

- co-doped LuAG transparent ceramics by sintering under atmospheric pressure. *Ceramics International*.2020.1-8c
5. Zhao Chenyao, Lin Hui, Zhang Dawei, et al. Effect of SiO₂ introduction on luminescence properties of LuAG:Mn²⁺ phosphors. 2020.

Ду Яфэн (Китай)

Томский политехнический университет, г.Томск

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМ Al-Si-N И Zr-Y-O, СФОРМИРОВАННЫХ В УСЛОВИЯХ ИМПУЛЬСНОГО МАГНЕТРОННОГО ОСАЖДЕНИЯ

Введение

Данная работа посвящена описанию исследование физико-механических свойств защитных покрытий систем Al-Si-N и Zr-Y-O, сформированных в условиях импульсного магнетронного осаждения.

Цель работы заключается в выявлении установления закономерности влияния микротвердости образцов стекла К-208 с защитными покрытиями Al-Si-N и Zr-Y-O на их стойкость к ударному воздействию высокоскоростных твердых микрочастиц Fe.

Объектом исследования в данной работе выступали защитные покрытия систем Al-Si-N и Zr-Y-O, которые были получены методом импульсного магнетронного осаждения с помощью вакуумной установки УВН-05МД «КВАНТ» [1].

Экспериментальная часть

Для оценки способности образцов стекла с защитными покрытиями противостоят ударному воздействию при бомбардировке потоком высокоскоростных твердых микрочастиц были проведены испытания с помощью легкогазовой пушки МПХ23/8 [2], разработанной в научно-исследовательском институте прикладной математики и механики Томского государственного университета [3].

Питание магнетрона осуществлялось от импульсного биполярного источника питания частотой 50 кГц, мощность магнетрона достигала 1,2 кВт. Для получения покрытий системы Al-Si-N использовали мозаичную мишень на основе Al со вставками из Si, которую распыляли в смеси газов N₂ и Ar, отношение парциальных давлений которых в ваку-

умной камере установки составляло 1:4. Для получения покрытий на основе Zr-Y-O использовали мозаичную мишень на основе циркония с определенным количеством вставок иттрия, которую распыляли в смеси газов O₂ и Ar, отношение парциальных давлений которых в вакуумной камере установки составляло 1:3. Покрытия осаждали на образцы стекла марки К-208, которые представляли собой диски диаметром 15 мм и толщиной 4,5 мм. Температура подложки из кремния при осаждении защитных покрытий составляла 280±10°С, которая измерялась с помощью хромель-алюмелевой термопары. После осаждения покрытия образцы выдерживали в вакуумной камере в течение 40–60 мин, чтобы снизить его температуру до 90°С. Затем воздух вводили в камеру и выгружали полученные образцы. По данным гравиметрического метода было установлено, что полученные покрытия имеют толщину 6±0,5 мкм.

В качестве количественной характеристики воздействия потока микрочастиц на защитные покрытия систем Al-Si-N и Zr-Y-O использовали относительную поверхностную плотность кратеров $\rho_{\text{отн}}$:

$$\rho_{\text{отн}} = \frac{\rho}{\rho_0}$$

где ρ – поверхностная плотность кратеров на стеклах с покрытиями; ρ_0 – поверхностная плотность кратеров на исходных стеклах (без покрытия).

Результаты и обсуждение

Последствием ударного воздействия потока высокоскоростных твердых частиц Fe микронного размера на образцы стекла К-208 до и после осаждения защитных покрытий является эрозия поверхности. Эрозия поверхности возникает в результате формирования на поверхности исследуемых образцов большого количества механических повреждений в виде кратеров (рис. 1 и рис. 2). Поскольку кремний подобно стеклу является твердым и хрупким материалом, то формируемые кратеры имеют типичную форму, характерную для таких материалов.

