

# 内殻励起により生成されるオージェ終状態のアルゴントライマーからの ICD 電子放出

## ICD Electron Emission from Ar Trimer in Auger Final States Formed through Inner-shell Excitation

森下雄一郎<sup>a</sup>、劉 小井<sup>b</sup>、寺西孝説<sup>b</sup>、為則雄祐<sup>c</sup>、齋藤則生<sup>a</sup>、上田 潔<sup>b</sup>  
Y. Morishita<sup>a</sup>, X.-J. Liu<sup>b</sup>, T. Teranishi<sup>b</sup>, Y. Tamenori<sup>c</sup>, N. Saito<sup>a</sup>, K. Ueda<sup>b</sup>

<sup>a</sup>産業技術総合研究所、<sup>b</sup>東北大学、<sup>c</sup>高輝度光科学センター  
<sup>a</sup>AIST(NMIJ), <sup>b</sup>Tohoku university, <sup>c</sup>JASRI

内殻励起により生成されるオージェ終状態にあるアルゴントライマー ( $\text{Ar}^{2+}\text{-Ar-Ar}$ ) からの原子間クーロン脱励起 (ICD) を二重電子・三重イオン同時計測により特定した。

We have successfully identified the Interatomic Coulombic Decay (ICD) for Ar trimer in the Auger final states produced after the inner-shell ionization by measuring two electrons and three ions in coincidence.

### 背景

通常オージェ電子放出が禁止される程度に低い励起状態にある原子は光を放射してより低いエネルギー状態へ緩和していく。しかし、この励起原子の周りに別の原子がある場合は、励起原子の励起エネルギーにより周りの原子がイオン化され数 eV 程度の低エネルギーの電子が放出される現象が最近解明されつつある。これは原子間クーロン脱励起 (Interatomic Coulombic Decay: ICD) と呼ばれている。ICD で放出されるような低エネルギー電子は DNA などの非常に大きな分子を破壊できるということが近年確認されており、ナノレベル集合体の研究においても重要であると考えられる。そこで今回は単純な系としてアルゴントライマーを標的に ICD 電子を観測する実験を行った。

### 実験

実験は、BL27SU において、3次元運動量同時計測装置を用いて行った。蓄積リングの運転モードは 6/42-filling+35 bunches を利用した。クラスタービームは 1.25 気圧のアルゴンガスを 140 K まで冷却し、そのガスを 50  $\mu\text{m}$  のピンホールから噴射することにより、トライマーが効率よく取り出せる条件にセットした。そして Ar2p (~250 eV) 電子をイオン化できる軟 X 線ビーム (262 eV) と交差させた。内殻イオン化により放出される全ての電子・イオン (オージェ電子は除く) は電場によりそれぞれ反対方向に加速し、二次元検出器によりそれらの飛行時間 (TOF) と検出位置を同時測定した [1]。イオン・電子はそれぞれ最大 6 個まで同時計測できる。そして、これらの測定から、それぞれの荷電粒子のイオン化

時点での三次元運動量を決定した。

## 結果

図1はアルゴンクラスターを内殻イオン化したとき、一番目と二番目に検出されたアルゴンイオンの飛行時間の相関関係である。検出される全てのイオンの三次元運動量之和が0になるようなイベントのみを選択してある。二つの弓状に見えている分布はダイマーが (a): $\text{Ar}^+ + \text{Ar}^+$ , (b) $\text{Ar}^{2+} + \text{Ar}^+$  ペアに解離していることを示す [2]。一方、それらに挟まれた領域に島状に分布しているのはトライマーの  $\text{Ar}^+ + \text{Ar}^+ + \text{Ar}^+$  への解離である。

トライマーを検出したとき同時に検出される電子のエネルギースペクトルは図2(a)のようになる。10 eV 以上にある二つのピークは放射光により放出される光電子である。次に電子のエネルギーと解離イオンの総運動エネルギー (KER:kinetic energy release) の相関関係を図2(b)に示す。光電子はクラスターが解離する前に放出されるので両者には特に相関

