

平成 30 年 6 月 22 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H04157

研究課題名(和文) 巨大複合クラスターによる高速・無損傷表面処理加工技術の開発

研究課題名(英文) Development of surface process technology with high speed and no damage by huge composite cluster

研究代表者

瀬木 利夫 (Seki, Toshio)

京都大学・工学研究科・講師

研究者番号：00402975

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,800,000円

研究成果の概要(和文)：京都大学発の独創技術であるガスクラスター生成技術を活用し、材料ガスへのHe混合による巨大クラスター初期速度制御等による巨大複合クラスターイオンの形成と加速制御技術の開発を行った。これにより0.1～0.4eV/atom程度の範囲でエネルギー制御された巨大複合クラスタービーム形成技術の開発に成功した。

研究成果の概要(英文)：We have used the gas cluster generation technology originating from Kyoto University to develop the formation of huge complex cluster ions and acceleration control technology by controlling the initial cluster velocity of large clusters by mixing He to material gas. As a result, we succeeded in developing a huge composite cluster beam forming technology with energy control in the range of 0.1 to 0.4 eV / atom.

研究分野：イオンビーム工学

キーワード：クラスター イオンビーム 中性ビーム 反応性エッチング ナノプロセス

1. 研究開始当初の背景

1980年代以降、クラスター形成技術の発展に伴い、原子が数個から数万個集まった塊であるクラスターを真空中に取り出してイオン化し、ビームとして用いることで加工や分析に利用することが可能となった。従来の単原子イオンビームが元素種とエネルギーというパラメータで制御されていたのに対し、クラスターイオンビームはクラスターサイズという新たなパラメータを追加することで、従来の単原子イオンビームでは不可能であったプロセスの実現を可能とした¹⁾。このクラスターイオンビームの研究においてサイズが 10,000 以上の巨大クラスターを用いると 1eV/atom 以下の低エネルギー照射が可能となり、クラスターの基板への衝突の際には基板表面に損傷を与えることなくクラスターが全体として持つ keV オーダーのエネルギーを基板に付与できることが分子動力学シミュレーションにより明らかとなっている²⁾。この特異な照射効果(無損傷・高エネルギー付与効果)を利用すると高速・無損傷表面処理加工が可能であると考えられ、実際に 0.1eV/atom 程度のエネルギーを持つ巨大クラスタービームを生成し、フォトレジストパターン付ウエハーに付着したナノメータサイズのパーティクル除去をフォトレジストパターンへの損傷なしに行うことに成功している他、高反応性ガスクラスターをやはり 0.1eV/atom 程度のエネルギーで照射することでフォトレジストをマスクとして 50 μ m/min 以上の高速異方性 Si エッチングに成功している^{3,4)}。これらの結果は、極低エネルギーの巨大クラスタービームを用いることでフォトレジストのようにエッチングや損傷を受けやすい有機材料でも損傷を与えることなくマスクとして利用でき、表面加工や表面洗浄を実現できることを示している。分子動力学シミュレーションから巨大クラスターの持つ無損傷・高エネルギー付与効果はクラスターのエネルギーに大きく依存することが分かっている。しかし、上述の実験はノズルから真空中への高圧ガスジェット噴流を用いて生成した際に中性クラスターが持つ初期エネルギーが約 0.1eV/atom であることを利用したプロセスであり、照射エネルギーを制御したものではない。0.1eV/atom のエネルギーは、加工や表面処理を行うには低すぎると考えられ、パーティクル除去においても除去率がまだ低く、エネルギーの増大による除去率の向上が期待されている。また、高反応性クラスターによるエッチングにおいても、Si に対して非常に高い反応性のある ClF₃ ガスを用いた系でのみ高速エッチングが可能であり、他の材料系ではエッチングが進まないことからエネルギーの増大は必要であると考えられる。

(参考文献)

- 1) “ Nano-processing with gas cluster ion

beams ”, T. Seki, Surface and Coatings Technology 203 (17-18) (2009, Jun) 2446-2451

