

лялись трис(метилциклопентадиенил) скандия (III)  $\text{Sc}(\text{MeCp})_3$  и тетрахлорид титана (IV)  $\text{TiCl}_4$  соответственно. Получена серия пленок с соотношением циклов  $\text{Sc}_2\text{O}_3:\text{TiO}_2=1:0, 7:1, 3:1, 1:1, 1:3, 1:7, 0:1$ . Суммарное количество циклов осаждения было одинаковым во всех экспериментах и составляло 1000.

Образцы исследованы методами спектральной эллипсометрии, рентгеновской дифракции, сканирующей электронной микроскопии, энергодисперсионной спектроскопии.

Прирост толщины за цикл для пленок  $\text{Sc}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_y$  значительно меньше по сравнению с чистыми  $\text{Sc}_2\text{O}_3$  (0,08 нм/цикл) и  $\text{TiO}_2$  (0,056 нм/цикл), и достигает минимума (0,032 нм/цикл) для пленки с соотношением циклов  $\text{Sc}_2\text{O}_3:\text{TiO}_2=1:1$ . Эффект обусловлен сильным влиянием типа поверхности на хемосорбцию реагентов (поверхностно-ингибированный рост).

Состав пленок был определен методом ЭДС. С увеличением доли циклов Ti концентрация титана в пленках возрастает.

### Список литературы

1. *Cavalheiro A.A., Bruno J.C., Saeki M.J., Valente J.P.S., Florentino A.O.// J. Mater. Sci., 2008.– Vol.43.– P.602–608.*

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ДИБОРИДА ТИТАНА

С.О. Погорелова, А. Насырбаев

Научный руководитель – д.т.н., профессор А.А. Сивков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, sop2@tpu.ru

Высокотемпературная керамика на основе диборида титана имеет потенциал для использования ее во многих технологических применениях в авиастроении, машиностроении, атомной энергетике и металлургии [1, 2]. Материал для получения керамики в данной работе был синтезирован плазмодинамическим методом. Керамика была спечена перспективным методом искрового плазменного спекания, который отличается скоростью процесса, благодаря которому подается рост зерна микроструктуры образца.

Спеченная керамика была исследована на установке для измерения твердости Galileo и на установке для наноиндентирования Table Top Platform (ТТХ). Свойства керамики диборида титана представлены в таблице 1.

Структура пленок зависит от состава (рис. 1-а). Дифрактограмма образца с соотношением циклов  $\text{Sc}_2\text{O}_3:\text{TiO}_2=1:0$  хорошо соответствует кубическому  $\text{Sc}_2\text{O}_3$ . В образцах с соотношением циклов  $\text{Sc}_2\text{O}_3:\text{TiO}_2 7:1, 3:1, 1:1$  имеет место смещение пиков  $\text{Sc}_2\text{O}_3$  в сторону больших  $2\theta$ , что свидетельствует об уменьшении параметров элементарной ячейки при увеличении концентрации титана в пленках. При этом дифрактограммы образцов 3:1 и 1:1 хорошо соответствуют известной дифрактограмме  $\text{Sc}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ . Пленка 1:3 рентгеноаморфна, а в пленках с высоким содержанием титана зафиксировано образование фазы  $\text{TiO}_2$  со структурой анатаза (в образце 1:7 он содержится в следовых количествах).

На основе спектроэллипсометрических измерений были рассчитаны дисперсии показателя преломления  $n(E)$  пленок (рис. 1-б). Дисперсионная зависимость пленки  $\text{TiO}_2$  (дисперсия 1) выше зависимости  $\text{Sc}_2\text{O}_3$  (дисперсия 7). Остальные дисперсионные зависимости принимают промежуточные значения между  $\text{TiO}_2$  и  $\text{Sc}_2\text{O}_3$ .

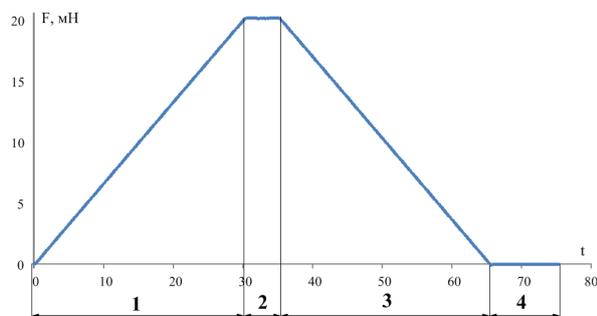
Твердость и плотность полученной керамики напрямую зависят от фазового состава порошка, на основе которого синтезировалась керамика. Чем больше в фазовом составе процент  $\text{TiB}_2$ , тем больше твердость и плотность керамического образца.