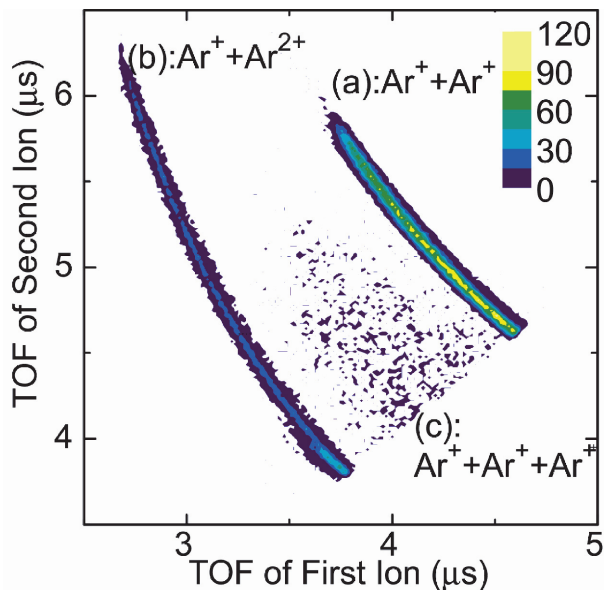


FIG. 1 Time-of-flights (TOFs) of ions from dimers and trimers. The two curved lines result from dissociation of dimers (a and b) and the thin island between them from trimers (c).

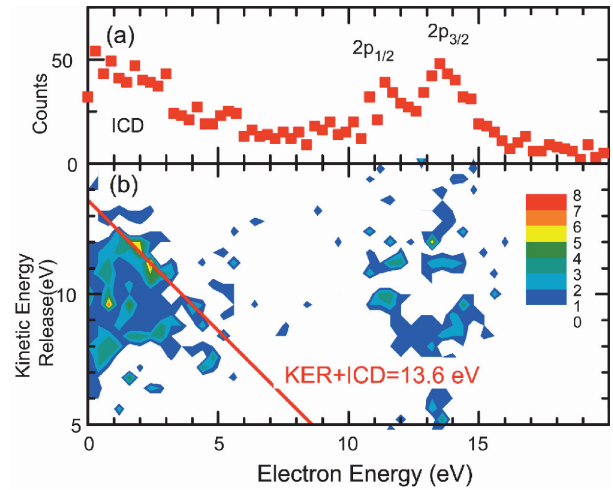


FIG. 2 (a) Energy spectrum of electrons in coincidence with triple  $\text{Ar}^+$  ions. (b) Correlation between electron energy and kinetic energy release by  $\text{Ar}^+$  ions.

がないのに対し、2-5 eV 程度あたりでは、電子のエネルギーと KER の和が 13.6 eV 程度になるところで強く観測されていることが分かる。これは、アルゴンダイマーの実験でも同様のことが見出されており [2]、ICD 電子が解離の途中段階で放出されていることを示す。最後にどのような経路を経て ICD 電子が放出されるかを考える。終状態として3つの基底状態の  $\text{Ar}^+(3p^{-1})$ :15.76 eV を考えると、解離後の全エネルギーは  $3 \times 15.76 + 13.6(\text{ICD} + \text{KER}) = 60.88 \text{ eV}$  となる。一方、内殻励起から作られるオージェ終状態に、61.25 eV のエネルギー (エネルギーは中性の Ar 原子が基準) を持つ  $\text{Ar}-\text{Ar}-\text{Ar}^{2+}(3s^{-1}3p^{-1}:^1P)$  が存在する。したがって、アルゴントライマーは、 $\text{Ar}-\text{Ar}-\text{Ar}^{2+}(3s^{-1}3p^{-1}:^1P)$  の状態を経て解離していることがわかった。

## 参考文献

- [1] Y. Morishita et al., *Radiat. Phys. Chem.* **75**, 1977 (2006).
- [2] Y. Morishita et al., *Phys. Rev. Lett.* **96**, 243402 (2006).