



Научно-производственное предприятие  
Акционерное общество «ЭКОН»

*Брызгина Елена Борисовна,  
инженер-технолог*

---

# **Изготовление твердоэлектролитного сенсора планарного типа**

*Авторский коллектив:  
Брызгина Е.Б., Стовпяга В.Н., Чернов М.Е.*



## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ – НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНЫЙ ПУТЬ ЭКОНОМИИ ТОПЛИВА

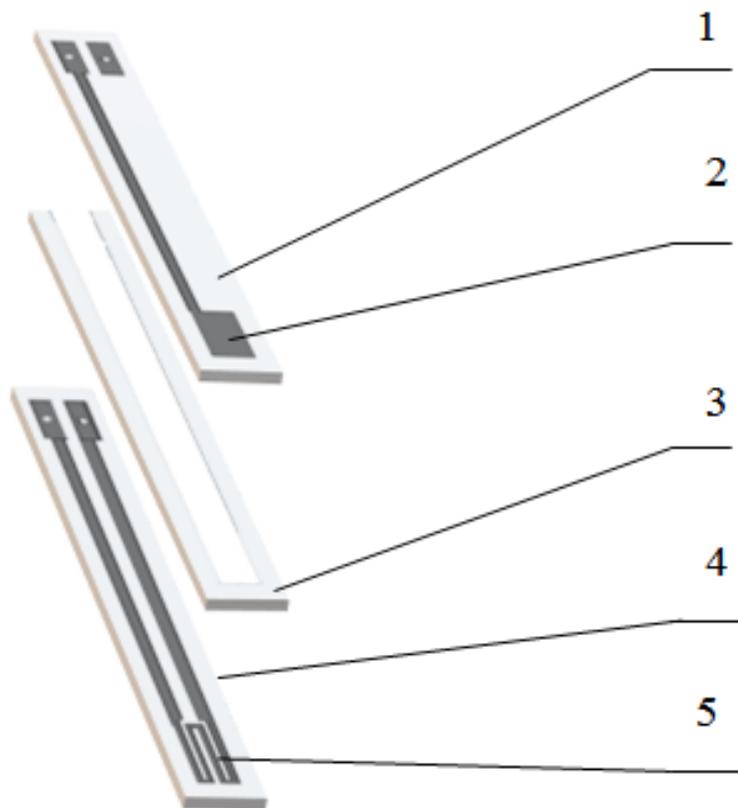
**Слишком много кислорода** – потери тепла, следовательно, перерасход топлива.

**Слишком мало кислорода** – неполное сгорание и перерасход топлива + загрязнение окружающей среды.

**Оптимальное содержание кислорода** – минимизирует расход топлива и количество вредных для экологии выбросов, а также увеличивает длительность службы оборудования.

