

[H27-4]

高速クラスターイオン照射で誘起される電子励起の理論的研究 Theoretical Study of Electron Excitation induced by Swift Cluster Ions

金子 敏明^{#)}

Toshiaki Kaneko

Department of Applied Physics, Okayama University of Science

Abstract

As one of theoretical research on electron excitation processes of solid and gaseous targets induced by swift carbon cluster ions, we have performed on creation and destruction of a cluster in collision with rare gas target.

Keyword: cluster ion, production, destruction, ionization

1. はじめに

高速クラスターイオンが固体薄膜を通過する際には、単一イオンでは見られない「クラスター効果」が報告されている。すなわち、おなじ速度の単一イオンに比べて、薄膜透過後のイオンの平均電荷の減少^[1,2]、物質へのエネルギー付与の非線形性^[1,3,4]、1粒子あたりの生成二次電子収率の強い抑制^[5-7]、などが知られている。当初は少数粒子系のクラスターイオンから始まったクラスター研究は、最近では、 C_{60} などの多粒子系クラスターをもちいた研究にも発展している。これは、いずれも複数粒子が同時に入射したことによる時空間相関のためである。今年度は、高速クラスターイオンと希ガスとの衝突の素過程を考察し、クラスターの分解と生成の断面積における「クラスター効果」を検討した。

2. 理論モデルと結果

タンデム加速器で正のクラスターイオンを高い効率で生成するには、荷電変換領域における気体との衝突で起きる電荷変換過程だけでなく分解過程も考慮しなければならない。その上で、クラスターイオンを効率よく生成するには荷電変換気体の種類と圧力を最適化する必要がある。この問題に関する実験データは齋藤・鳴海グループで収集され検討されている。われわれは、この問題を理論面から考えることで協力している。レート方程式から出発していくつかの近似を行うと1価の正のクラスターの収率は、生成断面積と分解断面積の2つの量で支配される。われわれは1原子あたり MeV 領域の運動エネルギー、および、 $-1 \sim +1$ 価の荷電状態に注目しているので電子損失に比べて電子捕獲過程は無視した。加えて、炭素クラスターは孤立した ± 1 価の炭素イオンあるいは電的に中性の炭素原子から構成されると見なす。これによって、より大きなサイズのクラスターにも理論が適用できるし、クラスターの空間構造依存性も議論できるというメリットがある。そこで、クラスター内の1個の粒子と希ガスとの2体衝突を仮定して、衝突径数の関数として炭素原子(ま

たはイオン)の1s,2s,2p状態にある殻電子がクーロン場の連続状態に電離される確率をボルン近似で評価した。各原子あるいはイオンの電子状態はハートリー・フォック波動関数で得られている。ここでは、クラスターの電荷が+2価以上になった場合を分解するものとみなした。クラスターの電荷は独立電子モデルで評価する。そこで、クラスターの配向を固定して、一回の希ガスとの衝突によって各粒子から電離する電子個数の確率を求め、それを配向平均すればクラスター全体に対する電子の電離断面積および分解断面積が求められる。これらをもとにして荷電変換ガス Ne の圧力に対する+1価の炭素クラスター C_2 の割合を示したものが下図である。横軸が約20のときに最大となるが、これは斉藤ら^[8]の測定値と概ね一致し、曲線の概形も概ね一致することが判明した。断面積のクラスター効果は解析中である。

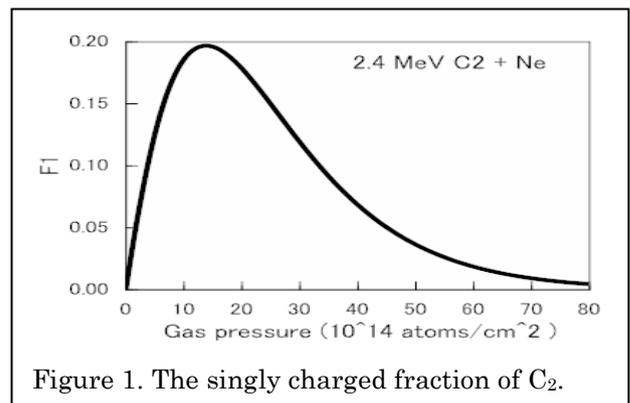


Figure 1. The singly charged fraction of C_2 .

参考文献

- [1] T. Kaneko, Phys. Rev. A 66, 052901 (2002).
- [2] A. Chiba et al., Phys. Rev. A 76, 063201(2007).
- [3] S. Tomita et al., Phys. Res. A 82, 044901 (2010).
- [4] T. Kaneko, Phys. Rev. A 86, 012901 (2012).
- [5] H. Kudo et al., Jpn. J. Appl. Phys. 45, L565 (2006).
- [6] S. Tomita et al., Phys. Rev. A 73, 060910(R) (2006).
- [7] T. Kaneko et al., J. Phys. Soc. Jpn. 75, 034717 (2006).
- [8] Y. Saitoh et al., private communication