

[21008]

## 高速クラスターイオン照射誘起 2 次粒子放出現象の解明と

### その物質分析への応用に関する研究

#### Investigation of secondary ion emission phenomena induced by energetic cluster ion impacts and its application to material analysis

平田浩一

K. Hirata

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

#### Abstract

Total yields of secondary ions (SIs) emitted by  $C_{60}^+$  impacts on a solid target were compared using event-by-event ion counting data. The comparison revealed that, in the case of a  $HfO_2/Si$  target, the total positive SI (P-SI) yield for  $C_{60}^+$  in sub-MeV range (0.36 MeV) is enhanced by a factor of ca. 2 in comparison with that in several tens of keV (0.06 MeV).

Keyword: cluster, secondary ions

#### 1. はじめに

クラスターイオンの物質への照射では、入射原子当たり生じる照射による効果が単原子イオン照射と異なる「クラスターイオン照射効果」が観測されている。2次イオン放出に関しては、単原子イオン照射と比べて、同一元素、同一速度のクラスターイオン照射の方が入射原子1個当たり放出される2次イオン量が多くなることが報告されている[1]。高い2次イオン放出強度は、それをを用いた分析に有利である。我々は、クラスター数が比較的大きく安定である  $C_{60}$  を sub-MeV~数 MeV 領域まで加速し、1次イオンとして用いた2次イオン質量分析装置を開発し[2, 3]、分析に有用な2次イオン強度が高くなること等を報告してきた。今回は、イオン照射イベント毎の2次イオン放出数を計数し、 $C_{60}^+$ を照射した際の正2次イオン相対強度比較を行った結果を報告する。

#### 2. 実験

TIARA の 400 kV イオン注入器で加速した  $C_{60}^+$  ビームをパルス化後、薄膜試料に照射し、各入射パルス当たり検出された2次イオンを飛行時間型分析器の末端に設置された MCP 検出器により検出した。照射は、1パルスに含まれる最大イオン数を極力1とするために、パルス化前の直流ビーム電流を数十 fA 程度と低く設定した[4]。また、計測では、2次イオンが検出された  $i$  番目のパルスでの照射イベントにおける2次イオン検出個数  $p_i$  を集計し、2次イオンが検出された総照射イベント数  $N_1$  と2次イオン検出総数  $N_2$  を得た。

#### 3. 結果と考察

各イベントでの放出個数  $n$ 、平均放出個数  $\mu$ 、放出個数分布  $P_n(\mu)$ 、検出効率  $\gamma$ 、個数分布解析範囲の上限  $n_{max}$  を用いて、計算上の  $N_2/N_1$  は、

$$\frac{N_2}{N_1} = \sum_{n=1}^{n_{max}} \frac{P_n(\mu)}{1 - P_0(\mu)} \frac{n\gamma}{1 - (1 - \gamma)^n} \quad (1)$$

と表すことができ[5, 6]、sub-MeV  $C_{60}$  の場合、 $P_n(\mu)$  はポアソン分布で近似できる[7]。なお、 $N_2/N_1$  が大きくなると、(1)式の右辺は  $\mu\gamma$  に近付き、 $N_2/N_1$  が 2.6 程度では、(1)式の右辺と  $\mu\gamma$  の差は数%程度であり、 $\mu \approx N_2 / \gamma N_1$  とすることができる。本実験では、2次イオンが放出するイベントは、1個のイオン衝突により誘起されていると考えられるため、 $\mu$  は、1個のイオン衝突により放出される2次イオン数となる。一連の実験で、 $\gamma$  は一定とみなすことができるため、各条件での  $N_2/N_1$  値から、 $\mu$  の比較を行うことができる。図1は、0.06 MeV、0.12 MeV、0.36 MeV  $C_{60}$  イオンを、 $HfO_2/Si$  薄膜試料に照射した際の正2次イオンの  $\mu$  の相対値 (0.06 MeV の値を基準) である。なお、各  $N_2/N_1$  値は 2.6 より大きい。 $C_{60}$  イオンの入射エネルギーを増加させると  $\mu$  値は増加することがわかる。

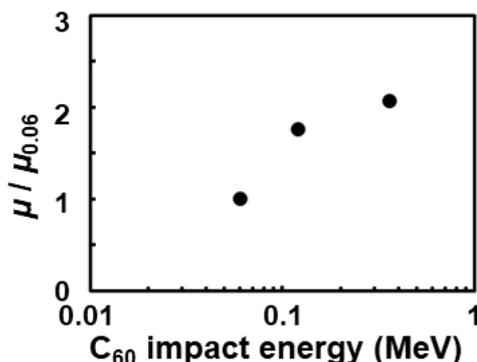


Figure 1 Dependence of relative secondary ion yields for a  $HfO_2/Si$  target on  $C_{60}$  ion impact energy.

#### 参考文献

- [1] K. Hirata *et al.*, Appl. Phys. Lett. 81 (2002) 3669.
- [2] K. Hirata *et al.*, Nucl. Instr. and Meth. B 266 (2008) 2450.
- [3] K. Hirata *et al.*, Rev. Sci. Instrum., 85 (2014) 033107.
- [4] K. Hirata *et al.*, Nucl. Instr. and Meth. B 460 (2019) 161.
- [5] K. Hirata *et al.*, J. Appl. Phys. 127 (2020) 214302.
- [6] K. Hirata *et al.*, Appl. Phys. Express 15 (2022) 046001.
- [7] K. Hirata *et al.*, J. Chem. Phys. 145 (2016) 234311.