***Для поддержания оптимального соотношения  
«топливо – кислород»  
необходим контроль кислорода в процессе горения***

## Устройство керамического чувствительного элемента размером 50×5×1 мм



1 – Верхняя пластина из  $ZrO_2$

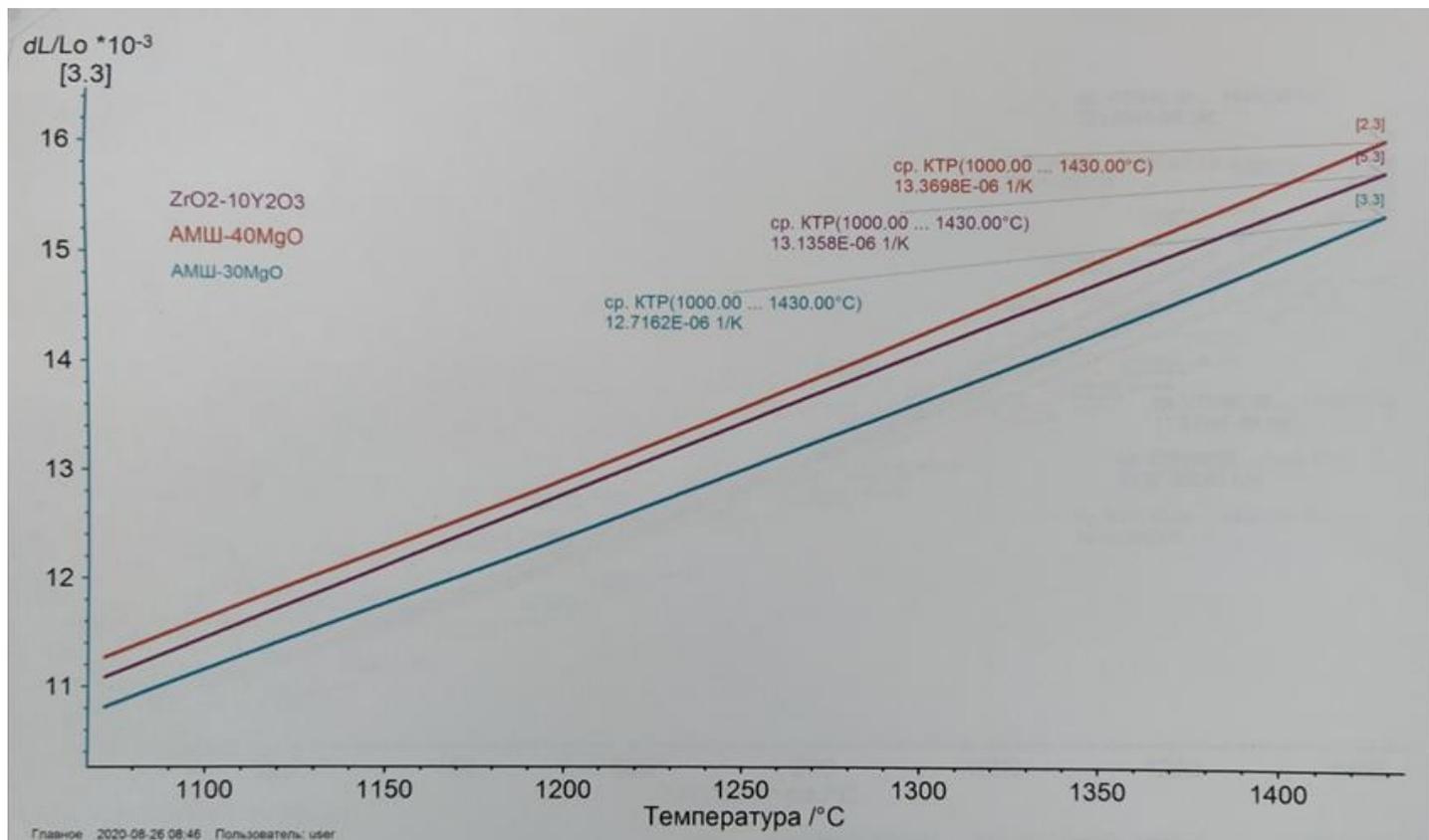
2 - Электроды

3 – Средняя пластина-  
электроизолятор из  $MgAl_2O_4$

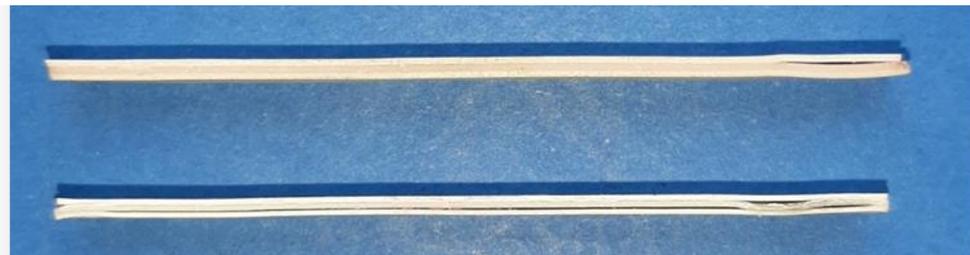
4 – Нижняя пластина из  $MgAl_2O_4$

5 – Нагревательный элемент

**Цель:** максимально уменьшить пористость и, что наиболее важно, добиться полной герметичности планара



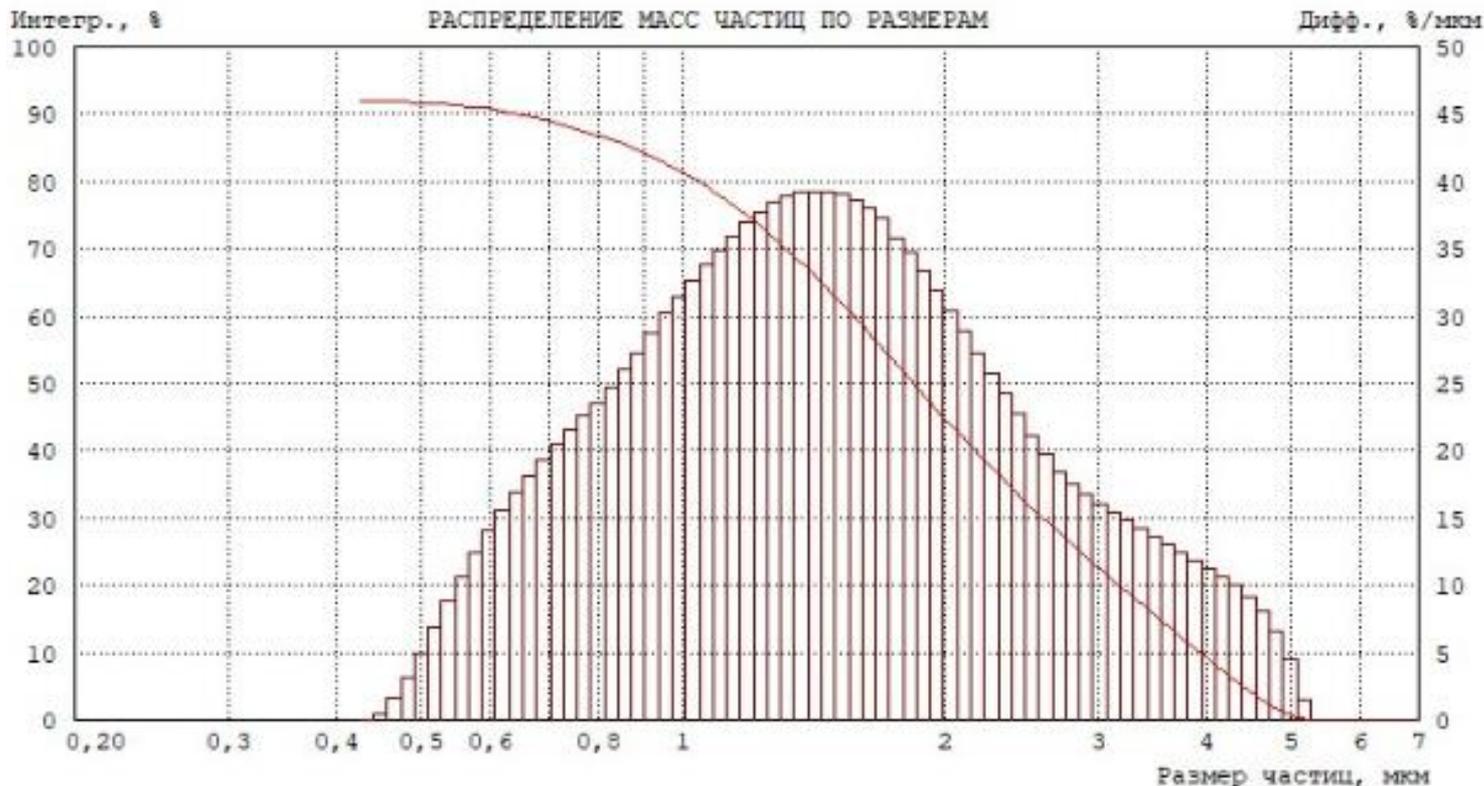
**Результаты дилатометрического анализа и коэффициенты термического расширения, определяемые при подборе материалов**



