

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТЕКЛА В КОМПОЗИЦИОННОЙ КЕРАМИКЕ НА ОСНОВЕ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ

Тарновский Р.В.

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

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

e-mail: tarnovskiy@tpu.ru

На сегодняшний день в электронике в качестве диэлектрической подложки – конструктивного элемента – широко применяется керамика на основе  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{BeO}$  и  $\text{AlN}$ , которая обладает высокими диэлектрическими свойствами и высокой теплопроводностью. В последнее время все чаще в качестве основного материала применяют нитрид алюминия.

Преимущество нитрида алюминия перед другими материалами обусловлено уникальным сочетанием его физических и электрических характеристик: высокой теплопроводности, хороших электроизоляционных свойств, умеренного коэффициента теплового расширения при относительно невысокой стоимости, таблица 1. В последнее время ряд зарубежных фирм, выпускающих электронные компоненты, переходят на использование нитрида алюминия практически во всех областях, где раньше традиционно применялась окись бериллия. Наиболее интенсивно нитрид алюминия используется для изготовления корпусов и подложек интегральных схем, мощных транзисторов, поглотителей и оконечных нагрузок [1].

Таблица 1. Сравнительная характеристика свойств соединений, составляющих основу теплопроводной керамики [1].

Параметр	$\text{AlN}$	$\text{BeO}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$
Теплопроводность, Вт/м·К	180–200	220–240	18–24
Прочность на изгиб, МПа	250–300	170–230	300–350
Электрическая прочность, кВ/мм	14–18	10	14–18
Удельное электросопротивление (при 25 °С), Ом·м	$>10^{12}$	$>10^{11}$	$>10^{12}$
Диэлектрическая постоянная (при 1 МГц)	9	8	9–10
Тангенс угла диэлектрических потерь:			
при 1 МГц	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$
при 10 МГц	$5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$
Коэффициент температурного линейного расширения (25 °С), $10^{-6}/^\circ\text{C}$	4,6	7,8	8,0
Плотность, г/см <sup>3</sup>	3,26	2,9	3,9

Область применения нитрида алюминия в мире шире, чем оксида бериллия. Технология получения бериллиевой керамики признана вредной для окружающей среды, и этот материал в настоящее время практически не используется. К тому же керамика из  $\text{AlN}$  обладает выдающимися энергетическими, изолирующими свойствами и относи-

тельно высокой теплопроводностью ( $\geq 170$  W/mK), ближе по коэффициенту теплового расширения к кремнию, основе большинства кристаллов, применяемых в силовой электронике, чем керамика из  $\text{BeO}$ , т.е. нитрид алюминия разрешает сборку компактных, рентабельных компонентов и гибридов с высокой плотностью интеграции. Превосходная механическая прочность и низкий тепловой коэффициент расширения позволяют беспрепятственно внедрение в систему, а также позволяет повысить надежность, особенно в условиях циклических тепловых нагрузок [2].

Главным недостатком керамики на основе нитрида алюминия является сложность её изготовления. Для спекания изделий из порошка нитрида алюминия необходима высокая температура порядка 1800–1850 °С, из-за чего данный процесс является энергозатратным, а также отсутствие доступа кислорода, поскольку при нагревании в присутствии кислорода нитрид алюминия окисляется до оксида алюминия.

Целью данной работы является исследование способа снижения температуры спекания изделий из нитрида алюминия путём использования стекла в качестве связующего вещества.

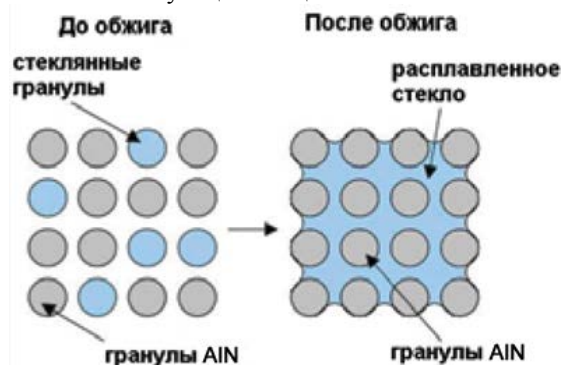


Рис. 1 Использование стекла при спекании керамики на основе  $\text{AlN}$ .

На рис. 1 показан общий принцип использования стекла как связующего вещества стекла при спекании керамики на основе нитрида алюминия. К исходному порошку основы керамики добавляется порошок стекла, после чего производится формование изделий и их спекание.

К стеклу для создания композиционного материала предъявляются определенные требования: согласованность КТР стекла и нитрида алюминия; отсутствие дорогостоящих и дефицитных материалов в его составе; сравнительно низкие температуры появления расплава; отсутствие взаимодей-

ствия стекольного расплава с нитридом алюминия; хорошая смачиваемость нитрида стекольным расплавом.

