

[2023202001]

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

Emission yields of 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. Impact energy dependence of the yields mirrors the depths of origin of the emitted secondary ions and geometrical characteristics of the regions affected by the impacts.

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、0.1 MeV~1 MeV 程度での C_{60} を照射した際に放出される 2 次イオンについて、その由来深さの 2 次イオン種・入射エネルギー依存性について報告する。

2. 実験

TIARA の 400 kV イオン注入器で加速した 0.12 MeV~0.72 MeV の C_{60} イオンビームをパルス化後、 HfO_2 (数 nm 厚) / Si 薄膜試料に照射し、TOF 型質量分析器の末端に設置された MCP 検出器により、入射パルスイベント毎の正 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照射イベント毎に質量分析結果を集計し、2 次イオンが検出された総照射イベント数 N_1 と $m/z = i$ を持つ 2 次イオン検出総数 N_i を取得し、この値からイベント当たりに検出された各 m/z の 2 次イオン数 (N_i/N_1) を得た。また、1 パルスに含まれる最大イオン数を極力 1 とすることで、入射イオンインパクト当たりの 2 次イオン数情報を得るために、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

図 1 に、 $m/z=28$ と 147 の 2 次イオンの N_i/N_1 値について、0.12 MeV での値に対する各入射エネルギーでの値の比 (R_i) を示す。 $m/z=28$ の主な 2 次イオン種は Si^+ 、 $m/z=147$ の主な 2 次イオン種は、 $Si_2C_5H_{15}O^+$ と考えられる。 R_{28} と R_{147} を比較すると、両者は異なったエネルギー依存性を示すことがわかる。すなわ

ち、 R_{28} は入射エネルギーが高くなるに従い増加するが、 R_{147} は、ほとんど影響を受けない。このような R_i 値の入射エネルギー依存性の違いは、由来深さが異なる 2 次イオン種が存在し、 C_{60} 照射により放出する 2 次イオンの由来深さ分布が、入射エネルギーにより変化することで定性的に説明できる。

本実験のエネルギー範囲での固体試料への C_{60} 照射では、照射された試料表面にクレータが形成される。その最表面での照射影響範囲はエネルギーにほとんど依存しないが、クレータの深さは入射エネルギーが増加するに従い深くなる[5]。 $m/z=147$ の主な 2 次イオン種である $Si_2C_5H_{15}O^+$ は、試料最表面に付着したシロキサン系コンタミに由来すると考えられる。上記のように、最表面での照射影響範囲はエネルギーにほとんど依存しないため、 R_{147} は入射エネルギーの影響が弱かったと考えられる。一方、 $m/z=28$ の主な 2 次イオン種として考えられる Si^+ は、 HfO_2 薄膜層のさらに下部に存在する Si 基板に由来すると考えられ、由来深さが深い。入射エネルギーが増加するに従って照射影響領域が深くなり、深い位置からの 2 次イオン放出の影響が強くなったため、 R_{28} も増加したと考えられる。

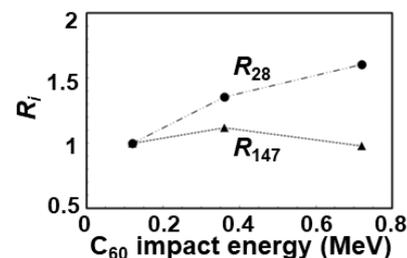


Figure 1 Dependence of R_i ($i = 28$ and 147) for a HfO_2/Si target on C_{60} ion impact energy.

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] T. Kitayama *et al.*, Nucl. Instr. and Meth. B 356 (2015) 22.