

УДК 539.537;629.7.023.222

DOI: 10.17223/00213411/62/3/9

И.А. БОЖКО<sup>1</sup>, Е.В. СУНГАТУЛИНА<sup>1</sup>, М.П. КАЛАШНИКОВ<sup>1</sup>,  
М.В. ФЕДОРИЩЕВА<sup>1</sup>, В.П. СЕРГЕЕВ<sup>1</sup>, Ю.Ф. ХРИСТЕНКО<sup>2</sup>

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ СТЕКОЛ К-208 С ОПТИЧЕСКИ ПРОЗРАЧНЫМИ НАНОКОМПОЗИТНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ Al-Si-N К УДАРНОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ МИКРОЧАСТИЦ\*

Представлены результаты исследований структурно-фазового состояния и физико-механических свойств покрытий системы Al-Si-N, полученных методом импульсного магнетронного осаждения на подложки из стекла марки К-208. Методом рентгеноструктурного анализа обнаружено, что полученные покрытия системы Al-Si-N толщиной 6 мкм содержат наноразмерные кристаллиты AlN (ГПУ). Нанесение покрытий системы Al-Si-N позволяет увеличить нанотвердость поверхностного слоя образцов стекла К-208 до 30 ГПа, а также сохранить высокий уровень упругих свойств ( $W_e \approx 70\%$ ). Для исследуемых образцов проведены лабораторные испытания по воздействию потоков высокоскоростных микрочастиц железа на защитные покрытия системы Al-Si-N, полученные методом импульсного магнетронного напыления. Установлено, что нанесение защитных покрытий системы Al-Si-N толщиной 6 мкм позволяет увеличить стойкость образцов стекла К-208 к ударному воздействию микрочастиц железа, разогнанных до скорости 8 км/с, в 2.8 раза.

**Ключевые слова:** защитные покрытия, структурно-фазовое состояние, нанотвердость, ударные кратеры.

### Введение

Активное освоение космоса и необходимость разработки космических аппаратов (КА), способных работать в экстремальных условиях космического пространства, требует разработки новых функциональных материалов и технологий их получения. К числу важнейших факторов, способных вызывать эрозию поверхности и местные разрушения, относятся столкновения КА с микрометеоритами. Наиболее всего от ударов микрометеоритов страдают различные оптические элементы КА, например фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) солнечных батарей (СБ). На данный момент в России для повышения срока активного существования и защиты ФЭП СБ КА от факторов космического пространства применяют пластины из радиационно-стойкого стекла марки К-208 толщиной от 170 до 500 мкм. Основным назначением защитных стекол СБ является снижение уровня радиационных повреждений ФЭП протонами радиационных поясов Земли, а также снижение числа механических повреждений ФЭП СБ КА при ударах микрометеороидов, однако не исключают их возникновения полностью.

Одним из способов решения этой проблемы может стать нанесение защитных покрытий из материалов с высокой плотностью и температурой плавления, низким термическим коэффициентом линейного расширения, обладающих большой твердостью в сочетании с высоким коэффициентом упругого восстановления и являющихся также прозрачными в видимой области спектра. Такому широкому спектру свойств могут отвечать композиционные покрытия, состоящие из металлургических и керамических слоев, в частности покрытия на основе системы Al-Si-N. На данный момент опубликован ряд работ [1–4], посвященных формированию методом магнетронного распыления прозрачных наноконкомпозитных покрытий системы Al-Si-N. Однако анализ работ [1–4] показал, что микроструктура и, следовательно, свойства вышеуказанных покрытий в значительной степени определяются условиями их формирования в процессе магнетронного напыления. Кроме того, до настоящего момента времени покрытия системы Al-Si-N были исследованы с точки зрения их потенциального применения в устройствах автоэлектронных эмиссионных датчиков, УФ-излучателей света, антиокислительных или оптически прозрачных твердых покрытий, стойких к окислению [2]. Нас, прежде всего, интересует возможность использования покрытий системы Al-Si-N в качестве защиты стеклянных элементов КА от механических повреждений, возникающих при ударном воздействии высокоскоростных твердых частиц. Однако для прогнози-

\* Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 гг., направление III.23.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала  
**«Известия высших учебных заведений. Физика»**  
осуществляется на платформе  
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU  
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>