

極紫外自由電子レーザーによる原子・分子の多光子吸収過程

○山田綾子^{1,2}、福澤宏宣^{1,2}、本村幸治^{1,2}、Wang Chuncheng^{1,2}、Liu Xiao-Jing^{1,2}、奥西みさき¹、上田潔^{1,2}、永谷清信^{2,3}、岩山洋士^{2,3}、杉島明典^{2,3}、溝口悠里^{2,3}、八尾誠^{2,3}、齋藤則生^{2,4}、Artem Rudenko^{2,5}、Lutz Foucar^{1,2,5,6}、Moritz Kurka^{1,2,7}、Kai-Uwe Kuehnel^{2,7}、Yuhai Jiang^{2,7}、Robert Moshhammer^{2,7}、Joachim Ullrich^{2,5,7}、Oliver Herrwerth^{2,8}、Matthias Lezius⁸、Matthias Kling⁸、Achim Czasch⁶、Reinhard Doerner⁶、Raimund Feifel^{2,9}、Paolo Piseri^{1,2,10}、Tommaso Mazza^{1,2,10}、Michele Devetta^{1,2,10}、Marcello Coreno¹¹、Ali Belkacem¹²、石川顕一¹³、永園充²、東谷篤志²、登野健介²、矢橋牧名²、石川哲也²、大橋治彦^{2,14}、木村洋昭^{2,14}、富樫格^{2,14}、仙波泰徳¹⁴、Elena Gryzlova¹⁵、Svetlana Strakhova¹⁵、Alexei Grum-Grzhimailo¹⁵、Nicolai Kabachnik¹⁵

[1] 東北大・多元研、[2] 理研 XFEL、[3] 京大院・理、[4] 産総研計測標準、[5] Max-Planck ASG CFEL、[6] Frankfurt Univ.、[7] MPI-K、[8] MPQ、[9] Uppsala Univ.、[10] Milano Univ./CIMAINA、[11] CNR-IMIP、[12] LBNL、[13] 東大院・工、[14] JASRI、[15] Moscow State Univ.

近年の極紫外（EUV）領域における自由電子レーザー（FEL）の最近の発展により、多光子吸収過程による原子、分子及びクラスターの多価イオン化についての実験が可能となってきた[1]。理研播磨研究所では、EUV-FEL 施設である SCSS 試験加速器が稼働している[2]。本研究では、この SCSS 試験加速器から得られる波長 51-62 nm（光子エネルギー 20-24 eV）を試料となる原子・分子へ集光して照射することで多光子多重イオン化させた。生成したイオンの 3次元運動量を運動量多重計測装置[5]で測定する、あるいは光電子を飛行時間型電子分光器で測定することで、原子・分子の多光子吸収過程を観測した。また、2分割ミラーを用いた自己相関測定により、FEL 光のパルス幅を測定した。

1. FEL 光のパルス幅測定：ヘリウム原子の非共鳴 2 光子イオン化

ヘリウム原子に 20 eV の FEL 光を照射し、ヘリウム 1 価イオンの反跳運動量測定により光電子角度分布を得た。用いた光子エネルギーはヘリウムのイオン化ポテンシャル 24.6 eV よりも低い。測定した分布は Full-TDSE 計算の結果とよく一致し、TDSE 計算の解析から、非共鳴 2 光子イオン化過程が支配的であることが分かった。したがって本実験で測定されたヘリウム 1 価イオンは、非共鳴 2 光子イオン化により生成したと考えられる。この現象を用いて、2 分割ミラーにより 1 つの FEL 光パルスを 2 つのパルスに分割し、自己相関測定を行った。この結果、FEL 光のパルス幅は約 30 fs であることが分かった。

2. アルゴン原子の段階的 3 光子 2 重イオン化 [5]

アルゴン原子の段階的 2 重イオン化により放出される光電子を、飛行時間型電子分光計で計測した。電子分光計は、入射FEL光の電気ベクトルの向きに対して、 0° と 55° に配置している。本測定では、アルゴン 1 価イオンの $3p^1\ ^2P$ 状態からアルゴン 2 価イオンの $3p^2\ ^3P$ および 1D 状態への 2 光子イオン化により放出される 2 つの光電子ピークが観測された。用いた光子エネルギーは約 24 eV である。観測された光電子ピーク強度比、および角度依存性を、3 段階モデルを仮定した理論計算と比較した。その 3 段階とは、(1) 中性アルゴン原子のイオン化、(2) アルゴン 1 価イオンの励起、(3) 励起アルゴン 1 価イオンのイオン化、である。計算結果は実験結果を良く再現した。すなわち、アルゴン原子の段階的共鳴 3 光子 2 重イオン化が観測された。

3. 窒素、酸素、及び二酸化炭素分子の段階的多光子多重イオン化 [6,7]

窒素、酸素、二酸化炭素分子を多重イオン化し、単一の親分子イオンから放出されるイオンの組を同時計測法により観測した。イオンの全運動エネルギー放出 (Kinetic Energy Release; KER) 分布から、多価分子イオンが中性分子と比べて核間距離が長くなってから生成していることが分かった。この結果は、分子解離と競争しながら電子が段階的に剥ぎ取られることを示唆している。

本研究は理研 SCSS 試験加速器運転グループのご協力を受け行いました。ここに感謝いたします。本研究の一部は X 線自由電子レーザー利用推進研究課題として文部科学省から援助を受け行いました。

【参考文献】

- [1] N. Berrah *et al.*, *J. Mod. Opt.*, First published on: 25 June 2010 (iFirst).
- [2] T. Shintake *et al.*, *Nature Photonics*, **2**, 555 (2008).
- [3] H. Fukuzawa *et al.*, *Phys. Rev. A*, **79**, 031201(R) (2009).
- [4] K. Motomura *et al.*, *Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. Sect. A*, **606**, 770 (2009).
- [5] H. Fukuzawa *et al.*, *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.*, **43**, 111001 (2010).
- [6] A. Yamada *et al.*, *J. Chem. Phys.*, **132**, 204305 (2010).
- [7] K. Motomura *et al.*, to be published.