Одна из основных причин:  
неравномерность усадки при спекании

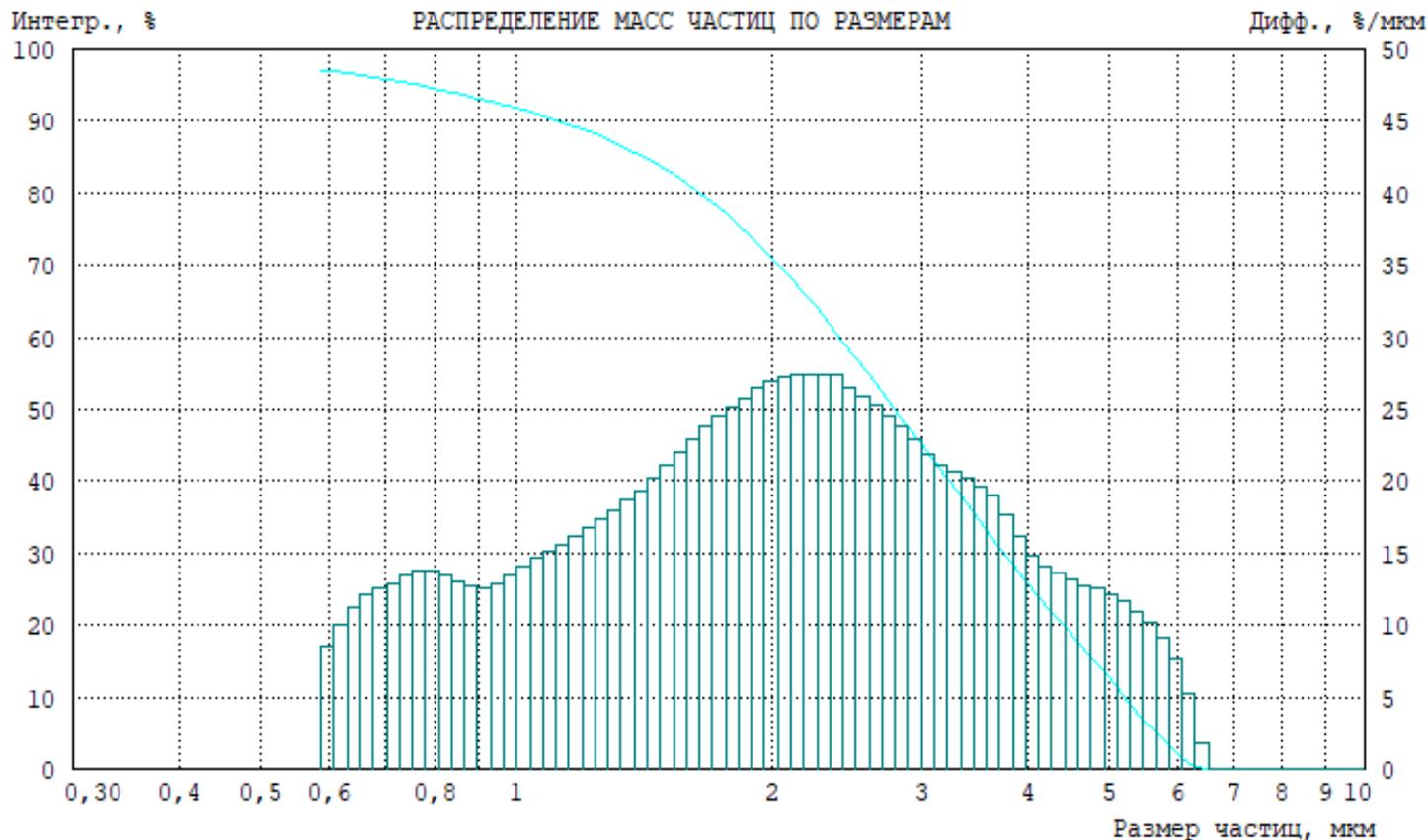
*Изгибы, негерметичность соединения - расслоение, растрескивание по шву*

**Решение –  
выравнивать коэффициенты усадки.**



50% частиц  
крупнее 1,8  
мкм, наиболее  
вероятный  
размер частиц  
– 1,4 мкм,  
средний  
размер – от 1  
до 2,5 мкм.

$$S_{уд} = 7070 \text{ см}^2/\text{г}$$



50% частиц  
крупнее 2,8  
мкм,  
наиболее  
вероятный  
размер – 0,8  
и 2,3 мкм,  
средний  
размер – от  
1,5 до 3 мкм.

$$S_{уд} = 12020 \text{ см}^2/\text{г}$$



Методом пленочного литья были изготовлены пленки из  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  и из  $\text{ZrO}_2$ , задача – определить коэффициенты усадки данных пленок при спекании.

