

Характеризация тонких пленок титаната стронция для СВЧ применений

Е.Н. Сапего, А.В. Тумаркин, А. Богдан, А.Р. Карамов, Е. Никитина

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Аннотация: представлены результаты исследования тонких сегнетоэлектрических пленок титаната стронция SrTiO_3 , выращенных на подложках сапфира (r-срез). Проведен анализ влияния температуры синтеза и давления рабочего газа на структурные свойства покрытий. Тонкие слои SrTiO_3 были получены методом ионно-плазменного распыления для применения в устройствах СВЧ диапазона.

Ключевые слова: высокочастотное магнетронное распыление; титанат стронция; XRD.

Сегнетоэлектрические (СЭ) пленочные материалы используются в сверхвысокочастотной (СВЧ) электронике ввиду сильной диэлектрической нелинейности, относительно низких потерь, высокого уровня быстродействия и рабочей мощности [1]. Температурная нестабильность электрофизических и механических свойств СЭ в совокупности с перспективностью их использования в электронике стимулирует поиск и всестороннее изучение как новых, так и ранее упоминаемых в литературе материалов. Одним из таких СЭ материалов является виртуальный сегнетоэлектрик титанат стронция SrTiO_3 (STO) [2,3].

Для применения в СВЧ диапазоне СЭ пленки необходимо формировать на подложках с хорошими диэлектрическими свойствами, а также необходимо учитывать технологичность изготовления пластин требуемого размера и качества, их стоимость и доступность. Как правило, в качестве подложек для роста слоев титаната стронция используются LaAlO_3 [4], MgO [5], Al_2O_3 [2,3], из которых наибольший интерес представляет монокристаллический оксид алюминия – сапфир (r-срез), исходя из совокупной оценки всех характеристик.

Ранее было отмечено, что хорошие электрофизические свойства демонстрируют образцы STO с наилучшими структурными свойствами [2,3]. Исходя из этого, целью данной работы является изучение структурных свойств STO на подложках сапфира в зависимости от технологических параметров синтеза в широком диапазоне температур и давлений рабочего газа.

Исследуемые в работе пленки SrTiO_3 были получены методом ВЧ-магнетронного распыления стехиометрической мишени STO. Основные параметры технологического процесса представлены в таблице 1. Контроль температуры осуществлялся с помощью термопары, размещенной под подложкодержателем. В качестве рабочего газа использовалась смесь аргона (Ar) и кислорода (O_2). После осаждения пленки охлаждались в атмосфере рабочего газа со скоростью 2–3 °С/мин. Толщина пленок ~ 400 нм.

Таблица 1. Технологические параметры осаждения

Параметры	Значения
Диаметр мишени, мм	76
Расстояние мишень-подложка, мм	35
Температурный диапазон, °С	600–900
Состав рабочего газа	смесь Ar/O ₂ = 3/1
Давление рабочего газа, Па	3, 6, 10
Мощность разряда, Вт	100

Структура и фазовый состав полученных пленок исследовались методом рентгеновской дифрактометрии с использованием монохроматизированного CuK α 1-излучения на установке «ДРОН-6».

Согласно данным рентгеноструктурного анализа для пленочных STO образцов наблюдается переход от преимущественной ориентации (110) к (100) с увеличением температуры осаждения пленки. Интенсивность пика (200) возрастает с увеличением давления рабочего газа, что свидетельствует об улучшении качества кристалла титаната стронция.

Можно сделать вывод, что при формировании тонких пленок титаната стронция на сапфире с точки зрения структурного совершенства наиболее оптимальными технологическими параметрами являются высокая температура $\sim 900^\circ\text{C}$ и давление 10 Па.

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. Вендик О. Г., Козырев А. Б. Применение сегнетоэлектриков в антеннах с электронным сканированием // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. – 2005. – №. 1. – С. 20-23.
2. Loginov V. E. et al. The influence of synthesis temperature on structure properties of SrTiO₃ ferroelectric films // Integrated Ferroelectrics. – 2001. – Т. 39. – №. 1-4. – С. 375-381.
3. Гольман Е. К., Разумов С. В., Тумаркин А. В. Получение пленок оксида церия на сапфире методом ВЧ магнетронного распыления // Письма в ЖТФ. – 1999. – Т. 25. – №. 11.
4. Wang Y. et al. Room-temperature giant charge-to-spin conversion at the SrTiO₃-LaAlO₃ oxide interface // Nano Letters. – 2017. – Т. 17. – №. 12. – С. 7659-7664.
5. Sanna S. et al. Fabrication and electrochemical properties of epitaxial samarium-doped ceria films on SrTiO₃-buffered MgO substrates // Advanced Functional Materials. – 2009. – Т. 19. – №. 11. – С. 1713-1719.