

## 4C12 高強度 XUV-FEL 光による窒素分子の多光子イオン化

東大院理<sup>1</sup>・KEK<sup>2</sup>・慶應理工<sup>3</sup>・原子力機構<sup>4</sup>・理研<sup>5</sup>・NTT 物性基礎研<sup>6</sup>・理研播磨<sup>7</sup>

○佐藤堯洋<sup>1,7</sup>, 沖野友哉<sup>1</sup>, 岩崎純史<sup>1,7</sup>, 山内薫<sup>1,7</sup>, 柳下明<sup>2</sup>, 神成文彦<sup>3</sup>, 山川考一<sup>4</sup>, 緑川克美<sup>5</sup>, 中野秀俊<sup>6</sup>, 矢橋牧名<sup>7</sup>, 永園充<sup>7</sup>, 石川哲也<sup>7</sup>

[序] 近年、高強度光源の発展により、超閾イオン化、クーロン爆発、多光子イオン化、水素マイグレーション等の強光子場中の原子や分子の振舞いを観測することが可能となってきた<sup>1)</sup>。この様な多様な研究成果は近赤外から可視域によって数多く報告されているのに対して、真空紫外域から極端紫外域における強光子場中における原子や分子の振舞いに関する研究についての報告は少ない。理論的には強光子場と分子の相互作用において、短波長化に対するイオン化過程のスケーリング等が報告されているが、極端紫外域における強光子場中での電子間での量子相関や電子のダイナミクスを伴った原子核の振舞いについては未だ解明されていない。これまで極端紫外域においては、レーザープラズマ X 線や高次高調波等の高強度光源が開発されてきたが<sup>2)</sup>、非摂動領域に達する強光子場の発生には至っておらず、未知の領域となっている。一方、欧州、日本で建設されている X 線自由電子レーザーのプロトタイプ機は極端紫外域で高強度であることが特長であり、極端紫外域で非摂動領域に達する強光子場( $10^{16}$  W/cm<sup>2</sup>~)に到達することが期待され、近年、欧州では FEL が高強度であることを利用した研究が報告され始めている<sup>3)</sup>。我々は理研播磨に建設された高強度極端紫外光源である XUV-FEL を用いて、極端紫外域の高強度 FEL 光と窒素分子との非線形相互作用を観測した。

[実験] XUV-FEL 光(発振波長 50~60 nm、10 Hz)を高真空( $5 \times 10^{-7}$  Pa)のチェンバーに導入し、パルスバルブを用いて分子線として導入した窒素分子試料 (1.2 atm)に対し、焦点距離 100 mm の SiC ミラーによって、後方に非同軸にて集光照射した(集光強度  $\sim 10^{14}$  W/cm<sup>2</sup>)。FEL 光の偏光方向は飛行時間型質量分析器(TOF-MS)の軸方向に平行である。生成した親イオンおよびフラグメントイオンを TOF-MS を用いて観測した。

[結果・考察] 波長 50.3 nm の FEL 光を窒素に照射した結果、Fig.1 に以下に示す様な質量スペクトルが得られた。  $m/z = 28$  に親イオンである  $N_2^+$  が、  $m/z = 14$  に  $N^+$ 、  $m/z = 7$  に  $N^{2+}$  が運動エネルギーを持つサイドピークを伴って観測された。 $m/z = 14$  においてスプリットしたサイドピークは、  $N_2 \rightarrow N_2^{2+} \rightarrow N^+ + N^+$  の解離過程であるクーロン爆発により生じたものである。窒素分子のクーロン爆発は今回の実験に使用した XUV-FEL 光の波長において、2 光子以上の吸収を必要とする。そのため Fig.2(a)に示した 3.5~3.7 eV の運動エネルギーをもつサイドピークは 2 光子過程に由来すると考えられる。

一方、  $m/z = 14$  の中央に位置するピークは  $N_2^{2+}$  あるいは  $N_2^+ \rightarrow N + N^+$  の解離過程に由来する。 Fig. 2(a)に示した波長 50 nm の光を用いた本実験においては、  $N_2^{2+}$  は 2 光子によって、  $N_2^+ \rightarrow N + N^+$  の解離過程は 1 光子及び 2 光子吸収によって生じたものとして帰属できる。

上記の  $m/z = 14$  におけるクーロン爆発が 2 光子過程に由来することを確認するため、1 光子過程で得られる窒素分子イオン  $N_2^+$  の信号強度と、  $m/z = 14$  のサイドピークにおける信号強度

