

論文の内容の要旨

専攻名 システム創成工学

氏名 大塚 崇光

(2,000字程度とし、1行43文字で記入)

紫外光より短波長の領域である波長 40-200 nm の領域は真空紫外、波長 5-40 nm の領域は極端紫外 (EUV: Extreme Ultraviolet)、波長 5 nm 以下 (光子エネルギー 250 eV 以上) から硬 X 線までの領域は軟 X 線と呼ばれている。EUV や軟 X 線は波長が短いと同時に、光子エネルギーが大きいことから、微細加工や吸収線を使った材料科学、生体科学への応用が期待されている。この領域の光源としては加速器を用いた X 線自由電子レーザー、X 線レーザー、高次高調波などがあるが、大型施設であることや装置が複雑であることから、実用光源としては問題がある。一方でプラズマ光源は小型で簡便であることから、高出力化が達成されれば実用光源となる可能性がある。

これまでに次世代リソグラフィ光源として錫 (Sn) プラズマを用いる波長 13.5 nm のプラズマ光源が研究され、プラズマ光源の有用性が示された。Sn プラズマからの発光は $4d-4f$ 、 $4p-4d$ 及び $4d-5p$ 遷移による数十万もの共鳴線が波長 13.5 nm 近傍に集中した擬似連続スペクトル (unresolved transition array: UTA) となることにより、強い発光を有することが光源として期待されている理由の一つである。この UTA のピーク波長は原子番号に依存し短波長化することが明らかにされており、より大きな原子番号の元素を用いることにより、さらに短い波長領域に光源を実現できる可能性が指摘されている。

本論文では以上のことを背景として行われた高原子番号プラズマを用いる極端紫外及び軟 X 線光源に関する研究の結果をまとめている。

第一章では、EUV 光源及び軟 X 線光源の研究背景、本研究の意義を述べている。

第二章では、本研究を理解するにあたり重要となるレーザー生成プラズマの物理過程及びプラズマ中での原子過程について述べている。

第三章では本研究で用いられた個々の実験装置について述べている。

第四章では、Gd (ガドリニウム) プラズマを吸収体に用いた吸収分光実験の観測結果及び考察について述べている。Gd の低価数イオンは波長 8 nm 近傍に $4d$ 巨大共鳴を持つことが先行研究により指摘されており、本研究では二つのレーザー生成プラズマを用いる実験手法 (Dual laser plasma: DLP) により、Gd の吸収スペクトルを観測した。観測された吸収スペクトルは波長 8 nm のみならず、Gd の放射波長である $6.x$ nm 帯まで広がっており、実用光源開発においてはこの吸収の効果を抑制することが重要である事を示した。

第五章，第六章及び第七章では，Bi（ビスマス）プラズマからの放射スペクトル観測実験，二重パルス照射実験及び Bi プラズマを吸収体に用いた吸収分光実験について述べている．Bi プラズマから波長約 4 nm において $4d-4f$ 遷移に起因する UTA 放射が観測された．しかなしながら理論計算により予測された $4p-4d$ 遷移による波長約 3 nm の強い発光は，二重パルス照射実験においても観測されなかった．吸収分光実験では DLP 法により波長 2-25 nm の吸収スペクトルを観測し，理論計算との比較検討を行い吸収断面積や $4f-nd$ ($6 \leq n \leq 10$) などの吸収線を同定した．

第八章ではこれまで得られた結果、特に本研究により明らかにされた Gd プラズマの吸収特性や Bi の放射及び吸収特性は，実用光源開発において非常に重要な知見である．