

В.Т. Новиков, Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – 292 с.

3. Сальников А.В. Проектирование газонефтехранилищ и нефтебаз. Практические занятия: Метод. указания / А.В. Сальников – Ухта: УГТУ, 2014. – 44 с.

4. Фонарев З.В. Электрообогрев трубопроводов, резервуаров и технологического оборудования в нефтяной промышленности. – Л.: Недра, 1984. – 148 с.

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА НИТРИД АЛЮМИНИЕВОЙ КЕРАМИКИ, ПОЛУЧЕННОЙ ПО ТЕХНОЛОГИИ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ**

*В.В. Черевко, А.А. Сивков, А.С. Ивашутенко*

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, Томск

В настоящее время в электронной технике с увеличением удельной тепловой мощности возникает проблема теплоотвода. Одним из простейших методов отвода тепла – это отвод тепла через подложку, на которой расположены элементы цепи. Одним из примеров материала такой подложки является нитрид алюминия (AlN). Керамика на основе нитрида алюминия обладает высокой теплопроводностью, которая может достигать 319 Вт/м·К[1] и в тоже время является хорошим диэлектриком. Столь высокие значения теплопроводности в первую очередь зависят от чистоты материалы и межзеренных границ.

В настоящее время для синтеза дисперсного нитрида алюминия освоен и широко применяется в промышленности метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза - СВС. Данный метод относительно прост в реализации, однако чувствителен к закладке в реактор исходных материалов.

Ранее в проведенных работах [2-3] показано, что исходный порошок после СВС-синтеза не обеспечивает высоких показателей теплопроводности. Использование даже высоких температур спекания (2200°C) не приводят к существенному улучшению результатов. Одним из вариантов решения данной проблемы является использование модифицирующих добавок, обеспечивающих получение плотной беспоровой структуры при пониженных температурах спекания, что и является целью настоящей работы.

В качестве объекта исследования в данной работе выступал порошок нитрида алюминия марки ТЧ-1 производства Черноголовка. На рис. 1 представлена структура и морфология частиц ТЧ-1.

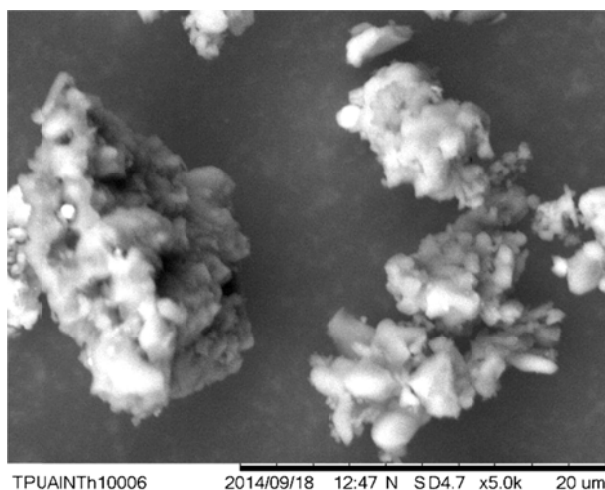


Рис. 1. Микрофотография порошка ТЧ-1

В качестве добавки использовался нанодисперсный порошок (рис.2), полученный по технологии плазодинамического синтеза в гиперзвуковой струе электроразрядной плазмы, генерируемой коаксиальным магнитоплазменным ускорителем [4].

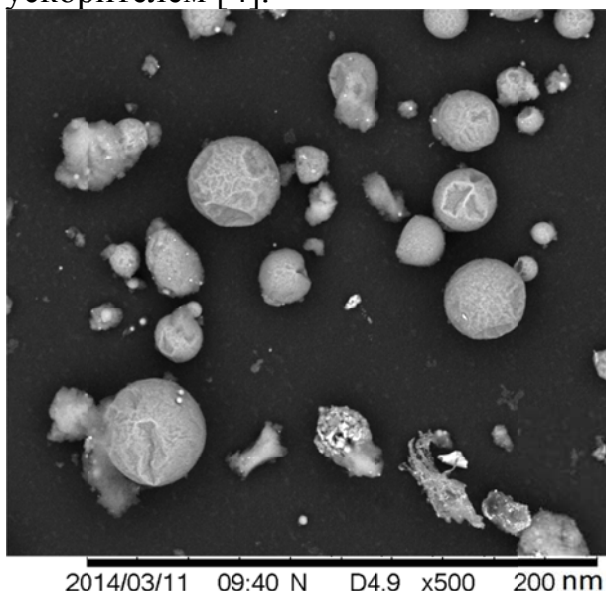


Рис. 2. Микрофотография структуры модификатора – AlN

Предварительно были приготовлены смеси порошков нитрида алюминия марки ТЧ-1 и модифицирующей добавки в соотношении 95% и 5%, соответственно. Смешивание порошков проводили в шаровой мельнице в корундовом тигле в течении 1 часа.

Спекание осуществлялось в системе искрового плазменного спекания SPS 10-4, фирмы ThermalTechnology (США) при температурах 1800°C (№1) и 1700°C (№2) в вакууме. Образец помещался в графитовую пресс-форму диаметром 20 мм и предварительно подпрессовывался давлением до 20 МПа.

