

22Ba01

レーザートムソン散乱による軟X線, EUV光源用プラズマ源の時空間分解計測 Time- and space-resolved diagnostics of soft X-ray and EUV light-source plasmas using laser Thomson scattering technique

富田 健太郎¹, 潘 奕明²
Kentaro Tomita¹, Yiming Pan²

¹北大院工, ²九大総理工
¹Hokkaido Univ., ²Kyushu Univ.

1. はじめに

原子構造の配置混合 (configuration interaction: CI) により、イオン種によっては、特定の波長域に数千の放射スペクトル線が集中することが知られており、その特性を利用した軟X線・極端紫外 (Extreme ultraviolet: EUV) 域における光源開発が活発に行われている。この波長域では反射ミラーが存在しないため、多層膜による干渉ミラーが用いられる。干渉ミラーは特定の波長域にのみ高い反射率を有する。その波長域に合致する光源の開発が求められる。例えば、波長13.5 nmにおける半導体露光 (EUV露光) 光源開発があり、そこではイオン価数が8-12価のスズプラズマが用いられる。レーザー照射したスズ液滴 (ドロップレット) は気液混合状態を経て、数10 eVかつ数100気圧以上に達する。このEUV光源用プラズマのダイナミクスは複雑であり、その制御にむけ新しい計測技術の確立が望まれる。しかし、光源のサイズは1 mm以下、寿命は数10ナノ秒と極めて短く、内部の流体挙動 (速度や流束) の直接観測は既存計測手法では困難である。波長6 nm帯に高い反射率を持つ干渉ミラーも開発されており、それに合致する軟X線光源用プラズマの研究も進んでいる。この場合も同様に、微小・短寿命なプラズマの制御に向けた計測技術の充実が望まれている。

このような背景のもと、著者らはこれまでに微小かつ短寿命なプラズマの電子温度・電子密度・平均イオン価数の微細空間構造や時間発展の観測を、協同的トムソン散乱 (Collective Thomson scattering: CTS) 法を用いて進めてきた¹⁾。CTS法では局所空間情報 (視線方向の線積分値ではない) が、優れた時間分解能 (2 ns)、空間分解能 (20 μm) で計測できるため、微小かつ短寿命な光源内部の微細構造に適している。

著者らはさらにCTS光の内、イオン項スペク

トルのドップラーシフトを (仮想的に) 2方向から計測し、そこから速度場 (ドリフト速度場) の2次元空間分布の可視化を進めている。密度や温度だけでなく速度場の計測を行うことで、イオン運動量流束、エネルギー流束、電子温度、電子密度、平均イオン価数、圧力の微細空間構造、およびそれらの時間発展計測が、トレーサー粒子などを含まない、完全に非接触な形で実現可能となり、光源プラズマの挙動把握や制御に資することが期待される。

2. 実験

実験装置の概略を図1に示す。液滴スズをピコ秒パルスレーザー (予備レーザー) で事前に膨張させた後、メインレーザー (炭酸ガスレーザー) を照射し、プラズマ生成を行った。そこにCTS用プローブレーザー (Nd:YAGレーザー 第2高調波、波長532 nm) を照射し、そこで発生するトムソン散乱光の一部をレンズで受光し、後述する特製分光器で分光した。予備レーザー・メインレーザーとCTS用プローブレーザーはすべて同軸で入射した。

速度場の可視化により、EUV光源に適した温度 (30 eV程度)、イオン価数(8-12)かつ適度なイオン密度 (3×10^{23} - 10^{24} m^{-3}) の実現に向けて、プラズマの流れが重要な役割を果たしていることが示唆された。講演ではその詳細を報告する。

参考文献

- 1) K. Tomita et al. Sci. Rep. 7 12328 (2017)