

ジェット冷却された HBr 分子の高強度テラヘルツパルスによる配向制御

Orientation of jet-cooled HBr molecules by an intense THz pulse

東京大物性研, °北野 健太, 石井 順久, 金井 輝人, 板谷 治郎

ISSP, the University of Tokyo, °Kenta Kitano, Nobuhisa Ishii, Teruto Kanai, Jiro Itatani

E-mail: kitano@issp.u-tokyo.ac.jp

異核二原子分子に代表される反転対称性を持たない分子のイオン化過程や化学反応を解明するためには、分子の回転運動を制御する必要がある。これまで、空間のある特定の方向に分子軸を揃える分子配向(orientation)について盛んに研究されてきた。近年、静電場下で分子に高強度フェムト秒パルスを照射することにより、高い配向度を実現する手法が確立されている[1]が、光電子を分子軸系で観測する際、静電場の影響を無視できない。そのため、静電場ならびにレーザー電場がない状態（フィールドフリー）で分子配向を実現することが必要となる。その観点から、二波長の高強度レーザーを用いる手法[2]が提案されているが、実験的に実現されている配向度は低い。フィールドフリーで高い配向度を実現するための手法として、高強度テラヘルツ(THz)パルスを適用することが有望視されており、近年、室温の分子を対象とした実験により初めて実証された[3]。同手法をジェット冷却された分子に適用することは、真空中での光電子を対象とした実験への展開には必要不可欠であり、また、精密なコヒーレント制御という観点からも重要である。今回、我々はジェット冷却された HBr 分子に THz パルスを照射することにより、分子配向を実現することに成功した。

HBr 分子を He で希釈し、パルスバルブを通じて真空チャンバー中に導入し、冷却した。チタンサファイアレーザーからの出力(2.8 mJ, 60 fs)を二つのパルスに分割し、パルス間の遅延時間を制御した。パルス対の一方(1.5 mJ)をパルス面傾斜法による THz パルスの生成に用い、他方(1.3 mJ)を HBr 分子に集光し、クーロン爆発を誘起するプローブパルスとして用いた。生成した HBr 分子のフラグメントイオンを運動量画像観測装置により運動量の二次元画像として観測した。THz パルスとプローブパルスとの遅延時間を掃引することにより、THz パルスにより誘起された HBr 分子の回転ダイナミクスを観測した。

図 1 (a)にプローブパルスのみを照射した場合の各種解離イオンの運動量分布の観測結果を示す。

THz、プローブパルスの偏光方向は平行とし、図中に黒の両矢印で示した。両画像が上下に関して対称的であることは、上向きと下向きの分子がそれぞれ同量だけ存在していることに対応している。テラヘルツパルスを照射することによって生じる上下の画像の異方性を定量的に評価するために、パラメータ、 $P = (I_{\text{up}} - I_{\text{down}}) / (I_{\text{up}} + I_{\text{down}})$ を導入する。ただし、 I_{up} 、 I_{down} はそれぞれ上下のイオン強度の合計とする。各イオン種の P パラメータを THz とプローブパルスの遅延時間に対してプロットした (図 1 (b))。THz パルスが HBr 分子に照射されることにより、THz パルス通過後も P パラメータが振動していることが分かる。これは、テラヘルツパルスによる回転励起に伴い、上向きと下向きの HBr 分子の分布量に異方性が現れたことを示している。この振動周期を解析した結果、主に回転基底状態($J=0$)と最低励起状態間($J=1$)間に生成した回転波束によるものであることが分かった。当日は、ガスジェットの圧力と温度依存性、シミュレーション結果との比較を基に詳細な解析について講演する。

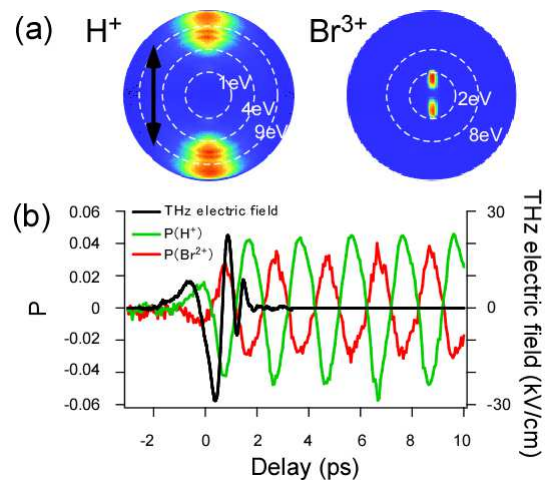


図 1 (a) : 各種フラグメントイオンの二次元運動量画像。
(b) : P パラメータの THz-プローブパルス間の遅延時間依存性。

[1] L. Holmegaard *et al.*, Phys. Rev. Lett. **102**, 023001 (2009); O. Ghafur *et al.*, Nature Phys. **5**, 289 (2009).

[2] S. De *et al.*, Phys. Rev. Lett. **103**, 153002 (2009); K. Oda, *et al.*, Phys. Rev. Lett. **104**, 213901 (2010).

[3] S. Fleischer *et al.*, Phys. Rev. Lett. **107**, 163603 (2011).