について、相関性の確認を行ったところ、2 次の非線形の相関性を示し、観測されたクーロン爆発は分子と XUV-FEL 光の 2 光子過程であることが示された<sup>4)</sup>。

さらに Fig. 2(b) に示した  $m/z = 7$  における  $N^{2+}$  のピークは、 $N_2^{2+} \rightarrow N^{2+} + N$  として生じたフラグメントイオンと考えられ、本実験に用いた FEL 光の波長では 3 光子分のエネルギーが必要な解離過程である。このピークについても  $m/z = 14$  におけるシグナルと同様、強度に対して非線形の相関性があることを確認した。2 光子過程に加えて、3 光子以上のフォトンエネルギーを要するシグナルについても観測することができた。

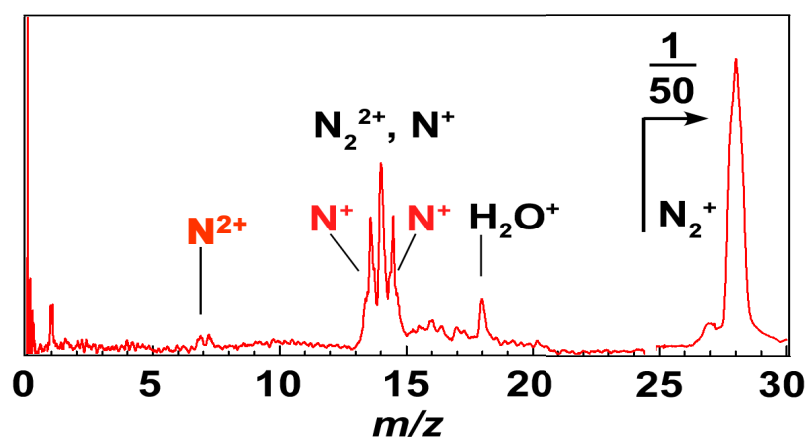


Fig.1 TOF spectrum of nitrogen molecule @50.3nm

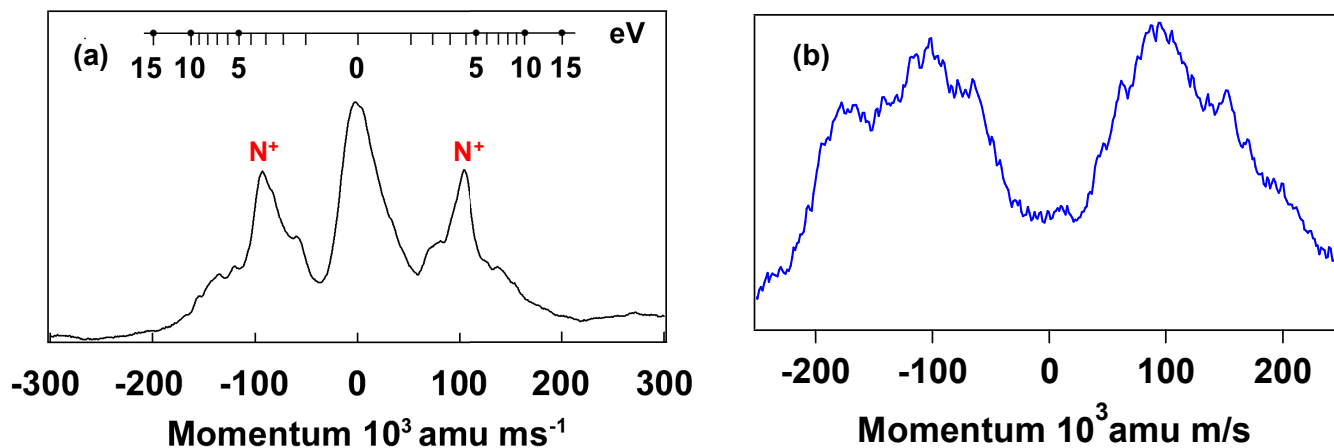


Fig.2 Momentum scaled TOF mass spectra (a) at  $m/z = 14$ , (b) at  $m/z = 7$

[参考文献]

- 1) K. Yamanouchi, *et al.* Eds. “Progress in Ultrafast Intense Laser Science I ~ III,” Springer, (2006-2008).
- 2) 例えば、Y. Nabekawa, *et al.*, Phys. Rev. Lett. **94**, 043001 (2005).
- 3) 例えば、A.A. Sorokin, *et al.*, Phys. Rev. Lett. **99**, 213002 (2007).
- 4) T. Sato *et al.*, Appl. Phys. Lett. **92**, 154103 (2008).