

Министерство образования Омской области
Омский государственный технический университет
Нефтехимический институт
Федеральный исследовательский центр «Институт катализа им. Г. К. Борескова
Сибирского отделения Российской академии наук»
Центр новых химических технологий

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО И НЕФТЕГАЗОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Материалы
14-й Международной научно-технической конференции
(Россия, Омск, 12–15 марта 2024 года)

При поддержке ПАО «Газпром нефть»
АО «Газпромнефть – ОНПЗ»
ООО «Газпромнефть – ЦР»

Омск
Издательство ОмГТУ
2024

УДК 66
ББК 35.11
Т38

Редакционная коллегия:

В. А. Лихолобов, чл.-кор. РАН, профессор, д.х.н.;
А. В. Мышлявцев, профессор, д.х.н.;
В. Ф. Фефелов, доцент, к.х.н.;
Н. Н. Леонтьева, доцент, к.х.н.;
А. С. Белый, профессор, д.х.н.;
Е. Н. Еремин, профессор, д.т.н.;
Л. Г. Варепко, профессор, д.т.н.;
А. С. Фисюк, профессор, д.х.н.;
В. А. Ковалев, профессор, д.э.н.;
П. С. Ложников, профессор, д.т.н.;
В. И. Карагусов, профессор, д.т.н.;
Н. А. Райковский, доцент, к.т.н.

Т38 **Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства** : материалы 14-й Междунар. науч.-техн. конф. (Россия, Омск, 12–15 марта 2024 г.) / М-во образования Ом. обл., Ом. гос. техн. ун-т, Нефтехим. ин-т; Федер. исслед. центр «Ин-т катализа им. Г. К. Борескова Сиб. отд-ние Рос. акад. н-к», Центр нов. хим. технологий ; редкол.: В. А. Лихолобов [и др.]. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2024. – 280 с. : ил.

ISBN 978-5-8149-3768-1

Представлены статьи участников конференции, в которых отражены актуальные направления развития техники и технологии нефтехимической и нефтегазовой отраслей.

Издание адресовано широкому кругу читателей: ученым, представителям организаций, студентам высших учебных заведений, учащимся старших классов школ, а также всем, кого интересуют проблемы и вопросы, связанные с нефтегазовой и нефтехимической промышленностью.

УДК 66
ББК 35.11

При поддержке ПАО «Газпром нефть»
АО «Газпромнефть – ОНПЗ»
ООО «Газпромнефть – ЦР»

ISBN 978-5-8149-3768-1

© ОмГТУ, 2024

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КЛАСТЕРНЫХ ИОНОВ АРГОНА С ПОВЕРХНОСТЬЮ КРЕМНИЯ И ГЕРМАНИЯ ПОД УГЛОМ 60°

Николаев И. В., Лапега А. В., Коробейщиков Н. Г.

*Новосибирский государственный университет (НГУ),
Российская Федерация, г. Новосибирск, ул. Пирогова, д. 1*

Ранее было показано, что обработка поверхности твердых тел кластерными ионами может быть использована для анализа и модификации поверхности [1–3]. В отличие от мономерных ионов, отдельный атом кластера обладает низкой энергией порядка единиц-десятка электронвольт, которая эквивалентна энергии связи атомов мишени [4].

Самоорганизующиеся наноструктуры, формирующиеся при обработке поверхности материалов под наклонными углами, представляют широкий интерес для различных практических приложений [5, 6]. Известно, что наноструктуры можно формировать на поверхности различных материалов с помощью пучков ионов-мономеров [7, 8] и кластерных ионов [6, 9].

Ранее в работе [9] нами были проведены исследования взаимодействия кластерных ионов аргона (размером 800 атомов при кинетической энергии кластеров 10 кэВ) с поверхностью оптического монокристалла титанил-фосфата калия (КТiOPO₄, КТР). Угол падения кластерных ионов аргона варьировался от 0° до 70°. Максимальная доза облучения составляла $3,7 \times 10^{15}$ ионов/см². Было показано, что наиболее упорядоченные наноструктуры формируются при обработке под углами 45°–60°, что соответствует результатам работ [5–8]. Была продемонстрирована нелинейная зависимость скорости травления от угла падения кластерных ионов, согласно которой скорость травления возрастает в 2,5 раза при 45°.

