

*Рисунок 1 – РЭМ-изображения образцов оксидов алюминия: технического (а, в) и полученного методом распылительной сушки (б, г), и распределение размеров частиц оксида алюминия: технического (д) и полученного методом распылительной сушки (е)*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gong R., Chen G. Preparation and application of functionalized nano drug carriers // Saudi Pharmaceutical Journal. –2016. –Vol. 24(3). –p. 254 - 257.
2. Ahuja G., Pathak K. Porous carriers for controlled/modulated drug delivery // Indian Journal of Pharmaceutical Sciences. 2009. –Vol. 71(6). – p. 599-607
3. Шобна Капур, Раджеш Хегде, Анинда Бхаттачарья. Фленс поверхностной химии мезопорного глинозема с широким распределением пор на контролируемом выпуске наркотиков. Контролируемое освобождение 140( 2009)

Ван Синьсинь, У Шаша (Китай)

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Божко Ирина Александровна, к.ф.-м.н., доцент

#### **ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ, ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ УДАРОПРОЧНЫХ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ**

Покрытия в материаловедении – это нанесенный на объект относительно тонкий поверхностный слой из другого материала [1], которые широко используются в аэрокосмической отрасли для защиты поверх-

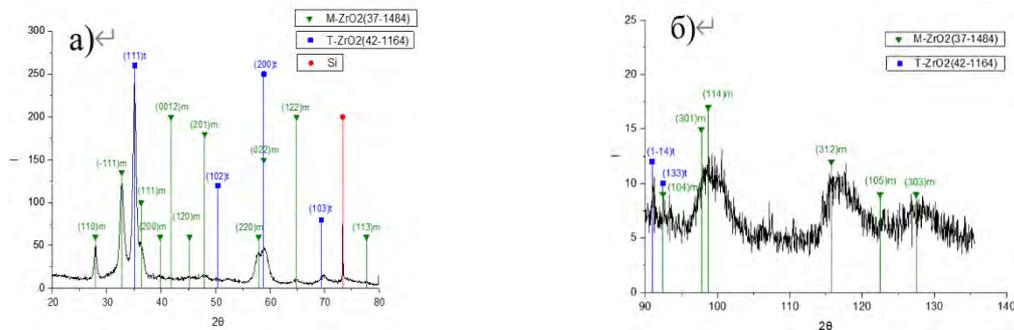
ности космических аппаратах. Покрытие улучшает свойства поверхности основного материала, повышает стойкость к ударности, трещиностойкость, твердость и т.д. В связи с этим, актуальным является создание защиты для космических аппаратов с целью увеличения срока службы аппаратов, одним из перспективных способов является нанесение на их поверхность ударопрочных защитных покрытий [2].

Целью данной работы является исследование закономерности формирования, особенности структуры и механических свойств ударопрочных защитных покрытий системы Zr-Y-O и Al-Si-N толщиной 3 мкм.

Покрытие осаждение на образцы монокристаллического кремния с кристаллографической ориентацией [100] методом импульсного магнетронного осаждения на вакуумной установке. Питание магнетрона осуществлялось от импульсного биполярного источника с частотой 50 кГц, мощность магнетрона 1,2 кВт. Чтобы получить покрытие на основе Zr-Y-O использование мозаичной мишени на основе циркония с определенным количеством вставок иттрия, которую распыляли в смеси газов Ar и O<sub>2</sub>, а для получения покрытия системы Al-Si-N использовали мозаичную мишень на основе алюминия с определенным количеством кремниевых вставок, которую распыляли в смеси газов Ar и N<sub>2</sub>.

### Результаты и обсуждение

Используя методы РФА (рентгенофазовый анализ) и ПЭМ (просвечивающий электронный микроскоп) для изучения структуры и фазового состава покрытия. В результате получен вывод, что покрытие Zr-Y-O состоит из двух фаз: ZrO<sub>2</sub> (тетрагональной) и ZrO<sub>2</sub> (моноклинной). Структура покрытия Al-Si-N является кристаллической и содержит в своем составе фазу AlN с гексагональной решеткой (рис.1). Благодаря тому, что покрытие состоит из таких фаз, твердость покрытия увеличивается. Оба покрытия имеют четкую столбчатую кристаллографическую структуру (рис.2).