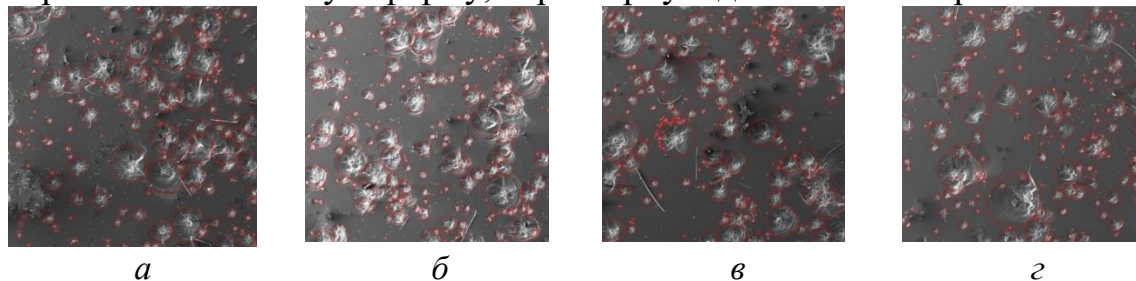


Рисунок 1. СЭМ-изображения кратеров на поверхности стекла К-208 без покрытия

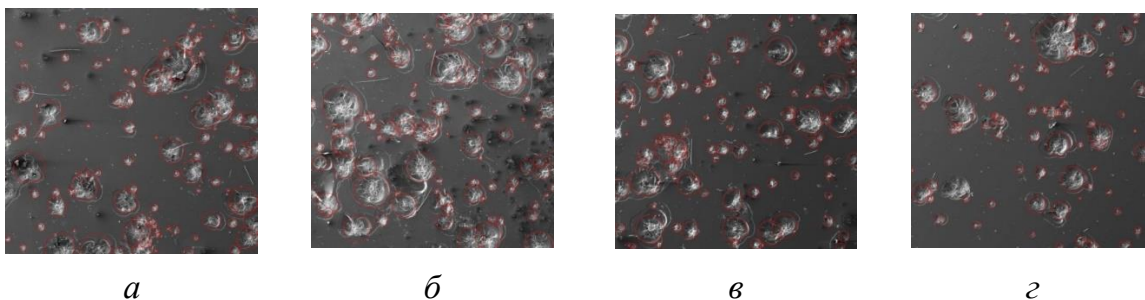


Рисунок 2. СЭМ-изображения кратеров на поверхности стекла К-208 с защитным покрытием Al-Si-N толщиной 6 мкм

Следует отметить, что размеры кратеров, образующихся на поверхности исследуемых образцов, лежат в широком интервале. Об этом свидетельствуют результаты измерения диаметров кратеров по СЭМ изображениям, представленные на рис.3 и рис.4 в виде соответствующих распределений.

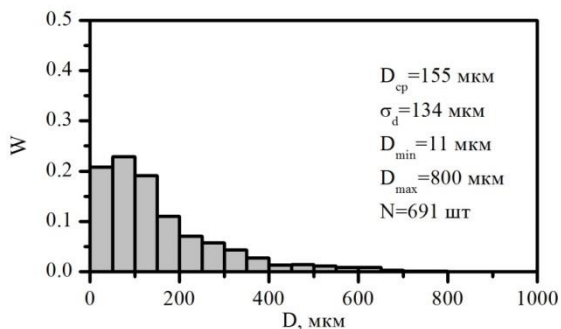


Рисунок 3. Распределение кратеров по размерам для образца К-208 без покрытия. Плотность распределения кратеров $\rho_0=8,64$ кратеров/мм²

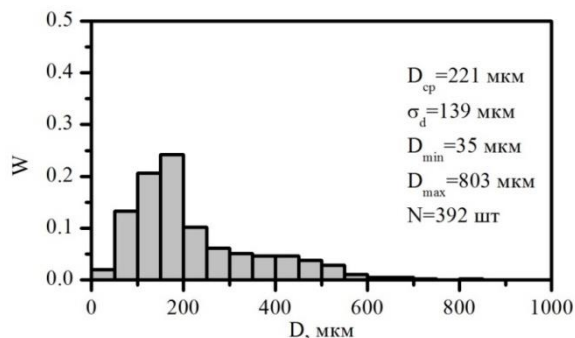


Рисунок 4. Распределение кратеров по размерам для образца К-208 с защитным покрытием AlSiN-6. Плотность распределения кратеров $\rho=4,9$ кратеров/мм²

При переходе к образцам стекла К-208 с защитным покрытием системы Zr-Y-O толщиной 6 мкм наблюдается значительное снижение общего количества кратеров, формируемых на их поверхности при ударном воздействии высокоскоростных частиц Fe. Из рис. 5 и 6 видно, что доля мелких кратеров размером до 50 мкм, образующихся на поверхности образцов К-208 с защитным покрытием ZrYO-6, в 30 раз меньше по сравнению с образцами исходного стекла К-208.

