

トムソン散乱法によるEUV光源用プラズマの速度場計測

Velocity-field measurements of EUV source plasmas using Thomson scattering

富田健太郎¹, 潘奕明², 内野喜一郎² 北大院工¹, 九大総理工²

Kentaro Tomita¹, Yiming Pan², Kiichiro Uchino² ¹ Hokkaido Univ., ² Kyushu Univ.

Email :tomita.kentaro@eng.hokudai.ac.jp

多価電離プラズマ応用の一つとして、波長 13.5 nm (極端紫外、EUV) を用いた半導体リソグラフィ用光源 (EUV 光源) があり、光源生成は Sn 液滴をターゲットとしたレーザー生成プラズマ (Laser Produced Plasma: LPP) 方式が採用されている[1]。半導体露光用 EUV 技術の今後の開発課題としては大きく二つに集約されつつある。一つ目は光源自体の高効率化・高出力化である。二つ目は、EUV 光を反射・集光するための多層膜光学系の稼働時間向上 (寿命向上) である。前者の解決には、プラズマの電子密度や電子温度、平均イオン価数の制御が本質的に重要であることが、原子モデリング計算から示されている[2]。後者の解決には、光源プラズマから飛散してくるデブリの分析が重要となる。すなわち、光源 (直径 0.5mm 程度) から遠く離れた位置 (>100mm) まで飛散する高エネルギーイオンの低エネルギー化が重要課題として挙げられている[3]。一つ目の課題はプラズマの電子状態分析が主であり、二つ目の課題はプラズマのイオン状態分析が主になる、という見方もできる。このような背景のもと、我々は協同的トムソン散乱を用いた、EUV 光源用プラズマの電子状態分析を進めてきた[4]。これまでの研究で、LPP 方式 EUV 光源用 Sn プラズマの電子密度・温度及び平均イオン価数の計測を可能とした。さらに、直径 0.5mm 程度の光源内の詳細な 2 次元空間分解計測を行うことで、電子密度・温度分布と発光効率の増減の関係を定量的に説明可能とした。この過程で、比較的高効率な EUV 発生条件では、電子密度の中空様構造が発現することを発見した (光源プラズマの中心部は、周辺部よりもむしろ密度が低い) [5]。中空様構造が発現する原因として、プラズマ生成直前の Sn ターゲット状態が関与していることが示唆されている[6]。Sn ターゲットは 0.02 mm 程度の液滴であるが、短パルスレーザーにより粉碎され、直径 0.5mm 程度のドーム状に成型された後に、プラズマ生成用レーザーが入射され、EUV を放射するほどの高温プラズマ (~30 eV) となる。デブリを抑制するために初期の Sn 原子数は抑制しつつ、半導体光源として許容されるエタンデュ内に、長時間プラズマが供給されるためには、ドーム状の Sn ターゲットのどの位置のスズ原子がプラズマ化され、どのような速度でどの方向に流れているかを知る必要がある。我々が観測している協同トムソン散乱イオン項スペクトルには、観測方向に関連したドップラーシフトとして、プラズマの流れ情報が含まれている。プラズマの軸対象性を仮定することで、2 次元的なプラズマ流れの決定を試みた。講演ではその詳細について報告する。

[1] K. Kouge *et al.* J. Photopolymer Sci. Technol. **33** 37-44 (2020)

[2] A. Sasaki *et al.* J. Appl. Phys. **107** 113303 (2010)

[3] A. Bayerle *et al.* Plasma Sources Sci. Technol. **27** 045001 (2018)

[4] K. Tomita *et al.*, Appl. Phys. Express, **6** 076101 (2013)

[5] K. Tomita *et al.*, Sci. Rep. **7** 12328 (2017)

[6] M. Krivokorytov *et al.*, Phys. Rev. E **95** 031101 (2017)