

4P-018

極端紫外域自由電子レーザー光と超短パルスレーザー光による N₂の2色イオン化過程

(¹ 東京大学大学院理学系研究科, ² 理化学研究所播磨研究所)

岩崎 純史^{1,2}, 佐藤 堯洋², 大和田 成起^{1,2}, 山内 薫^{1,2}

2-color ionization of N₂ by extreme ultraviolet free-electron laser

(¹ School of Science, The University of Tokyo, ² Harima institute, RIKEN)

Atsushi Iwasaki^{1,2}, Takahiro Sato², Shigeki Owada^{1,2}, Kaoru Yamanouchi^{1,2}

【序】 近赤外域の高強度超短パルスレーザー光源の出現は、近年の光科学研究を格段に発展させた。その超短パルスレーザーの高次高調波として、波長域 100 nm から 10 nm の極端紫外(Extreme ultraviolet: EUV) のパルス光源が開発されるようになり、EUV 域における原子・分子の多光子吸収や多光子イオン化などの非線形光学過程が観測されるようになった[1-2]。一方で、より高次の非線形光学過程の観測を実現するため、さらに強度の高い EUV 域の光源の出現が待ち望まれていた。EUV 域の自由電子レーザー (FEL: free electron laser) は、この期待に応えることのできる高輝度光源として注目を集めている。独立行政法人理化学研究所と財団法人高輝度光科学研究センター (JASRI) が共同で組織する、X 線自由電子レーザー計画合同推進本部 (XFEL 推進本部) によって、SPring-8 Compact SASE Source (SCSS) 試験加速器が、理化学研究所播磨研究所に建設された。2006 年には 51 ~ 62 nm において発振が確認され[3]、様々な実験研究が行われるようになった。

我々の研究グループでは、SCSS 試験加速器の EUV-FEL 光源の立上げ時から、FEL 光源を使った実験研究を推進してきた。N₂ が 2 光子および 3 光子以上の EUV 光を吸収して多価イオンとなり N⁺、N²⁺フラグメントが生成することを示した [4]。さらに、He の絶対 2 光子イオン化断面積の波長依存性を明らかにする [5,6] などの成果を挙げてきた。

一方、FEL 光と超短パルスレーザー光とのポンプ・プローブ分光法を用いた、原子・分子の 2 色イオン化過程の観測によって、イオン化過程の詳細について知見を得られるだけでなく、相互相関計測といった時間ジッターの評価法としてもその応用が検討されている [7-10]。我々は、SCSS 試験加速器の EUV-FEL パルスと超短レーザーパルスを N₂ に照射し、2 つの光の入射遅延時間に対するイオン化収率の変化を測定し、2 色イオン化過程の検討を行った。

【実験】 図 1 に EUV-FEL 光と超短パルスレーザーを用いた 2 色イオン化計測の装置概要を示す。SCSS 試験加速器において発生した EUV 光パルス (52 nm, 23.8 eV, 1~10 μJ/pulse, 30 Hz) を、 $f=1000$ mm の集光ミラーを用いて集光し、真空中に噴出した試料ガス分子線に集光照射した。また、超短パルスレーザー(800 nm, 30 fs, 1 mJ/pulse, 30 Hz)は、 $f=900$ mm の平凸レンズをイオン化点に集光した。2 つのビームは非同軸に試料に集光した。イオン化点における 2 つのビームの重ね合わせを確認する目的で、計測装置の前後には、Ce:YAG 板と CCD カメラを用いたビーム位置モニターを設置して、2 つのビーム位置を計測した。イオン化点において発生したイオン種は、飛行時間型質量分析計 (Time-of-flight mass spectrometer: TOF-MS) によって質量選別し、

MCPによって検出した。各ショットにおけるMCPからのイオン電流、ならびEUV-FEL光強度モニターの値をオシロスコープで計測した。2つのビームの時間重なりは、EUV用のフォトダイオードと高速オシロスコープを用いて、2つのビームの時間差を100 ps程度で合わせ込みを行った。更に、He試料を用いて、EUV-FELの1光子と超短パルスレーザー光の1光子の1s4p状態に共鳴した(1+1')共鳴イオン化によるHe⁺収率を最大化するように、空間、ならびに時間重なりを最適化した。

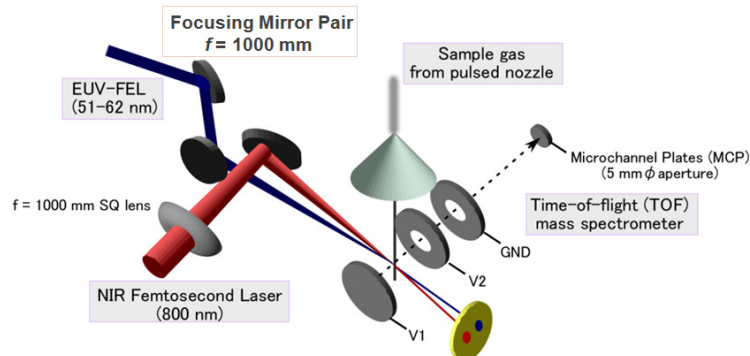


図1 2色イオン化計測の実験装置図

【結果と考察】EUV-FELパルスと超短レーザーパルスをN₂に照射し、2つの光の入射遅延時間に対するイオン化収率の変化を測定した。飛行時間質量スペクトルから得られた $m/z = 14$ の運動量スペクトルの遅延時間依存性を調べたところ、EUV-FELと超短パルスレーザー光の2つのパルスが時間領域で重なった場合にのみ強いピークが現れた。このことは、N₂のEUV-FELパルスの2光子吸収の後、N₂⁺のイオン化閾値近傍の励起状態となり、さらに、超短パルスレーザー光の多光子吸収によってN₂⁺がN₂²⁺へとイオン化したことを示している。

【参考文献】

- [1] H. Hasegawa *et al.*, "Multiphoton ionization of He by using intense high-order harmonics in the soft-x-ray region," *Phys. Rev. A*, **71**, 023407 (2005).
- [2] K. Hoshina *et al.*, "Dissociative ATI of H₂ and D₂ in intense soft x-ray laser fields," *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.*, **39**, 813 (2006).
- [3] T. Sato *et al.*, "Dissociative two-photon ionization of N₂ in extreme ultraviolet by intense self-amplified spontaneous emission free electron laser light," *Applied Physics Letters* **92**, 154103 (2008).
- [4] T. Sato *et al.*, "Determination of the absolute two-photon ionization cross section of He by an XUV free electron laser," *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **16**, 161001 (2011).
- [5] T. Sato *et al.*, "XUV-FEL spectroscopy: He two-photon ionization cross-sections," *Europhysics News*, **42(5)**, 10 (2011).
- [6] A. L. Cavalieri *et al.*, "Clocking Femtosecond X Rays," *Phys. Rev. Lett.* **94**, 114801 (2005).
- [7] P. Radcliffe *et al.*, "Single-shot characterization of independent femtosecond extreme ultraviolet free electron and infrared laser pulses," *Appl. Phys. Lett.* **90**, 131108 (2007).
- [8] M. Meyer *et al.*, "Polarization control in two-color above-threshold ionization of atomic helium," *Phys. Rev. Lett.*, **101**, 193002 (2008).
- [9] P. Johnsson *et al.*, "Field-free molecular alignment probed by the free electron laser in Hamburg (FLASH)," *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.*, **42**, 134017 (2009).