

コヒーレント X 線レーザー照射によるキセノンクラスターの 光吸収・電離過程の解明

Photoabsorption and photoionization in Xe clusters irradiated with coherent x-ray laser

難波慎一¹⁾, 長谷川登²⁾, 錦野将治²⁾, 河内哲哉²⁾, 岸本牧²⁾, 助川鋼太²⁾,
田中桃子²⁾, 永島圭介²⁾

Shinichi NAMBA¹⁾, Noboru HASEGAWA²⁾, Masaharu NISHIKINO²⁾, Tetsuya KAWACHI²⁾, Maki KISHIMOTO²⁾,
Kouta SUKEGAWA²⁾, Momoko TANAKA²⁾, Keisuke NAGASHIMA²⁾

¹⁾広島大学, ²⁾原子力機構

コヒーレント X 線レーザー(波長 13.9 nm, 強度~ 2×10^{10} W/cm²)をキセノンクラスターに照射する実験を世界で初めて行った。本研究により、高強度 X 線にさらされたクラスター内では内殻電離状態の崩壊過程として 2 重オージェ過程が支配的であることが明らかとなった。

キーワード: X 線レーザー, クラスター, クーロン爆発, 内殻電離, 2 重オージェ崩壊

1. 目的

赤外・紫外域波長の超短パルスレーザーとクラスターの相互作用は、高エネルギーイオン源や高輝度 X 線光源開発への応用の観点から精力的に研究が行われている。しかしながらより波長が短い軟 X 線や真空紫外域のレーザーとクラスターの相互作用の物理はまだ十分に理解されていないのが現状である[1-2]。

これらの観点から、本研究では従来用いられてきたレーザー波長と比較して格段に波長が短い X 線レーザー(波長: 13.9 nm)と Xe クラスターとの相互作用を実験的に解明することを試みる。特に、クラスター plasma における高エネルギー多価イオン発生に寄与するクーロン場と光吸収・電離過程に着目し、クーロン爆発との相関を明らかにする。

2. 方法

実験は、原子力機構が開発したプラズマ励起 X 線レーザー(波長: 13.9 nm, 光子エネルギー: 89.2 eV, パルス幅: ~7 ps)を用いて行った。ターゲットである Xe クラスターは超音速コニカル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~ 10^5 atoms/cluster である。X 線レーザーは Mo/Si 多層膜球面鏡により数 10 ミクロン程度まで集光させ、ノズル出口から 20 cm 下流にて Xe クラスターに照射した。

生成される多価イオンは飛行時間分解分析装置(TOF)にて計測することによりイオン種、及び、そのエネルギーを決定した。X 線レーザーの強度は軟 X 線 CCD カメラを用いてモニターした。

3. 研究成果

X 線レーザー・Xe クラスター相互作用に伴い放出されるイオン種を計測したところ、クラスターサイズが大きいほど Xe³⁺ イオンが最も多く発生することが判明した。さらに、同様の傾向はレーザー強度が高い場合にも得られた。X 線レーザーの光子エネルギーは Xe 4d 内殻電子をイオン化するのに十分であるため(電離閾値: ~69 eV)、発生するイオンのほとんどはこの内殻電離状態の崩壊に伴うものである。従って、Xe³⁺ イオンが支配的であると言う実験結果は、内殻電離崩壊過程として 2 重オージェ遷移確率(2 つのオージェ電子と Xe³⁺ イオン放出)が最も大きいと言うことを意味している。それに対し、内殻電離がエネルギー的に不可能な Kr クラスターの場合には Kr⁺ イオンのみが検出され、クラスターサイズ、及び、レーザー強度依存性は見られなかった。

一方、希ガス原子(Ar, Kr, Xe)の内殻電子構造を調べる研究が放射光を用いて精力的に行われている。これらの実験によると、Xe 4d 内殻電離状態の崩壊過程としてノーマルオージェ過程(オージェ電子 1 個と Xe²⁺ イオン放出)が支配的であり、Xe³⁺ イオンを発生させる 2 重

オージェ過程を経由する崩壊確率は小さいことが明らかにされている。したがって今回得られた結果は、放射光と比較して格段に強度が高い X 線レーザーを用いることにより、何らかの非線形光学効果やクラスター特有の集団現象が生じている可能性があることを示唆している。

4. 結論・考察

X 線レーザーを Xe クラスターに照射する実験を行い、内殻電離に伴い放出されるイオン種を計測した。その結果、内殻電離崩壊過程として 2 重オージェ過程が支配的であることが判明した。このような現象はこれまで放射光を用いて行われてきた同様の実験では観測されておらず、高強度 X 線にさらされたクラスター特有の現象と考えられる。

今後、電子飛行時間分解計測、及び、真空紫外発光計測を行い、X 線レーザー・Xe クラスター相互作用に伴う内殻電離崩壊過程をより詳細に調べる予定である。

5. 引用(参照)文献等

- [1] H. Wabnitz *et al.*, Nature **420**, 482 (2002)
- [2] U. Saalmann and J. M. Rost, Phys. Rev. Lett. **89**, 143401 (2002).