

レーザー生成プラズマからの軟X線の分光計測とターゲット膜厚の依存性

王 筋豪¹, 岸本 牧², 城崎 知至¹, 村上 健太¹, 難波 慎一¹

¹広島大, ²量子科学技術研究開発機構

<https://www.plasmasciencelab.com/>

軟X線は波長が紫外線よりも遙かに短く、高エネルギーを光子であるため、物質と特徴的な相互作用が可能となる。したがって、X線光電子分光、X線ホログラフィー、走査型X線顕微鏡、結像型顕微鏡などさまざまな学術・工業分野での光源としての応用が期待されている[1]。

特に、波長2.3-4.4 nmの水の窓と呼ばれる軟X線は炭素と酸素の吸収端の差を利用し、水中のタンパク質等をコントラスト良く観察することができる。細胞サンプルを前処理する必要がないため、電子顕微鏡と比べて生きたまま細胞を観測することができるという利点がある。しかし、X線顕微鏡の空間分解能がX線照射密度に大きく依存するため、多量の軟X線を生成する必要がある。さらに、運動しているナノ構造体をブレなく観測する場合には、X線はナノ秒以下のパルス幅であることも要求される。残念ながら、これらの条件を満たすには大規模なX線源施設を利用するのが一般的であり、ビームタイムの確保や実験期間の制約などから汎用性が低い[2]。

高出力・短パルスレーザーをターゲットに照射し、この高温高密度レーザープラズマから放射される軟X線は小型X線源としてすでに様々な分野へ応用されている。このX線源の実用化には、ターゲットの連続供給と低コスト運転が要求される。加えて、レーザー生成プラズマからは高輝度なX線放射がある一方、X線ミラー保護の観点からデブリの低減も重要になるため、如何に少ないターゲット原子量で、より多くのX線を放射させるのかが極めて重要になる。本研究では、ターゲット材として金を用い、ナノ秒レーザーによって発生するレーザープラズマからの水の窓域軟X線放射強度の金膜厚依存性をX線分光で調べることを目的とした。

実験装置の概略図を図1に示す。用いたNd:YAGレーザーは波長 1064 nm、パルス幅 7 ns、最大エネルギー 1 Jである。真空チャンバー内の光学ステージ上に金ターゲットを設置し、レンズ($f=100$ mm)でターゲット上にレーザーを点集光した。集光サイズは15 μm 、最大強度は 2.74×10^{13} W/cm²である。用いた金ターゲットとしては、厚み 2 μm 以下はガラス基板への金蒸着、2~80 μm まではガラスへの金フォイル貼り付け、それ以上の厚さはバルク材とした。X線スペクトルはトロイダルミラー付き平面結像型斜入射分光器(2400 grooves/mm, X線CCD)で測定した。プラズマからのX線イメージはTiフィルタで波長選別したピンホールカメラで観測した。さらに、X線パルス幅・放射エネルギーをTiフィルタ付Siフォトダイオードで計測した。

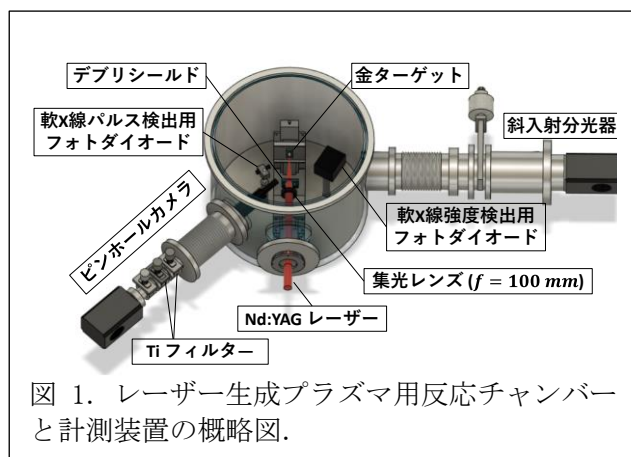


図 1. レーザー生成プラズマ用反応チャンバーと計測装置の概略図。

さらに、X線パルス幅・放射エネルギーをTiフィルタ付Siフォトダイオードで計測した。

本発表では、金ターゲットの厚みと水の窓域X線発光強度の依存性の他に、さまざまなスポットサイズでレーザーをターゲットに照射し、プラズマの臨界密度領域(加熱領域:密度 10^{21} cm⁻³)を最適化することで、最も効率よくレーザーが吸収され、且つ、X線発光量が高くなる条件も探る。

[1] T. Hara, Rev. Laser Eng. Vol. 27, p. 9-13 (1999).

[2] D. Sayre et al., Ultramicroscopy 2, 337 (1977).