

УДК 666.22-022.532:533.9

**АТОМНО-СИЛОВАЯ МИКРОСКОПИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
РОСТА ИГОЛЬЧАТЫХ НАНОСТРУКТУР НА ПОВЕРХНОСТИ СТЕКЛА К-208**

Ху Чуаньнин, Г.А. Воронова

Научный руководитель: доцент, к.х.н. Г.А. Воронова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [huchuanning626@gmail.com](mailto:huchuanning626@gmail.com)

**ATOMIC FORCE MICROSCOPY FOR NEEDLE NANOSTRUCTURES CHEMICAL PROCESSES  
GROWTH INVESTIGATION ON THE SURFACE OF K-208 GLASS**

Hu Chuanning, G.A. Voronova

Scientific Supervisor: PhD G.A. Voronova

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: [huchuanning626@gmail.com](mailto:huchuanning626@gmail.com)

***Abstract.** The formation of mechanical stresses in the irradiated K-208 glass leads to the rearrangement of the glass microstructure. It is important to develop approaches to testing the surface morphology of K-208 glass during its testing on experimental stands. In this work, we propose and test a method for testing the surface morphology of K-208 glass using atomic force microscopy (AFM). Processing and analysis of the obtained AFM images remains an important task and many factors may affect the quality. These factors include: the state of the microscope probe, scanning time, scanning conditions, etc. To obtain a high-quality image we apply different methods and processing programs.*

**Введение.** Силикатные стекла часто используют в условиях высоких радиационных нагрузок, обусловленных воздействием потоков заряженных частиц. Примером служат защитные стекла К-208 в космических аппаратах [1]. Стекла К-208 используются в качестве защитных покрытий элементов солнечных батарей и подвергаются воздействию неэкранированного космического излучения.

При облучении заряженными частицами диэлектриков с низкой проводимостью в них формируются области с высокой плотностью заряда, поле которого может привести к развитию электростатического разряда между областью локализации заряда и поверхностью диэлектрика [1]. С начала 1970-х годов и до настоящего времени на спутниках системы Глонасс, выведенных на наклонную орбиту, фиксируются различные сбои в работе солнечных батарей. Одно из проявлений взаимодействия космического аппарата с окружающей магнитосферной плазмой заключается в накоплении на его поверхности электрического заряда, что может приводить к электростатическим разрядам (ЭСР), способным повреждать и разрушать защитные стекла К-208 солнечных батарей. О возникновении ЭСР на поверхности стекол при облучении электронами накоплен достаточно большой объем экспериментальных данных [1-4], однако данные о возможных механизмах процессов отсутствуют. Для имитации реальной работы космического корабля в космосе необходимо провести испытания на лабораторных установках, имитирующих факторы космического пространства. Для этого планируется

использовать установку «Прогноз-3» [5] для проведения экспериментов в поле электронного излучения, энергетическое распределение которого близко к спектру магнитосферной плазмы.

В настоящей работе опробован метод тестирования морфологии поверхности стекла К-208 методом атомно-силовой микроскопии (АСМ). Важной задачей остается обработка и анализ полученных АСМ изображений, зачастую сделать хорошее изображение не получается, так как влияют множество факторов, которые снижают качество. К таким факторам относятся: состояние зонда микроскопа, время сканирования, условия сканирования, различного рода помехи и т.д. Для получения качественного изображения прибегают к методам и различным программам обработки.

**Экспериментальная часть.** Пластины стекла К-208 получают путем вытягивания через валки из расплава слитков [5]. Из-за низкой прочности пластин процент брака при производстве (разрезке, наклейке на поверхность изделия) составляет до 90 %, что приводит, соответственно, к возрастанию стоимости работы. К тому же, в результате получения на поверхности стекла образуются дефекты, которые при эксплуатации стекла могут являться центрами разрядных процессов, приводящих к нарушению целостности стекла и, соответственно, солнечных батарей. Обнаружить такие дефекты и проследить их изменения под действием электронного излучения может метод АСМ. В работе использован атомно-силовой микроскоп INTEGRA-AURA (NT-MDT, Россия).

**Результаты.** Изображения были получены в контактном режиме, с использованием зондов NSG01, горизонтальное сканирование с шагом 20 нм, с получением изображения морфологии поверхности и латеральных сил. Для обработки АСМ-изображений использовалось программное обеспечение, входящее в состав микроскопа - Image Analysis, а также приложение Gwyddion. Метод Латеральных Сил (LF) позволяет различать области с различными коэффициентами трения, а также подчеркивать особенности рельефа поверхности. Эти возможности могут быть использованы одновременно с получением рельефа поверхности для более полной характеристики исследуемого образца.

На рис. 1 приведено изображение исходного стекла К-208. Среднеквадратичная шероховатость ( $S_q$ ) 2,827 нм, средняя шероховатость ( $S_a$ ) 1,989 нм. На поверхности обнаружены дефекты высотой до 15 нм (рис.1).

