

Введение

На сегодняшний день актуальной является проблема поиска новых веществ и материалов для использования в электронных приборах, работающих на сверхвысоких частотах. Возможным выходом из ситуации является использование сегнетоэлектрических (СЭ) материалов, обладающих высокой диэлектрической нелинейностью, высоким быстродействием и высокими рабочими мощностями при малом энергопотреблении, а также низкой себестоимостью. Наиболее привлекательными для применения на СВЧ являются оксидные материалы типа перовскита, благодаря их возможности образовывать многокомпонентные твёрдые растворы, изменяющие свои свойства в широком диапазоне, таких как твёрдые растворы титаната-цирконата бария ($Ba(Zr_xTi_{1-x})O_3$, BZT).



Рисунок 1. Структура элементарной ячейки BZT

Цель работы

Целью настоящей работы являлось получение, исследование структуры и высокочастотных диэлектрических свойств тонких слоев BZT в параэлектрическом состоянии, выращенных in situ методом ВЧ магнетронного распыления керамической мишени с высоким содержанием атомов циркония в твердом растворе ($x = 0.5$) на подложке сапфира с целью их дальнейшего применения в составе нелинейных элементов сверхвысокочастотного диапазона.

Эксперимент

Тонкие пленки BZT были получены высокочастотным магнетронным распылением керамической мишени состава $BaZr_{0.5}Ti_{0.5}O_3$ на подложки лейкосапфира Al_2O_3 (r-срез), либо на подложки Al_2O_3 с платиновыми (Pt) электродами. Температура подложек (T_{sub}) составляла 850°С. В качестве рабочего газа использовался кислород при давлении 2 Па. Толщина слоев составляла порядка 500 нм. На поверхности пленок BZT формировались верхние электроды из меди толщиной 1 мкм с адгезионным подслоем хрома. Геометрия электродов соответствовала конструкции плоскостороннего конденсатора "металл-диэлектрик-металл". Фазовый анализ сформированных пленок BZT проводился с помощью рентгеновского дифрактометра ДРОН-7, микроструктура и морфология поверхности изучались с использованием растрового электронного микроскопа EVO-40 и атомно-силового микроскопа "Смена". СВЧ-характеристики: измерялись на частоте 1.5GHz при комнатной температуре. Напряжения смещения U_p , прикладываемое к конденсаторам, варьировалось в диапазоне $\pm 20V$ (напряжённость $E = \pm 40V/\mu m$).

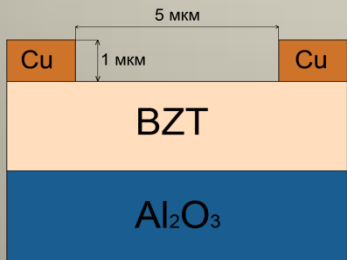


Рисунок 2. Геометрия конденсатора для измерения диэлектрических свойств пленки.

Результаты

Рентгеновская дифрактограмма, полученная в тонких пленках BZT, выращенных при температуре подложки 850°С, свидетельствовала о хорошо сформированной поликристаллической перовскитовой структуре. Пленки характеризовались ярко выраженной [111]-текстурой роста, а кубический параметр решетки, измеренный при комнатной температуре, составлял $a = 0.4120$ nm.

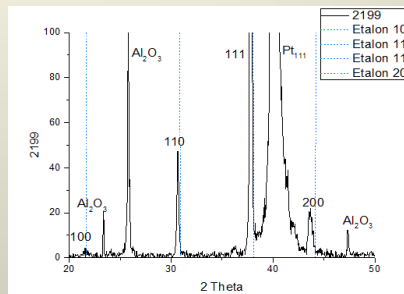


Рисунок 3. Рентгеновская дифрактограмма плёнок BZT.

Исходя из фазовой диаграммы для керамических твердых растворов $(1-x)BaTiO_3 - xBaZrO_3$ и закона Вегарда [2], состав полученной пленки соответствовал $x = 0.60$ и, таким образом, оказался сдвинутым относительно состава мишени на $\approx 10\%$ в сторону цирконата бария. Есть два возможных объяснения подобному изменению состава. Первое связано с различием в температурных коэффициентах линейного расширения пленки BZT и сапфировой подложки. Меньший коэффициент расширения подложки приводит к формированию растягивающих напряжений и увеличению параметра решетки пленки. Другая причина сдвига состава тонкой пленки может быть связана с различием в атомных весах атомов Ti и Zr (Zr в два раза тяжелее Ti), что приводит к большему рассеянию в кислородной плазме более легких атомов титана и соответственно к увеличению доли атомов циркония в осажденной пленке.

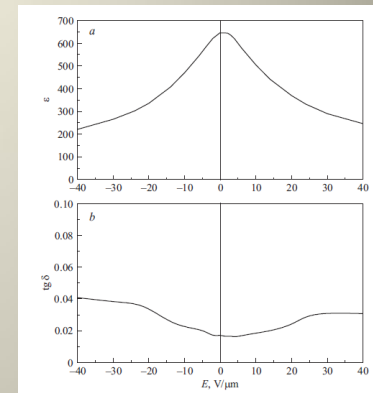


Рисунок 4. Диэлектрические свойства плёнок BZT.

Исследования морфологии поверхности сегнетоэлектрического слоя показали, что средняя шероховатость поверхности составляла 9–12 нм, а максимальная шероховатость не превышала 20 нм. Размер перовскитовых зерен варьировался в диапазоне 200–300 нм. Это позволило исследовать высокочастотную нелинейность емкости полученных образцов в сильных смещающих электрических полях. Зависимость диэлектрической проницаемости от приложенного поля демонстрирует высокую степень управляемости под действием внешнего поля и практически полное отсутствие гистерезисных явлений. СВЧ-измерения показали управляемость $n \approx 3$ при приложении поля $40V/\mu m$, при этом средняя величина диэлектрических потерь не превышала 4% на частоте 1.5GHz.

Выводы

Сравнение полученных данных с аналогичными параметрами для тонких слоев BST показало, что тонкие пленки BZT, сформированные на подложках сапфира методом ВЧ магнетронного распыления, могут быть перспективными для создания на их основе СВЧ управляемых элементов.