

## СТРУКТУРА И СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ In-Sn-O.

<sup>1,2</sup>Р.Б. Турсунханова, аспирант гр. А0-08

<sup>1,2</sup>В.П.Сергеев, д.т.н., профессор ОмШ, ИШНПТ

<sup>1</sup>Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, 634055, г.Томск, пр.Академический,2/4, тел.(3822)-491-881

E-mail: [rbt1@tpu.ru](mailto:rbt1@tpu.ru)

Все космические аппараты (КА) на низкой околоземной орбите, подвержены ударам микрометеороидов и орбитального мусора. Такие столкновения могут повреждать поверхность КА, что, в свою очередь, может способствовать выходу их из строя. В наибольшей степени повреждаются оптические системы КА в результате образования многочисленных локальных поверхностных микроразрушений – каверн в виде кратеров различных размеров. Это приводит к деградации их оптических характеристик [1]. Поэтому одной из основных задач является разработка новых конструкционных материалов, способных защитить оптические элементы КА, в частности, иллюминаторы. Существует множество способов защиты, наиболее эффективным из которых может стать создание функциональных комплексных оксидных покрытий  $\text{In}_2\text{O}_3(\text{SnO}_2)$  (ITO) для улучшения прочностных свойств оптического кварцевого стекла. Благодаря своим прозрачным и электропроводящим свойствам их часто используют для изготовления плоских дисплеев, энергосберегающих стекол и т.д. Следует отметить, что при определенном содержании кислорода ITO становится проводящим, оптически прозрачным в видимом диапазоне и высокоотражающим в инфракрасном диапазоне.

Целью данной работы являлось исследование структуры и физико-механических характеристик двухкомпонентного покрытия на основе In-Sn-O и его защитных свойств в отношении кварцевого стекла против ударов гиперскоростных микрочастиц железа.

Покрытия осаждались на поверхность кварцевых стекол марки «КВ» методом импульсного магнетронного распыления мишени ITO. Покрытие имеет толщину от 3 до 4 мкм.

В спектрофотометре UNICO-2800 снимали оптические спектры пропускания света стеклянных образцов в видимом диапазоне 380–780 нм длин волн. Стекла с покрытиями In-Sn-O остаются прозрачными для видимого света, но коэффициент прозрачности (Т) стекол в этой области спектра понижается до 76 %.

С помощью просвечивающего электронного микроскопа JEM-2100 (Jeol ltd, Japan) был изучен структурно-фазовый состав покрытия. Сформированные покрытия In-Sn-O являются нанокристаллическими градиентными. Поверхностный слой покрытия, образуют столбчатую структуру, средний размер в направлении, поперечном направлению роста столбцов, составляет  $80 \pm 40$  нм. В нижней части покрытий выявлены равноосные зерна (глобулы) со средним размером  $100 \pm 40$  нм. Индексирование микроэлектроннограмм покрытий на основе In-Sn-O свидетельствует о наличии в покрытиях фазы  $\text{In}_2\text{O}_3$  (ICDD # 01-075-9495), что подтверждается данными, полученными с помощью рентгеноструктурного анализа.

В качестве меры адгезионной прочности принимали минимальную нагрузку, при которой начинается отслаивание участков покрытия вдоль следа индентора при непрерывно нарастающей нагрузке на макроскретч-тестере Revetest-RST (CSM Instrument ltd, Switzerland). Согласно полученным экспериментальным данным, величина адгезии покрытия In-Sn-O к подложке кварцевого стекла, составляет  $11,9 \pm 0,7$  Н.

В ходе проведения ударных испытаний образцы без покрытия и с защитными покрытиями подвергались воздействию высокоскоростных частиц железного порошка

[2]. На рис. 1 показан исходный образец, а также образец с покрытием In-Sn-O после обстрела высокоскоростными микрочастицами. Видно, что на поверхности стекла от ударов микрочастиц формируются кратеры, представляющие собой локальные углубления в виде каверн. Образовавшиеся кратеры обведены красными кружками.

