

**Таблица 1.** Открытая пористость, средняя плотность и диаметральная усадка образцов, обожжённых при 1700 °С

Концентрация добавки, %	$P_0$ , %	$\rho_c$ , г/см <sup>3</sup>	$\Delta l/l$ , %
5	5,9	2,68	20,3
5,5	10,6	2,62	15,8
6	15,5	2,54	15,6

при температуре 1100 °С с максимальной выдержкой 1 час. Обжиг керамических образцов проходил в вакууме при температурах 1700 °С и 1750 °С в течение 15 часов с выдержкой при максимальной температуре в 3 часа.

После обжига проводили определение открытой пористости ( $P_0$ ), средней плотности ( $\rho_c$ ) и диаметальной усадки ( $\Delta l/l$ ). Результаты представлены в таблице 1 и 2.

Проанализировав значения огневой усадки образцов после обжига при 1700 °С, можно сделать вывод, что максимального уплотнения позволяет добиться концентрация оксида бора 5 мас. %. Как видно из значений открытой пористости, материал после обжига при 1700 °С обладает высокой пористостью и низкой плотно-

**Таблица 2.** Открытая пористость, средняя плотность и диаметральная усадка образцов, обожжённых при 1750 °С

Концентрация добавки, %	$P_0$ , %	$\rho_c$ , г/см <sup>3</sup>	$\Delta l/l$ , %
5	5,3	3,23	22,9
5,5	9,6	3,18	21,1
6	15,0	3,01	21,0

стью. в данном случае целесообразным является увеличение температуры обжига.

После анализа значения огневой усадки образцов после обжига при 1750 °С, сделан вывод, что оптимальное значение спекающей добавки так же, как и при обжиге при 1700 °С – 5 мас. %. При увеличении температуры с 1700 °С до 1750 °С значение усадки увеличивается, следовательно, более высокая температура обжига способствует лучшему спеканию и получению более плотного материала.

Однако, были получены достаточно высокие значения открытой пористости у спеченных образцов. Это объясняется испарением спекающей добавки  $B_2O_3$  в процессе высокотемпературного обжига.

### Список литературы

1. Лукин Е.С. *Технология, свойства и применение оптически прозрачной оксидной керамики: перспективы развития* / Е.С. Лукин. и др. // Конструкции из композиционных материалов, 2015. – №3. – С.24–36.
2. L.B. Kong, Y.Z. Huang, W.X. Que, T.S. Zhang, S. Li, J. Zhang, Z.L. Dong, D.Y. Tang auth. *Transparent Ceramics*, 2015. С.

## ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ ПОРОШКА ВОЛЬФРАМА НА ПРОЦЕСС СПЕКАНИЯ

А.С. Кутищев, А.А. Дитц

Научный руководитель – к.т.н., доцент А.А. Дитц

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, ask92@tpu.ru

Керамика из нитрида алюминия (AlN) является перспективным материалом для применения в микроэлектронике в виде подложек, и в последние годы широко изучается и разрабатывается. Получение изделия включает в себя следующие стадии: производство порошков, формование изделия, спекание и последующее вжигание металлизационного слоя. Возможность объединения двух последних стадий в одну (многослойного совместного спекания) по-

зволяет уменьшить количество производственных операций, что в свою очередь значительно снижает материальные, энергетические и временные затраты на изготовление подложек.

Для определения возможности совместного спекания AlN и W необходимо знать значения линейной и объемной усадки обоих материалов. Для алюмонитридной подложки полученной методом шликерного литья процесс обжига ведут

при температуре 1850 °С и времени выдержки 4 ч, линейная усадка составляет от 15 до 17%.

