

### 3P-018

#### 数サイクルレーザーパルスの搬送波包絡線位相とフラグメントイオンの運動量の 同時計測装置の開発：D<sub>2</sub> 分子への応用

(東京大学大学院理学系研究科化学専攻<sup>1</sup>,

Institut für Optik und Quantenelektronik, Friedrich-Schiller-Universität<sup>2</sup>,

Photonics Institute, Vienna University of Technology<sup>3</sup>,

Department of Physics, Politecnico di Milano, National Research Council of Italy, Institute<sup>4</sup>)

安藤俊明<sup>1</sup>, 三浦 瞬<sup>1</sup>, 大高一樹<sup>1</sup>, 岩崎純史<sup>1</sup>, Xu Huailiang<sup>1</sup>, 沖野友哉<sup>1</sup>, 山内 薫<sup>1</sup>,

Hoff Dominik<sup>2</sup>, Rathje Tim<sup>2</sup>, Paulus Gerhard G.<sup>2</sup>, Kitzler Markus<sup>3</sup>, Baltuska Andrius<sup>3</sup>,

Sansone Giuseppe<sup>4</sup>, Nisoli Mauro<sup>4</sup>

#### Development of an apparatus for coincidence measurements of carrier-envelope phase of few-cycle laser pulses and momentum of fragment ions: Application to D<sub>2</sub> molecule

(Department of Chemistry, School of Science, University of Tokyo<sup>1</sup>,

Institut für Optik und Quantenelektronik, Friedrich-Schiller-Universität<sup>2</sup>,

Photonics Institute, Vienna University of Technology<sup>3</sup>,

Department of Physics, Politecnico di Milano, National Research Council of Italy, Institute<sup>4</sup>)

Toshiaki Ando<sup>1</sup>, Shun Miura<sup>1</sup>, Kazuki Ootaka<sup>1</sup>, Atsushi Iwasaki<sup>1</sup>, Huailiang Xu<sup>1</sup>,

Tomoya Okino<sup>1</sup>, Kaoru Yamanouchi<sup>1</sup>, Dominik Hoff<sup>2</sup>, Tim Rathje<sup>2</sup>, Gerhard G. Paulus<sup>2</sup>,

Markus Kitzler<sup>3</sup>, Andrius Baltuska<sup>3</sup>, Giuseppe Sansone<sup>4</sup> and Mauro Nisoli<sup>4</sup>

【序】数サイクルレーザーパルスの電場波形は搬送波包絡線位相(Carrier-envelope Phase : CEP)によって sin 型から cos 型へと変化し、ピーク電場強度が劇的に変化する。数サイクルパルスによって生成した強レーザー場中( $\sim 10^{14}$  W/cm<sup>2</sup>)では、分子中の電子の局在化を CEP によって制御出来ることが知られている [1]。分子の解離過程の CEP の依存性を観測する手段として、光周波数コムを利用して CEP を制御したレーザーを用いる方法と、CEP は制御せず、位相メーター [2] を用いて CEP を単一ショット測定する方法がある [3]。後者の方法には、積算時間が CEP 制御の持続時間に制限されない、CEP 制御の精度よりも位相メーターによる CEP 計測の精度のほうが高いなどの利点がある。

本研究では、数サイクル強レーザーパルスによって誘起される分子の解離過程の CEP 依存性を調べるため、位相メーターと運動量画像(Velocity Map Imaging : VMI)計測装置を同期させ、シングルショット毎に CEP とフラグメントイオンの運動量の同時計測を可能とするシステムを開発した。その性能を確認するために、D<sub>2</sub> 分子を試料とし、D<sup>+</sup> イオンの放出方向の CEP 依存性の観測を行った。

【実験】図 1 に実験装置の概図を示す。フェムト秒レーザーパルス(800 nm, 5 kHz, 0.6 mJ, 30 fs)を Ar ガス(0.5 atm)を充填した中空ファイバー(内径 330  $\mu$ m, 長さ 1.5 m)に集光し、スペクトル幅を広げた。スペクトル位相をチャープミラー、ウェッジ板を用いて補償し、数サイクルパルス(750 nm, 200  $\mu$ J, <5 fs)を発生させた。発生した数サイクルパルスをビームスプリッターを用いて二つに分け、それぞれを位相メーター、D<sub>2</sub> 分子を試料とした VMI チャンバー中に集光した( $I = 2 \times 10^{14}$  W/cm<sup>2</sup>)。位相メーターから単一ショット測定によって得られた CEP の情報と、VMI チャンバー

の位置敏感検出器(HEX120, RoentDeck)からの信号を同時に PCI カード(TDC8HP, RoentDeck)に取り込むことにより、数サイクルパルスの CEP と、フラグメントイオンの運動量の同時計測を実現した。

【結果と考察】図 2 に位相メーターから得られたパラメトリック非対称プロット

(Parametric Asymmetry Plot : PAP)を示す。PAP の極角  $\theta$ 、極半径  $r$  から、CEP の相対値  $\phi_r$ 、パルス幅をそれぞれ見積もることが出来る。極半径の平均値は 0.77 であり、パルス幅は 4.2 fs 程度と見積もられる [4]。

