

## Лазерный отжиг тонких пленок твердого раствора титаната-станната бария

Е.Н. Сапего, А. Денисова, А.В. Тумаркин, Ю.С. Рузанкина, А.Р. Карамов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

**Аннотация:** представлены результаты исследования влияния лазерного отжига тонких пленок титаната-станната бария, богатых оксидами титана, на их структурные свойства. Демонстрируется возможность создания материала/структуры с заданной дисперсионной характеристикой, что открывает перспективы для реализации устройств обработки сигналов, в частности фильтров, линий задержки, формирователей импульса и т.д.;

**Ключевые слова:** сегнетоэлектрические пленки, лазерный отжиг, станнат бария.

Тонкие пленки твердого раствора  $\text{BaSn}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$  (BSnT), где  $(0,2 < x < 0,8)$ , являются перспективным материалом и имеют множество практических применений, таких как многослойные конденсаторы, пьезоэлектрические приводы, солнечные элементы, основа энергонезависимой памяти [1]. Особый интерес данный материал представляет в тонкопленочном исполнении для сверхвысокочастотных (СВЧ) применений [2]. Полученные емкостные элементы на основе тонких пленок твердых растворов  $\text{BaSn}_{0,2}\text{Ti}_{0,8}\text{O}_3$  демонстрируют управляемость (изменение емкости под действием внешнего поля) в 6.8 раз [3]. В данной работе представлены основы технологии формирования композитных сегнетоэлектрических (СЭ) метаматериалов – электрически управляемых структур, сформированных посредством целенаправленного формирования сегнетоэлектрических включений, в том числе сложной геометрической формы, в родственной диэлектрической матрице. Предлагаемый подход основан на локальном лазерном отжиге пленки станната бария, содержащей оксиды титана, позволяющем целенаправленно формировать сегнетоэлектрические неоднородности состава  $\text{BaSn}_{0,2}\text{Ti}_{0,8}\text{O}_3$  в матрице линейного диэлектрика.

Синтез тонкопленочных структур проводился методом высокочастотного магнетронного распыления на подложку монокристаллического сапфира (r-срез), с использованием смеси рабочего газа  $\text{Ar}/\text{O}_2 = 3/1$ . Перед началом процесса осаждения мишень была подвергнута дополнительному предраспылению в течении 15 минут с целью отчистки ее поверхности. Температура подложки варьировалась в пределах  $900^\circ\text{C}$ , при давлении 2 Па. Далее полученные пленки охлаждались в атмосфере кислорода со скоростью  $2-3^\circ\text{C}/\text{мин}$ . После чего проводился лазерный отжиг. Облучение образцов проводилось импульсным иттербиевым волоконным лазером ( $\lambda=1064$  нм) с выходной мощностью 2-20 Вт, длительностью импульса 4-200 нс, частотой повторения импульсов до 1000 кГц и максимальной скоростью сканирования до 8000 мм/с. Лазерный луч фокусировался на образцах с помощью линзы F-Theta с полем сканирования 110 x 110 мм.

Исследование структурных параметров образцов проводилось с использованием дифрактометра ДРОН-6. Из дифрактограмм можно сделать вывод, что при увеличении длительности импульса лазерного отжига малые значения мощности (2 Вт) не разрушают структуру, но вместе с тем и не приводят ее к требуемым стехиометрическим показателям. Увеличение мощности (от 4 до 6 Вт) приводит к деградации структуры, дальнейшее увеличение мощности (8 – 10 Вт) приводит к

слабым ее изменениям. Таким образом, лазерный отжиг при малых значениях мощности излучения более оптимален.

После лазерного отжига длительностью 4 нс происходит изменение решетки, а именно перекристаллизация и пик (110) на всех значениях мощности начинает смещаться к своему реферальному значению  $31.36^\circ$ . Интенсивность пика при этом возрастает в десятки тысяч раз. Титан становится равно распределённым между всеми решетками, в связи с этим происходит релаксация кристалла, а именно процесс термодинамического равновесия, что говорит об уменьшении количества дефектов и улучшении его структуры.

Данная работа выполнена при поддержке **Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках гранта № 075-01438-22-07 - FSEE-2022-0015.**

#### Список литературы

1. Gao Q. et al. Structure and bandgap nonlinearity in  $\text{BaSn}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$  epitaxial films //Applied Physics Letters. – 2019. – Т. 114. – №. 8.
2. John J. et al. Effect of substrate temperature, laser energy and post-deposition annealing on the structural, morphological and optical properties of laser-ablated perovskite  $\text{BaSnO}_3$  films //Applied Physics A. – 2019. – Т. 125. – С. 1-15.
3. Тумаркин А. В. и др. электрически управляемые структуры на основе твердых растворов  $\text{BaZr}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$  и  $\text{BaSn}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$  для СВЧ-применений //Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. – 2022. – Т. 25. – №. 2. – С. 74-81.