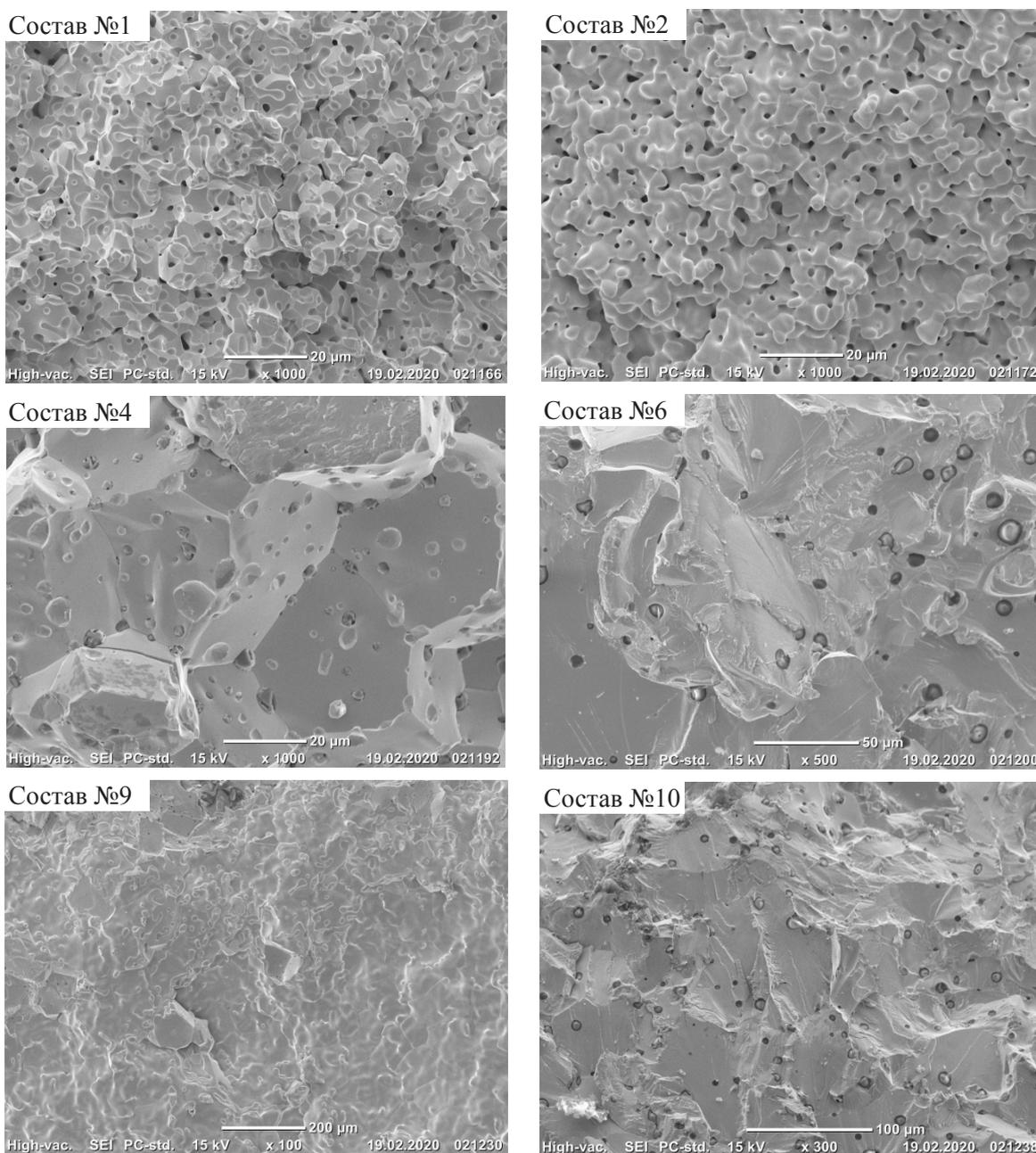
В работе проводили исследование процесса спекания порошков вольфрама для определения усадки.

Для работы использовался порошок вольфрама марки W 9,5 по ТУ 48-19-417-86, среднее значение удельной поверхности которого, определенное методом ПСХ, составляет 0,156 м<sup>2</sup>/г. Для управления усадкой при спекании составляли двух фракционную вольфрамовую композицию из мелко и крупнодисперсного порошка вольфрама. Содержание мелкодисперсного порошка варьировалось от 0 до 100 мас.% с ша-

гом в 10%. Для этого часть крупнодисперсного порошка вольфрама подвергалась измельчению в валковой мельнице в среде инертного растворителя при соотношении тв : ш : р = 1 : 3 : 1 в течение 50 часов до значения удельной поверхности 0,322 м<sup>2</sup>/г и  $D_{cp} = 0,97$  мкм.