Значения нанотвердости и модуля упругости, полученные экспериментальным путем, были сопоставлены с литературными источниками: 1) Нанотвердость 36 ГПа и модуль упругости 360 ГПа [3]; 2) Нанотвердость 33 ГПа и модуль упругости 440 ГПа [4]. Полученные значения близки к теоретическим, нанотвердость образца с 62,1 %  $\text{TiB}_2$  достигает 47 ГПа.

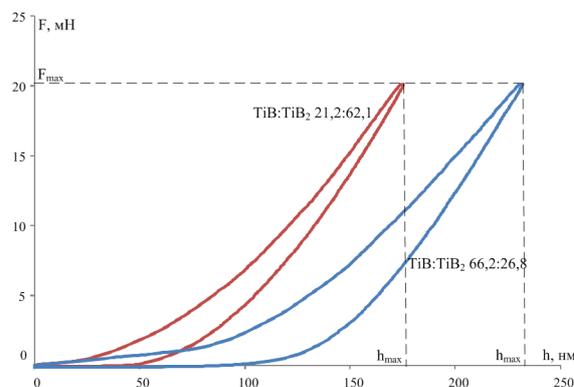
На рисунках 1, 2 представлены типичный цикл инструментального наноиндентирования,

**Таблица 1.** Свойства керамики  $TiB_2$ 

Фазовый состав, %		$H_{cp}$ , ГПа	$\rho$ , % теор.	$H_{нано}$ , ГПа	E, ГПа
TiB	$TiB_2$				
66,2	26,8	24,7	75,2	30,992	346,84
21,2	62,1	28,3	85,8	46,695	393,88

**Рис. 1.** Типичный испытательный цикл инструментального индентирования

на котором можно отметить характерные участки (1 – прикладывание испытательной нагрузки; 2 – нагрузка достигает своего максимум; 3 – постепенное снятие испытательной нагрузки; 4 – отсутствие нагрузки) и F-h диаграмма – зависимости нагрузки от глубины индентирования. При увеличении содержания диборида титана F-h диаграмма смещается влево.

**Рис. 2.** F-h диаграмма – график зависимости испытательной нагрузки от глубины индентирования

Таким образом, была получена керамика на основе диборида титана, исследована твердость, плотность, нанотвердость и модуль упругости спеченной керамики. Образцы показали высокие значения измеренных величин относительно известных литературных данных.

### Список литературы

1. Sahoo S., Singh S.K. Synthesis of  $TiB_2$  by extended arc thermal plasma // *Ceramics International*, 2017.– Vol.43.– №17.– P.15561–15566.
2. Mishra S.K., Rupa P.K.P., Pathak L.C. Surface and nanoindentation studies on nanocrystalline titanium diboride thin film deposited by magnetron sputtering // *Thin Solid Films*, 2007.– Vol.515.– №17.– P.6884–6889.
3. Rupa P.K.P., Chakraborti P.C., Mishra S.K. Mechanical and deformation behaviour of titanium diboride thin films deposited by magnetron sputtering // *Thin Solid Films*, 2009.– Vol.517.– №9.– P.2912–2919.
4. Sani E. et al. Titanium diboride ceramics for solar thermal absorbers // *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 2017.– Vol.169.– P.313–319.

## СИНТЕЗ ОГНЕУПОРНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ХРОМ-АЛЮМО-ФОСФАТНЫХ СВЯЗУЮЩИХ

К.Е. Попова

Научный руководитель – д.т.н., профессор Т.И. Гузеева

Северский технологический институт НИЯУ МИФИ

636036, Россия, Томская область, г. Северск, пр. Коммунистический 65, t.guzeeva@yandex.ru

Транспортный упаковочный контейнер (ТУК) – это устройство, предназначенное для сбора, хранения и транспортировки радиоактивных веществ. Применение защитных огнеупорных покрытий позволяет повысить механи-

ческую и термическую прочность поверхности ТУКов, придать ей отражающую способность или, наоборот, увеличить теплопроводность. Поэтому разработка особого состава защитных покрытий, обеспечивающих безопасность в про-