

**ВЛИЯНИЕ ТЕКСТУРЫ НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕРАМИКИ
НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ $x\text{LaAlO}_3-(1-x)\text{CaTiO}_3$**

Шепелюк М.Ю., Лобачёв Н.Ю., Близнюк Л.А., Летко А.К., Очков Д.С.

Шепелюк М.Ю. – ПАО “РАДИОФИЗИКА”, г. Москва, РФ, shepelukmu@mail.ru

Лобачёв Н.Ю. – ПАО “РАДИОФИЗИКА”, г. Москва, РФ, mr.NikitaYurievich@mail.ru

Очков Д.С. – ПАО “РАДИОФИЗИКА”, г. Москва, РФ, ochkov@rastr-radio.ru

*Близнюк Л.А. – Государственное объединение “Научно-практический центр
Национальной академии наук Беларуси по материаловедению”, г. Минск, Беларусь,
luyda@physics.by*

*Летко А.К. – Государственное объединение “Научно-практический центр
Национальной академии наук Беларуси по материаловедению”, г. Минск, Беларусь*

Керамические материалы на основе системы $x\text{LaAlO}_3-(1-x)\text{CaTiO}_3$ широко применяются в технике СВЧ. Микроволновая керамика является функциональным материалом и позволяет создавать широкий спектр СВЧ изделий (диэлектрические резонаторы, микроволновые диэлектрические подложки, элементы ФАР, СВЧ фазовращатели, СВЧ фильтры и др.), благодаря которым снижаются массогабаритные характеристики в 1,5-2 раза, увеличивается срок службы элементов телекоммуникационных систем и аэрокосмической техники [1].

Направление развития керамических материалов для диэлектрических резонаторов - это повышение их добротности, снижение диэлектрических потерь в широком диапазоне СВЧ при сохранении требуемой диэлектрической проницаемости и термостабильности характеристик.

Научная идея исследования заключается в возможности управления электрофизическими свойствами посредством текстурирования керамического материала на основе $\text{LaAlO}_3\text{-CaTiO}_3$, с целью совершенствования структуры и морфологии материала в процессе изготовления керамики. Плотность керамики, относительная диэлектрическая проницаемость, тангенс угла диэлектрических потерь, размер и дисперсия распределения зёрен по размерам являются критическими характеристиками при получении высококачественной функциональной СВЧ керамики. Данные исследования необходимы для понимания процессов образования микроструктуры и влияния текстуры на формирование диэлектрических свойств с целью управления процессами получения керамики с улучшенными эксплуатационными характеристиками. В настоящее время нет данных по исследованиям корреляции условий текстурообразования с электрофизическими свойствами образцов керамики на основе $\text{LaAlO}_3\text{-CaTiO}_3$.

Для проведения исследований образцы получали в виде резонаторов сложной формы методом горячего литья. Для получения резонаторов был приготовлен шликер на основе порошка керамического материала системы $x\text{LaAlO}_3-(1-x)\text{CaTiO}_3$ [2]. Спекание образцов производилось на воздухе при температурах (1400-1500)°С в течение 10 мин - 1 ч. Охлаждение образцов производилось без заданного режима путем отключения печи от сети питания и путем контролирования скорости остывания печи. Обжиги образцов керамики проводили таким образом, чтобы использовать для формирования текстуры температурный градиент печи.

Рентгеновские исследования, спеченных керамик проводились на аппарате ДРОН-3М в CuK_α монохроматическом излучении в диапазоне углов 20-62°.

Наблюдение морфологии поверхности и определение размеров зерен фаз исследуемых керамических материалов осуществлялось с помощью растрового электронного микроскопа марки LEO фирмы «Карл Цейсс».

Измерения диэлектрических параметров (относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь) образцов производились с помощью анализатора импеданса и параметров материалов E4991A (фирма Agilent Technologies) на частоте 1 ГГц.

Было установлено [3], что полученные образцы имеют структуру перовскита с параметром кубической решетки $a=3,8252\text{\AA}$ и теоретической плотностью $4,547 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. На рисунках 1 и 2 представлены рентгенограммы разных сторон резонаторов, полученных при разных режимах.

