

## 円偏光強レーザー場における D<sub>2</sub>のトンネルイオン化電子の垂直運動量画像計測

<sup>1</sup>名大院理, <sup>2</sup>名大物国セ

○藤瀬 光香<sup>1</sup>, 仲村 武瑠<sup>1</sup>, 山本 将央<sup>1</sup>, 長尾 優<sup>1</sup>, 池谷 大夢<sup>1</sup>,  
松田 晃孝<sup>1</sup>, 伏谷 瑞穂<sup>1</sup>, 菱川 明栄<sup>1, 2</sup>

### Transversal momentum distribution of tunneling electrons from D<sub>2</sub> in circularly polarized intense laser fields

○Hikaru Fujise<sup>1</sup>, Takeru Nakamura<sup>1</sup>, Masateru Yamamoto<sup>1</sup>, Yuu Nagao<sup>1</sup>, Daimu Ikeya<sup>1</sup>,  
Akitaka Matsuda<sup>1</sup>, Mizuho Fushitani<sup>1</sup>, Akiyoshi Hishikawa<sup>1,2</sup>  
<sup>1</sup> Department of Chemistry, Nagoya University, Japan  
<sup>2</sup> RCMS, Nagoya University, Japan

**【Abstract】** We measured the three-dimensional momentum of photoelectrons and ions produced from molecular deuterium (D<sub>2</sub>) in circularly polarized intense laser fields, to evaluate the predicted characteristics of the transverse momentum distribution (TMD) of photoelectrons. The obtained TMD patterns exhibit a Gaussian distribution, with a clear laser intensity dependence, which is in quantitative agreement with the prediction by the weak-field asymptotic theory (WFAT).

**【序】** 分子内で電子がどのように運動するかを観測することは、反応過程の物理機構を明確に捉えるうえで重要である。この目的に向けて、強レーザー場と分子の非線形な相互作用を用いた様々な試みが進められている。特に、強レーザー場によって歪められた束縛ポテンシャルから電子が染み出す過程（トンネルイオン化）は、分子座標系における電子ダイナミクスを可視化するための有力な手法の一つである。トンネルイオン化レートは分子軌道形状に強く依存し、レーザー電場と分子軌道が拮抗した方向が重なった場合に大きく、電場方向が分子軌道の節と一致した場合は小さな値をもつ。つまり、分子座標系でイオン化レートを計測することで、軌道形状に関する情報の取得が可能である[1, 2]。実際我々のグループでは、このアプローチを用いて、超高速で進行する光吸収過程を分子軌道形状の変化として捉えることに成功している[1]。

トンネルイオン化は、上で述べたイオン化速度に加えて、光電子の垂直運動量分布（Transverse Momentum Distribution: TMD）で評価できる。TMDは、トンネルイオン化によって生成した光電子がもつ運動量のレーザー電場に対する垂直方向成分の分布であり、分子軌道の二次元情報が含まれることが理論的に示されている[3]。再衝突電子の影響を避けるため、TMDの計測には、円偏光強レーザー場が必要である[4]。この場合、光電子の運動量分布は

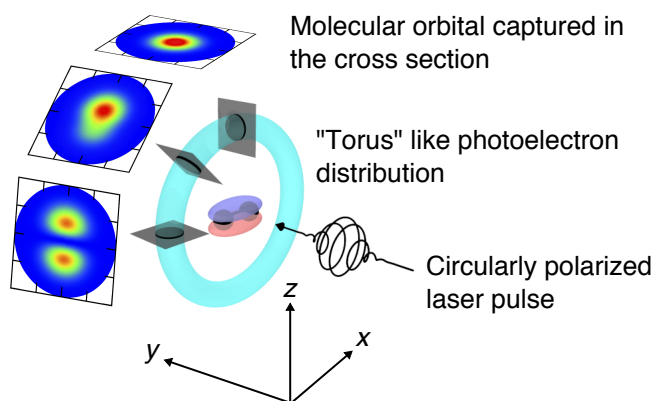


Fig. 1: Schematic image of molecular orbital imaging with TMD [5].

