

## 軟X線レーザー・クラスター相互作用に伴う電子のエネルギー分布計測

Electron energy distribution in an x-ray laser and Xenon cluster interaction

難波慎一<sup>1)</sup>, 長谷川登<sup>2)</sup>, 岸本牧<sup>2)</sup>, 錦野将治<sup>2)</sup>, 河内哲哉<sup>2)</sup>

Shinichi NAMBA<sup>1)</sup>, Noboru HASEGAWA<sup>2)</sup>, Maki KISHIMOTO<sup>2)</sup>, Masaharu NISHIKINO<sup>2)</sup>, and Tetsuya KAWACHI<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>広島大学, <sup>2)</sup>原子力機構

プラズマ励起軟X線レーザーとキセノンクラスターの相互作用では内殻電離が支配的な素過程となり、光電離によりナノサイズの強結合プラズマが発生することが予想されている。本研究では電子エネルギー分布を計測することにより、どのようなプラズマが発生しているのか、また高密度効果により原子内のエネルギー構造が如何に変化するのかを明らかにする。

**キーワード:** X線レーザー, 強結合プラズマ, 内殻電離, オージェ過程

### 1. 目的

高強度軟X線レーザーとキセノンクラスターとの相互作用の解明、及び、発生するプラズマの特性評価を試みている。このX線レーザーの波長は13.9 nmであり、キセノンの場合には4d内殻電子を光電離することが可能である。さらに非常に反応断面積が大きいため、オージェ過程と併せて高密度プラズマを発生させることができると考えられている。我々の研究で、高強度X線レーザーをクラスターに照射するとダブルオージェと呼ばれる内殻ホール崩壊の遷移確率が増大することをイオン計測により突き止めた [1]。一方、相互作用をより詳細に調べるために、飛行時間型分析器(Time-of-flight: TOF)を用いて電子エネルギー分布の計測を行った[2, 3]。しかしながら、TOF型検出器では電子検出効率が悪く、分解能も悪い、等の理由によりダブルオージェ崩壊過程増大の原因解明には至っていない。そこで本研究では、磁気ボトル型電子分光器を用いることによりエネルギー分解能が高い電子エネルギースペクトルを計測し、原子内のエネルギー構造の変化の観点からこの原因を明らかにする。また、発生することが予想されている強結合プラズマの特性についても調べる。

### 2. 方法

実験で用いた軟X線レーザーは原子力機構が開発を進めてきたレーザー駆動プラズマX線レーザーである。発振波長は13.9 nm, 光子エネルギー: 89.2 eV, パルス幅: ~7 ps, 繰り返し0.1 Hzである。Xeクラスターは超音速ノズルから高圧ガスを断熱自由膨張させることにより生成した。Hagenaによる経験式から評価した平均クラスターサイズは数 $100\sim 10^5$  atoms/clusterである。X線レーザーはMo/Si多層膜球面鏡で集光され、圧縮膨張ノズルから20 cm下流にてXeクラスターに照射した。X線レーザーのエネルギーは、クラスタービームを通過してきたX線を背面照射型CCDカメラにて計測し、決定した。

相互作用により発生する比較的低エネルギーの電子(光電子, オージェ電子)は専用開発した磁気ボトル型電子分光器を用いて計測する。なお、光電離において、電子が放出される方向は偏光面に対して角度依存性があることが知られているが、今回の光子エネルギーではいわゆる非等方性パラメータは小さく、電子放出方向の角度依存性はない。

### 3. 研究成果

X線レーザーの出力エネルギーが低いため(100 nJ以下)、今年度は電子エネルギーの測定をすることができなかった。そのため急遽、真空紫外分光器を用いてバンド外放射の計測を行った。

軟X線レーザー発生に用いているレーザー生成プラズマでは赤外から真空紫外域までの強烈な連続光が発生するため、この光に起因するキセノンの光電離・励起反応が起こる可能性がある。そのため実験ではMo/Siミラー, Zrフィルタにてスペクトルの単色化を図っているが、実際どの程度バンド外光が相互作用領域まで到達しているのかはこれまで調べられていない。Zrフィルタは赤外から可視域の

光に対しては十分な遮光性能を有するが、真空紫外線域の光を僅かに透過するため、スペクトル純度を保証する意味で不可欠な実験である。本実験はレーザー強度が低くても調べられるため、今年度計測を試みた。

実験の結果、軟X線レーザーの引き回しに用いている Mo/Si 多層膜鏡は波長 100 nm 以上の光に対してもかなりの反射率があり、プラズマ背景光の影響が無視できないことが分かった。しかしながら、200 nm 厚の Zr フィルタを用いることにより、これら真空紫外・紫外光は完全に除去でき、X線レーザーのみとの相互作用が起こることが実験的に示された。

#### 4. 結論

レーザー生成プラズマの連続スペクトルを真空紫外分光器で計測し、X線レーザーのスペクトル純度を調べた。その結果、Zr フィルタがスペクトルの単色化に極めて有効であることが分かった。

#### 5. 引用(参照)文献等

- [1] S. Namba *et al.*, Phys. Rev. Lett. 99, 043004 (2007)
- [2] S. Namba *et al.*, X-ray laser 2010 (2010年5月 韓国).
- [3] S. Namba *et al.*, Phys. Rev. A (投稿中)