Таблица 1 – Коэффициенты усадки по осям  $x$ ,  $y$ ,  $z$  для  $ZrO_2$

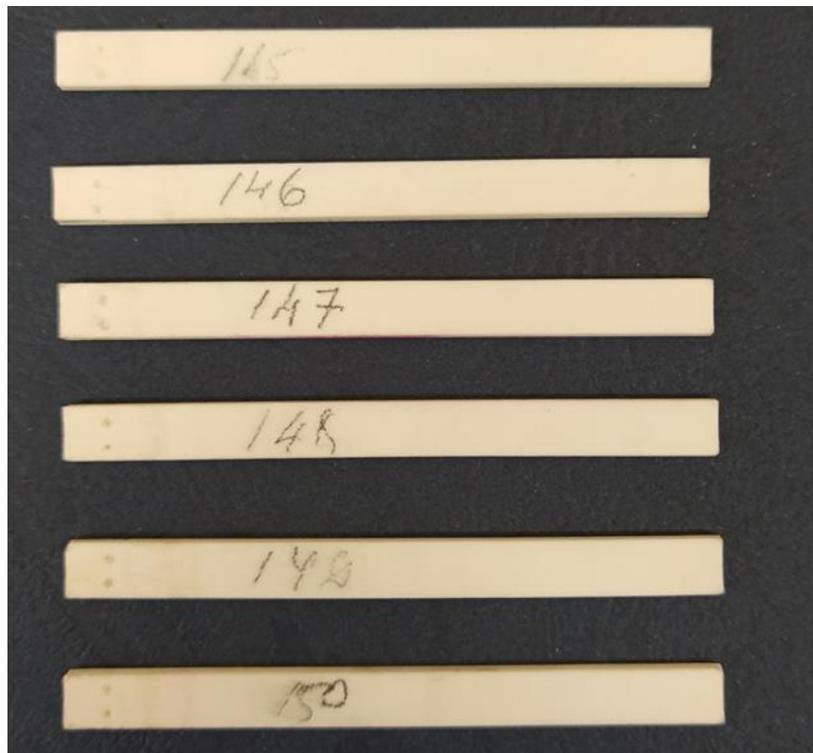
$x_1$ (длина)	$y_1$ (ширина)	$z_1$ (высота)
1,186	1,166	1,146

Таблица 2 – Коэффициенты усадки по осям  $x$ ,  $y$ ,  $z$  для  $MgAl_2O_4$

$x_2$ (длина)	$y_2$ (ширина)	$z_2$ (высота)
1,197	1,160	1,029

Таким образом, отношения  $K_{yc}$  данных двух материалов:

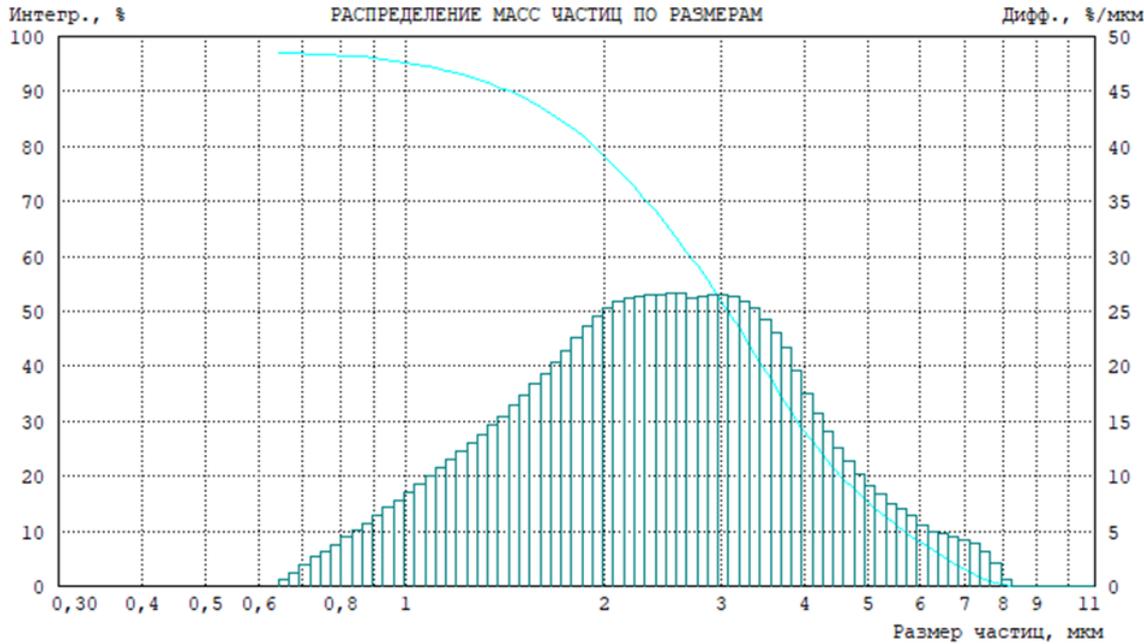
$$\frac{x_2}{x_1} = 1,009, \frac{y_1}{y_2} = 1,005, \frac{z_1}{z_2} = 1,114.$$



***В образцах наблюдался выход пузырей с ребер и торца в местах соединения диоксида циркония и шпинели, что говорит об отсутствии герметичности.***



- Разница коэффициентов усадки недостаточно согласована
- Способ решения – увеличить удельную поверхность порошков для активации процесса термообработки и получить порошки с более близким гранулометрическим составом

