

2P013

強光子場中の分子イオンの解離ダイナミクス研究のための質量選別イオンビーム装置の開発

(東大院・理) ○山崎 嵩雄、藤原 敬士、歸家 令果、山内 薫

Development of a mass-selective ion beam apparatus for investigating dissociation dynamics of molecular ions in intense laser fields

(School of Science, The Univ. of Tokyo) ○Yamazaki Takao, Fujiwara Keiji, Kanya Reika, Yamanouchi Kaoru

【序】強光子場中の分子の解離ダイナミクスは、生成した全ての解離イオン種を同時計測し、それらの3次元運動量ベクトルを決定するコインシデンス運動量画像法(CMI)によって詳細に研究されてきた[1]。Ben-Itzhakら[2]は、質量選別イオンビーム源によって単一イオン種を試料として導入し、CMI計測を行うことによって、二原子分子イオンや三原子分子イオンなどの小さな分子イオン種について、中性解離生成物を含む全ての解離生成物の3次元運動量の解析を行っている。本研究では、炭化水素分子イオンなどの、より複雑な分子イオン種を対象として、高強度フェムト秒レーザー場によって誘起される解離反応のダイナミクスを研究することを目的として、四重極マスフィルターを備えた質量選別イオンビーム装置を開発した。開発した装置を用いて CO_2^+ の質量選別イオンビームを生成し、その質量分解能を評価するとともに、生成したイオンビームがCMI計測を実施するために十分な強度を持つことを検証した。

【実験】開発した質量選別イオンビーム装置は、(i) デュオプラズマトロンイオン源、(ii) 四重極マスフィルター、(iii) 四重極偏向器、(iv) 12枚の円盤電極で構成される加減速電極、(v) 解離イオン検出器より構成される(図1)。デュオプラズマトロンイオン源において、放電によって生成したアルゴン原子イオン Ar^+ とイオン源に導入された中性分子試料との電荷移動衝突によって、試料分子イオンが生成する。イオン源内の Ar^+ と分子イオンは3 keVに加速され、イオンビームとして四重極マスフィルターに導入される。四重極マスフィルターによって質量選別されたイオンビームは、四重極偏向器で 90° 偏向されることによって残留ガスから分離され、12枚の加減速電極に導入される。イオンビームを加減速電極の前半部において1.8 keVにまで減速し、繰り返し周波数5 kHzのレーザー光を照射し、解離反応を誘起する。生成した解離物イオンは加減速電極の後半部において再加速され、時間位置敏感型検出器に到達し、その飛行時間によって質量分析を行う。一方、中性解離生成物は減速時の速度のま

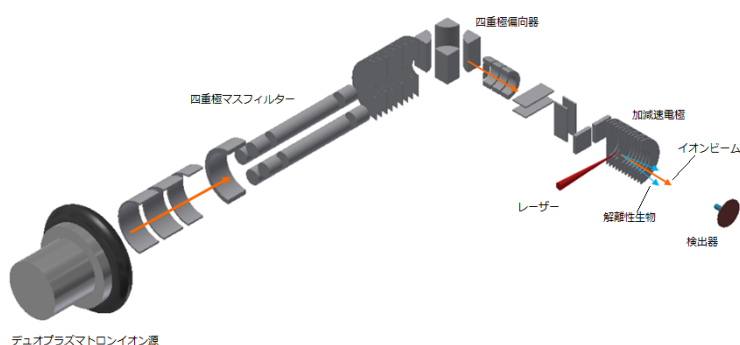


図1. 質量選別イオンビーム装置.

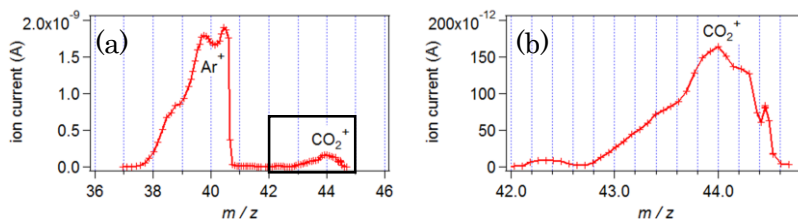


図 2. イオンビームの質量スペクトル(a)、および、その拡大図(b).

ま、高い運動エネルギーを持って検出器に衝突して検出される。そのため、検出器までの飛行時間によって解離生成物イオンと区別して検出することができる。検出器の前にはファラデーカップが設置され、親イオンビームが検出器に入るのを阻止すると同時に、そのイオンビーム電流値が計測される。

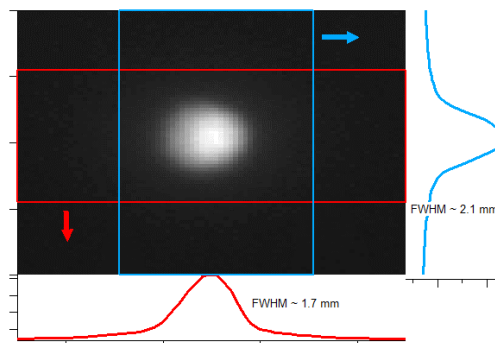


図 3. CO_2^+ イオンビームの空間分布の画像(イオン電流値 $\sim 300 \text{ pA}$).

装置の質量分解能を評価するために、二酸化炭素分子 CO_2 を中性試料として導入し、四重極マスフィルターに印加する電場条件を変化させてファラデーカップに検出されるイオンビーム電流を測定し、質量スペクトルを得た。また、蛍光スクリーン付きマイクロチャンネルプレートを検出器として用い、ファラデーカップを取り除いて CO_2^+ イオンビームを直接観測することによって、 CO_2^+ イオンビームの直径を求めた。

【結果と考察】 得られた質量スペクトルを図 2 に示す。 Ar^+ イオンと CO_2^+ イオンが十分に分離されて観測されていることが確認できる。図 2(b)に示した CO_2^+ のピーク幅からイオン質量分解能 ($R_{1/2}$) は $R_{1/2} \sim 48$ であることが示された。

図 3 は CO_2^+ イオンビームの画像である。イオンビームの形状は、長軸 $\sim 2.1 \text{ mm}$ 、短軸 $\sim 1.7 \text{ mm}$ の半値全幅を持つ楕円形であることが示された。得られたイオンビーム電流値 ($\sim 300 \text{ pA}$) とイオンビームの大きさからイオン密度を求めたところ、約 $6 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$ となった。繰り返し 5 kHz のレーザーの集光径を $100 \text{ }\mu\text{m}$ として親イオンの 1%が解離を起こす場合、毎秒約 2 カウントの解離信号が得られると見積られることから、本装置のイオン密度はコインシデンス計測の実施に十分であると考えられる。

【謝辞】 この研究は JSPS 科研費 (18205001, 19002006, 24245003, 24750011, 26288004, 15H05696)、グローバル COE プログラム (理工連携による化学イノベーション)、イノベーションシステム整備事業の支援を受けて行われた。

- [1] H. Xu, T. Okino, K. Nakai, and K. Yamanouchi, in *Progress in Ultrafast Intense Laser Science VII* (Springer 2011) pp. 35.
- [2] I. Ben-Itzhak, in *Progress in Ultrafast Intense Laser Science IV* (Springer 2009) pp. 68.