

[22004]

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 positive secondary ions induced by sub-MeV C_{60} ion impacts on an inorganic nano thin film on Si substrate were measured by event-by-event ion counting method. The yield was enhanced by a factor of ca. 2 by increasing the impact energy from 0.06 MeV to 0.36 MeV, and a further energy increase resulted in the saturation of the enhancement.

Keyword: cluster, secondary ions

1. はじめに

固体試料へのイオン照射による 2 次イオン放出に関して、単原子イオン照射と比較して、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 個当たりに放出される 2 次イオン数が増えることが報告されている[1]。我々は、この高い 2 次イオン放出強度という特性を利用して、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の開発を行い[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 次イオン放出数を飛行時間 (TOF) 型分析器により計数する方法により、数十 keV~1 MeV 程度までの範囲の 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} イオンビームをパルス化後、薄膜試料に照射し、TOF 型分析器の末端に設置された MCP 検出器により、入射パルス毎の 2 次イオン数を計数した。計数では、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。また、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]。

3. 結果と考察

照射イオン 1 個当たりの 2 次イオン放出個数 n の平均: μ 、 n の分布: $P_n(\mu)$ 、個数分布解析範囲の上限 n_{max} 、検出効率: γ を用いて、計算上の N_2/N_1 は、

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

で表すことができる[5]。なお、sub-MeV C_{60} の場合、 $P_n(\mu)$ はポアソン分布で近似できる[6]。ここで、 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%程度であるため、2.6 程度以上では、 $\mu \doteq N_2/\gamma N_1$ と近似できる。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、 μ 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。また、一連の実験で、 γ 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、入射イオン 1 個当たりの μ を比較することができる。

図 1 は、0.06 MeV~1.08 MeV の C_{60} イオンを HfO_2 (数 nm 厚) / Si 薄膜試料に照射した際の正 2 次イオンの μ 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 より大きかった。入射エネルギーを増加させると、 μ 値の増加が次第に緩やかになった。 C_{60} 照射の場合、入射エネルギーを上げると、ナノサイズクレータ状の照射による影響範囲が深くなることが報告されている。 HfO_2 の膜厚は数 nm 程度であることから、照射エネルギーが高くなると次第に HfO_2 膜の部分の下部にある Si 基板からの 2 次イオン放出の影響が強くなり、 μ 値のエネルギー依存性が、 HfO_2 膜と Si 基板でのエネルギー依存性の加重平均的な振舞いになることが一因と考えられる。

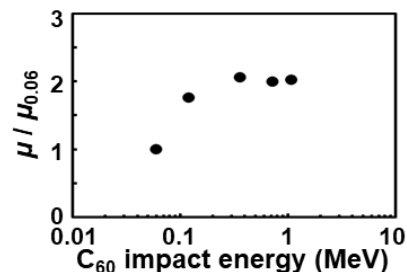


Figure 1 Dependence of relative secondary ion yields for a HfO_2/SI target on C_{60} ion impact energy.

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.*, J. Chem. Phys. 145 (2016) 234311.