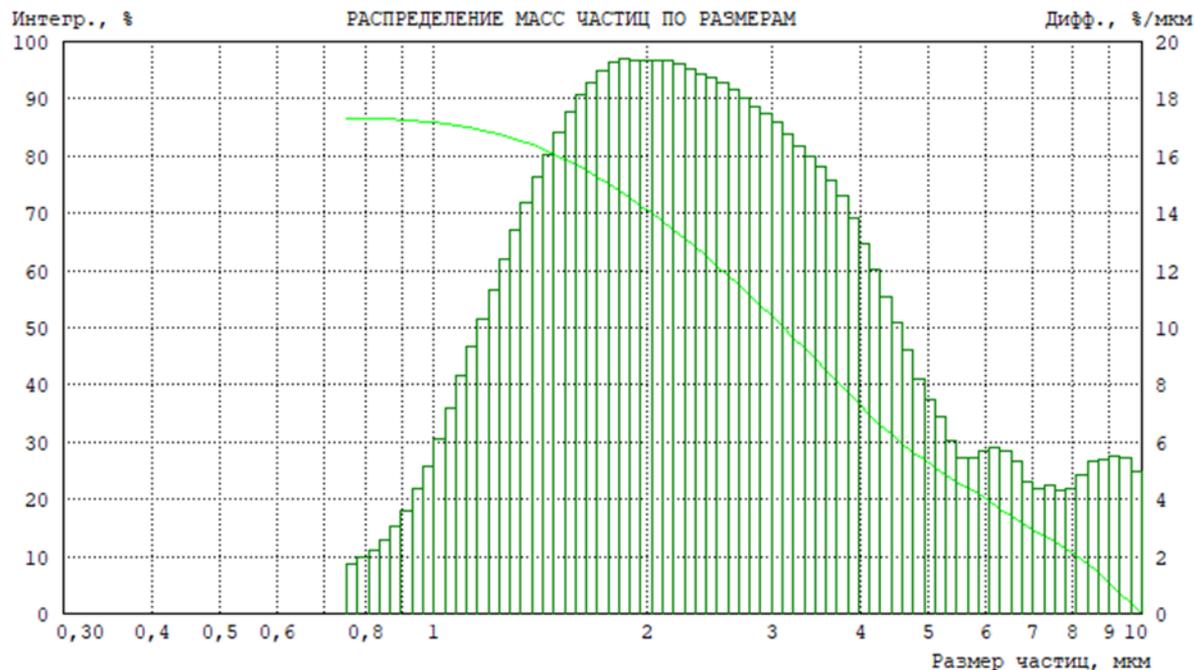


Последнее измерение

Крупнее, мкм	%	В интервале, мкм	%	Крупнее, мкм	%	В интервале, мкм	%
0.7	96,9	0 - 0.7	3,1	5	15,3	3 - 5	36,7
1	95,3	0.7 - 1	1,6	7	3,1	5 - 7	12,2
2	78,3	1 - 2	17,0	10	0,0	7 - 10	3,1
3	52,0	2 - 3	26,3	11	0,0	10 - 11	0,0

Средний размер частиц  
– от 2 до 3 мкм.

$$S_{уд} = 8560 \text{ см}^2/\text{г}$$



Последнее измерение

Крупнее, мкм	%	В интервале, мкм	%	Крупнее, мкм	%	В интервале, мкм	%
1	86,7	0 - 1	13,3	5	26,2	3 - 5	25,8
2	70,6	1 - 2	16,1	7	14,8	5 - 7	11,4
3	52,0	2 - 3	18,6	10	0,0	7 - 10	14,8

Средний размер  
частиц – от 2 до  
3 мкм.

$$S_{уд} = 14300 \text{ см}^2/\text{г}$$

Таблица 1 – Коэффициенты усадки по осям  $x, y, z$  для  $MgAl_2O_4$

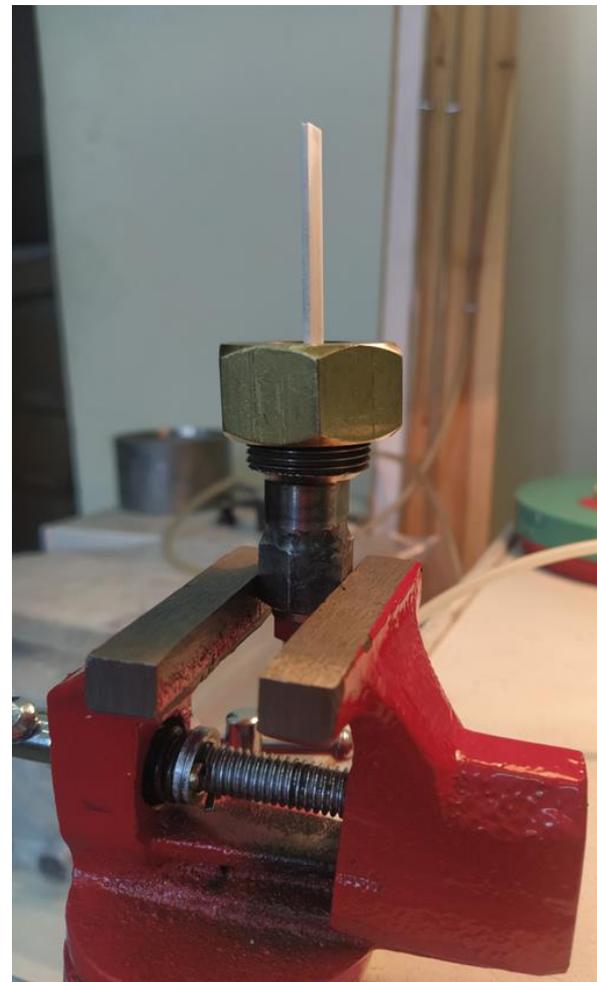
$x_1$ (длина)	$y_1$ (ширина)	$z_1$ (высота)
1,202	1,190	1,125

