

協同トムソン散乱イオン項計測による極端紫外光源用プラズマの診断

富田健太郎、佐藤祐太、内野喜一郎

九州大学大学院総合理工学研究院

Email : tomita@ence.kyushu-u.ac.jp

極端紫外 (EUV) リソグラフィ光源用プラズマ (以下EUV光源プラズマ) は、レーザー生成方式や放電生成方式といった発生方式の違いはあるものの、スズやキセノンといった高い質量数の原子を、10価程度に多価電離して得られる。EUVリソグラフィは、使用する波長13.5 nm光の発光効率改善が、実用化に向けて強く望まれている。プラズマを光源として使用するため、その最適化には電子密度 (n_e) や電子温度 (T_e) といった基礎パラメータを制御し、最適なイオン価数 (Z) を達成することが重要となる。しかし一般に微小 (<1 mm)、短命 (<100 ns) な光源プラズマの n_e , T_e , Z を十分な時間空間分解能で計測するには困難が伴う。多価電離レーザー生成プラズマの n_e , T_e , Z 計測では、協同的トムソン散乱法 (collective Thomson scattering) を用いた研究結果が多くある。協同的トムソン散乱スペクトルからは、 n_e , T_e , Z の他に、イオン温度 (T_i) やドリフト速度 (v_d)、マッハ数などを、時間空間分解で取得でき、その有用性はよく知られている。一方、そこでの計測対象は、主にレーザー慣性核融合研究や高エネルギー物理研究のためのものであり、極めて高温 ($T_e > 1$ keV)、高密度 ($n_e > 10^{26}$ m⁻³) のものが中心である。これに対しEUV光源プラズマは、予想される n_e , T_e は桁違いに低い ($n_e = 10^{24}$ – 10^{25} m⁻³, $T_e = 30$ – 50 eV)。この場合の協同トムソン散乱計測は、主に T_e が低いことにより、計測レーザーによるプラズマの加熱や、スペクトル幅の狭小化が問題となる。計測レーザーにより発生する迷光の除去も大きな課題である。迷光対策が従来の協同トムソン散乱より困難な理由は、ターゲット (固体・液体) の問題だけでなく、真空チャンバーが小型になることも関連している。我々はこれらの問題に、高い波長分解能と優れた迷光除去性能を有した分光器を開発することで対処してきた。過去には炭素ターゲットを用いた予備実験を通じ、計測システムの動作確認や、プローブレーザーによるプラズマ擾乱回避方法について基礎研究を行ってきた¹⁾。本研究会では我々が進めている、レーザー生成EUV光源プラズマのための協同的トムソン散乱計測システム開発及びその結果について報告する。発表では、入力レーザーからin-band EUVへの変換効率が4%に到達する高効率レーザー生成スズプラズマの、電子密度・電子温度・平均イオン価数の空間2次元分布を明らかにした結果を示す^{2,3)}。

- [1] Tomita, K. *et al.* A collective laser Thomson scattering system for diagnostics of laser-produced plasmas for extreme ultraviolet light sources *Appl. Phys. Express* **6** (2013).
- [2] Tomita, K. *et al.* Development of a collective Thomson scattering system for laser-produced tin plasmas for extreme-ultraviolet light sources *Appl. Phys. Express* **8** 126101 (2015).
- [3] Sato, Y., Tomita, K. *et al.* Spatial profiles of electron density, electron temperature, average ionic charge, and EUV emission of laser-produced Sn plasmas for EUV lithography, *Jpn. J. Appl. Phys.* **56**, 36201 (2017).