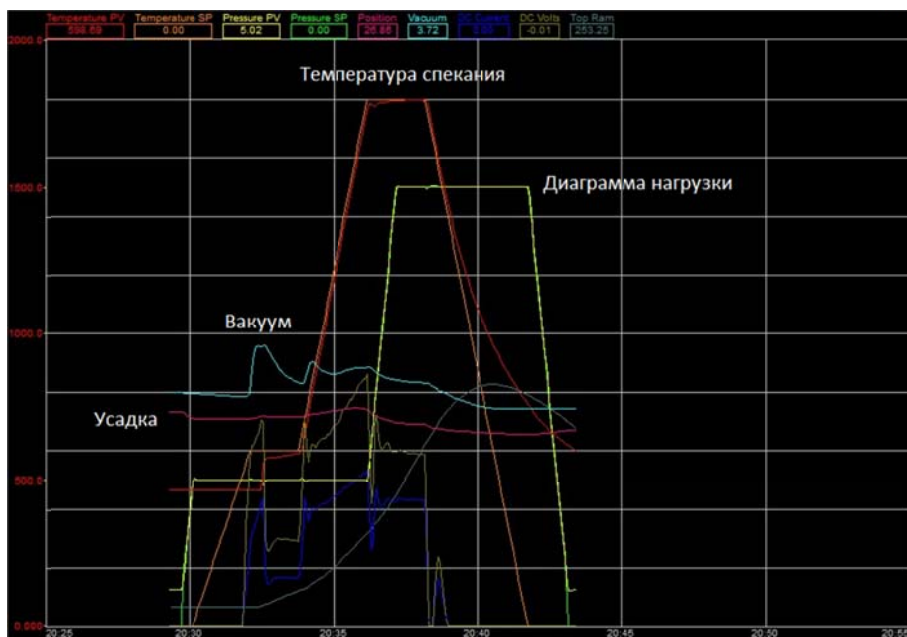


Рис. 3. Общий процесса спекания в SPS 10-4

Во всех случаях скорость нагрева образцов была установлена  $500^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ . С указанной скоростью образец нагревался до температур спекания. После этого образец далее нагружался до уровня 60 МПа в течение 1 минуты и еще одну минуту выдержался в этих же условиях. После этого выключался источник питания пресса, происходило снижение температуры с последующим снятием и давления прессования.

После полного охлаждения и выемки образца из пресс-формы проводилась оценка плотности методом гидростатического взвешивания. Образец №1 показал наибольшие результаты: плотность составила величину 99%. Образец №2, полученный при  $1700^{\circ}\text{C}$ , показал плотность  $\sim 93\%$ .

Кроме этого были проведены исследования по получению керамики из 100% порошка ТЧ-1, прошедшего процедуру помола и без неё. Спекание при аналогичном режиме показало, что не помолотый порошок имеет плотность 82,2% гораздо меньшую, чем предварительно обработанный в течение часа на мельнице – 92 %.

Для образцов №1 и ТЧ-1 (помолотый) были померены твердости на микротвердомере IsoscanOD. Для образца №1 средняя твердость имеет величину 18,6 ГПа. Помолотый образец ТЧ-1 имеет среднюю величину твердости – 12,5 ГПа. Измерение теплопроводности образцов проводилось методом вспышки на приборе LFA-467 фирмы Netzsch. Полученные результаты были сведены в таблицу.

### Выводы

На основании данных, представленных в таблице, можно сделать несколько выводов. Во-первых, явно виден эффект от введения в состав модифицирующей добавки на теплопроводящие свойства. Эффект увеличения теплопроводности с введением добавки превосходит составы со 100% содержанием нитрида алюминия в 1,5-2 раза.

Таблица 1.

## Теплопроводность керамики

Образец	Состав	Нагрев	Масса	Высота	Диаметр	Плотность	Т измер.	$\alpha$	$C_p$	$\lambda$
№	%	°С/мин	г	мм	мм	г/см <sup>3</sup>	°С	мм <sup>2</sup> /с	Дж/г·К	Вт/м·К
1 AlN1800 не молот	ТЧ-1 – 100%	500	2,275	4,88	14,83	2,638 (80.9%)	20,8	23,345	0,897	45,24
2 AlN1800 помолот	ТЧ-1 – 100%	500	2,306	4,477	14,90	2,915 (89.4%)	21,1	22,103	0,880	56,70
3 AlN1800 помолот	ТЧ-1 – 95% AlN <sub>наш</sub> – 5%	500	2,334	4,145	15,00	3,186 (98.3%)	21,3	25,061	0,877	70,46
4 AlN1700 помолот	ТЧ-1 – 95% AlN <sub>наш</sub> – 5%	500	2,475	4,807	14,88	2,914 (89.3%)	21,6	28,529	0,900	58,59

Во-вторых, модифицирующая добавка снижает температуру спекания на 150-200°С. В третьих, предварительная механообработка порошков способствует спеканию материала и получению более высоких значений теплопроводности у керамики на основе нитрида алюминия.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ю. Непочатов, А. Земницкая, П. Муль. Разработка керамики на основе нитрида алюминия для изделий электронной техники // Современная электроника. №9. 2011. – С. 14–16.
2. Репкин Ю.Д. Исследование условий получения огнеупорных изделий из нитрида алюминия // Огнеупоры.- 1965, – №2. – С.41–48.
3. LiJing-Feng, KawasakiAkira, WatanabeRyuzo Горячее изостатическое прессование смесей порошков SiC-AlN: влияние помола на образование твердых растворов и их свойства // J. Amer. Ceram. Soc. – 1998. – Vol. 81. – № 6. – p.p. 1445–1452.
4. А.А. Сивков, Д.С. Никитин, А.Я. Пак, И.А. Рахматуллин. Прямой плазмодинамический синтез ультрадисперсного карбида кремния // Письма в ЖТФ, 2013, том 39, вып. 2, – С. 15–20.