

フルコヒーレントX線レーザーの開発

Development of a full spatial coherent x-ray laser

永島圭介、田中桃子、錦野将元、岸本牧、加道雅孝、河内哲哉、長谷川登、越智義浩、
助川綱太、タイレンズン

原研 光量子科学研究センター

NAGASHIMA Keisuke, TANAKA Momoko, NISHIKINO Masaharu, KISHIMOTO Maki,
KADO Masataka, KAWACHI Tetsuya, HASEGAWA Noboru, OCHI Yoshihiro,
SUKEGAWA Kota, TAI Renzhong

Japan Atomic Energy Research Institute, Advanced Photon Research Center

レーザーは、その発明直後からより短波長へ向けた研究開発が進められてきた。特に、X線領域でのレーザー開発については、1984年に波長21nm付近でX線の誘導増幅が観測されて以来、レーザービーム特性の改善を目指して極めて多くの研究が行われてきた。この中で、レーザー固有の特性であるコヒーレンスを向上することが最も重要な課題であるが、従来は十分なコヒーレンスを持つX線レーザー光の生成は出来なかった。

私達の研究グループは、超短パルスレーザー技術を用いた小型装置によって、世界で初めて空間的にフルコヒーレントのX線レーザー（波長13.9nmの単色光）の開発に成功した。ここでは、2つのX線レーザー媒質を用いて、第1媒質から得られるX線レーザー光を適切な距離だけ離れた位置にある第2媒質によって増幅した。この場合、第1媒質から得られるX線はシード光として用いており、この中で空間的にコヒーレンスの高い部分だけを第2媒質によって増幅することで、空間的な単一モード増幅を実現している。従って、第2媒質はアクティブな空間フィルターとして機能している。この結果、従来に比べて1桁以上高い指向性（0.2mrad）を持つX線レーザービームの発生に成功した。さらに、ダブルスリットを用いたヤングの干渉実験を行い、このX線レーザー光が空間的にフルコヒーレント条件（空間的なコヒーレント長がビーム径より大きくなる条件）を満足していることを明らかにした。

この実験では、励起レーザー光を直線状に集光してターゲットに照射し、ターゲット面上にX線レーザー媒質となる多価イオンプラズマを生成している。この場合、プラズマ密度はターゲット面から離れるにつれて減少するため、ターゲット面に沿って増幅されるX線レーザー光は、この面から離れる方向へ屈折される。この影響によって、X線レーザーの空間コヒーレンス及び指向性が低下すると考えられる。本実験では、プラズマの時間的、空間的なダイナミクスを考慮することで、熱分布と増幅の発生領域を最適化した。この結果、屈折が問題となる第2媒質において、ターゲット面から離れた低密度領域で増幅領域を形成し、屈折の影響を回避することに成功した。

ここで開発したレーザー波長は、軟X線領域で唯一高性能な光学素子（多層膜反射鏡やゾーンプレート等）が利用可能な波長領域であり、今後、物質科学、生命科学など広範な分野におけるコヒーレントX線を用いた先駆的な利用研究の展開が期待される。