平成 27 年度原子力機構施設利用共同研究
連携重点研究　成果報告書

[H27-04]

高速 C60 イオン衝突現象の解明と高感度微小領域分析への応用

Secondary ion mass analysis using sub MeV C_{60} ion impacts

平田浩一 [A#], 山田圭介 [B], 千葉敦也 [B], 鳴海一雅 [B], 斎藤勇一 [B]
K. Hirata [A], K. Yamada [B], A. Chiba [B], K. Narumi [B], Y. Saitoh [B]
[A] National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
[B] Japan Atomic Energy Agency

Abstract

Time-of-flight (TOF) secondary ion mass spectrometry with energetic C_{60} primary ions is powerful analytical method to surface characterization as it gives chemical-specific information with high sensitivity. We report comparison of secondary ion mass spectra from a hafnium oxide film for sub MeV C_{60} and monoatomic Ar primary ions.

Keyword: cluster, secondary ions

1. はじめに

クラスターイオンの物質への衝突では、クラスターイオン照射効果（入射原子当たりの照射による効果が単原子イオン照射の場合と異なる）が、2次粒子放出量、入射イオンの単位長さ当たりのエネルギー損失量の他、照射された材料の特性値等でも観測されている。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個当たりに放出される2次イオン量が多くなることが報告されている[1]。これは、2次イオン質量分析において、クラスターイオンを1次イオンとして利用する際の有利な点の一つである。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、C_{60} イオンをナノ薄膜試料へ照射した際に放出される2次イオン強度を、単原子 Ar 照射による2次イオン強度と比較した。

2. 実験

本実験では、TIARA の 400 kV イオン注入器で生成した Ar イオンおよび C_{60}イオンを加速・パルス化後、ナノ薄膜[HfO_2/Si 薄膜試料（HfO_2 膜厚：約 3 nm）]試料に照射し、試料表面から放出された2次イオンを飛行時間型質量分析器により分析した。

3. 結果と考察

図1に、HfO_2/Si 薄膜試料に、1次イオンとして 120 keV C_{60}^+、30 keV C_{60}^+、120 keV Ar^+を照射した際の正2次イオンスペクトルを示す。縦軸の2次イオン強度は、各スペクトルでのピーク強度を全カウント数で規格化した相対強度で表示している。$Hf_nO_m^+$（n=1,2・・・、m=0,1,2・・・）は、HfO_2 薄膜由来の 2 次イオン種である。120 keV C_{60}^+照射では、$Hf_nO_m^+$ピークの相対強度が高いことがわかる。図には示していないが、n が 10 以上の $Hf_nO_m^+$ピークも観測され、相対的に多くの Hf 原子が2次イオンとして放出されている。C_{60}^+では、入射エネルギーを 30 keV に下げると、観測された $Hf_nO_m^+$ピークの n は 10 以下となり、その相対強度は低下した。また、120 keV Ar^+では、n=3 以上の明瞭な $Hf_nO_m^+$のピークは観測されなかった。

このように、今回実験を行った入射エネルギー範囲では、単原子 Ar イオンや低エネルギーC_{60}と比較して、入射エネルギーが高い sub MeV C_{60}を1次イオンとして用いる方が HfO_2 ナノ薄膜分析に有用な $Hf_nO_m^+$2次イオンを高い強度で得ることができる。Sub MeV C_{60}1次イオンを用いた2次イオン質量分析は高感度分析に有効であることがわかる。今後、入射イオン当たりの2次イオン強度測定に基づいたピーク強度比較を行う予定である。多くの試料において sub MeV C_{60} が1インパクトで生成する2次イオン強度は、十数個～数十個と非常に高く、入射イオン当たりの2次イオン強度で比較すると、sub MeV C_{60}1次イオンの2次イオン強度増大効果は、さらに明瞭になると考えられる。

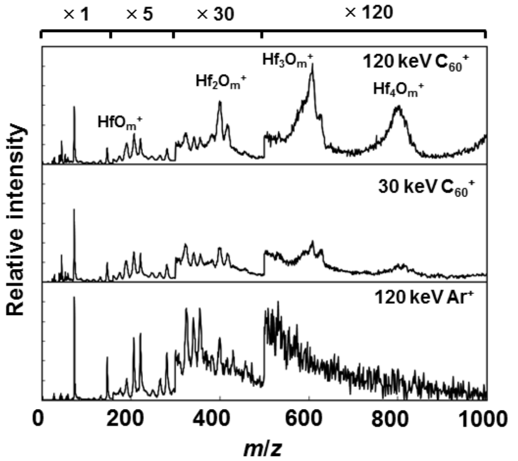

図1　1次イオンとして 120 keV C_{60}^+、30 keV C_{60}^+、120 keV Ar^+を用いた場合の HfO_2/Si 試料の正2次イオンスペクトル

参考文献

[1] K. Hirata, Y. Saitoh, K. Narumi, and Y. Kobayashi, Appl. Phys. Lett., 81 (2002) 3669.
[2] K. Hirata, Y. Saitoh, A.Chiba, M. Adachi, K. Yamada, and K. Narumi, Nucl. Instr. and Meth. B 266 (2008) 2450.
[3] K. Hirata, Y. Saitoh, A. Chiba, K. Yamada, S. Matoba, and K. Narumi, Rev. Sci. Instrum., **85** (2014) 033107.

#k.hirata@aist.go.jp