- 2) “ Study of Cluster-size Effect on Damage Formation ”, Takaaki Aoki, Toshio Seki, Atsuko Nakai, Jiro Matsuo and Gikan H. Takaoka, Proc. 17th Int ' l Conf. on Application of Accelerators in Research and Industry (AIP CP680) (2003) 741-744
- 3) “ ガスクラスタービームを利用した微小パーティクル除去技術の開発 ”, 土橋和也, 井内健介, 斉藤美佐子, 瀬木利夫, 青木学聡, 松尾二郎, 第 59 回応用物理学関係連合講演会 講演予稿集 16a-A5-7
- 4) “ Anisotropic Etching Using Reactive Cluster Beams ”, K. Koike, Y. Yoshino, T. Senoo, T. Seki, S. Ninomiya, T. Aoki and J. Matsuo, Applied Physics Express, Vol.3, No.12 (2010) art. no.126501

2. 研究の目的

巨大複合クラスターによる高速・無損傷表面処理加工技術の開発は、サイズ 10,000 原子以上の巨大複合クラスターを 1eV/atom 以下の極低エネルギーで衝突したときの特異な照射効果(無損傷・高エネルギー付与効果)を利用して高速・無損傷表面処理加工技術を開発することを目的とする。無損傷・高エネルギー付与効果はクラスターの持つエネルギーに大きく依存するため、京都大学発の独創技術であるガスクラスター生成技術を活用し、材料ガスへの He 混合による巨大クラスター初期速度制等による巨大複合クラスターイオンの形成と加速制御を行う。これにより 0.1 ~ 1eV/atom 程度の範囲でエネルギー制御された巨大複合クラスタービーム形成技術の開発を行い、高速・無損傷表面処理加工技術を開発する。

3. 研究の方法

巨大ガスクラスターはノズルから真空中への高圧ガスジェット噴流を用いて生成される。分子線ビーム形成においてノズルに Ar と He の混合ガスを供給すると Ar が加速され、質量が小さく断熱膨張後の速度の速い He の速度に近づくことが知られている。従って巨大クラスター生成においても He をソースガスに混合することでクラスター速度を増大できると考えられる。そこで He 混合によるクラスター加速効果を調べ、クラスター速度制御を試みた。クラスターの加速効果は He の混合比やノズル形状に依存すると考えられるため、クラスター速度の He 混合比依存性やノズル形状依存性を計測した。この際、生成されるクラスターは中性であり、イオンの速度計測技術を用いることができないが、図1のような中性クラスターの速度計測システムを当研究室にて開発して計測した。

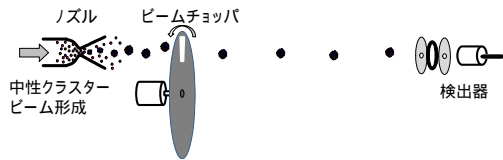


図1 中性クラスターの速度計測システム

4. 研究成果

構築した中性クラスター速度計測システムを用い、材料ガスに Ar 及び CO₂ を用いた時の He 混合によるクラスター加速効果を調べた結果を図2に示す。Ar 及び CO₂ ともに He を混合することで2倍以上の速度にクラスターを加速可能であることが分かり、0.1~0.4eV/atom 程度の範囲でエネルギー制御可能であることを示した。また、OpenFoamを用いたノズル内ガス流体シミュレーションを行い、Ar-He 混合ガス導入時のノズル出口における流速を計算したところ、測定されたクラスター速度と一致し、本シミュレーションが中性クラスター速度評価に有用であることも示した。

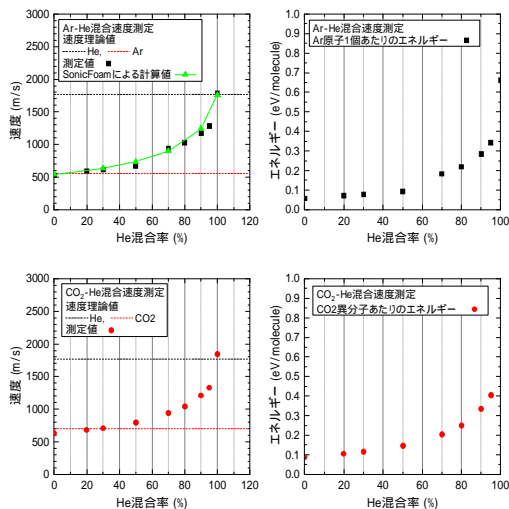


図2 Ar 及び CO₂ を用いた時の He 混合によるクラスター加速効果

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 2件)

