

# Твердые растворы $\text{BaSnTiO}_3$ и $\text{BaZrTiO}_3$ для применения на сверхвысоких частотах

А.В. Тумаркин, Е.Н. Сапего, А.Г. Гагарин.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

**Аннотация:** Проведено экспериментальное исследование структурных и электрофизических свойств многокомпонентных пленок твердых растворов титаната-цирконата и титаната-станната бария на диэлектрических подложках. Показано, что при использовании отжига на подложке формируются пленки с компонентным составом, близким составу распыляемых мишеней. Определены оптимальные температуры осаждения и отжига тонких пленок для получения наилучших электрофизических параметров.

**Ключевые слова:** сегнетоэлектрические тонкие пленки, цирконат-титанат бария, высокочастотное магнетронное распыление, рентгенофазовый анализ.

Твердые растворы на основе титаната бария являются перспективными сегнетоэлектрическими материалами для многочисленных применений. Сегодня опубликован ряд работ, в которых исследуются структурные и электрофизические свойства тонких сегнетоэлектрических (СЭ) пленок с замещением титана цирконием или оловом в твердых растворах [1], в том числе с целью их использования на сверхвысоких частотах [2]. В подавляющем большинстве работ экспериментальные данные по диэлектрическим потерям в СЭ емкостных структурах приводятся для частотного диапазона 1 кГц – 1 МГц. Эти данные не позволяют сделать вывод о применимости полученных пленок на сверхвысоких частотах

В связи с этим целью настоящей работы является поиск технологических приемов, позволяющих получить тонкие слои титаната-цирконата (BZT) и титаната-станната (BSnT) бария, проявляющие высокую нелинейность, на диэлектрической подложке, активно используемой на СВЧ, с высокой добротностью и низкой стоимостью, исследование структуры тонких слоев, выращенных на диэлектрических подложках, и высокочастотных диэлектрических свойств емкостных элементов на их основе, с целью их дальнейшего применения в составе мощных нелинейных элементов сверхвысокочастотного диапазона

Осаждение покрытий проводилось методом ВЧ магнетронного распыления керамических мишеней состава  $\text{BaTi}_{0.8}\text{Zr}_{0.2}\text{O}_3$  и  $\text{BaTi}_{0.8}\text{Sn}_{0.2}\text{O}_3$  на подложки поликора (оксид алюминия). Перед процессом осаждения проводилось предраспыление мишени в стороне от подложкодержателя в течение 30 минут с целью очистки поверхности. Температура подложки  $T_s$  в процессе осаждения контролировалась при помощи термопары, расположенной под подложкодержателем и варьировалась в диапазоне 700 - 880°C для разных серий образцов. В качестве рабочего газа использовалась смесь  $\text{Ar}/\text{O}_2$ , содержание кислорода в смеси менялось от 0 до 100%. Давление рабочего газа составляло от 2 до 10 Па.

Методом рентгенофазового анализа (РФА) было определено, что уменьшение содержания кислорода в рабочем газе приводит к исчезновению аморфной фазы и к улучшению кристаллической структуры как цирконата (BZO), так и станната (BSO) бария, образующихся на подложке без признаков твердых растворов. Вероятной причиной

формирования диэлектрического цирконата/станната бария в кислородосодержащей газовой среде может быть присутствие на подложке примесной фазы оксида титана TiO.

Было определено, что пост-ростовая высокотемпературная обработка радикально меняет структурные свойства исследуемых пленок. В процессе отжига происходит перераспределение титана между вторичными фазами TiO и BZO с образованием твердого раствора BZT состава  $BaZr_{0.3}Ti_{0.7}O_3$ . Наиболее оптимальная температура отжига на основании данных РФА составляет 1150 °С. Аналогичная тенденция наблюдается для системы BSnT.

На основе BZT и BSnT пленок, осажденных в газовой среде Ar/O<sub>2</sub>:3/1 и подвергнутых отжигу при различных температурах, сформированы планарные конденсаторы. Наилучшая управляемость наблюдается у пленок, отожженных при температурах 1100 и 1150 °С при добротностях в диапазоне от 18 до 40.

Согласно литературным данным, конденсаторы, полученные в данной работе, проявляют высокую диэлектрическую нелинейность в СВЧ диапазоне, что является лучшим результатом из опубликованных на сегодня как для сендвич, так и для планарных емкостных структур на основе пленок твердых растворов титаната-цирконата и титаната-станната бария.

Работа выполнена в рамках государственного задания **Министерства науки и высшего образования Российской Федерации №075-01024-21-02 от 29.09.2021 (проект FSEE-2021-0014)**.

#### Список литературы

1. Romaguera-Barcelay Y. et al. Evaluation of nanostructured BiZn<sub>0.5</sub>Ti<sub>0.5</sub>O<sub>3</sub> thin films deposited by RF magnetron sputtering //Materials Science and Engineering: B. – 2021. – Т. 267. – С. 115090.
2. Wu M. et al. High-performance flexible dielectric tunable BTS thin films prepared on copper foils //Ceramics International. – 2019. – Т. 45. – №. 13. – С. 16270-16274.