Смешение порошков проводили в фарфоровой ступке, готовую смесь порошков прессовали в пресс-форме, с последующем обжигом при температуре 1850 °С и времени выдержки 4 ч в среде азота.

После обжига на образцах определяли усадку, и исследовали микроструктуру скола. Дан-



**Рис. 1.** Микроснимки скола вольфрамового образца

**Таблица 1.** Влияние количества мелкодисперсной фазы на усадку

Номер состава	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Линейная усадка, %	11,53	13,57	15,22	16,39	20,53	20,02	20,88	19,65	19,45	19,12
Объемная усадка, %	30,76	35,45	39,07	41,56	49,80	48,83	50,46	48,12	47,73	47,09

ные по усадке и микроснимки скола представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. С увеличением количества частиц мелкой фракции усадка значительно увеличивается и достигает максимальных значений в 20%, при содержании 40–60 мас.%, при дальнейшем увеличении усадка незначительно уменьшается.

2. При содержании мелкодисперсной фракции менее 30 мас.% образцы не имеют сплош-

ности, имеют явно выраженные границы раздела между частицами. Такие составы будут иметь меньшую проводимость, и большее сопротивление, что негативно скажется на проводниковых свойствах металлизации.

3. На основании данных по усадке и микроструктуре скола можно сделать вывод, что состав №4 лучше остальных подходит для совместного спекания керамики и металлизационного слоя.

## ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК $Cd_xPb_{1-x}S$ , ПОЛУЧЕННЫЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СООТНОШЕНИЯХ КОНЦЕНТРАЦИЙ СОЛЕЙ СВИНЦА И КАДМИЯ

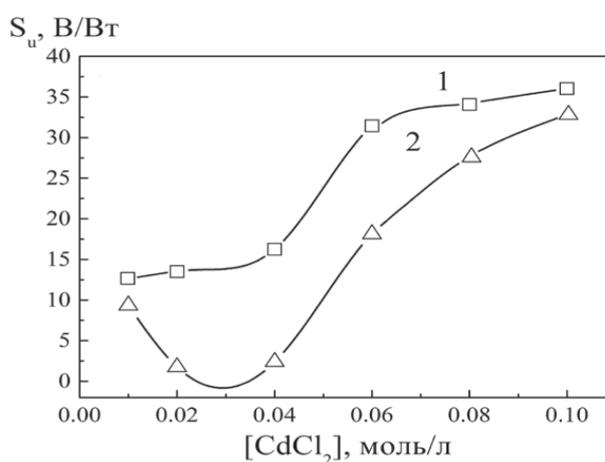
А.Д. Кутявина<sup>1</sup>, Л.А. Маскаева<sup>1,2</sup>, В.Ф. Марков<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина  
620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира 19

<sup>2</sup>Уральский институт ГПС МЧС России  
620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира 22

Твёрдые растворы  $Cd_xPb_{1-x}S$  – хорошо изученный материалы для микроэлектроники, которые нашли свое применение в различных устройствах: от солнечных элементов до детекторов инфракрасного излучения благодаря варьированию свойств узкозонного PbS за счет введения широкозонного сульфида кадмия ( $E_g = 2,42$  эВ). Одним из самых простых и экономичных методов получения тонких пленок  $Cd_xPb_{1-x}S$  является метод гидрохимического осаждения, не требующий сложного и дорогостоящего оборудования, а возможность легкого изменения состава позволяет регулировать структуру, морфологию, и, следовательно, функциональные свойства получаемых покрытий.

На рис. 1 приведены зависимости вольт-ваттной чувствительности тонких пленок  $Cd_xPb_{1-x}S$  от концентрации соли кадмия в растворе при различных исходных концентрациях свинца. Максимальная величина фотоответа получена при отношении концентраций ионов свинца и кадмия  $[Pb^{2+}]/[Cd^{2+}]$ , равном 0,4–0,5, обеспечи-



**Рис. 1.** Зависимость вольт-ваттной чувствительности тонких пленок  $Cd_xPb_{1-x}S$  от концентрации  $CdCl_2$  при содержании  $Pb(CH_3COO)_2$  в реакционной ванне, моль/л: 0,06 (1) и 0,04 (2)

вающим наиболее благоприятные условия для формирования обогащенных кадмию твердых растворов  $Cd_xPb_{1-x}S$ .