Таблица 2 – Коэффициенты усадки по осям  $x, y, z$  для  $ZrO_2$

$x_2$ (длина)	$y_2$ (ширина)	$z_2$ (высота)
1,213	1,181	1,120

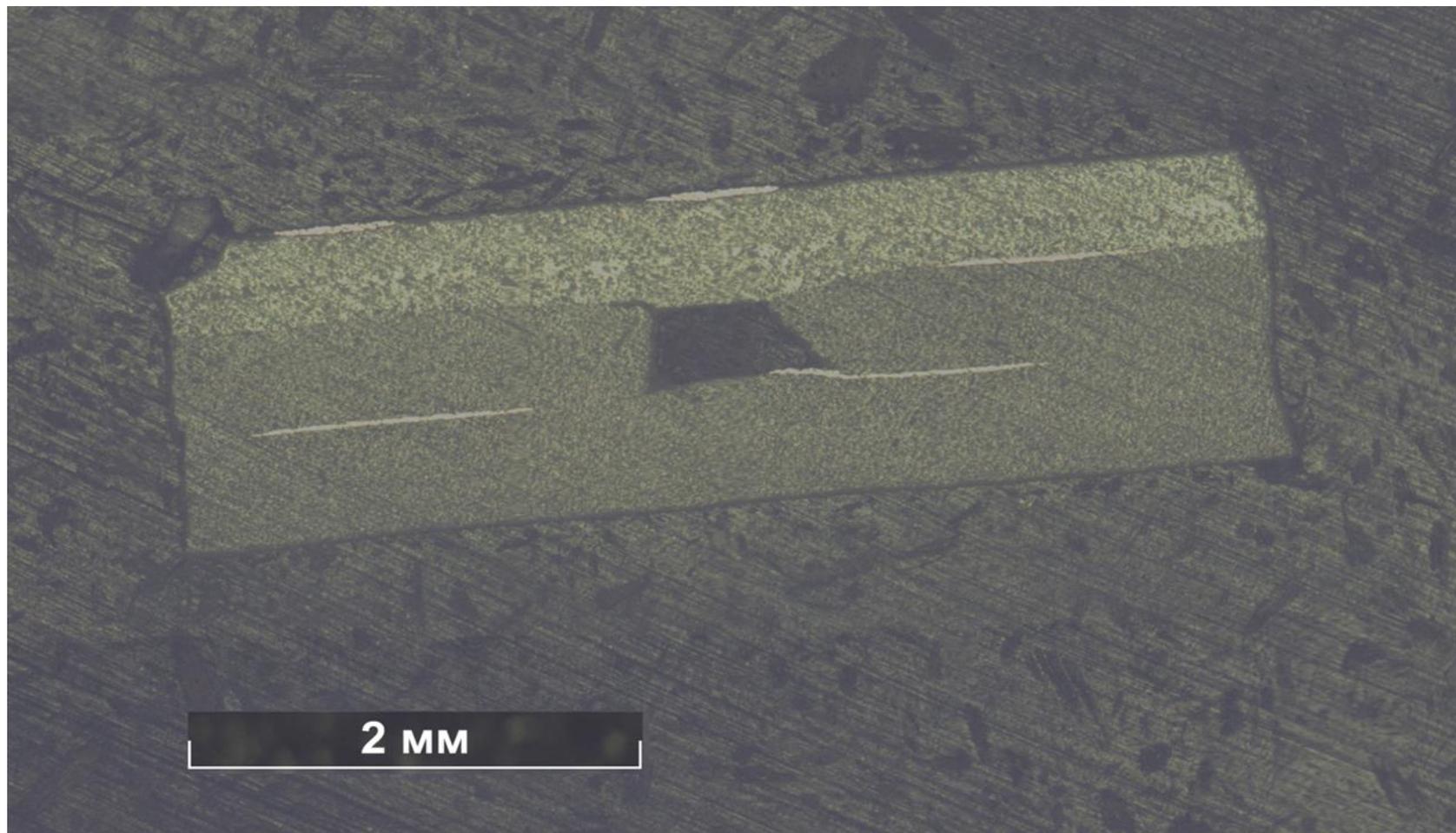
Отношения  $K_{yc}$  данных двух материалов:  $\frac{x_2}{x_1} = 1,009$ ,  $\frac{y_1}{y_2} = 1,008$ ,  $\frac{z_1}{z_2} = 1,004$

- Были изготовлены планарные чувствительные элементы, изгиб не наблюдался, пневмогидравлическим методом проверяли на герметичность.
- **Вывод:** все образцы оказались герметичны.
- Таким образом, экспериментальным путем было подобрано отношение удельных поверхностей около 1,67, при котором соединение пластин герметично и усадка происходит без изгиба.

