

[H30-4]

クラスターイオンビームを照射した Si と Ge の表面形状評価

Evaluation of shape and feature on Si and Ge surfaces irradiated with cluster ion beam

新田紀子^{#,A)}, 大石倫也^{A)}, 土田秀次^{B)}, 富田成夫^{C)}, 笹 公和^{D)}, 平田浩一^{E)},
柴田裕実^{F)}, 平野貴美^{G)}, 山田圭介^{G)}, 千葉敦也^{G)}, 斎藤勇一^{G)}, 鳴海一雅^{G)}, 星野 靖^{H)}

Noriko Nitta^{#,A)}, Yoshiaki Murao^{A)}, Hidetsugu Tsuchida^{B)}, Shigeo Tomita^{C)}, Kimikazu Sasa^{D)},
Koichi Hirata^{E)}, Hiromi Shibata^{F)}, Yoshimi Hirano^{G)}, Keisuke Yamada^{G)}, Atsuya Chiba^{G)},
Yuichi Saitoh^{G)}, Kazumasa Narumi^{G)}, Yasushi Hoshino^{H)}

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

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

^{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)} National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology (QST)

^{H)} Department of Mathematics and Physics, Kanagawa University

Abstract

The cluster ion beam irradiation induces formation of high-density point defects under cascade damage and high-efficiency spurring. Si and Ge surfaces were irradiated with C₆₀ beams with two different energies of 540-keV and 6-MeV by changing angle. The elevation structure was formed on the surface of Si and Ge at 0° irradiation. String and ripple structures were formed by tiled irradiation. It is assumed that formation of those structures is influenced by cluster ion beam irradiation.

Keyword: C₆₀ ion irradiation, surface structure, Si, Ge

1. はじめに

イオンビームを材料に照射すると、カスケード損傷によって、点欠陥（格子間原子及び原子空孔）が固体中に多量に導入される。通常、それらの点欠陥は、再結合によって合体消滅する。しかしながら、半導体材料である Ge^[1]、GadSb^[2]、InSb^[2]にイオンビーム照射を行うと、合体消滅から逃れた点欠陥が拡散及び集合し、ナノからサブマイクロサイズのポーラス構造がイオンレンジの深さに形成される。これまでに、同じ半導体材料である Si にイオンビームを照射しても、点欠陥の集合によるポーラス構造の形成は確認されていない。Si は広く電子デバイスに利用されているため、ポーラス構造の形成が可能になれば、その応用の幅を広げることができる。本研究では、単原子イオンビームより、単位面積及び時間において、高効率点欠陥生成が可能なクラスターイオンビームを用い、Si にポーラス構造の形成を試みた。そのとき、同族元素である Ge に Si と同じ条件でイオンビーム照射を行い、形成される構造の比較を行った。加えて、スパッタリングが顕著に現れる斜入射イオンビーム照射を行い、それによってできる構造を確認した。これまでに単原子イオンビーム斜入射照射では、Si にスパッタリングによってリッ

プル構造の形成が報告されている^[3]。本研究ではクラスターイオンビームを斜入射照射することで、形成される構造を確かめた。

2. 実験方法

鏡面研磨された Si(001)、Ge(001)単結晶基板にイオン注入装置 (NH40SR 日新電機, 量研機構) 及びタンデム加速器 (9SDH-2 米国 NEC, 量研機構) を用いてクラスターイオンビームを照射した。入射イオンは 540 keV C₆₀²⁺と 6 MeV C₆₀⁺、照射量は 1×10^{14} – 1×10^{15} cm⁻²である。照射角度は 0°、30°、60°の三方向から行った。そのときの照射温度は室温である。構造の評価は、照射したままの表面を走査型電子顕微鏡 (SEM: Scanning Electron Microscope, HITACHI SU8020, 高知工大) によって行った。断面は透過型電子顕微鏡 (TEM: Transmission Electron Microscope, JEOL 2100F, 高知工大) を用いて明視野像 (BF: Bright Field image) 及び高分解能像 (HR: High Resolution image) を撮影した。TEM 試料は、集束イオンビーム (FIB: Focused Ion Beam, FEI Quanta 3D 200i, 高知工大) によって、電子線透過可能な薄膜をマイクロサンプリングによって作製した。

[H30-4]

