

[H27-4]

## 高速クラスターイオンビームと有機材料との相互作用を利用したナノ材料の 創成とイオントラックの可視化

### Development of Nanomaterials and Visualization of Ion Tracks through Interactions between Cluster Ion Beams and Organic Materials

櫻井庸明<sup>A)</sup>, 堀尾明史<sup>A)</sup>, 香山一登<sup>A)</sup>, 千葉敦也<sup>B)</sup>, 斎藤勇一<sup>B)</sup>, 鳴海一雅<sup>B)</sup>, 関 修平<sup>A)</sup>  
Tsuneaki Sakurai<sup>A)</sup>, Akifumi Horio<sup>A)</sup>, Atsuya Chiba<sup>B)</sup>, Yuichi Saito,<sup>B)</sup> Kazumasa Narumi,<sup>B)</sup> Shu Seki<sup>A)</sup>  
<sup>A)</sup> Graduate School of Engineering, Kyoto University  
<sup>B)</sup> Takasaki Radiation Institute

#### Abstract

This template was prepared in order to describe a paper in Japanese. If you write texts in this .docx file directly, you can complete a paper easily by MS-Word. When you change the completed paper into PDF, please be sure to embed all the fonts. The number of pages of a paper must be 3 pages and more.

**Keyword:** cluster ions, soft material, nanostructure

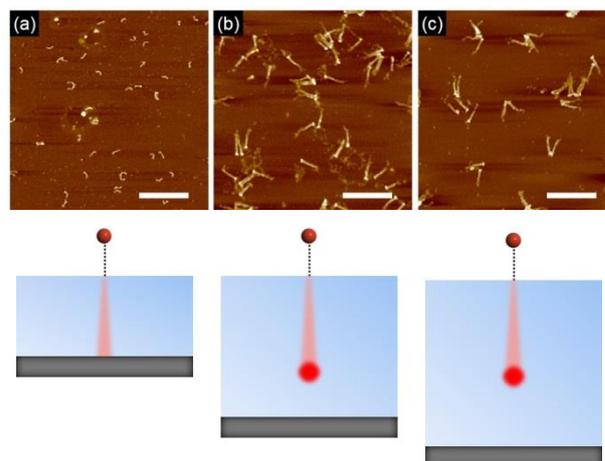
#### 1. イオントラックの可視化

##### 1.1 クラスターイオンと有機物との相互作用

本サブグループでは、種々のクラスターイオン、特に  $C_{60}$  クラスターイオンと有機材料との相互作用の可視化を目指し、研究を遂行した。過去の関連研究として、 $C_{60}$  クラスターイオンのイオントラックに関する研究として、 $C_{60}$  薄膜に  $C_{60}$  クラスターイオンを照射し、その照射痕を透過型電子顕微鏡で観察した報告例がある<sup>[1]</sup>。一方、我々の研究グループは、高エネルギー粒子を有機薄膜に照射し、その飛跡に沿った化学反応（架橋/重合反応）を誘起し、イオンビーム照射後に未反応部位を有機溶媒で選択的に除去することで、飛跡を反映したナノワイヤを支持基板上に単離する手法を確立している<sup>[2,3]</sup>。今回の実験では、 $C_{60}$  クラスターイオンと有機材料の相互作用の可視化およびそれを用いて得られるナノ構造体の観察に関する検討を進めた。

##### 1.2 照射実験と結果

高崎量子応用研究所の加速器を用い、6.0 MeV の  $C_{60}^+$  イオンを調整した。単一トラックの観察のため、照射密度は  $1.0 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$  に抑え、 $C_{60}^+$  イオンの飛跡が重なることを防いだ。用いた有機化合物は 4,4',4''-Tri-9-carbazolyltriphenylamine (TCTA) であり、東京化工工業株式会社より購入し、シリコン基板上にスピンコート法により薄膜試料として準備した。照射実験の主要な結果について **Figure 1** に示す。**Figure 1** は、TCTA の膜厚を 125、290、1200 nm と変えて 6.0 MeV  $C_{60}^+$  イオンを照射し、シクロヘキサンで現像した後の AFM 像である。膜厚 125 nm の試料からは径の均一なナノワイヤが得られた (**Figure 1 a**)。それに対し、膜厚が 290、1200 nm のサンプルからはおたまじゃくし型のナノワイヤが得られた



**Figure 1.** (top) AFM topographic images of nanowires from thin films of TCTA. The film thickness is 125, 290 and 1200 nm for (a–c) respectively. The films were irradiated with 6.0 MeV  $C_{60}^+$  ions at the fluence of  $1 \times 10^9 \text{ ions cm}^{-2}$ , and developed with cyclohexane. Scale bars represent 500 nm. (bottom) Schematic illustrations of possible ion tracks of 6.0 MeV  $C_{60}^+$  cluster ion in TCTA film on Si substrate. The thickness of TCTA is 125, 290, 1200 nm (left to right), respectively.

(**Figure 1b, c**)。さらに、得られたナノワイヤの平均長は、膜厚 125、290、1200 nm のものでそれぞれ  $74 \pm 7.5$ 、 $201 \pm 17$ 、 $194 \pm 23 \text{ nm}$  となった。つまり薄い膜 (125 nm) の場合は、照射された 6.0 MeV  $C_{60}^+$  イオンはシリコン基板まで到達しているが、厚い膜 (290、1200 nm) の場合、基板まで到達せず TCTA 膜中で停止している、ということである。以上より

[H27-4]

6.0 MeV  $C_{60}^+$  クラスタイオンの TCTA 中のイオントラックは **Figure 1** 下のようにワイヤの頭部が基板側を向いた配向状態をとると考えられる。この理由として以下の仮説を考えた。 $C_{60}^+$  クラスタを構成する原子は入射直後に電離によって分離され固体中を進むにつれて徐々に平衡電荷へと近づく。この状態で個々の炭素イオンはクーロン反発力を受け、個々のイオン間距離は大きくなっていく。しかし、入射直後の材料深さ方向の運動エネルギーがそのクーロン力よりもずっと大きいため、ビームはわずかに広がるのみであると考えられる。次第にエネルギーを失い失速したイオンは、ついにクーロン力により動径方向に広がりを持つ。このクーロン爆発によりおたまじゃくし型ナノワイヤの頭部が形成されていることが考えられる。

参考文献

- [1] P. Kumar, D. K. Avasthi, J. Ghatak, P. V. Satyam, R. Prakash, A. Kumar, *Appl. Surface Sci.*, **2014**, *313*, 102–106.
- [2] Y. Takeshita, T. Sakurai, A. Asano, K. Takano, M. Omichi, M. Sugimoto, S. Seki, *Adv. Mater. Lett.*, **2015**, *6*, 99–103.
- [3] A. Horio, T. Sakurai, G.B.V.S. Lakshmi, D. K. Avasthi, M. Sugimoto, T. Yamaki, S. Seki, “Formation of Nanowires by Single Particle-Triggered Linear Polymerization of Solid-State Aromatic Molecules” *Nanoscale*, **2016**, *8*, 14925–14931 (2016).