなく、計測システム評価に適している。

[1] K. Tomita, K. Nakayama, K. Inoue, A. Sunahara, K. Uchino: *Appl. Phys. Express*, Vol. 6, 076101 (4 pages) (2013).