

高速イオン衝突により多重電離した 炭化水素分子の解離イオン運動量画像分光

¹京大院工, ²京大工

○吉田慎太郎¹, 間嶋拓也¹, 松原正弥¹, 磯部真志², 土田秀次¹, 斉藤学¹

Momentum imaging of fragment ions from multiply ionized hydrocarbon molecules in fast ion collisions

○Shintaro Yoshida¹, Takuya Majima^{1,2}, Masaya Matsubara¹, Masashi Isobe¹,
Hidetsugu Tsuchida^{1,2}, Manabu Saito¹

¹*Department of Nuclear Engineering, Kyoto University, Japan*

²*Quantum Science and Engineering Center, Kyoto University, Japan*

【Abstract】 We study fragmentation dynamics of multiply ionized $C_2H_2^{r+*}$ produced in charge-changing collisions of 0.8 MeV C^+ ions. Charge states (r) of $C_2H_2^{r+*}$ transiently produced before fragmentation are determined from direct measurements of the number of emitted electrons. We found that the mean kinetic energy (KE) of C_2^+ fragment ions for $r = 3$ is lower than that for $r = 2$ in single electron ($1e^-$) capture collisions, while becomes higher in $1e^-$ -loss collisions. The result for $1e^-$ -capture collisions is reasonably explained by collinear dissociation with the symmetric charge distribution. In $1e^-$ -loss collisions, we suggest that the symmetric structure is distorted by the higher internal energy. In the fragmentation of $C_2H_2^{2+*}$ into $H^+ + C^+ +$ neutrals, the two fragment ions are emitted from both the same and opposite sides. This result shows a different mechanism from that obtained after inner-shell ionization induced by 4 keV electron impact, in which the two ions are emitted only from the same side.

【序】 MeV エネルギーの高速イオン衝突による分子の解離反応は、生体を含む物質中での放射線相互作用の初期過程として重要である。特に重イオン衝突においては、多重電離が重要となる。これまで我々は、分子の多重電離と解離パターンの相関を求めるために、放出電子個数と解離イオンの同時計測を行ってきた[1,2]。また最近、解離ダイナミクスの詳細を調べるために、解離イオン三次元運動量画像分光を導入した[3]。高速イオン衝突においては、多重電離に伴って高い電子励起状態が生成され得るため、電離状態だけでなく内部エネルギーもその後の解離過程を決定づける重要なパラメータである。本発表では、アセチレン (C_2H_2) 分子を標的として放出電子個数と解離イオン三次元運動量の同時計測を行った。特に、電子捕獲および電子損失衝突における結果を比較することにより、内部エネルギーに依存した多価分子イオンの解離過程の変化を調べた。

【方法】 実験は京都大学大学院工学研究科附属量子理工教育研究センターの 1.7 MV タンデトロン加速器を用いて行った。Figure 1 に実験セットアップの概略を示す。0.8 MeV の C^+ イオンを気相の C_2H_2 標的に衝突させ、放出された電子を +25 kV に昇圧し

た半導体検出器 (SSD) で検出し、その個数を得た。衝突後の出射イオン価数測定を組み合わせることで、解離前に一時的に生成される多価分子イオンの価数を求めた。本測定では入射イオンが標的分子から電子を1個捕獲する1電子捕獲衝突と、入射イオンが電離する1電子損失衝突を選択した。生成されたイオンに対しては、飛行時間測定に加えて、Velocity Map Imaging 法に基づく二次元位置検出を行い、三次元運動量ベクトルを得た。

【結果・考察】 結果の一例として、解離直前の多価分子イオンの価数 r に対する、解離イオン C_2^+ の運動エネルギー (KE) の平均値の変化を Figure 2 に示す。 $r=1$ ($C_2H_2^{+*} \rightarrow H^0 + C_2^+ + H^0$) の場合に比べて、 $r=2$ ($C_2H_2^{2+*} \rightarrow H^+ + C_2^+ + H^0$) になると、クーロン反発により C_2^+ の KE は大きくなる。しかし、1電子捕獲衝突では、 $r=3$ ($C_2H_2^{3+*} \rightarrow H^+ + C_2^+ + H^+$) になると、クーロンポテンシャルの増大にも関わらず、平均 KE が $r=2$ よりも小さくなっている。これは分子が直線構造を保ったまま解離して、2つの H^+ から受けるクーロン力が相殺されていることを示していると考えられる。一方、1電子損失衝突では $r=3$ で KE が増大している。これは、分子の対称構造が崩れたためと推測される。入射イオンへの電子捕獲過程では、直接的な電離に比べて、誘起される電子励起が低いと考えられる。電子損失衝突における多重電離は、全て直接電離で引き起こされるため、電子捕獲衝突条件に比べて高い内部エネルギー状態の多価分子イオンが生成され、解離前の分子構造変形が誘起されているものと考えられる。

$C_2H_2^{2+*}$ から生成した H^+ と C^+ は同方向および反対方向に放出されていた。電子衝撃における Auger 電子との相関測定[4]では、 H^+ と C^+ が同方向に放出される場合のみが検出されており、高速イオン衝突ではそれとは異なる解離過程が誘起されていることがわかった。発表では、解離片の運動量ベクトル相関などから、 H^+ と C^+ が生成される際の解離ダイナミクスの詳細を議論する。

【参考文献】

- [1] T. Majima *et al.* Phys. Rev. A **90**, 062711 (2014).
- [2] T. Majima *et al.* Int. J. Mass Spectrom., *in press*.
- [3] S. Yoshida *et al.* Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B, *in press*.
- [4] R. Flammini *et al.* Phys. Rev. A **83**, 014501 (2011).

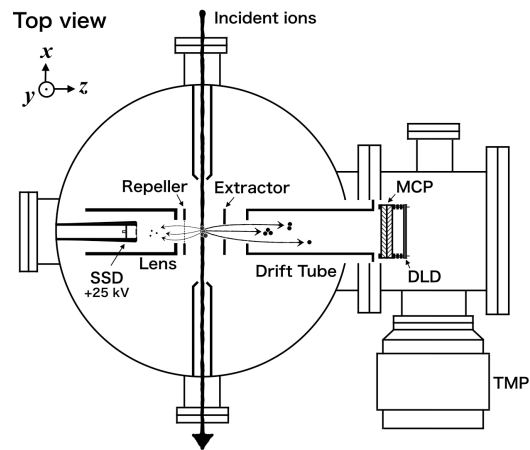


Figure 1 Schematic diagram of the experimental setup.

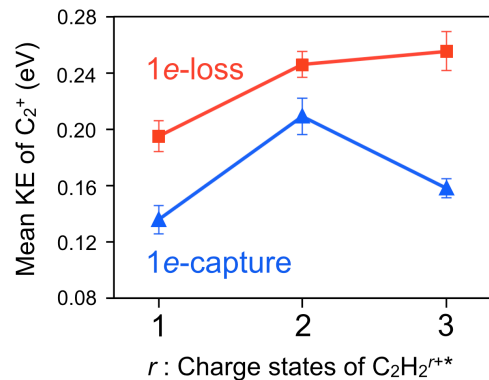


Figure 2 Mean kinetic energies of C_2^+ as a function of the charge states r of the intermediate $C_2H_2^{r+*}$ in 1e-capture and 1e-loss collisions of 0.8 MeV C^+ .