ХІІІ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ «ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК»

ПОВЫШЕНИЕ ЭРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ КВАРЦЕВОГО СТЕКЛА ПРИ МАГНЕТРОННОМ НАНЕСЕНИИ НАНОСТРУКТУРНОЙ ПЛЕНКИ Al0,75Si0.25N

<u>Е.В. Рыбалко¹</u>, И.А. Божко^{1,2}, А.В. Иванова² Научный руководитель: профессор, д.т.н. В.П. Сергеев^{1,2} ¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Россия, г.Томск, Академический 2/4, 634055 ²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050 E-mail: <u>evgeniaribka@yandex.com</u>

IMPROVING EROSION RESISTANCE QUARTZ GLASS AT MAGNETRON SPUTTERING OF NANOSTRUCTURED FILM Al0.75Si0.25N

 $\underline{E.V.\ Rybalko^1},$ I.A. Bozhko^{1,2}, A.V. Ivanova²

Scientific Supervisor: Prof., Dr. V.P. Sergeev^{1,2}

¹Institute of Strength Physics and Materials Science, SB RAS, Russia, Tomsk, av. Academicheskii, 2/4, 634055 ²Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenina ave., 30, 634050 E-mail: <u>evgeniaribka@yandex.com</u>

Abstract. The coatings on the basis of Al-Si-N system with different thickness were prepared by impulse magnetron sputtering method. The microhardness, the elastic modulus and the coefficient of elastic recovery were determined by nanoindentation method. Also experiment on high-speed interaction was conducted.

Наиболее уязвимыми элементами космических аппаратов (КА) в процессе эксплуатации являются оптические элементы, в частности иллюминаторы. Значительно повысить эрозионную стойкость стекол иллюминаторов возможно путем нанесения на них покрытия. Интересной и перспективной, с этой точки зрения, является система AlN/Si₃N₄ потому, что она может быть использована для создания прозрачных, высокотвердых и высокоупругих покрытий [1].

Целью данной работы является исследование влияния процесса магнетронного нанесения прозрачной в области видимого света нанокристаллической пленки Al_{0,75}Si_{0,25}N на эрозионную стойкость поверхностного слоя кварцевого стекла при бомбардировке микрочастицами железа, движущимися со скоростями 5-8 км/сек.

Покрытия наносили на подложки из кварцевого стекла методом импульсного магнетронного распыления на вакуумной установке УВН-05МД «КВАНТ» [2] с использованием мозаичной мишени на основе алюминия с кремниевыми вставками. Чтобы получить покрытия с толщиной от 0,6 до 6 мкм, изменяли их время напыления. Микротвердость измеряли с помощью нанотвердомера NanoHardnessTester при нагрузке на индентор 20мН.

За критерий эрозионной стойкости образцов при бомбардировке поверхности потоком высокоскоростных микрочастиц была принята поверхностная плотность образующихся кратеров. Бомбардировку образцов микрочастицами со скоростями 5-8 км/сек проводили с помощью легкогазовой

256

ХІІІ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ «ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК»

пушки МПХ23/8 (НИИ ПММ ТГУ), состоящей из устройства для разгона поршня, ствола пушки, вакуумируемой камеры, в которой находился предметный стол. В центральной области стола-держателя отверстие Ø50 мм для пропуска более крупных стекол имеется осколков диафрагмы. Экспериментальные образцы диаметром 15 мм закрепляются равномерно вдоль длины окружности диаметром 115 мм, определяемым наиболее вероятным углом разлета высокоскоростных твердых частиц. В оснастку устанавливается одновременно 8 образцов, 4 - с покрытием и 4 - без покрытия, при этом образцы чередуются (рис.1). Результаты измерения кратеров по 4-м образцам стекол с покрытием обрабатывались одним массивом, так же как и по 4-м образцам без покрытия. Бомбардировка выполнялась микрочастицами порошка отклассифицированного железа с размером 56,3±8,2 мкм (рис.2).





257

Рис. 1. Схема расположения экспериментальных образцов на предметном столе-держателе

Рис. 2. Электронно-микроскопическое изображение микрочастиц порошка железа

С помощью полученных методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) изображений (рис.3) исследованы кратеры, возникшие на поверхности образцов в результате бомбардировки, и рассчитана их поверхностная плотность *р*.





Установлено, что на стеклах с покрытием ρ при одних и тех же условиях испытания существенно ниже, чем на стеклах без покрытия, причем с увеличением толщины наноструктурной пленки h значение соотношения плотностей ρ_0/ρ увеличивается пропорционально (рис.4).

В таблице 1 приведены экспериментально определенные значения механических свойств образцов. Видно, что микротвердость стеклянных образцов с покрытием Al_{0,75}Si_{0,25}N в ~2,7 раз превышает

ХІІІ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ «ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК»

микротвердость исходных стекол; у них наблюдаются более высокие значения также приведенного модуля упругости в ~2,6 раза и коэффициента упругого восстановления поверхностного слоя на ~10%.



Рис. 4.График зависимости соотношения ρ_0/ρ от толщины покрытий

В [3] нами было показано, что пленки Al_{0,75}Si_{0,25}N имеют нанокристаллическую структуру. Повидимому, ее наличие объясняет высокий комплекс механических свойств этих покрытий и, соответственно, их высокие релаксационные свойства при рассеянии энергии высокоскоростных микрочастиц.

Таблица 1

258

Средние значения микротвердости H_m, модуля упругости E*и коэффициента упругого восстановления k_y образцов стекла марки KB в исходном состоянии (1) и с покрытием Al_{0,75}Si_{0,25}N (2)

Образцы	Н _т , ГПа	Е*, ГПа	ky
1	9,93±0,11	72,20±0,32	0,71
2	$27,33 \pm 0,74$	189,61±1,97	0,78

Таким образом, исследование влияния процесса магнетронного нанесения покрытий на основе системы Al-Si-N на эрозионную стойкость кварцевого стекла показало, что нанесение покрытий Al_{0,75}Si_{0,25}N уменьшает поверхностную плотность образующихся кратеров, что можно связать с повышением механических свойств поверхностного слоя кварцевого стекла.

Работа выполнена в рамках основной научной программы исследований академии наук за 2013-2020 гг., при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект №13-08-00616, и в рамках государственного задания Минобрнауки России №3.295.2014/к..

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Liu H., Tang W., Hui D., Hei L., Lu F.. Characterization of (Al,Si)N films deposited by balanced magnetron sputtering // Thin Solid Films. – 2009. – V.517. – P.5988-5993
- Сергеев В.П., Федорищева М.В., Сунгатулин А.Р., Никалин А.Ю., Нейфельд В.В. Структура и термомеханические свойства покрытий на основе Si-Al-N при осаждении методом импульсного магнетронного распыления // Известия ТПУ. – 2011. – Т.319. – № 2. – С.103-108.
- Bozhko I. A. et al. Investigation of the structural-phase state and the impact-protective properties of optically transparent Si-Al-N coatings //Advanced Materials with Hierarchical Structure for New Technologies and Reliable Structures. – AIP Publishing, 2015. – T. 1683. – C. 020028.

Россия, Томск, 26-29 апреля 2016 г.