

半導体リソグラフィ用 EUV 光源に用いるスズなどの重元素の 多価イオンのスペクトルの起源

The origin of the EUV spectrum of Sn and heavier elements, which is applicable
to the lithographic sources

量子科学技術研究開発機構 関西光科学研究所 佐々木明

KPSI, QST Akira Sasaki

E-mail: sasaki.akira@qst.go.jp

波長 13.5nm のスズのレーザープラズマからの EUV 発光は、半導体リソグラフィ光源として実用化され、さらなる露光パターンの微細化のため、光源の短波長化、高効率化の研究が進められている。本研究では、理論計算によって求めた原子エネルギー準位や発光線の遷移確率のデータと、さまざまな条件で得られた実験データを詳しく解析し、発光スペクトルのモデルを構築した。スズプラズマの EUV 発光は、電子温度が 20-50 eV の条件で生成する 10 価前後の多価イオンの 4d-4f、4p-4d 遷移に起因すると考えられている。理論計算は、発光線は、多数の微細構造遷移から構成されるが、その一本一本がスペクトル幅よりも狭い間隔で密集し、区別することができない UTA (Unresolved Transition Array) という擬似連続スペクトルの構造をなすことを示した。発光線の上下の原子準位の波動関数は、配置間相互作用 (Configuration Interaction) の効果を強く受ける結果、7~15 価程度のイオンの 4d-4f、4p-4d 遷移がみな波長 13.5 nm 領域で発光するために、高出力、高変換効率 (Conversion Efficiency) が得られる。さらに、プラズマの密度が上がると、これらのイオンの多重励起状態、内殻励起状態もしばしば大きなポピュレーションを持ち、波長 13.5 nm 領域での発光と自己吸収に対し、発光スペクトルがよりブロードになるような影響を与える [1]。理論計算はこのようなスズプラズマの EUV 発光の持つ特性を示したが、計算による発光線の波長、強度には誤差が含まれることから、実験結果との比較、複数の異なる理論計算、理論モデルとの比較による検証を行っている。レーザープラズマのほか、放電プラズマの他、磁場閉じ込め核融合プラズマや電子ビームイオン源 (EBIT) において、自己吸収の影響が無視できる条件での分光計測が行われている。そして、このような研究を経て求めた、プラズマの輻射放出・吸収係数を用いた輻射流体シミュレーションに、光源の特性の評価、短波長化、高効率化のための最適化が行われている。このような研究の今後の課題としては、輻射の波長、方向依存性を適切に考慮した輻射輸送モデルを確立することや、将来のリソグラフィ技術のさらなる微細化のため、希土類原子などを用いた波長 6 nm 帯の光源の発光スペクトルの適切なモデルを構築することなどが挙げられている。

(謝辞) 本研究は一部松尾学術研究助成の支援を得て行われた。

(参考文献) [1] A. Sasaki, et al. J. Appl. Phys. 107, 113303 (2010)