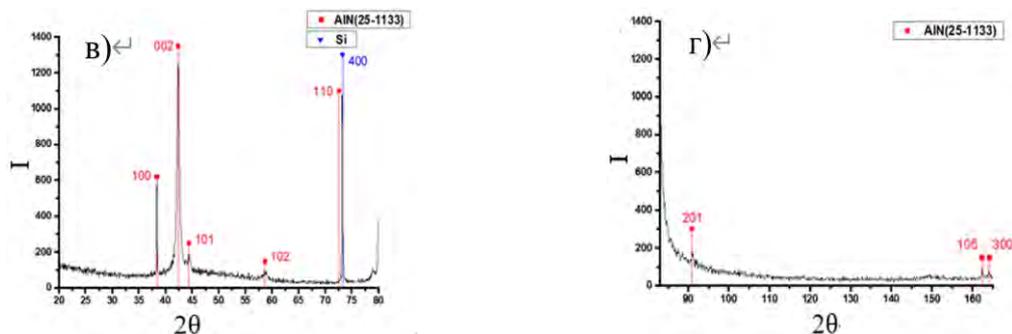


Рис.1 Дифрактограммы: а), б) — образца кремния с покрытием ZrY<sub>2</sub>O<sub>7</sub>; в), г) — образца кремния с покрытием Si-Al-N;

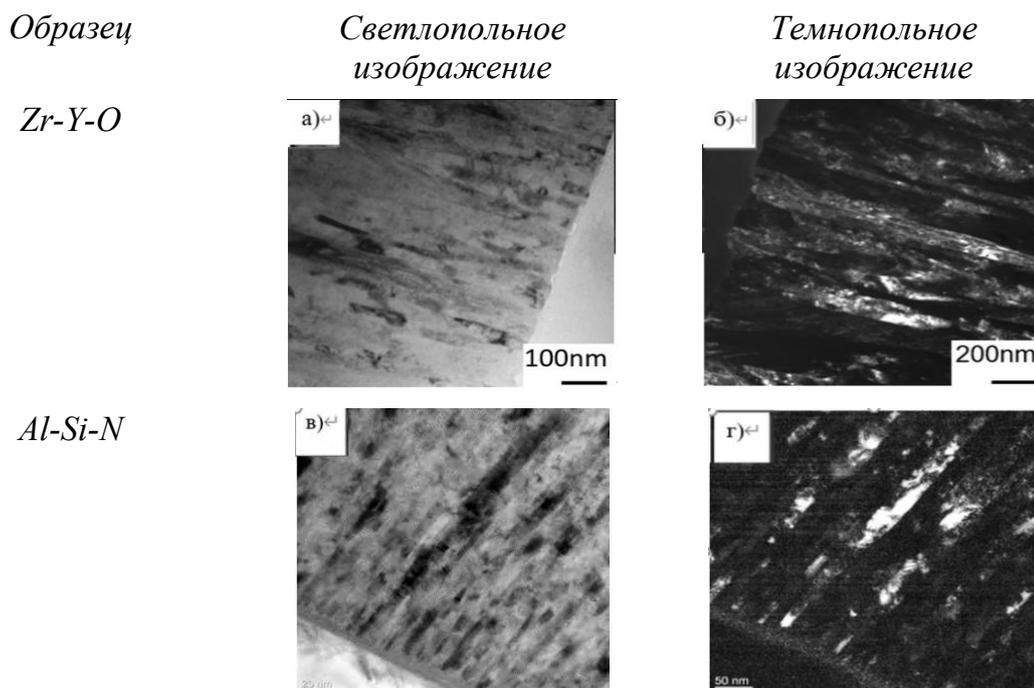


Рис. 2 Изображение, полученные в результате анализа методом ПЭМ: а) и в) — Светлопольное изображение; б) и г) — Темнопольное изображение

Определена трещиностойкость покрытия методом индентирования [3] по экспериментальным данным построены следующий график:

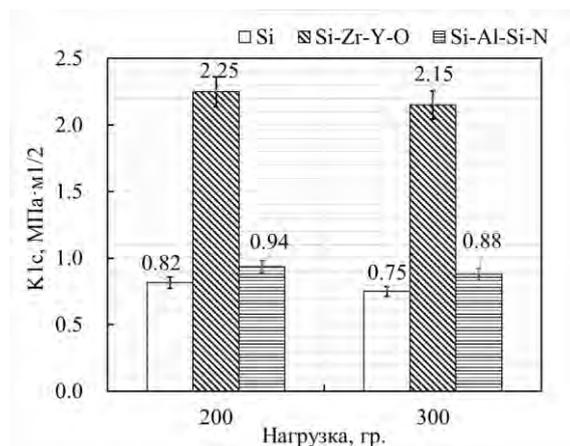


Рис. 3 Трещиностойкость образца кремния с покрытием и без покрытий

На графике указано, что при разных нагрузках трещиностойкость образца с покрытием значительно выше, чем образца без покрытия. Кроме того, покрытие Zr-Y-O обладает лучшей трещиностойкостью, чем покрытие Al-Si-N.

