

高強度レーザー駆動非平衡輻射高 Z プラズマの形成過程と輻射特性の解明

Study of nonthermal radiative high Z dense plasma driven by intense short pulse laser

千徳 靖彦¹⁾、岩田 夏弥¹⁾、杉本 馨¹⁾、高木 悠司¹⁾、西内 満美子²⁾、榊 直泰²⁾、今 亮²⁾、Liu Chang²⁾、近藤 康太郎²⁾、畑 昌育²⁾、コーガ ジェームス²⁾

Yasuhiko SENTOKU, Natsumi IWATA, Kaoru SUGIMOTO, Yuji TAKAGI, Mamiko NISHIUCHI, Hironao SAKAKI, Akira KON, Chang LIU, Kotaro KONDO, Masayasu HATA, James KOGA

¹⁾大阪大学 ²⁾量研

(概要)

本研究においては、重金属プラズマで重要となる高温バルクプラズマからの輻射特性を実験的に計測し、提案者の開発した衝突・電離・輻射過程を組み込んだプラズマ粒子シミュレーションコード PICLS のモデルを検証し高精度化することで、ペタワット級超高強度短パルスレーザーによる固体重金属の加熱過程、電離・衝突・輻射を含めたエネルギー輸送過程の全貌を解明することを目的とする。

キーワード：

超高強度レーザー、重金属プラズマ加熱、非平衡プラズマ

1. 目的

ペタワット (PW) 級の超高強度短パルスレーザーを用いれば、フェムト秒からピコ秒という短時間に重金属の固体を完全電離近くまでイオン化できる。生成される極限的な高電離・高エネルギー密度プラズマは、核物理研究やオパシティなど物性研究のプラットフォームとなり得る。しかし、超高強度レーザーによる高電離プラズマ形成は、強い非平衡状態における電離や高強度 X 線・ガンマ線輻射を伴う複雑過程であり、十分な理解が得られていない。我々は、これまでに、QST 関西光科学研究所の J-KAREN-P レーザーによって得られたデータを、衝突・電離を取り入れた PICLS コードを用いて解析を行うことで、銀 (Z=47) プラズマが電離度約 40 価・温度約 10 keV の高温状態に加熱されていることを明らかにした [1]。しかし、PW 級超高強度レーザーによって生成される極限的なプラズマの形成過程を包括的に理解するためには、より重い金属プラズマへと研究を展開する必要がある。ところが、より重い金属プラズマでは輻射の効果が卓越し、輻射による冷却効果がレーザーによるエネルギー注入過程に対して無視できなくなることが予測される。そこで我々は、重金属プラズマの輻射過程の研究のため、輻射の効果を組み込んだ解析が可能になるよう PICLS コードをさらに発展させ [2]、より重い金属極限プラズマの取り扱いを可能とする条件を整えた。本申請研究では、この発展させた PICLS コードを用い、実験で取得された重金属プラズマからの X 線・ガンマ線のデータを精度よく解析し、超高強度レーザーと固体重金属の相互作用による極限的な輻射プラズマ形成の基礎物理過程を包括的に明らかにすることを目的とする。

2. 方法

図 1 に示すような実験セットアップを用い、短焦点チェンバーを用いて、J-KAREN レーザーを高強度にて金の薄膜ターゲットに絞り込み実験を行った。プラズマミラーを用いることで、照射するレーザー波形のコントラストを向上させて実験を行った。さらに、照射するレーザーの時間波形・位相をショットごとに計測し、発生する X 線領域の輻射のスペクトル (結晶分光器および X 線 CCD によるシングルフォトンカウンティング法)・電子のスペクトル (2 方向)・イオンのスペクトル (3

方向・イオンの空間分布（2方向）・ターゲットと相互作用後のレーザーの空間分布・スペクトル・偏光状態をショットごとに計測した。ターゲットの厚みを変化させ、各々の計測機器の計測結果がどのように変化するかを調査する方式をとった。