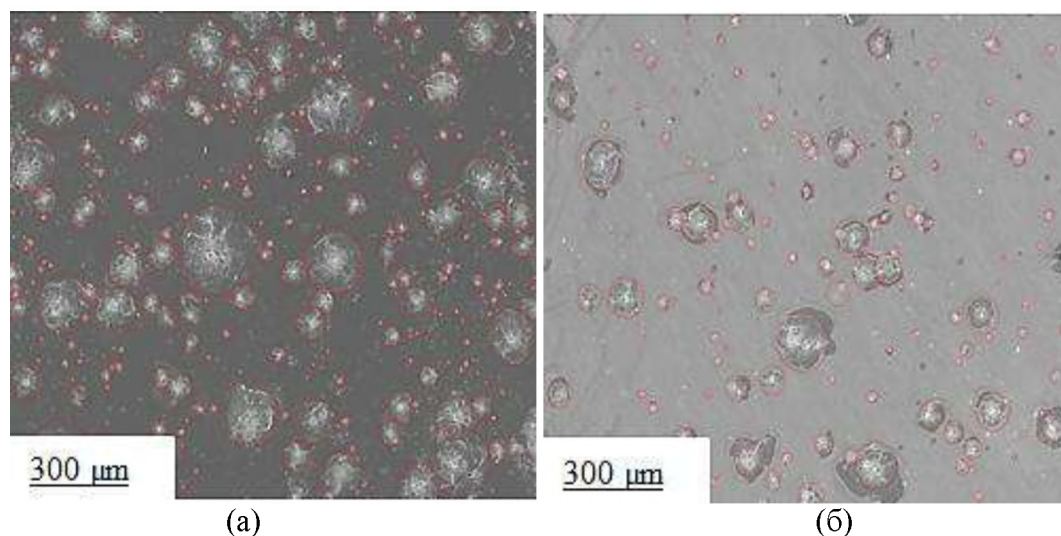


Рис. 1. РЭМ изображение кратеров, образовавшихся при ударном воздействии высокоскоростного потока частиц железа при указанных выше условиях испытания на поверхности образцов стекла КВ без покрытия (а) и с покрытием In-Sn-O (б).

Видно, что на стеклах с покрытием In-Sn-O поверхностная плотность образующихся кратеров  $\rho_1$  при одинаковых условиях испытаний существенно ниже, чем на стеклах без покрытия  $\rho_0$ . По полученным картинам подсчитывали количество образовавшихся кратеров за один выстрел на общей площади испытуемого стекла и определяли их поверхностную плотность, который составляет  $\rho_0/\rho_1 \approx 1,7$ . Это подтверждается наглядным примером уменьшения числа кратеров на кварцевой подложке с защитным покрытием In-Sn-O на рис. 1.

В результате проведенных исследований установлено, что покрытия In-Sn-O нанесенные на поверхность кварцевого стекла сохраняют прозрачность в видимой области спектра и имеют двухуровневую нанокристаллическую структуру, состоящую на первом от поверхности подложки уровне из равноосных зерен, которая переходит в столбчатую на втором уровне. Нанесение покрытия In-Sn-O приводит к значимому уменьшению поверхностной плотности кратеров на кварцевом стекле.

#### Список литературы:

1. Новиков Л.С., Твердых В., Естественного Ч. Воздействие твердых частиц естественного и искусственного происхождения на космические аппараты. Учебное пособие. – М.: Университетская книга, 2009. 104 с.
2. И.А. Божко, Е.В. Сунгатулина, М.П. Калашников, М.В. Федорищева, В.П. Сергеев Ю.Ф.Христенко. Исследование стойкости стекол К-208 с оптически прозрачными нанокompозитными покрытиями AL-SI-N к ударному воздействию высокоскоростных микрочастиц // известия высших учебных заведений физика. 2019. Т. 62, № 3. С. 9–14.