

[H27-04]

キャピラリーによる C60 イオンビーム制御法の開発と局所物質改質・分析への応用

Studies of Local Surface Modifications by Fast Cluster-Ion Irradiation

土田秀次^{#A)}, 新田紀子^{A)}, 富田成夫^{B)}, 笹公和^{A)}, 平田浩一^{B)},
柴田裕実^{A)}, 斎藤勇一^{B)}, 鳴海一雅^{A)}, 千葉敦也^{B)}, 山田圭介^{A)},
Hidetsugu Tsuchida^{#A)}, Noriko Nitta^{B)}, Shigeo Tomita^{C)}, Kimikazu Sasa^{D)}, Koichi Hirata^{E)},
Hiromi Shibata^{F)}, Yuichi Saitoh^{G)}, Kazumasa Narumi^{G)}, Atsuya Chiba^{G)}, Keisuke Yamada^{G)}

^{A)} Quantum Science and Engineering Center, Kyoto University

^{B)} School of Environmental Science and Engineering, Kochi University of Technology

^{C)} Institute of Applied Physics, University of Tsukuba

^{D)} Tandem Accelerator Complex, University of Tsukuba

^{E)} National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

^{F)} The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University

^{G)} Department of Advanced Radiation Technology, TARRI, JAEA

Abstract

We study formation of porous structure at a surface of compound semiconductor by fast cluster irradiation. Cluster size dependence of the structure formation is investigated for GaSb targets irradiated with small copper clusters Cu_n^+ ($n=1-3$). Different structures in the diameter were observed: the diameter become large with increasing cluster size at the same fluence. This implies that the number of defects produced is not proportional to the cluster size. In the C_{60}^+ irradiation experiments, the structure formation was not observed, suggesting that defect formation is reduced compared with that for single atomic projectiles (C ions).

Keyword: fast cluster irradiation, surface modification, porous structure

1. はじめに

高速クラスタービームの特異な照射効果（分子スケールのナノ空間における集団的照射効果）を用いた表面構造改質に関する研究を行った。本研究で注目する表面改質現象は、半導体（Ge, GaSb, InSb）表面上に形成された多孔質構造であり、この現象はこれまで高速イオン照射法（9 MeV 重水素）による研究が成されている[1]。この構造の形成メカニズムとして、表面における照射欠陥の空孔集合体（ナノボイド）の成長が深く関与していることが知られている[2]。

本研究では、高速クラスターの局所照射効果により、単原子イオンビーム照射法では実現できない新たな表面構造改質を見出すことを目的とした。その第一段階として、2 種類のクラスタービーム（ C_{60}^+ と Cu_n^+ ($n=1-3$)) を用いて、多孔質構造が形成されるクラスタービームの照射量の最適条件について調べた。

2. 実験方法

実験は、高崎研 TIARA のイオン注入加速器装置と京大の加速器施設で行った。高崎研 TIARA では、 C_{60}^+ ビームを用いた照射実験を行った。 C_{60}^+ ビームの入射エネルギーは、120 keV である。京大の加速器施設では、 Cu_n^+ ($n=1-3$) ビームの照射実験を行った。2.0 MV タンデム型ペレトロン加速器を用い、Cs スパッタ型イオン源によりクラスタービームを得た。 Cu_n^+ ($n=1-3$) ビームの入射エネルギーは 400-keV/atoms で

ある。半導体試料には、GaSb を用いた。多孔質構造形成に必要なビーム照射量は、過去に報告された低速重イオン照射実験の結果をもとに（試料表面深さ 20 nm の領域に入射イオン 1 個あたり 1600 個の欠陥生成）、欠陥量を TRIM code を用いて算出した。本実験では $10^{15} - 10^{16}$ ions/cm² の範囲とした。照射した試料の表面観察は、高知工科大の FE-SEM を用いて行った。

3. 結果

Cu_n^+ ($n=1-3$) ビームの照射実験で得られた結果を図 1 に示す。まず、同一照射量（ 1×10^{15} ions/cm²）におけるクラスターサイズ依存性に注目すると、クラスターサイズの増加に伴う構造の径が太く成長し