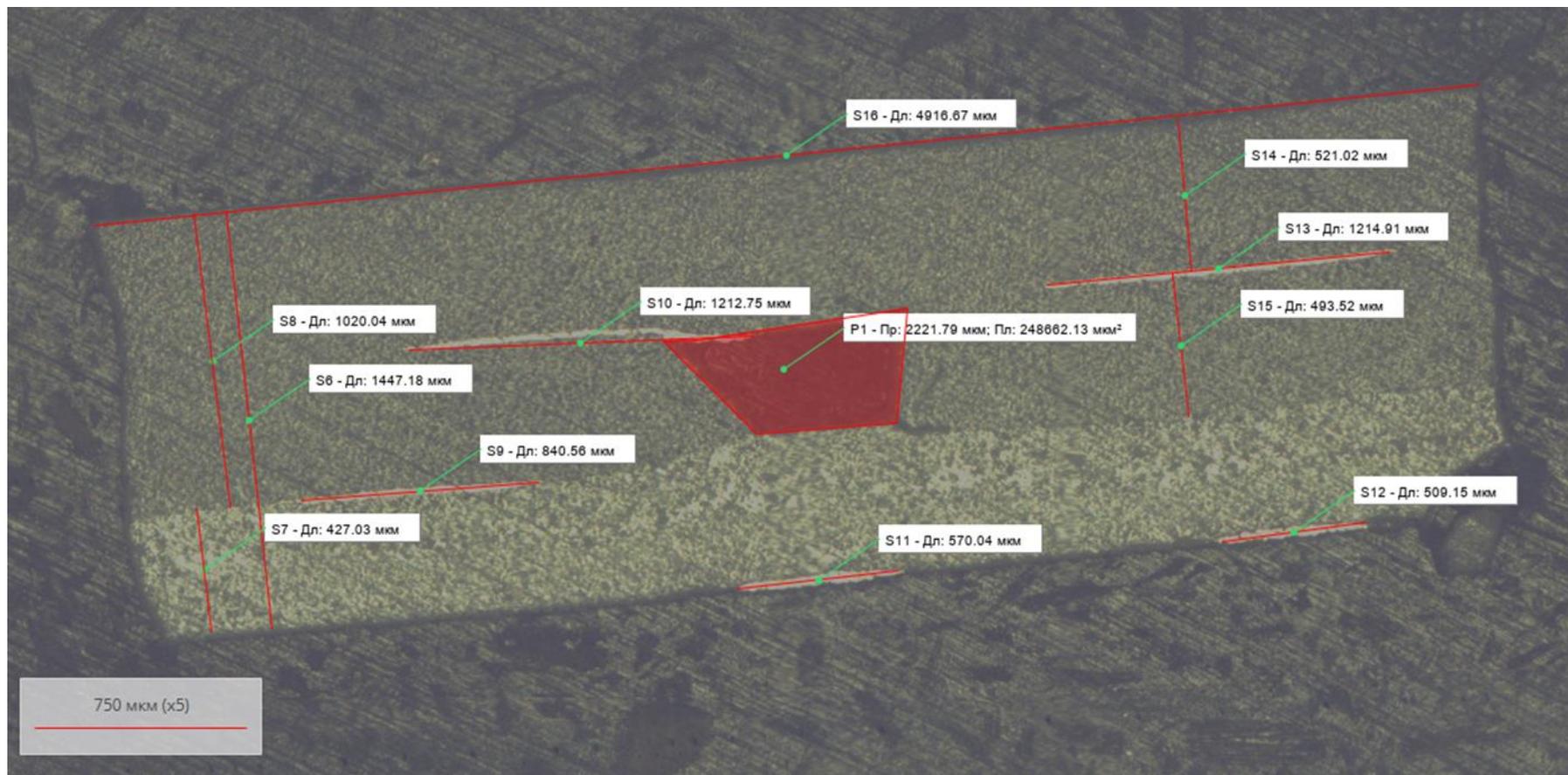




Параметр	Положительный результат	Отрицательный результат
Отношение $K_{yc}$ по x, y, z	1,009; 1,008; 1,004	1,009; 1,005; 1,114
$S_{уд}$ , см <sup>2</sup> /г (ZrO <sub>2</sub> и MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )	8560; 14300	7070; 12020
Средний размер, мкм	2-3	ZrO <sub>2</sub> : 1-2,5; MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> : 1,5-3



***Снята в светлом поле на объективе 5x методом панорамирования***



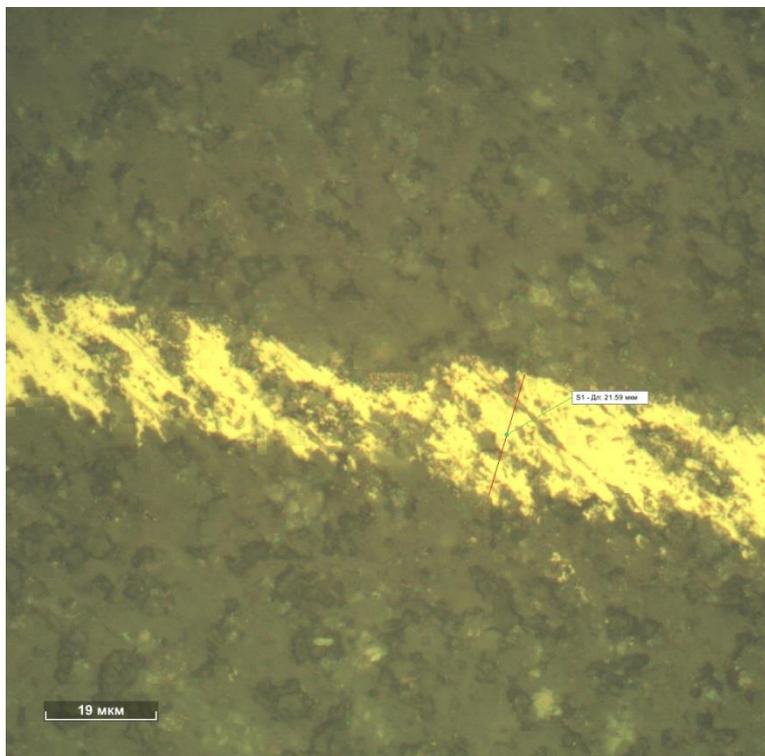
*Микрофотография шлифа с нанесенными измерениями*