В данной работе проведено экспериментальное исследование взаимодействия кластерных ионов аргона с размером $N = 1000$ атомов и полной кинетической энергией $E = 10$ кэВ с поверхностью монокристаллических кремния и германия под углом падения 60°. Данный режим обработки выбран в связи с тем, что угол падения 60° и удельная энергия кластеров E/N близкая к 10 эВ/атом являются наиболее оптимальными параметрами для эффективного формирования наноструктур на поверхности различных материалов [5–8]. Формирование ионно-кластерного пучка аргона и обработка проводились на экспериментальном стенде КЛИУС, принципиальная схема с описанием которого приведена в работе [10]. Область обработки поверхности кремния составляла 4,6×5 мм, а германия – 4,6×7 мм. Благодаря маске была сформирована граница области обработки, высота которой являлась глубиной травления. Зная параметры материалов, дозу облучения и глубину травления был рассчитан коэффициент распыления Si и Ge в данном режиме обработки. С помощью атомно-силового микроскопа NTEGRA Prima HD (NT-MDT, РФ) получены АСМ-изображения поверхности Si и Ge после ионно-кластерной обработки. Используя функции спектральной плотности мощности (СПМ) шероховатости показаны особенности изменения топографии поверхности кремния и германия по сравнению с исходной поверхностью и в сравнении между различными материалами. Оценены и сравнены параметры наноструктур (амплитуда и период), сформированные на поверхности Si и Ge.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 23-79-10061).

Библиографический список

1. V.N. Popok, I. Barke, E.E.B. Campbell, K.-H. Meiwes-Broer, Cluster–surface interaction: From soft landing to implantation // Surf. Sci. Rep. – 2011. – Vol. 66. – P. 347–377.
2. I. Yamada, J. Matsuo, N. Toyoda, T. Aoki, T. Seki, Progress and applications of cluster ion beam technology // Curr. Opin. Solid State Mater. Sci. – 2015 – Vol. 19. – P. 12-18.

3. A.E. Ieshkin, A.B. Tolstoguzov, N.G. Korobeishchikov, V.O. Pelenovich, V.S. Chernysh, Gas-dynamic sources of cluster ions for solving fundamental and applied problems // *Phys. Usp.* – 2022. – Vol. 65. – P. 677–705.
4. L.P. Allen, D.B. Fenner, C. Santeufemio, W. Brooks, J. Hautala and Y. Shao, Nano-scale surface texturing by impact of accelerated condensed-gas nanoparticles // *Proc. SPIE 4806, Complex Mediums III: Beyond Linear Isotropic Dielectrics.* – 2002. – Vol. 4806. – P. 225–232.
5. J.V. Barth, G. Costantini, K. Kern, Engineering atomic and molecular nanostructures at surfaces // *Nature.* – 2005. – Vol. 437. – P. 671–679.
6. N. Toyoda, B. Tilakaratne, I. Saalem, W.-K. Chu, Cluster beams, nano-ripples, and bio applications // *Appl. Phys. Rev.* – 2019. – Vol. 6. – 020901.
7. F. Frost, B. Ziberi, T. Höche, B. Rauschenbach, The shape and ordering of self-organized nanostructures by ion sputtering // *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B.* – 2004. – Vol. 216. – P. 9–19.
8. B. Ziberi, F. Frost, T. Höche, B. Rauschenbach, Ion-induced self-organized dot and ripple patterns on Si surfaces // *Vacuum.* – 2006. – Vol. 81. – P. 155–159.
9. I.V. Nikolaev, N.G. Korobeishchikov, M.A. Roenko, Formation of nanostructures on the surface of KTP single crystals by argon cluster ion beam // *J. Phys.: Conf. Ser.* – 2019. – Vol. 1382. – 012162.
10. N.G. Korobeishchikov, I.V. Nikolaev, M.A. Roenko, Effect of argon cluster ion beam on fused silica surface morphology // *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B.* – 2019. – Vol. 438. – P. 1–5.