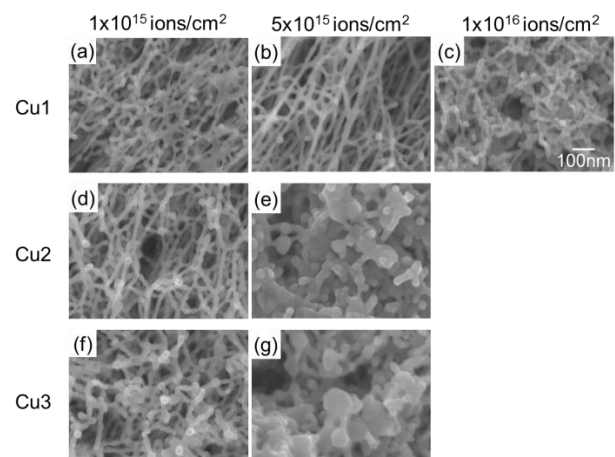


Figure 1. 400-keV Cu クラスター照射による GaSb 表面に形成した構造の SEM 像。

[H27-04]

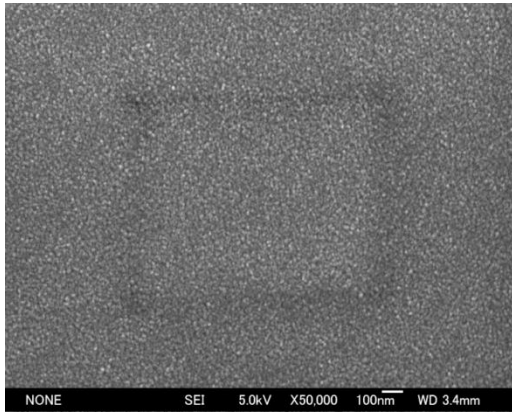


Figure 2. 120-keV C₆₀ ビームをフルエンス 2.5×10^{12} ions/cm² で GaSb に照射した際の SEM 像。

ていることが分かる。この構造変化の依存性は、照射量が増えると (5×10^{15} ions/cm² の場合)、2 と 3 量体のクラスターイオン照射の結果に差異が見られなくなる。次に、クラスターの構成原子数を考慮した照射量、すなわち、照射量をフルエンス×構成原子数として比較した場合でも、クラスター照射の方が構造の径が太く成長している。例えば、Cu⁺で 1×10^{16} ions/cm² 照射した場合と Cu₃⁺で 1×10^{15} ions/cm² 照射との SEM 像を比較すると、後者のクラスター照射の方が、構造の径が成長している。これらの結果は、クラスターの局所照射効果、すなわち、欠陥生成数がクラスターサイズに比例していない事によるものと考えられる。

次に、C₆₀⁺ビームの照射実験で得られた結果を図 2 に示す。照射量 (フルエンス) は、 2.5×10^{12} ions/cm² であり、C₆₀ の構成原子数を考慮すると、すなわち、先の照射量を C 原子が 60 個と考えると 1.5×10^{14} ions/cm² となる。図の四角い部分は SEM 観察時に生じたもので、C₆₀ ビームは全領域に照射されている。TRIM code による計算結果から、この照射量において、多孔質構造が観測されると期待したが、多孔質構造は未だ形成されていない。仮に照射量を約 2-3 倍増やすと、構造形成が見られると期待される。このように、多孔質構造の形成に必要な照射量のしきい値を定量できれば、C₆₀ 照射による欠陥生成数が、単原子 (C イオン) 照射に比べてどの程度異なるかを明らかにすることができると考えられる。

今後の課題として、C₆₀ ビーム照射において構造形成に必要な照射量のしきい値を決定し、その結果が単原子イオンの評価に用いる TRIM code から算出される結果とどの程度異なるかを定量評価し、クラスターの集団的照射効果を明らかにする。

参考文献

- [1] D. Kleitman and H. J. Yearian, Phys. Rev. 108 (1957) 901.
- [2] N. Nitta et al., J. Appl. Phys., 92 (2002) 1799-1802.