3. 結果と考察

図 1 は 540 keV C_{60}^{2+} を 0° 、 60° で照射した Si、Ge を、観察角度 0° で見た表面の SEM 像である。クラスターイオンビームを照射すると Si と Ge どちらにも、凹凸構造、ひも状構造、リップル構造の 3 種類の構造形成が確認された。照射角度 0° では、Si と Ge で類似した構造が形成されていた。単原子イオンビーム照射では、Si での構造形成は確認されていないが、クラスターイオンビームでは観察された。これは、クラスターイオンビーム照射による生成点欠陥の高密度化によって形成された可能性があるが、現在のところ断定はできておらず、形成メカニズムについては、今後の検討課題である。 60° 照射では、ひも状構造とリップル構造が確認された。これは、斜入射イオンビーム照射によるスパッタリングの結果できたものと考えられる。照射量が少ないとひも状構造、多くなるとリップル構造が形成されている。ひも状構造とリップル構造の単位長さあたりの数を比較すると、ほぼ等しいことから、ひも状構造はリップル構造を形成する過程で得られる構造であることが考えられる。

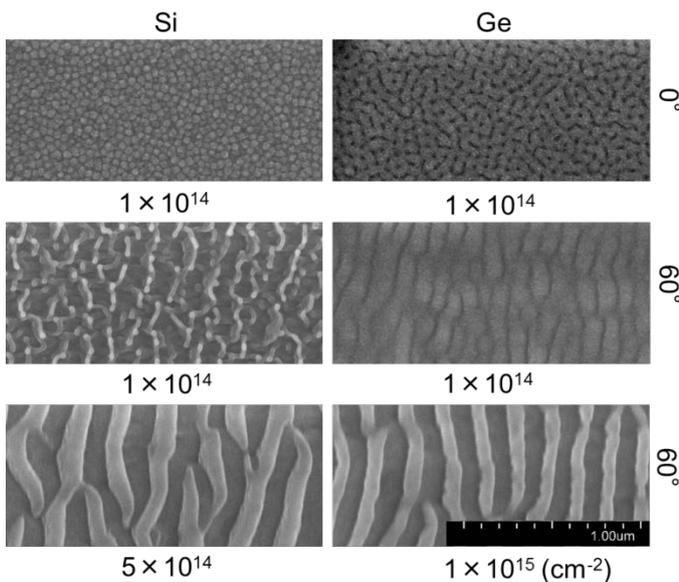


Figure 1. Surface SEM images of Si and Ge irradiated with 540-keV C_{60}^{2+} beams.

図 2 は 540 keV C_{60}^{2+} を 60° 、照射量 5×10^{14} ions cm^{-2} で照射した Si の断面 TEM(BF)像と高分解能像(HR)及びそれをフーリエ変換したものである。領域 1 と 2 をそれぞれ拡大したものが、下図に対応している。リップル構造の下部は、格子像が観察されたが、上部では、観察されなかった。またそのフーリエ変換像からも、上部は結晶性が乱れていることがわかる。これより、リップル構造は、イオンビームによるスパッタリングによる再堆積によって形成されたと考えられる。今後、単原子イオンビームでの斜入射照射を行い、リップル構造形成におけるクラスタービ

ームの影響を調べたい。

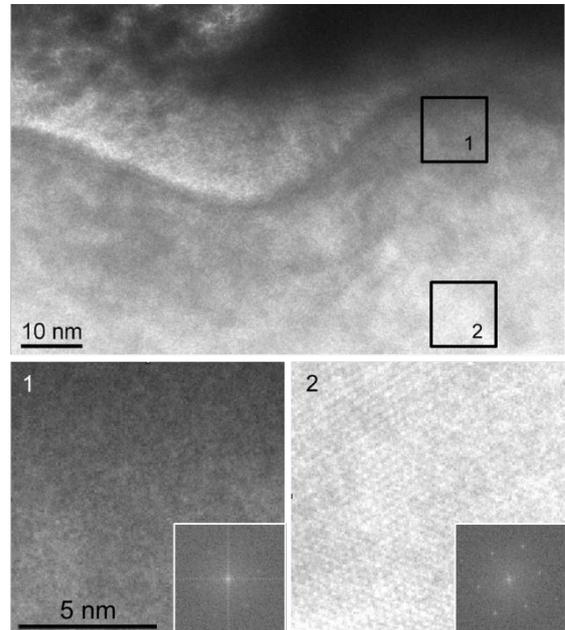


Figure 2. Cross-sectional TEM images (BF) and high resolution images (HR) of Si irradiated with 540-keV C_{60}^{2+} beams at 60° to a dose of 5×10^{14} ions cm^{-2} .

参考文献

- [1] I. H. Wilson, J. Appl. Phys. 53, 1698-1705 (1982).
- [2] D. Kleitman and H. J. Yearian, Phys. Rev. 108, 901 (1957).
- [3] B. Ziberi, F. Frost, T. Hoche, and B. Rauschenbach, Phys Rev. B, 72, 235310 (2005).