Toshio Seki, Hiroki Yamamoto, Takahiro Kozawa, Tadashi Shoji, Kunihiko Koike, Takaaki Aoki and Jiro Matsuo, Angled etching of Si by ClF₃-Ar gas cluster injection, Japanese Journal of Applied Physics, 査読有, Vol.56, 2017, 06HB02 DOI: 10.7567/JJAP.56.06HB02

Toshio Seki, Hiroki Yamamoto, Takahiro

Kozawa, Kunihiko Koike, Takaaki Aoki, and Jiro Matsuo, Fabrication of a Si lever structure made by double-angled etching with reactive gas cluster injection, Applied Physics Letters, 査読有, Vol.110, 2017, 182105 doi: 10.1063/1.4982970

[学会発表](計 11件)

T. Seki, Y. Yoshino, T. Senoo, K. Koike, T. Aoki and J. Matsuo, Reactive etching with ClF₃-Ar neutral cluster beam, The 37th International Symposium on Dry Process(DPS2015), Awaji Yumebutai International Conference Center, Awajisland Japan, 2015.11.5

T. Seki, H. Yamamoto, T. Kozawa, T. Shoji, K. Koike, T. Aoki and J. Matsuo, Oblique pattern etching with ClF₃-Ar neutral cluster beam, The 38th International Symposium on Dry Process, Hokkaido University, Sapporo, Hokkaido, Japan 2016/11/21

H. Yamamoto, T. Seki, J. Matsuo, K. Koike and T. Kozawa, High Aspect Ratio Patterning by Using ClF₃-Ar Neutral Cluster Etching, The 38th International Symposium on Dry Process, Hokkaido University, Sapporo, Hokkaido, Japan 2016/11/21

T. Seki, H. Yamamoto, T. Kozawa, T. Shoji, K. Koike, T. Aoki and J. Matsuo, Angled Etching by ClF₃-Ar Gas Cluster Injection, The 15th International Conference on Advanced Materials (IUMRS-ICAM 2017), Kyoto University, Kyoto, Japan, 2017.8.28

T. Seki, H. Yamamoto, T. Kozawa, T. Shoji, K. Koike, T. Aoki and J. Matsuo, Fabrication of 3D structure by double-angled etching with reactive gas cluster injection, The 39th International Symposium on Dry Process(DPS2017), Tokyo Tech Front (Kuramae Kaikan), Tokyo Institute of Technology, 2017.11.16

瀬木 利夫、山本 洋揮、古澤 孝弘、吉野 裕、妹尾 武彦、小池 国彦、青木 学聡、松尾 二郎、ClF₃ 中性クラスタービームによる斜めエッチング、第76回応用物理学会秋季学術講演会、名古屋国際会議場、愛知、2015/9/14

瀬木利夫、荘所正、小池国彦、山本洋揮、古澤孝弘、青木 学聡、松尾 二郎、 ClF_3 中性クラスタービームによる斜めピラー構造の作成、第 77 回応用物理学会秋季学術講演会、朱鷺メッセ、新潟、2016/9/13

瀬木利夫、荘所正、小池国彦、山本洋揮、古澤孝弘、青木学聡、松尾二郎、 ClF_3 -Ar ガスクラスターインジェクションによる Si の斜めエッチング、応用物理学会 シリコンテクノロジー分科会 第 199 回研究集会、東京大学、東京、2017/2/17

瀬木利夫、荘所正、小池国彦、山本洋揮、古澤孝弘、青木学聡、松尾 二郎、 ClF_3 中性クラスター斜め 2 方向照射によるレバー構造の作成、第 64 回応用物理学会春季学術講演会、パシフィコ横浜、横浜、2017/3/16

瀬木利夫、荘所正、小池国彦、青木 学聡、松尾 二郎、 ClF_3 中性クラスターエッチング表面の凹凸構造、第 78 回応用物理学会秋季学術講演会、福岡国際会議場(福岡)、2017/9/6

瀬木利夫、山本洋揮、古澤孝弘、荘所正、小池国彦、青木学聡、松尾 二郎、反応性ガスクラスターインジェクションを用いた斜め 2 方向エッチングによる 3D 構造の作成、第 65 回応用物理学会春季学術講演会、早稲田大学西早稲田キャンパス、2018/3/20

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

瀬木 利夫(SEKI Toshio)
京都大学・大学院工学研究科・講師
研究者番号： 00402975

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

なし