

## Разработка технологии изготовления материала с высоким значением диэлектрической проницаемости (свыше 10000)

Н.С. Карасёв<sup>1</sup>, В.М. Коломин<sup>1</sup>, Д.А. Соколов<sup>1</sup>, А.В. Смирнов<sup>2</sup>, М.В. Корнюшин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>АО «НПП «Исток» им. Шокина»

<sup>2</sup>РТУ МИРЭА

**Аннотация:** в данной работе представлены результаты разработки материала и технологии изготовления керамики с диэлектрической проницаемостью ( $\epsilon$ ) свыше 10000, из смеси отечественных исходных компонентов титаната бария ( $\text{BaTiO}_3$ ) и станната кальция ( $\text{CaSnO}_3$ ). Определены условия синтеза станната кальция, который является важным исходным компонентом при получении материала с высоким значением  $\epsilon$ . Определено оптимальное соотношение  $\text{BaTiO}_3$ - $\text{CaSnO}_3$ , при котором достигается высокое значение диэлектрической проницаемости (свыше 10000), температурный режим получения плотно спеченной керамики.

**Ключевые слова:** керамические материалы, конденсаторная керамика, титанат бария, станнат кальция

### 1. Введение

Керамические материалы играют ключевую роль в сверхвысокочастотной (СВЧ) технике благодаря их уникальным и стабильным свойствам в широком диапазоне рабочих температур и высоких нагрузках. Они используются при производстве микроволновых фильтров, резонаторов, антенн и других устройств, работающих в СВЧ диапазоне. Зарубежные компании, такие как «Murata Manufacturing Co.» (Япония), «Echelia» (Франция), «American Technical Ceramics» (США), достигли значительных успехов в производстве керамических материалов, обладающих уникальными электротехническими свойствами, которые применяются при изготовлении СВЧ техники. В России наблюдаются проблемы с производством высококачественных исходных компонентов для производства керамических материалов, что повышает зависимость от импорта этих материалов. В свете текущей мировой политической ситуации, высококачественное сырье для производства в России практически недоступно, и это заставляет отечественные компании искать альтернативные пути и решения, включая собственные разработки.

На предприятии АО «НПП «Исток» им. Шокина» в настоящее время существует производство фильтров нижних частот (ФНЧ). В конструкции ФНЧ используются керамические конденсаторы виде трубок, поставляемые из Республики Беларусь. Керамический материал из которого изготавливают керамические конденсаторы имеет диэлектрическую проницаемость свыше 10000. Схема производства, в которой задействованы зарубежные предприятия накладывает ряд трудностей на производственный цикл. В связи с этим была организована работа по освоению технологии производства керамического материала, обладающего значением  $\epsilon > 10000$ , непосредственно на предприятии с целью оптимизации процесса производства ФНЧ.

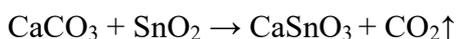
Для производства керамического материала с диэлектрической проницаемостью свыше 10000 в основном применяются титанат бария ( $\text{BaTiO}_3$ ) и станнат кальция ( $\text{CaSnO}_3$ ), при определенном соотношении и температуре спекания. Титанат бария широко изучен, и производится в промышленном масштабе, станнат кальция в России не производится.

Основной целью данной работы, является синтез станната кальция, определение оптимального соотношения титанат бария/ станнат кальция и режимов спекания, для получения керамического материала с высоким значением диэлектрической проницаемостью (свыше 10000).

## 2. Подготовка образцов и экспериментальные результаты

В работе применялся титанат бария отечественных производителей. Проведенный РФА анализ показал, что сингония BaTiO<sub>3</sub> кубическая в независимости от производителя. Из литературы известно, что именно такая структура материала обладает высоким значением диэлектрической проницаемости.

Станнат кальция получали методом твердофазного синтеза по следующей реакции:



Информация по получению CaSnO<sub>3</sub> в научно-технической литературе отсутствует. Учитывая, что в твердофазном синтезе температура и время выдержки, являются ключевыми факторами, было исследовано их влияние на содержание станната кальция в продукте реакции, данный параметр контролировался рентгенофазовым анализом. Используя полученные данные, были определены оптимальные режимы твердофазного синтеза станната кальция. Температурный интервал исследований от 1300 °С до 1600 °С; время выдержки варьировалось от 4 до 12 часов.

Для определения оптимального соотношения BaTiO<sub>3</sub>/CaSnO<sub>3</sub> и получения экспериментальных образцов с ε свыше 10000, применялись исходные компоненты компании ООО «Hitech Ceramics» (г. Санкт-Петербург). Соотношение титанат бария/станнат кальция варьировалось от 84% до 92% (по BaTiO<sub>3</sub>). В ходе данного исследования, был получен керамический материал с значением ε = 11600, а также определен температурный режим обжига.

Далее в работе был исследован керамический материал (смесь BaTiO<sub>3</sub>/CaSnO<sub>3</sub>) полученный при использовании титанат бария разных производителей: ЗАО «НПФ «Люминофор», г. Ставрополь (марки ТБК-1 и ТБК-2) и ООО «Hitech Ceramics», г. Санкт-Петербург. Результаты измерения диэлектрической проницаемости представлены в таблице 2.

**Таблица 1.** Диэлектрическая проницаемость экспериментальных образцов

№ образца	Экспериментальный образец	Диэлектрическая проницаемость
1	BaTiO <sub>3</sub> – ООО «Hitech Ceramics» CaSnO <sub>3</sub> - ООО «Hitech Ceramics»	11600
2	BaTiO <sub>3</sub> – ЗАО «НПФ «Люминофор», ТБК-1 CaSnO <sub>3</sub> - ООО «Hitech Ceramics»	11800
3	BaTiO <sub>3</sub> – ЗАО «НПФ «Люминофор», ТБК-2 CaSnO <sub>3</sub> - ООО «Hitech Ceramics»	16700

В данной работе не исследовалась причина различия значений диэлектрической проницаемости, из литературы известно, что это связано с параметрами кристаллической решетки титаната бария. Очевидно, что кристаллическая решетка BaTiO<sub>3</sub> (марка ТБК-2) имеет более высокую степень совершенства по сравнению с другими марками, что косвенно доказывается полученными результатами.

## 3. Заключение

Получен керамический материал, обеспечивающий диэлектрическую

проницаемость образцов спеченной конденсаторной керамики свыше 10000. Определены оптимальные технологические режимы синтеза станната кальция, одного из компонентов при получении конденсаторной керамики: температура синтеза и время выдержки.

В рамках разработки технологии получения керамического материала с значением диэлектрической проницаемости свыше 10000, определены: оптимальное соотношение смеси  $\text{BaTiO}_3/\text{CaSnO}_3$ , температура обжига, время выдержки. Проведен сравнительный анализ значений диэлектрической проницаемости при использовании различных марок титаната бария.

Результаты, полученные в ходе проведения исследований, удовлетворительные. Керамический материал, в перспективе возможно применять для получения трубчатых керамических конденсаторов. Следующим этапом данной работы, является отработка режимов формования трубок необходимых габаритов.

Работа выполнена в рамках выполнения индикаторов по проектам, финансируемым из госбюджета или других внешних источников: **Национальный проект «Наука и университеты» для достижения результата «Создание новых лабораторий, в том числе под руководством молодых перспективных исследователей (нарастающий итог)», FSFZ-2022-0003.**