

2P023

電子・イオン運動量同時計測画像法による酸素分子の強レーザー場中解離性イオン化

(¹原子力機構、²東大院理)

¹穂坂綱一・⁰¹板倉隆二・¹横山啓一・^{1,2}山内薫・¹横山淳

【序】 強レーザー場によって誘起される単分子反応を理解し、制御するためには、解離に至る電子励起ダイナミクスを明らかにすることが必要である。本研究は、強レーザー場中における酸素分子の解離性イオン化に着目する。酸素分子イオン O_2^+ 生成チャンネルとフラグメントイオン O^+ 生成チャンネルを分離して光電子運動量画像を観測することで、光電子スペクトルが生成チャンネルによってどのように異なるかを調べた。その結果をもとに、解離性イオン化における電子励起ダイナミクスについて議論する。

【実験】 イオン種を特定した光電子運動量画像を計測するために、単一の酸素分子から生成する光電子とイオンの運動量を同時計測した。強レーザーパルス (最短 35 fs, 783 nm, 19~57 TW/cm²) を照射することによって酸素分子から生成した光電子とイオンは、飛行時間と位置について同時に収束する条件を充たした静電レンズ [1] により反対向きに加速され、2 組の遅延時間アノード位置敏感検出器 (PSD: Roentdek Hex80) を用いて検出された。イオンの飛行時間によりイオン種を特定し、飛行時間と検出位置からイオンと光電子の 3 次元運動量を決定した[2]。

【結果と考察】 強レーザーパルス (35 fs, 3.5×10^{13} W/cm²) による光電離において O_2^+ イオン、あるいは O^+ イオンと同時計測された光電子の運動量射影像を図 1 に示す。

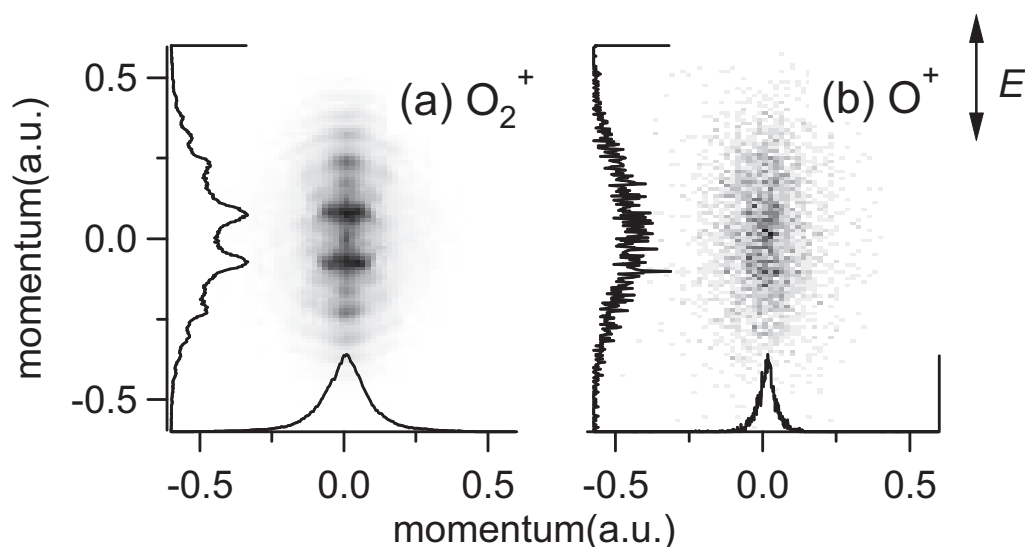


図 1 パルス幅 35 fs、パルス強度 3.5×10^{13} W/cm² の時に (a) O_2^+ イオン、(b) O^+ イオンと同時計測された光電子の運動量射影像