В связи с этим в работе были поставлены и успешно решены следующие задачи:

1. Рассчитать свойства выбранных марок стёкол, используемых в производстве керамики;
2. Выбрать на основе расчётных свойств марку стекла, наиболее подходящую для спекания с нитридом алюминия;
3. Приготовить стекло выбранного состава;
4. Исследовать фактические свойства полученного стекла;
5. Оценить пригодность полученного стекла к использованию в композиционной керамике на основе нитрида алюминия.

Расчёт свойств стёкол производился при помощи программы «SciGlass». На основании полученных расчетных данных было выбрано стекло марки С49-1, которое по своим свойствам наиболее близко к нитриду алюминия. Теоретические свойства выбранного стекла по данным расчёта приведены в таблице 2:

Таблица 2. Свойства стекла марки С49-1 по данным программы «SciGlass».

<b>Состав</b>	SiO <sub>2</sub> - 66,5 % B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 20,3 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 4,0 % Na <sub>2</sub> O - 8,7 % MnO - 0,5 %
$\alpha \times 10^6, K^{-1}$	4,9
$T_g, ^\circ C$	561,2 (Priven-2000)
$\sigma, мН/м$	211,7 (Priven-2000)
$\lambda, Вт/м \times K$	1,055 (Choundhary And Potter)
$\epsilon'$	4,838 (Kharjuzov and Zorin)
$\log \rho, Ом \times см$	15,32 (Mazurin)

Затем было приготовлено стекло выбранного состава. Приготовление включало расчёт и приготовление шихты, брекети́рование шихты и её прокаливание, варку стекла в стекловаренной печи при температуре 1350 °С и измельчение полученного стекла до полного прохождения через сито № 0063.

Исследование свойств полученного стекла включало рентгенофазовый анализ исходной шихты и готового стекла, а также дилатометрический анализ стекла.

На рис. 2 представлена рентгенограмма исходной шихты. На рентгенограмме присутствуют рефлексы соответствующие всем исходным сырьевым материалам.

На рис 3. представлена рентгенограмма полученного стекла, на которой видно характеристическое аморфное гало, которое показывает отсутствие кристаллических фаз в составе сваренного стекла.

КТР сваренного стекла был определён на горизонтальном цифровом дилатометре марки 402 РС, при скорости нагрева 2°/мин, до температуры 500°С.

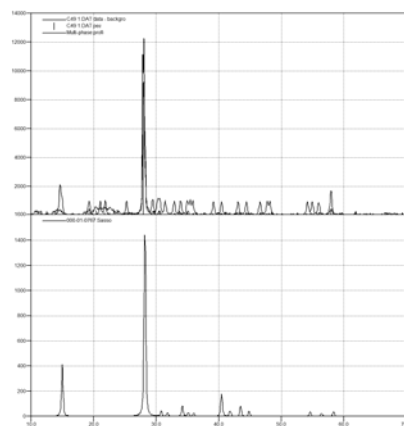


Рис. 2. Рентгенограмма исходной шихты.

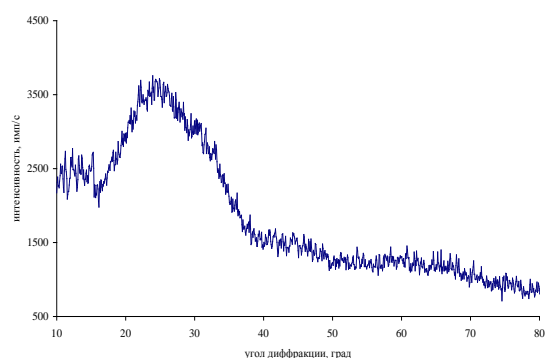


Рис. 3. Рентгенограмма готового стекла.

Выводы:

1. Из рентгенограмм видно, что в процессе варки стекло полностью проварилося, и в нём не осталось исходных сырьевых материалов;
2. КТР полученного стекла по данным дилатометрического анализа составил  $5,008 \times 10^{-6} K^{-1}$ , что близко по значению к КТР нитрида алюминия, который составляет  $(4,6 \div 5,3) \times 10^{-6} K^{-1}$ .
3. На основании полученных данных можно считать, что выбранный состав стекла подходит для совместного спекания с нитридом алюминия и может быть рекомендован для дальнейших исследований на возможность его применения в композиционной керамике на основе нитрида алюминия.

#### Список литературы:

1. В.И. Костенко, В.С. Серегин, Л.А. Грошкова, А.И. Василевич. Перспективы использования высокотеплопроводной керамики из нитрида алюминия в космическом приборостроении. М.: Институт космических исследований РАН. - 7 с.
2. Подложки из нитрида алюминия [Электронный ресурс] // www.timosha.by. URL: [http://www.timosha.by/index.php?option=com\\_content&view=article&id=120&Itemid=120](http://www.timosha.by/index.php?option=com_content&view=article&id=120&Itemid=120).