

EUV 光源に用いる重元素の多価イオンの原子構造と 発光線波長のモデリング

Modeling of the atomic structure and EUV emission wavelength from the multiple charged ion of heavy elements

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

レーザー励起プラズマ光源の開発によって、EUV リソグラフィ技術が実用化されるに至ったが、さらなる回路パターンの微細化のため、波長 13.5nm のスズ光源においては、さらなる高効率、高出力化が求められ、また波長 6–7 nm 帯において新たな光源の開発が期待されている。そのためには、媒質として用いるスズ～重元素のスペクトルの正確な理解に基づくシミュレーションによって、励起条件を最適化することが期待されている。しかしながらスズ～重元素の原子構造は複雑で、正しい原子発光線の波長、強度はいまだに確立しているとは言えない [1]。その EUV 発光スペクトルは極めて多数の微細構造線に起因するが、実験的には UTA (Unresolved Transition Array) と呼ばれる幅の広い準連続スペクトルとして観測される。UTA の波長は、原子番号やイオン価数に対する明瞭な依存性を持つことが知られており、本研究ではそれを再現する原子モデルの研究を行った。すなわち、EUV 発光に主に寄与すると考えられる 4d 開殻を持つイオン、Pd 様から Rb 様までのイオンにおいて、原子の発光に寄与する電子が原子内で感じる電界の強さは、核電荷とそれを取り巻く束縛電子の遮蔽の効果によって決まると考える遮蔽水素近似モデルを用い、UTA の波長が、これらのイオンに共通な実効的な核電荷と、4d 殻の電子数の簡単な関数によって表せることを示す。イオンの価数に対し、UTA の波長が極小値を持ち、元素ごとにそれに固有な特徴的な波長が存在することを示す。さらに、発光スペクトルのシミュレーションを行うために必要な、UTA の幅や強度の特性についても考察する。また、発光スペクトルの密度依存性に大きな影響を与える、多重、内殻励起状態からの発光の特性にも考察する。希土類よりも重い元素の発光スペクトルに関しては、4d 開殻イオンに加え、4f 開殻イオンの発光スペクトルの特性についても考察する。数値計算による UTA の波長や強度のデータに加え、これまでにレーザープラズマのほか、放電プラズマ、電子ビームイオン源 (EBIT) などでの実験で蓄積されている多くのデータから、機械学習などの手法も用いて、有意な情報を取り出してモデルを構築することを試みる。

(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)