

サブ10フェムト秒強光子場における2原子分子の解離性イオン化過程

(分子研) 松田晃孝、高橋栄治、菱川明栄

【序】 近年のレーザー技術の進展に伴い10 fs以下の極めて短いパルス幅を持つ強光子場が得られるようになり[1]、高次高調波による「水の窓領域」($\lambda \sim 2$ nm)の軟X線の発生や、クーロン爆発イメージングによる分子構造の直接観測などの新しい研究が進められつつある。本研究ではサブ10 fs強光子場におけるNOの解離性イオン化過程、



に着目し、生成イオンの3次元運動量計測に基づいてこのような極短パルス強光子場における分子ダイナミクスを明らかにすることを旨とした。

【実験】 Ti:Sapphire レーザーシステム (800 nm、40 fs、1 kHz) に音響光学空間位相制御フィルター (AOPDF) を導入し、増幅部におけるスペクトルの利得狭帯化を抑制することで30 fsのパルスを得た。出力パルスをArガスで満たされた(~ 0.05 MPa)中空ファイバーに導入し、自己位相変調によってバンド幅を ~ 150 nmまで広げた(図1(a))。凹面ミラーを用いてファイバーから出力されるビームをコリメートし、チャープミラーによってパルスを圧縮した後、超高真空チャンバー($< 10^{-8}$ Pa)へ導入した。フリンジ分解型自己相関器で計測した結果、パルス幅9 fsが得られた(図1(b))。レーザー光はチャンバー内に設置した凹面ミラー ($f = -75$ mm)により集光され、相互作用域において生成したフラグメントイオンは4枚の引き出し電極により構成される飛行時間形質量分析計 (TOF) によって位置敏感型粒子検出器 (PSD) へ導き観測した。解離イオンのPSDにおける位置 (x, y) とTOFの飛行時間 (t) を元にフラグメントイオンの運動量と運動エネルギーを解離

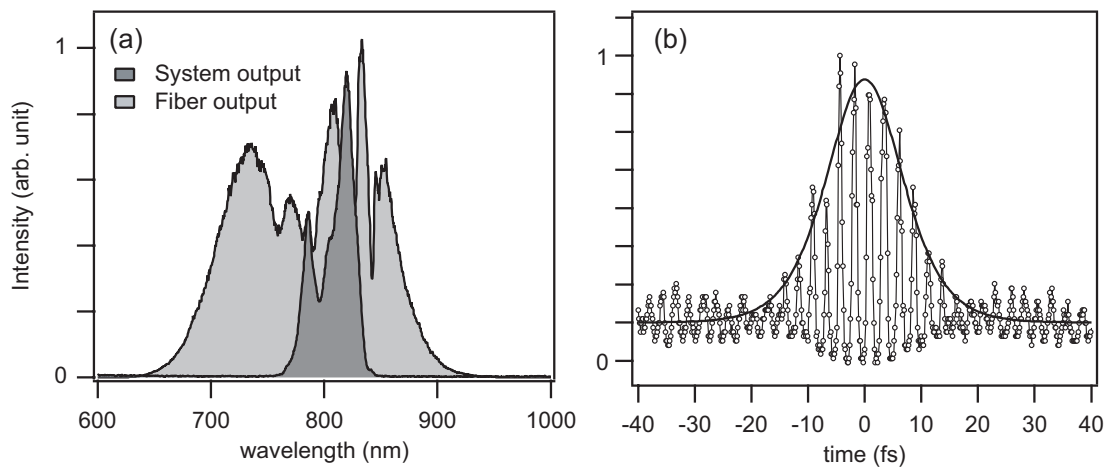


図1: (a)Arガスで満たされた中空ファイバーにおいて自己位相変調したレーザーのスペクトル、(b)フリンジ分解型自己相関器によって計測された自己相関干渉波形。

事象毎に決定した。

【結果と考察】 PSDを用いた3次元運動量空間における分布計測によって、逆Abel変換などの数値解析を行うことなくその断面図を直接得ることができる。図2に 3×10^{15} W/cm²の光子場強度において生成したN⁺イオンの運動量画像を示す。運動量 $P = 102 \times 10^3$ amu m/s、 135×10^3 amu m/sに観測されたレーザー偏光方向に強い分布を持つ成分は、コインシデンス計測からNO²⁺およびNO³⁺のクーロン爆発過程NO²⁺ → N⁺ + O⁺、NO³⁺ → N⁺ + O²⁺に帰属できた。解離性イオン化過程NO⁺ → N⁺ + Oに対応するN⁺の分布は $P = 25 \times 10^3$ amu m/sに観測された。一方、光子場強度 7×10^{13} W/cm²においてはNO⁺c³Π、B¹Π[B'¹Σ⁺]からの解離[3,4]に帰属される新たな2つのピークがそれぞれ $P = 33 \times 10^3$ amu m/s、 65×10^3 amu m/sに観測され、レーザー偏光方向に対して45度方向に急峻な角度分布を示すことが明らかとなった。同様の傾向は解離過程NO⁺ → N + O⁺によって生成したO⁺イオンについても見出された。このことは解離性c³Π、B¹Π[B'¹Σ⁺]状態の生成が光子場による直接イオン化過程によるものではなく、NO⁺基底状態X¹Σ⁺の生成と電子の再衝突[2]に由来するものであることを示唆している。

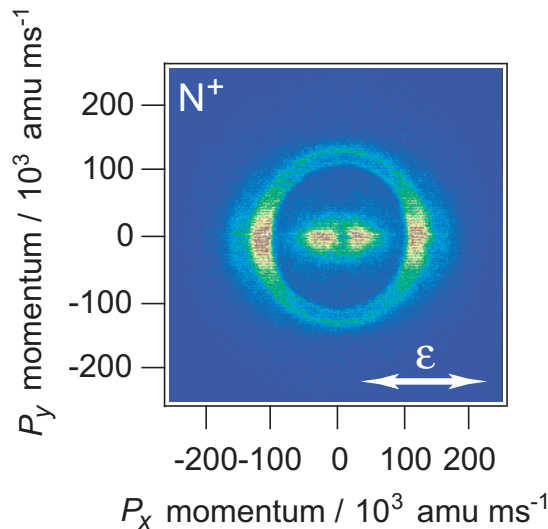


図2: 光子場強度 3×10^{15} W/cm²におけるN⁺フラグメントイオンの運動量画像。矢印はレーザー偏光方向を示す。

【参考文献】

- [1] M. Nisoli *et al.*, *Opt. Lett.* **22**, 522 (1997).
- [2] S. Voss *et al.*, *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **37**, 4239 (2004).
- [3] A. Lafosse *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **84**, 5987 (2000).
- [4] Y. Lu *et al.*, *J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom.* **87**, 109 (1997).