図 3 に  $D^+$ イオンの運動量画像を示す。運動量の大きなピーク ( $|p| > 40 \times 10^3 \text{ u m/s}$ ) は、トンネルイオン化した電子がレーザー電場によって加速され、 $D_2^+$ イオンに再衝突し、( $1s\sigma_g \rightarrow 2p\sigma_u$ )の電子励起が起こる解離過程に由来する。 $2p\sigma_u$  は反結合性軌道であり、電子励起後に核間距離が大きくなるとともに、電子状態はレーザー電場によって  $1s\sigma_g$  とコヒーレントにカップルする。つまり、電子の局在化が起こる。この電子局在化はレーザー電場波形によって制御されるため、領域(a),(b)のイオン収量  $I_a, I_b$  は CEP に依存する[1]。非対称パラメータ  $P_{asym}$  を

$$P_{asym} = \frac{I_a - I_b}{I_a + I_b}$$

と定義し、 $\phi_r$  に対してプロットしたものが図 4 である。

図 4 から、非対称パラメータが  $\phi_r$  に対して  $\pm 40\%$  程度変化していることが分かる。今回の結果から、本実験装置を用いれば、数サイクル強レーザーパルスによって誘起される分子の解離過程の CEP 依存性を調べることができることが確認された。

#### 参考文献

- [1] M. F. Kling, Ch. Siedschlag, A. J. Verhoef, J. I. Khan, I. M. Schultze, Th. Uphues, Y. Ni, M. Uiberacker, M. Drescher, F. Krausz, M. J. J. Vrakking, *Science* **312**, 246(2006).
- [2] T. Wittmann, B. Horvath, W. Helml, M. G. Schätzel, X. Gu, A. L. Cavalieri, G. G. Paulus, and R. Kienberger, *Nat. Phys.* **5** 357 (2009).
- [3] Nora G. Johnson, O. Herrwerth, A. Wirth, S. De, I. Ben-Itzhak, M. Lezius, B. Bergues, and M. F. Kling, *Phys. Rev. A* **83**, 013412 (2011).
- [4] A. M. Saylor, Tim Rathje, W. Müller, Ch. Kürbis, Klaus Rühle, Gero Stibenz, and G. G. Paulus, *Opt. Express* **19**, 4464(2011).

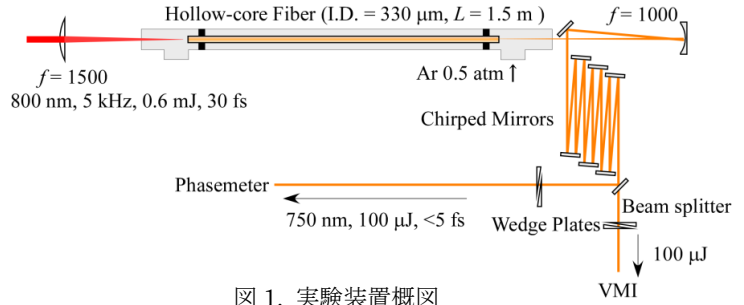


図 1. 実験装置概図

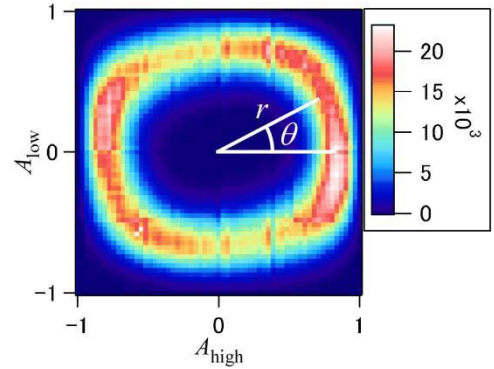


図 2. PAP

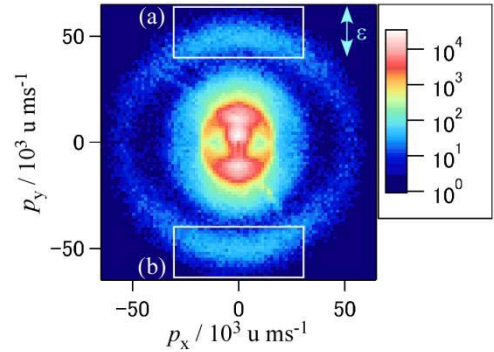


図 3.  $D^+$ イオンの運動量画像

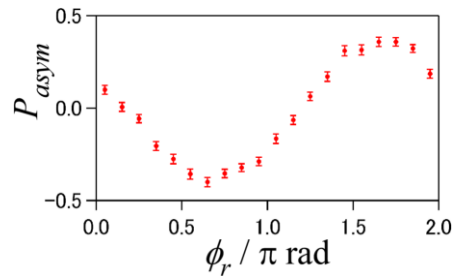


図 4. 非対称パラメータ  $P_{asym}$  の CEP 依存性