Для оценки способности образца с защитным покрытием противостоять ударному воздействию при бомбардировке потоком высокоскоростных твердых микрочастиц, были проведены испытания с помощью легкогазовой пушки МПХ23/8 [4]. После проведения ударных испытаний, на полученных изображениях измеряли диаметры и количество кратеров, на основании чего были отформатированы гистограммы:

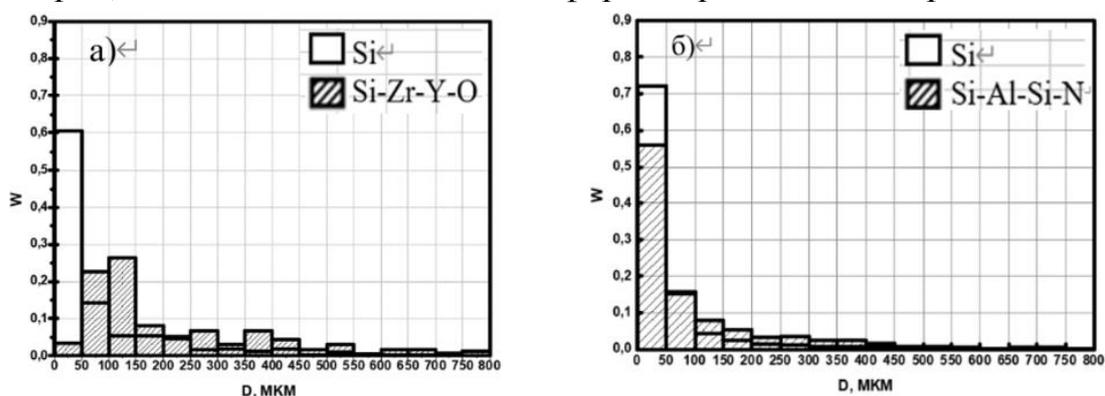


Рис. 4 Распределение кратеров по размерам

Обнаружено, что на поверхности исходного образца большинство сформированных кратеров имеют размер от 0 до 50 мкм. В случае нанесения защитных покрытий приводит к уменьшению поверхностной плотности кратеров в несколько раз по сравнению с исходными образцами, потому что защитные покрытия предотвращают образование на поверхности образцов кратеров с размерами менее 50 мкм. Покрытие

Zr-Y-O более эффективно защищает поверхность образца от ударов, чем покрытие Al-Si-N.

Таким образом, нанесение покрытия на поверхности образца эффективно повышает механические свойства и противостоит ударному воздействию, поэтому дальнейшее развитие данного направления имеет перспективу.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Покрытие, Материал из Википедии, режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения 24.03.2020).
2. Jiang D., Zhang P., Zhang Y. The Study of Space Debris and Meteoroid Impact Effects on Spacecraft Solar Array // Protection of Materials and Structures from the Space Environment. Astrophysics and Space Science Proceedings. 2017. № 47. С. 337–345.
3. Anstis, G. R., Chantikul, P., Lawn, B. R. and Marshall, D. B. A critical evaluation of indentation techniques for measuring fracture toughness – I. Direct crack measurements. J. Am. Ceram. Soc., 1981, 64, 533–538.
4. Герасимов А.В., Пашков С.В., Христенко Ю.Ф. Защита космических аппаратов от техногенных и естественных осколков. Эксперимент и численное моделирование // Вестник ТГУ. 2011. С. 70-78.

Ван Цайлунь (Китай)

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Мышкин Вячеслав Федорович, д.ф.-м.н., профессор

#### **ДИФУЗИЯ ИОНОВ В ГЛИНИСТЫХ МИНЕРАЛАХ**

##### **Актуальность**

В результате эксплуатации атомной энергетики в России накоплено более 500 млн. м<sup>3</sup> РАО, из которых 0,67% являются среднеактивными, 99,3% - низкоактивные. В Китае ежегодно образуется более 50 т отработанного ядерного топлива.

Общепризнанно, что экономическим целесообразным и эффективным способом обращения с такими отходами является размещение их в геологических формациях, содержащих каменные породы или глины. Глина использовалась при выводе из эксплуатации промышленного уран-графитового реактора ЭИ-2 по варианту «Захоронение на месте» [1]. Глины как барьерные материалы использовались для ликвидации