

低圧 N2 ガス中での Au プラズマからの水の窓領域 X 線放射機構に関する
輻射流体シミュレーション

**Radiation-Hydro Simulation of Mechanism of Water Window X-rays Emission
from Au Plasma under Low-Pressure N2 Atmosphere**

¹中島良彰, ¹城崎知至, ¹遠藤琢磨, ¹金佑勁, ¹難波慎一, ²砂原淳

¹Fumiaki Nakajima, ¹Tomoyuki Johzaki, ¹Takuma Endo, ¹Wookyung Kim, ¹Shinichi Namba,
²Atsushi Sunahara

¹広大院工, ²パデュー大学

¹Hiroshima Univ., ²Purdue Univ.

1. 背景・目的

近年、低圧窒素ガス雰囲気中でレーザー生成金プラズマを発生させることで、水の窓領域のX線(2.3-4.4nm)発光量が増大するという現象が、阪大激光XII号を用いた実験によって発見された^[1]。その後、ナノ秒ジュール級レーザーでも同様の水の窓領域X線増幅現象が確認され^[2]、コンパクトで安価なレーザープラズマX線源として期待される。しかし、この増大機構は明らかになっていない。本研究では輻射流体シミュレーションにより、増大機構の解明と、高効率な水の窓領域X線発生条件の評価を目的とし、レーザーアブレーションで生成される金プラズマと輻射場について解析を行う。

2. シミュレーションコード・初期条件

1流体2温度モデルの1次元 Lagrange型の輻射流体コードstar-1d^[3]を用いた。状態方程式にはSESAMEテーブル^[4]を用いた。エネルギー輸送過程としては、電子・イオン熱伝導、レーザーならびに輻射輸送を考慮した。輻射輸送は流束制限多群拡散法で解く。光子エネルギーは $h\nu = 0\sim 5000$ eVを1000分割した。オパシティテーブルには高密度領域にはLTEモデルを、低密度アブレーション領域にはCREモデルを用いた。

平板実験で照射レーザースポット $\sim 100 \mu\text{m}$ より大きな領域に膨張するプラズマを1次元計算で模擬するために、計算は球対称系で行った。半径 $100 \mu\text{m}$ の金の固体球を系中心に配置し、照射レーザーは実験条件^[2]に合わせて波長 $1.064 \mu\text{m}$ 、ピーク強度 $4 \times 10^{12} \text{ W/cm}^2$ 、パルス長 7 ns (半値全幅)のガウシアン波形(パルス中心時刻 $t = 11 \text{ ns}$)とした。

3. 結果・考察

レーザーピーク強度時($t = 11 \text{ ns}$)の(a)金プラズマの平均電離度 $\langle Z \rangle$ の空間分布と(b)金膨張プラズマ先端部($r = 747 \mu\text{m}$)で観測した光子の分布関

数 $f(h\nu)$ を図.1に示す。X線増大は、(1)金プラズマから放出された $h\nu \geq 400 \text{ eV}$ の光子による背景窒素の1s内殻電子電離に伴うオージェ電子($E \sim 360 \text{ eV}$)放出、(2)金プラズマへと輸送されたオージェ電子による Au^{21+} 、 Au^{22+} の衝突励起ならびにその放射遷移によると考えられている^[2]。図.1より、ターゲット表面付近が平均電離度 $\langle Z \rangle = 21$ に達しており、またX線分布から $h\nu \geq 400 \text{ eV}$ の広帯域の光子が放出されており、上記過程を満たす状態が生じていることが分かった。

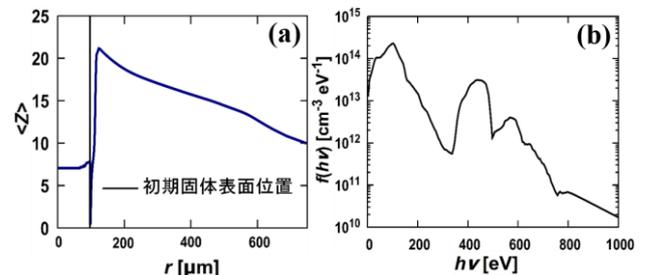


図.1 レーザーピーク強度時($t = 11 \text{ ns}$)における(a)平均電離度 $\langle Z \rangle$ の空間分布と(b)膨張プラズマ先端部で観測した光子の分布関数 $f(h\nu)$.

4. まとめ

1次元輻射流体シミュレーションにより、金プラズマの状態と放出輻射分布を評価した。講演では得られた輻射場の分布に基づいて、水の窓領域X線発光増大機構について議論する。

[1] M. Kado, et al., Appl. Phys. **111**, 054102 (2017).

[2] C. John, et al., "Enhancement of water window soft x-rays emission from laser produced Au plasmas under low-pressure nitrogen atmosphere", submitted to Appl. Phys. Lett.

[3] A. Sunahara, et al., Fusion Eng. **85**, 935 (2010).

[4] S.P. Lyon, et al., LANL tech. Rep. LA-UR-92-3407 (1992).