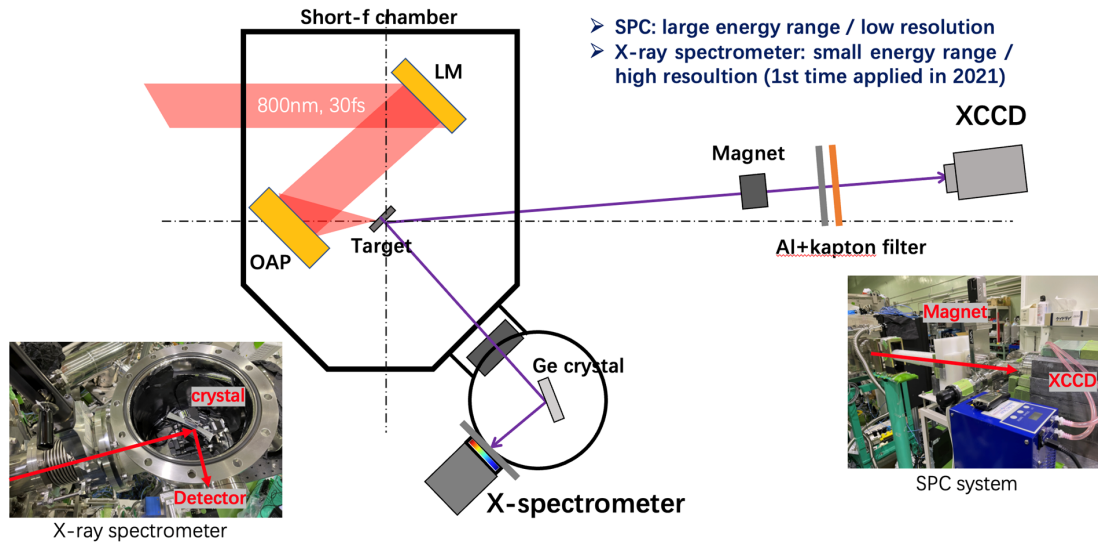


図 1 : 実験のセットアップの様子

3. 結果及び考察

本実験は、2023年2月から、2023年3月において行ったため、取得したデータのうちほとんどが現在も解析途中である。ここでは、計測結果の一例としてX線CCDによる温度計測結果と加速されたイオンの価数の関係について紹介する。

金のターゲットの厚みを変化させ、X線CCDによってターゲットからの輻射を計測し、シングルフォトンカウンティング法によって求めたスペクトルから温度を推定した。また、同時にターゲット裏面より垂直方向に加速された金の価数とエネルギーを求め、温度との関係を求めた（図2）。

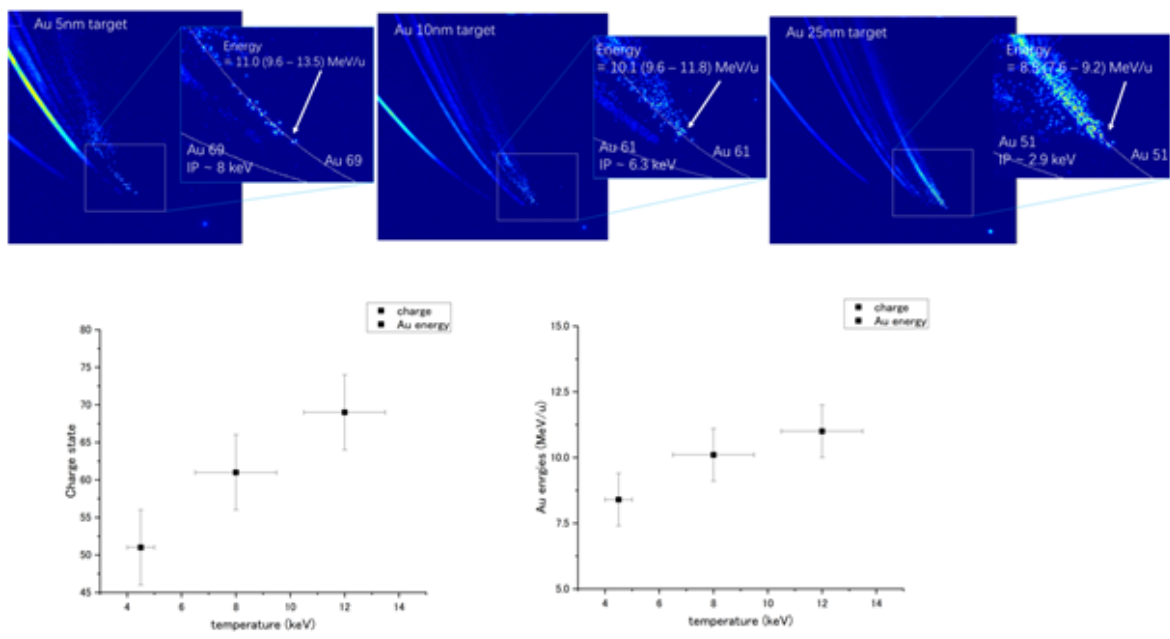


図 2 : 金のターゲットからの X 線の輻射温度と加速されたイオンのエネルギー・価数の関係

その結果、X線の輻射温度が高いほど、加速されたイオンの価数、およびエネルギーともに単調に増加することが分かった。これは、文献[1]に示された我々の以前の銀の加速のストーリー、すなわちターゲット中の電子温度が高く保つことができれば、電子による衝突電離過程によって、ターゲットバルクの重元素が効率よく電離され、高効率の加速が起きる、が、金についても成立することが実験的に示されたことを意味する。

今後さらに解析を進め、今回報告できなかったほかの検出器の結果との比較を行うとともに、精密に計測された時間波形を取り込むことで、PICシミュレーションを行い、その結果との比較を行うことで、ターゲット、すなわち非平衡プラズマのダイナミクスを詳細に調査し、論文化を行う予定である。

4. 引用(参照)文献等

[1] M. Nishiuchi et al., Phys. Rev. Res. 2, 033081 (2020)

[2] K. Sugimoto et al., HEDP 36, 100816 (2020)