トーラス様の形状をもち (Fig. 1)。その断面にTMDが観測される。本研究では、円偏光レーザー場中において $D_2$ 分子から生成した光電子とイオンの三次元運動量の同時計測を行い、得られたTMDから分子軌道の二次元情報を捉えることを目的とした。

**【実験】** チタンサファイアレーザー再生増幅器からの出力 (800 nm, 1 kHz, 45 fs) を 1/4 波長板を用いて円偏光レーザー場を得た。超高真空チャンバー内に設置した凹面鏡 ( $f=100$  mm) によって、分子線として導入した  $D_2$  に集光した。相互作用領域で生成した光電子とイオンはそれぞれ静電場によって反対方向へ引き出し、二つの位置敏感型検出器で同時検出した飛行時間 ( $t$ ) と検出位置 ( $x, y$ ) によって三次元運動量を求めた。 $D_2$  分子の解離性イオン化過程,  $D_2 \rightarrow D+D^++e^-$  を経て生成した  $D^+$  イオンの運動量から分子軸を決定し、同時計測した光電子について分子座標系における三次元運動量画像を得た。

**【結果・考察】** 実験室座標系における,  $xz, xy, yz$  平面の光電子の運動量画像を Fig. 2(a) に示す。 $p_x, p_z$  平面が円偏光面に平行,  $p_y$  がレーザー進行方向に平行な運動量である (Fig. 1)。半径  $\sim 1.0$  a.u. のトーラス様の分布が観測できたことがわかる。分子座標系においても同様の光電子の運動量分布を観測した。 $D_2$  分子軸に対する光電子の角度分布 (Fig. 2(b)) は分子軸方向に強い分布を持ち,  $D_2$  分子の  $1s\sigma_g$  軌道の分子軌道形状に依存するトンネルイオン化レートが反映されていることが示唆されている。また, 光電子の運動量分布の断面から得られた TMD はガウス分布を示した。観測された TMD の幅には明確なレーザー場強度依存性が現れ, これは弱電場漸近理論 (WFAT) による理論予測と一致している[5]。これらの結果は, 光電子の3次元運動量を観測するアプローチを用いると, 分子座標系における TMD の観測が可能であることを示唆している。

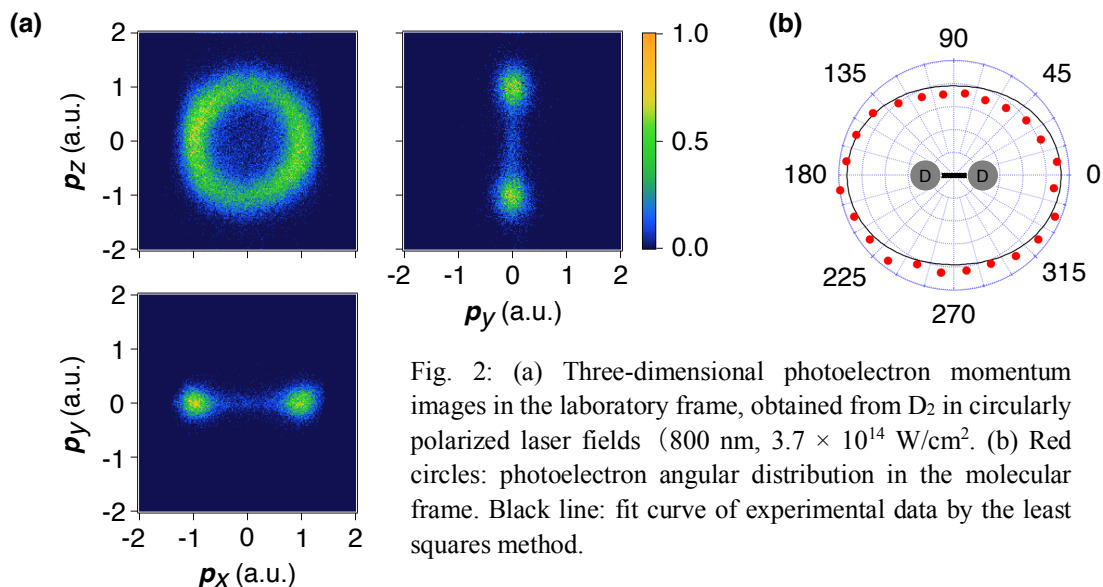


Fig. 2: (a) Three-dimensional photoelectron momentum images in the laboratory frame, obtained from  $D_2$  in circularly polarized laser fields (800 nm,  $3.7 \times 10^{14}$  W/cm<sup>2</sup>). (b) Red circles: photoelectron angular distribution in the molecular frame. Black line: fit curve of experimental data by the least squares method.

### 【参考文献】

- [1] T. Endo *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **116**, 163002 (2016)., [2] H. Akagi *et al.*, *Science*. **325**, 1364 (2009)., [3] L. Arissian *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **105**, 133002 (2010)., [4] O. I. Tolstikhin *et al.*, *Phys. Rev. A*. **84**, 053423 (2011)., [5] V. N. Pham *et al.*, *Phys. Rev. A*. **89**, 033426 (2014).