

## Структурные и диэлектрические характеристики тонких пленок $\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$ в СВЧ диапазоне

А. Богдан, А.В. Тумаркин, А.Г. Гагарин, А.Р. Карамов, Е.Н. Сапего, А. Денисова

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

**Аннотация:** получены тонкие сегнетоэлектрические пленки  $\text{Sr}_{0.75}\text{Ba}_{0.25}\text{Nb}_2\text{O}_6$  на монокристаллической подложке  $\text{Al}_2\text{O}_3$  при различной температуре осаждения методом магнетронного распыления керамической мишени, определены их основные структурные свойства. На основе полученных пленок реализованы планарные конденсаторы и исследованы их диэлектрические характеристики. Емкостные элементы демонстрируют изменение емкости внешним электрическим полем не менее чем в 1,5 раза при добротности не хуже 20 на частоте 2 ГГц.

**Ключевые слова:** сегнетоэлектрические пленки, сверхвысокочастотные применения, ниобат бария стронция

Тонкие пленки твердого раствора  $\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$  (SBN), где  $(0,2 < x < 0,8)$ , являются перспективным материалом во многих сферах электроники [1], в частности, как основа энергонезависимой памяти, микроэлектромеханических систем, фазовращателей. Особый интерес данный материал представляет в тонкопленочном исполнении для сверхвысокочастотных (СВЧ) применений [2]. Опубликованы данные о достаточно низких диэлектрических потерях и высокой добротности пленок SBN, выращенных на подложке  $\text{MgO}$ , на частотах 0,5-20 ГГц [3].

Для успешной реализации емкостных СВЧ элементов на основе пленок SBN рост самих пленок должен осуществляться на подложке с перспективными диэлектрическими характеристиками, например, на монокристаллическом оксиде алюминия – сапфире. Достижение желаемых диэлектрических характеристик тонких пленок SBN на подложках  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ожидается при параметре  $x = 0,75$ , благодаря достаточно низкой температуре фазового перехода твердого раствора данного состава [2], что позволит избежать высоких потерь в СВЧ диапазоне.

Тонкие пленки SBN были получены методом высокочастотного магнетронного распыления керамической мишени стехиометрического состава  $\text{Sr}_{0.75}\text{Ba}_{0.25}\text{Nb}_2\text{O}_6$ . Осаждение производилось на подложку монокристаллического сапфира (r-срез). Перед началом процесса осаждения мишень предраспылялась в стороне от подложкодержателя в течение 15 минут с целью очистки её поверхности. Температура подложки при осаждении варьировалась в пределах 650-880°C. Процесс синтеза пленок происходил при давлении рабочего газа (кислорода) 2 Па. После осаждения пленки охлаждались в атмосфере кислорода со скоростью 2-3°C/мин. После чего пленки отжигались при температурах 1000-1100°C на воздухе в течение 2 часов.

Кристаллическая структура и фазовый состав полученных пленок до и после отжига исследовались методом рентгеновской дифракции с помощью дифрактометра ДРОН-6 (излучение  $\text{CuK}\alpha$ ). Управляемость (изменение емкости под действием электрического поля) и уровень диэлектрических потерь планарных конденсаторов, реализованных на полученных сегнетоэлектрических пленках, измерялись резонансным методом на частоте 2 ГГц при комнатной температуре. Управляющее напряжение изменялось в диапазоне 0 ÷ 300 В, что соответствовало напряженности поля в зазоре конденсатора 0 ÷ 60 В/мкм.

Структурный анализ полученных образцов показал, что наиболее благоприятная

температура роста SBN пленок находится в пределах 750-880°C. Отмечается невозможность роста тонкой пленки SBN при температурах ниже 700°C. С увеличением температуры осаждения происходит улучшение кристаллической структуры исследуемых пленок, однако в данном температурном диапазоне прослеживается формирование вторичных фаз полиниобатов бария. Постростовой отжиг на воздухе значительно улучшает свойства тонких пленок SBN. Удастся добиться значительного сокращения количества вторичных диэлектрических фаз полиниобатов бария, негативно влияющих на сегнетоэлектрические свойства пленки SBN.

Исследованные диэлектрические характеристики тонких пленок SBN, полученных на подложках  $Al_2O_3$  и подвергнутых постростовому отжигу, позволяют говорить о перспективности данного материала для СВЧ применений. Изменение емкости планарного конденсатора при значении прикладываемого напряжения смещения 300 В оказалось не хуже 1.5, величина диэлектрических потерь не выше 0.05.

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. Толмачев Г. Н. и др. Синтез, структура и оптические характеристики тонких пленок ниобата бария-стронция //Физика твердого тела. – 2015. – Т. 57. – №. 10. – С. 2050-2055.
2. de Los S. Guerra J. et al. Investigation of nonlinear dielectric properties in Sr 0.75 Ba 0.25 Nb 2 O 6 relaxor ferroelectric thin films //Journal of Applied Physics. – 2008. – Т. 103. – №. 1. – С. 014102.
3. Moon S. E. et al. Measurement of microwave dielectric properties of (Sr, Ba) Nb2O6 thin films //Integrated Ferroelectrics. – 2004. – Т. 66. – №. 1. – С. 275-281.