

3A01

X線自由電子レーザーによる 希ガスクラスターの多光子多重イオン化ダイナミクス

(東北大・多元研¹, CFEL, DESY², Lund Univ.³, 理研・放射光科学総合研究センター⁴,
京大・院理⁵, Imperial College London⁶, 広大・院理⁷, Synchrotron SOLEIL⁸,
Uppsala Univ.⁹, JASRI¹⁰, Univ. of Hamburg¹¹)

○立花 徹也¹, Jurek Zoltan², Johnsson Per³, 福澤 宏宣^{1,4}, 本村 幸治¹, 永谷 清信^{4,5},
Siano Marco⁶, 和田 真一^{4,7}, Mondal Subhendu¹, 木村 美紅¹, 伊藤 雄太¹, 酒井 司⁵,
松波 健司⁵, 林下 弘憲⁷, 梶川 隼平⁷, Liu XiaoJing⁸, Robert Emmanuel⁸, Catalin Miron⁸,
Feifel Raimund⁹, Marangos Jon⁹, 登野 健介¹⁰, 犬伏 雄一⁴, 初井 宇記⁴, 矢橋 牧名⁴,
Ziaja Beata², Son Sang-Kil², Santra Robin^{2,11}, 八尾 誠⁵, 上田 潔^{1,4}

Multiphoton multiple ionization dynamics of rare-gas clusters by X-ray free electron laser

(IMRAM, Tohoku Univ.¹, CFEL, DESY², Lund Univ.³, RIKEN SPring-8 Center⁴,
Kyoto Univ.⁵, Imperial College London⁶, Hiroshima Univ.⁷, Synchrotron SOLEIL⁸,
Uppsala Univ.⁹, JASRI¹⁰, Univ. of Hamburg¹¹)

○Tetsuya Tachibana¹, Zoltan Jurek², Per Johnsson³, Hironobu Fukuzawa^{1,4}, Koji Motomura¹,
Kiyonobu Nagaya^{4,5}, Marco Siano⁶, Shin-ichi Wada^{4,7}, Subhendu Mondal¹, Miku Kimura¹,
Yuta Ito¹, Tsukasa Sakai⁵, Kenji Matsunami⁵, Hironori Hayashita⁷, Jumpei Kajikawa⁷,
XiaoJing Liu⁸, Emmanuel Robert⁸, Catalin Miron⁸, Raimund Feifel⁹, Jon Marangos⁶,
Kensuke Tono¹⁰, Yuichi Inubushi⁴, Takaki Hatsui⁴, Makina Yabashi⁴, Beata Ziaja², Sang-kil Son²,
Robin Santra^{2,11}, Makoto Yao⁵, and Kiyoshi Ueda^{1,4}

【諸言】

近年の自由電子レーザー (Free Electron Laser; FEL) 施設が目覚ましい発展により、短波長領域においても非線形過程である多光子吸収による原子・分子・クラスターの多重イオン化について研究することが可能となった。2012年3月、SPring-8敷地内に我が国では初めて、世界では米国 LCLS に次ぐ 2 番目の X 線自由電子レーザー施設である SPring-8 Angstrom Compact free electron LAser (SACLA) がユーザー運転を開始した[1]。これまで本研究グループでは理研播磨研究所のSCSS試験加速器から得られる極紫外 FEL を用いて、希ガスクラスターを標的とした研究を行い、クラスターから放出された多数の電子・イオンによるナノプラズマ形成など、クラスター特有の現象を観測してきた[2]。本研究では、X 線領域でのクラスターの多光子光イオン化ダイナミクスの研究を目的として実験を行い、高エネルギーの X 線光子の多光子吸収による振る舞いに着目した。

【実験】

実験は SACLA の BL3, EH3 で行った。用いた XFEL 光のエネルギーは 5 keV および 5.5 keV である。XFEL 光は EH3 に常設されている K-B ミラーシステム[3] により 1 μm 程度に集光され

て実験チャンバーに導入し、集光点においてパルス超音速分子線として導入されたクラスタービームと交差するように実験チャンバーを設置した。本実験では、平均サイズ 100~1000 のアルゴンクラスターおよび 100~37000 のキセノンクラスターを標的とした。クラスターの光イオン化により生じた電子は Velocity Map Imaging (VMI) 型分光計によって観測し、得られた画像を逆アーベル変換することで電子エネルギースペクトルと角度分布の情報を得た。VMI 型分光計には蛍光板付きマイクロチャンネルプレート(MCP)が備え付けてあり、CCD カメラによって検出イメージをパルス毎に撮影した。この装置は高エネルギー領域にまで広がる電子を観測するため、高エネルギーに対応可能なように設計されており、検出できる電子の最大エネルギーは約 900 eV である。反応領域を通過した XFEL 光はベリリウム窓を通して大気中に導き出され、PIN フォトダイオードで検出してパルス毎の光強度データを得た。

【結果と考察】

図 1 は 5 keV の XFEL を平均クラスターサイズ 1000 の Ar クラスターに照射して得られた電子スペクトルである。XFEL 照射実験では、VMI 型分光器の検出限界を超えた高エネルギーの電子が数多く生成し、その一部は電子スペクトル中にバックグラウンドを生成する。本研究ではこのバックグラウンドを除去する方法を開発し、図 1 に示すような電

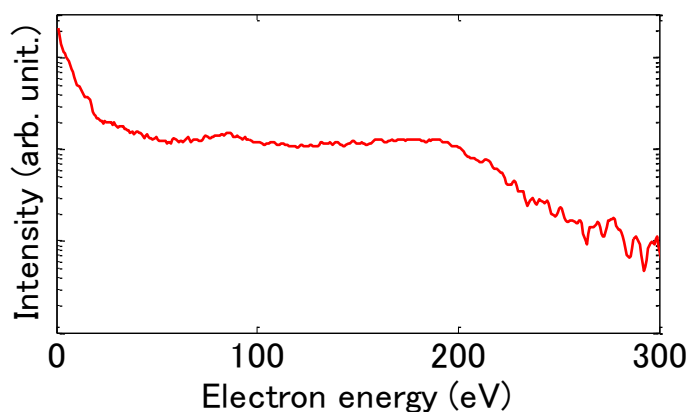


図 1. Ar クラスター ($\langle N \rangle = 1000$) の電子スペクトル

子スペクトルを得ることが可能となった。図 1 に示す電子スペクトルには、比較的高エネルギーにまで広がる裾と、数 eV の低エネルギー電子ピークの増大が観測され、ナノプラズマ形成を示唆している。発表では本実験結果をクラスターサイズ、光強度の依存性について交えながら最新の理論計算と比較し議論する。

【謝辞】

本研究は文部科学省の X線自由電子レーザー利用推進研究課題およびX線自由電子レーザー重点戦略研究課題、理化学研究所の SACLA 利用装置提案課題として援助を受け行われました。

【参考文献】

- [1] T. Ishikawa *et al.*, Nature Photonics **6**, 540 (2012).
- [2] H. Fukuzawa *et al.*, Phys. Rev. A **79**, 031201(R) (2009); H. Iwayama *et al.*, J. Phys. B **42**, 134019(2009); H. Iwayama *et al.*, J. Phys. B **43**, 161001(2010); A. Sugishima *et al.*, Phys. Rev. A **86**, 033203 (2012); K. Nagaya *et al.*, J. Phys. B, in press.
- [3] H. Yumoto *et al.*, Nat. Photon., **7**, 43 (2013).