O_2^+ の光電子画像は、イオン化限界を越え、さらに余剰な光子を吸収した結果起きた越閾イオン化 (ATI) 構造を示し、明瞭なリング構造が観測された。一方、 O^+ に相関する光電子スペクトルは、明瞭なリング構造を示さない。測定された3次元運動量分布から求めた光電子エネルギースペクトルを図2に示す。 O_2^+ 生成の光電子スペクトルに現れるピーク構造は、イオン電子基底状態へのATIと中性のRydberg状態を経由した共鳴イオン化 (Freeman 共鳴) [3] と帰属できる。

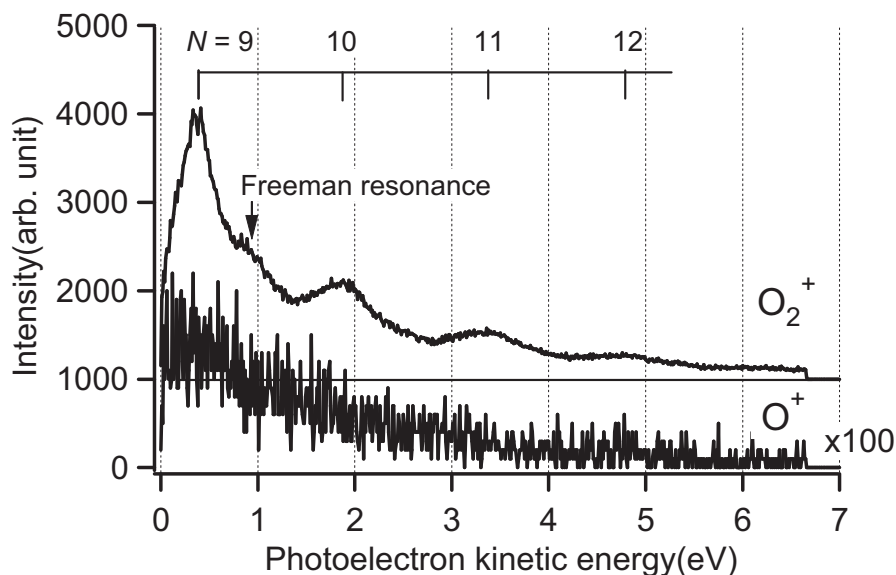


図2 パルス幅 35 fs、パルス強度 $3.5 \times 10^{13} \text{ W/cm}^2$ の時に O_2^+ 、 O^+ と同時計測された光電子の運動エネルギー分布。Nは非共鳴多光子イオン化の光子数。

O^+ の生成には O_2^+ の電子基底状態よりも6.6 eV以上エネルギーの高い電子励起状態を経由する必要がある[4]。観測された O_2^+ と O^+ に相関する光電子運動量分布が異なることは、 O^+ を生成する解離性イオン化が、安定な O_2^+ の電子基底状態を経由した段階的な過程ではないことを意味している。電子励起のメカニズムとしては、(i)中性状態から O_2^+ の解離性電子励起状態への直接イオン化、もしくは、(ii)レーザー電場によって引き戻された光電子が分子イオンに再衝突することによる非弾性散乱の2通りが考えられる。

レーザーパルスのピーク強度を、19、26、57 TW/cm^2 として同様の実験を行ったところ、 O_2^+ の光電子画像のリング構造には変化が見られたが、 O^+ の光電子画像は、図1と同様に O_2^+ の画像と異なるブロードな分布を示した。また、ピーク強度を一定に保ち、パルス幅を35fsから800fsに変えた場合も、同様である。したがって、 O_2^+ の解離性イオン化は、パルス波形に拠らず段階的な電子励起が起こりにくいことがわかった。パルス波形依存性の詳細について、ポスターにて議論する。

[1] M. Lebech, J.C. Houver, D. Dowek, *Rev. Sci. Instrum.* **73**, 1866 (2002).

[2] K. Hosaka, R. Itakura, K. Yokoyama, K. Yamanouchi, and A. Yokoyama, *Chem. Phys. Lett.* **475**, 19 (2009).

[3] G. N. Gibson and R. R. Freeman, *Phys. Rev. Lett.* **67**, 1230 (1991).

[4] K. P. Huber and G. Herzberg, "Constants of Diatomic Molecules" (Van Nostrand, 1979).