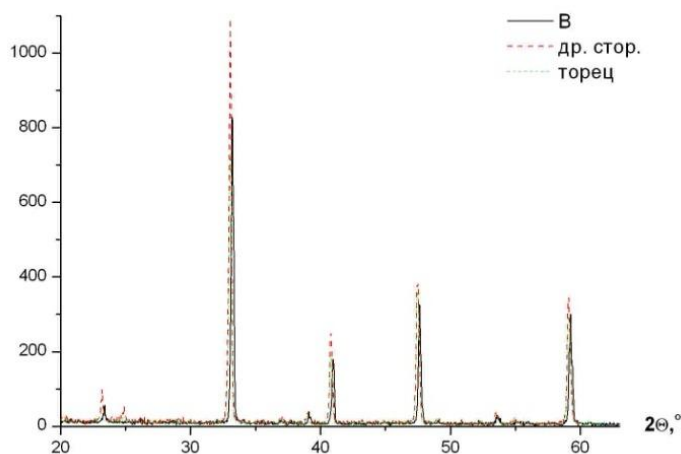


Рисунок 1 - Вид рентгенограмм для образца с текстурой

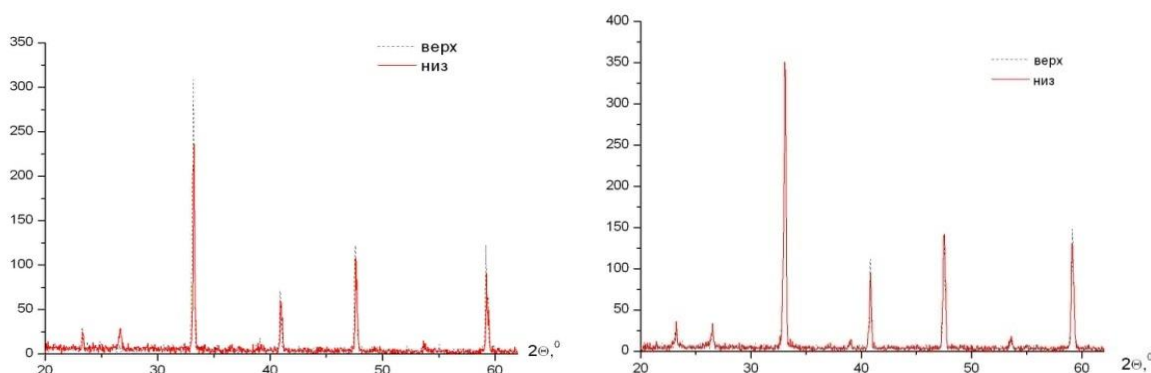
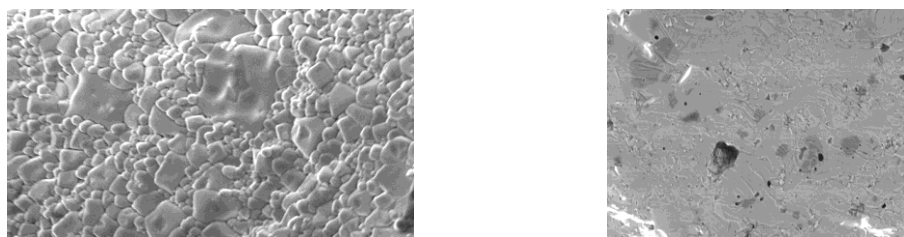


Рисунок 2 - Вид рентгенограмм для образцов: а – с текстурой; б – без текстуры.

В основе исследования текстуры рентгеновским методом было использовано положение, что текстурирование влияет на относительную интенсивность дифракционных максимумов.

Как видно из рис. 1 и 2а, в зависимости от ориентации образца наблюдается изменение относительной интенсивности дифракционных максимумов, из чего можно сделать заключение, что в образцах, полученных при режиме обжига 2, присутствует текстура. В образцах (режим обжига 1) не наблюдается изменение интенсивности дифракционных пиков для разных сторон резонатора.

Микроструктурные исследования показали, что образцы имеют плотноупакованную структуру. Для образцов (рис.3а), в которых присутствует текстура характерно наличие зерен, имеющих форму многогранников размерами 1,0-10,0 мкм. Можно, даже предположить их определенную ориентацию. У образцов без текстуры (рис. 3б) наличие зерновой структуры слабо выражено. Как известно, анизотропность структуры выражается в неоднородности усадки и структурно - механических свойств в различных направлениях. Она объясняется возникновением определенной ориентации частиц не изометрической формы. В процессе обжига, при определенной направленности температурного градиента происходит окончательное формирование текстуры, которая в свою очередь влияет на электрофизические свойства материала.



а б
Рисунок 3 - Микроструктура образцов: а – с текстурой; б – без текстуры.
Увеличение - 5000

Исследования диэлектрических параметров показали, что у текстурированных образцов значения относительной диэлектрической проницаемости и тангенс угла диэлектрических потерь на 10-12% выше, чем у образцов без текстуры. Таким образом, можно утверждать, что наличие текстуры влияет на значения диэлектрических параметров улучшая их значения.

Исследования показали, что, используя технологические приемы, можно получать текстурированные образцы. Текстура керамики на основе системы $x\text{LaAlO}_3-(1-x)\text{CaTiO}_3$, улучшает значения диэлектрических параметров материала и позволяет получать образцы, которые обладают более высокими параметрами.

Полученные результаты будут использованы при изготовлении двухрезонаторных моноблоков полосно-пропускающего фильтра (ППФ). Будут исследованы электрические характеристики полосно-пропускающего фильтра: амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) и значения коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН). На рисунке 4 представлены возможные варианты реализации ППФ из керамики на основе системы $x\text{LaAlO}_3-(1-x)\text{CaTiO}_3$.



а б в
Рисунок 4 - Варианты реализации ППФ из керамики на основе системы $x\text{LaAlO}_3-(1-x)\text{CaTiO}_3$:
а – полосковые фильтры;
б – на диэлектрических резонаторах;
в – на двухрезонаторных моноблоках.

Литература:

1. Акимов А.И., Близнюк Л.А. Исследование керамических материалов для канальных фильтров СВЧ-диапазона, полученных методом горячего литья//Известия Белорусской инженерной академии –2001-№1(11)/3-С.113-115.

2. Влияние плотности шликера при изготовлении керамического корпуса двухрезонаторного моноблока на электрические характеристики полосно-пропускающего фильтра Н.Ю. Лобачев, Д.С. Очков, М.Ю. Шепелюк, Л.А. Близнюк и др. //Радиолокация и связь, 2017, №23, С.13-17.

3. Акимов А.И., Близнюк Л.А., Савчук Г.К. Исследование влияния высокого давления на кинетику спекания и субструктурные характеристики керамических материалов на основе алюмината-титаната кальция.//Физика и техника высоких давлений –2001-т.11-№1-с. с.21-27.