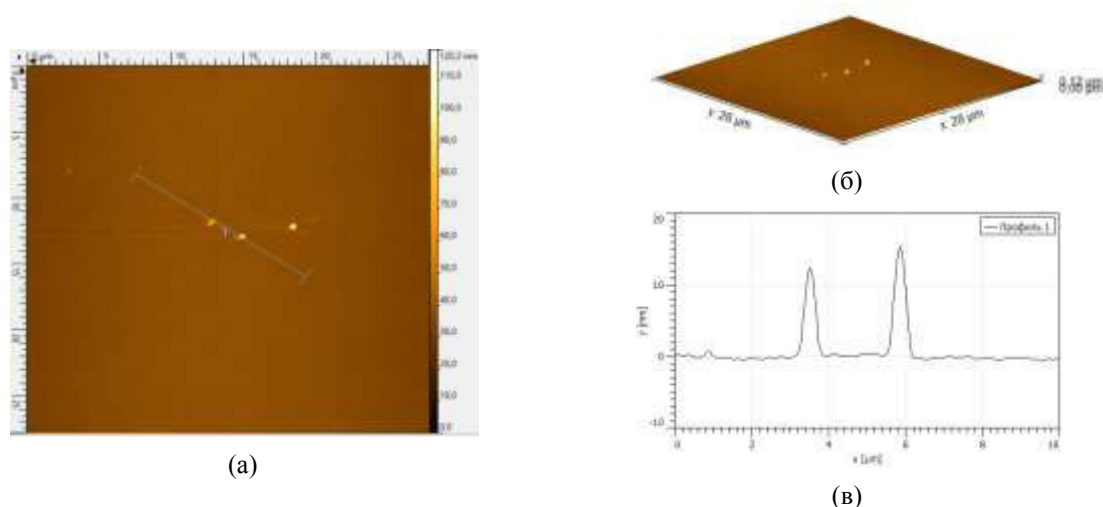


Рис. 1. АСМ изображение поверхности стекла К-208 (а), 3D изображение (б) и профиль по выделенной линии (в)

На рис. 2 приведено изображение поверхности, полученное в режиме LF, что дало возможность полнее охарактеризовать поверхность. Обнаружены полосы, оставшиеся, вероятно, при прокатке стекла в момент получения.

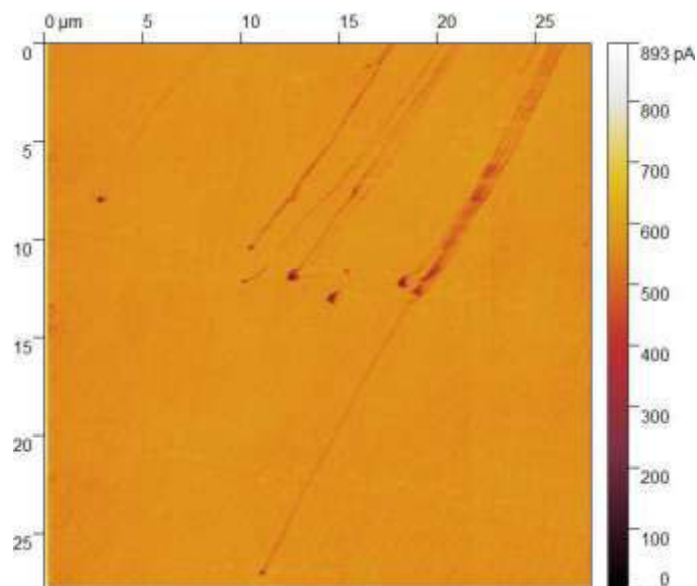


Рис. 2. Изображение, полученное в режиме LF

**Заключение.** Подобран оптимальный режим сканирования образцов стекла К-208 методом АСМ: комбинация контактного способа и режима латеральных сил. В дальнейшем планируется облучение поверхности электронным излучением.

*В работе применялось оборудование ЦКП НОИЦ НМНТ ТПУ, поддержанного проектом Минобрнауки России № 075-15-2021-710.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хасаншин Р.Х., Новиков Л.С., Применко Д.А. Формирование микротрещин на поверхности стекла, облученного протонами с энергией 30 кэВ // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования – 2020. – № 9. – Р. 47–54.
2. Евстафьева Е.Н. и др. Некоторые аспекты кинетики зарядки диэлектрических мишеней электронными пучками с энергией 1-50 кэВ // Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2008. – Т. 72. – № 11. – С. 1577-1582.
3. Рау Э.И. и др. Механизмы зарядки диэлектриков при их облучении электронными пучками средних энергий // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50. – № 4. – С. 599-607.
4. Vladimirov A.M., Bezhayev A.Yu., Zykov V.M., Isaychenko V.I., Lukashchuk A.A., Lukonin S.E. Automated test bench for simulation of radiation electrification of spacecraft structural dielectrics // 2017 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. – 2017. – V. 168. – P. 012037.
5. Свечкин В.П. и др. Терморегулирующее покрытие К-208Ср. Технология получения, свойства и их изменения в процессе эксплуатации при воздействии факторов космического пространства // Космическая техника и технологии. – 2017. – № 2(17). – С. 99-107.