**Таблица измерений длин**

<b>Название элемента</b>	<b>Длина, мкм</b>
Ширина планара	4916,67
Высота планара	1447,18
Общий слой АМШ	1020,04
1 слой АМШ	521,02
2 слой АМШ	493,52
Слой диоксида циркония	427,03
Дорожки на диоксиде циркония	570,04 и 509,15
Дорожки на АМШ	1212,75 и 1214,91
Дорожка между диоксидом циркония и АМШ	840,56

**Другие измерения**

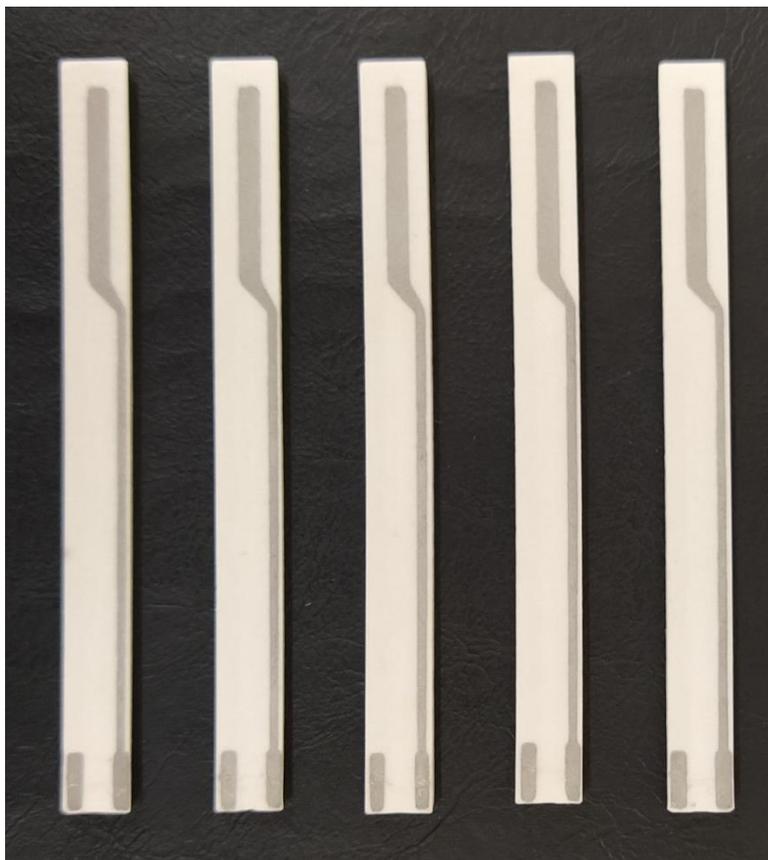
Площадь воздушного канала	248662,13 мкм <sup>2</sup>
Периметр воздушного канала	2221,79 мкм
Толщина слоя электрода (в среднем)	21 мкм



Измерена толщина нанесенного слоя электрода, среднее значение - 21 мкм.

**Вывод:** расслоения слоев керамики не выявлено, микроструктура достаточно однородна, дорожки нанесены равномерно.

*Микрофотография сечения планара.  
Нанесенный электрод, съемка в  
светлом поле на объективе 100х  
методом вертикальной сшивки*



Были изготовлены керамические чувствительные элементы, на них нанесены дорожки электродов. Сенсоры герметичны, готовы для дальнейшего использования в датчиках кислорода.

*Готовые КЧЭ с нанесенными электродами*



Научно-производственное предприятие  
Акционерное общество «ЭКОН»

г. Обнинск, ул. Лесная, д. 9,  
тел.:(484) 396-62-66  
www.econobninsk.ru

# Спасибо за внимание!



Научно-производственное предприятие  
Акционерное общество ЭКОН

ENG

[ГЛАВНАЯ](#) [НОВОСТИ](#) [О НАС](#) [ПРОДУКЦИЯ](#) [ПАРТНЕРЫ](#) [ЦЕНЫ](#) [КОНТАКТЫ](#)

**ИССЛЕДОВАНИЯ И СЕРИЙНОЕ  
ПРОИЗВОДСТВО ТЕХНИЧЕСКОЙ КЕРАМИКИ**

РАЗРАБАТЫВАЕМ ТЕХНОЛОГИЮ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ И НЕОБХОДИМУЮ ДЛЯ ЭТОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКУЮ ОСНАСТКУ	ПРОИЗВОДИМ МАЛЫЕ СЕРИИ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ И НАЗНАЧЕНИЯ, В ТОМ ЧИСЛЕ КОНСТРУКЦИОННУЮ, ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННУЮ И ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННУЮ КЕРАМИКУ	ИЗГОТОВЛИВАЕМ КЕРАМИЧЕСКИЕ ДЕТАЛИ КАК МАКСИМАЛЬНО ПЛОТНЫЕ, ТАК И ОБЛАДАЮЩИЕ ЗАКРЫТОЙ ИЛИ ОТКРЫТОЙ ПОРИСТОСТЬЮ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ ЗАКАЗЧИКА	ЯВЛЯЕМСЯ ОДНИМ ИЗ НЕМНОГИХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ РАЗРАБАТЫВАЮЩИХ И ПРОИЗВОДЯЩИХ ТЕХНИЧЕСКУЮ КЕРАМИКУ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ
---	--	---	---

«ТЕХНИЧЕСКАЯ КЕРАМИКА. СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ И АКТУАЛЬНЫЕ ТРЕНДЫ»

Круглый стол, 08 сентября 2022 года, г. Обнинск