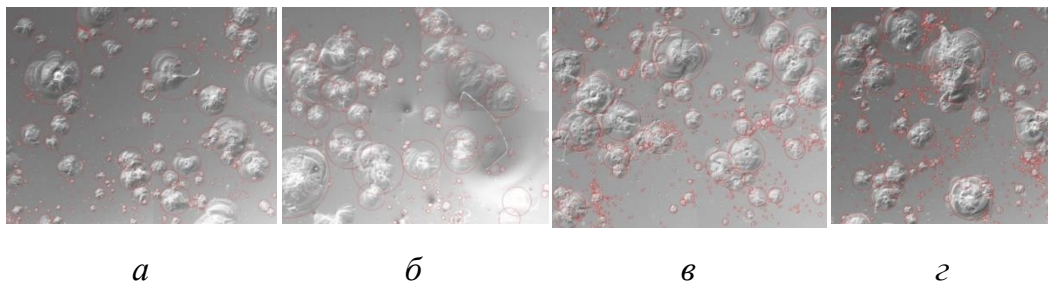


Рисунок 5. СЭМ-изображения кратеров на поверхности стекла К-208 без покрытия

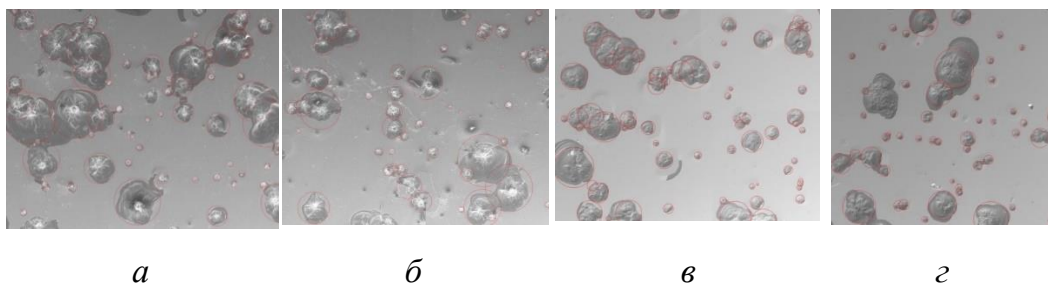


Рисунок 6. – СЭМ-изображения кратеров на поверхности стекла К-208 с защитным покрытием Zr-Y-O толщиной 6 мкм

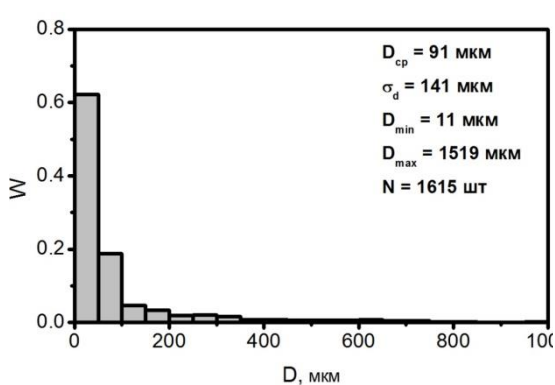


Рисунок 7. Распределение кратеров по размерам для образцов К-208 без покрытия. Плотность распределения кратеров $\rho=20,19$ кратеров/ мм^2

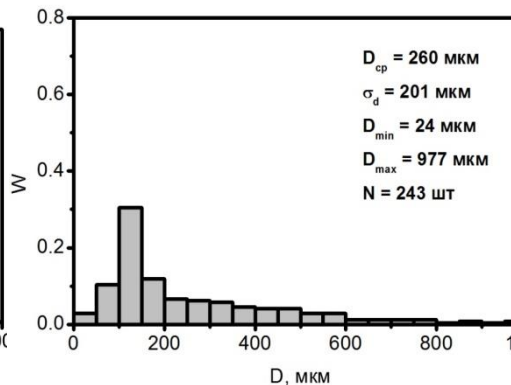


Рисунок 8. Распределение кратеров по размерам для образцов К-208 с защитным покрытием ZrYO-6. Плотность распределения кратеров $\rho=3,04$ кратеров/ мм^2

Таблица 1

Результаты оценки параметров кратеров, образующихся на поверхности исследуемых образцов

Образцы	D _{ср} , мкм	σ _d , мкм	D _{min} , мкм	D _{max} , мкм	ρ, мм ⁻²	ρ/ρ ₀
AlSiN-6	221	139	35	803	4,90	1,76
K208(AlSiN)	155	134	11	800	8,64	
ZrYO-6	260	201	24	977	3,04	6,64
K208(ZrYO)	91	141	11	1519	20,19	

Заключение

Результаты лабораторных ударных испытаний показали, что после нанесения защитных покрытий системы Al-Si-N толщиной 6 мкм процесс эрозии поверхности кремния протекает менее интенсивно, так как данные покрытия позволяют уменьшить поверхностную плотность кратеров в 1,76 раза по сравнению с исходными образцами стекла К-208. Защитные покрытия Zr-Y-O толщиной 6 мкм продемонстрировали более высокую стойкость к ударному воздействию потока твердых высокоскоростных микрочастиц Fe, так как в данном случае поверхностная плотность кратеров относительно исходных образцов стекла К-208 снижается в 6,64 раза. По данным ударных испытаний установлено, что повышение величины микротвердости системы подложка-покрытие приводят к снижению их способности сопротивляться ударному разрушению в условиях эрозии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сергеев В.П., Яновский В.П., Параев Ю.Н., и др. Установка ионно-магнетронного напыления нанокристаллических покрытий (КВАНТ) // Физическая мезомеханика. – 2004. – Т. 7. Спец. выпуск. ч. 2. – С. 333-336.
2. Герасимов А.В., Пашков С.В., Христенко Ю.Ф. Защита космических аппаратов от техногенных и естественных осколков. Эксперимент и численное моделирование // Вестник ТГУ. Математика и механика. – 2011. – Т. 16. – № 4. – С. 70-78.
3. Стенд для исследования высокоскоростного соударения мелких частиц с преградой МПК F41F1/00: патент Рос. Федерация № 2610790; заявл. 23.10.2015; опубл. 15.02.2017, Бюл. №5.