

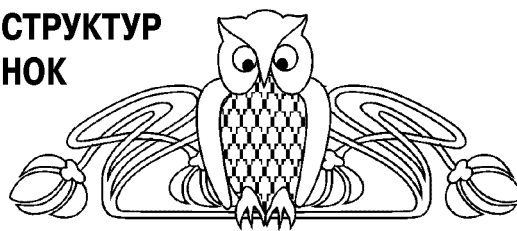


УДК 537.9

## ВОЛЬТФАРАДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МДП-СТРУКТУР НА ОСНОВЕ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛЁНОК

М. С. Афанасьев, А. Ю. Митягин, Г. В. Чучева

Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники  
им. В. А. Котельникова Российской академии наук  
E-mail: gvc@ms.ire.rssi.ru



Созданы на кремниевых подложках *n* и *p*-типа гетероструктуры металл–сегнетоэлектрик–полупроводник (МСЭП). Реализованы в МСЭП-структуре электронно-управляемые конденсаторные элементы. Измеренные при напряжении смещения  $\pm 50$  В параметры конденсаторных элементов показали, что ход вольтфарадных характеристик конденсаторных элементов на кремнии *p*-типа зеркально отражает ход вольтфарадных характеристик на кремнии *n*-типа.

**Ключевые слова:** сегнетоэлектрик, структура металл–сегнетоэлектрик–полупроводник, кремний, вольтфарадная характеристика.

### Voltage-capacitance Characteristics of MIS-structures Based on Ferroelectric Films

M. S. Afanasiev, A. Yu. Mityagin, G. V. Chucheva

Metal–ferroelectric–semiconductor (MFS) heterostructures are created on *n*-type and *p*-type silicon substrates. Electronically-controlled capacitors are realized in MFS heterostructures. Measured parameters of electronically-controlled capacitors at 50 V bias voltage showed, that the stroke of voltage-capacitance characteristics of capacitors on the *p*-type silicon mirror reflexion of the stroke of voltage-capacitance characteristics of capacitors on the *n*-type silicon.

**Keywords:** ferroelectric, metal–ferroelectric–semiconductor heterostructure, silicon, voltage-capacitance characteristics.

### Введение

Работа большинства микроэлектронных устройств, использующих МДП-структуры, основана на эффекте поля в полупроводнике [1]. Перспективными материалами для устройств хранения и обработки информации являются активные диэлектрики. Среди активных диэлектриков тонкоплёночные сегнетоэлектрики, изменяющие диэлектрическую проницаемость под действием приложенного поля, представляют практический интерес для создания перепрограммируемых запоминающих устройств [2].

Целью работы является создание МСЭП-структур на основе сегнетоэлектрических плёнок состава  $\text{Ba}_{0.2}\text{Sr}_{0.8}\text{TiO}_3$  на кремниевых подложках *n*- и *p*-типа и исследование их фазового состава, а также измерение вольтфарадных характеристик структур.

МСЭП-структуры создавали напылением на одну сторону кремниевой (Si) подложки плёнок  $\text{Ba}_{0.2}\text{Sr}_{0.8}\text{TiO}_3$  с последующим формированием на поверхности плёнки и подложки электродов из никеля. Толщина подложек составляла  $200 \pm 2$  мкм. Напыление плёнок осуществляли на предварительно нагретые от 550 до 850 °С подложки.

Сегнетоэлектрические плёнки состава  $\text{Ba}_{0.2}\text{Sr}_{0.8}\text{TiO}_3$  напыляли методом высокочастотного реактивного распыления керамической мишени в атмосфере кислорода [3]. Скорость напыления плёнок составляла 20–30 нм/мин. В качестве подложек использован кремний *p*-типа марки КДБ 0.01÷20 и *n*-типа КЭФ 0.01÷20 с кристаллографической ориентацией (100). Методом электронно-лучевого испарения электроды диаметром 800 мкм и толщиной  $1.2 \pm 0.2$  мкм формировали через теньевую маску на поверхности плёнки  $\text{Ba}_{0.2}\text{Sr}_{0.8}\text{TiO}_3$ , а на обратной стороне кремниевой подложки создавали сплошной электрод толщиной  $\approx 2$  мкм.

Фазовый состав плёнок  $\text{Ba}_{0.2}\text{Sr}_{0.8}\text{TiO}_3$  исследован на рентгеновском дифрактометре ДРОН-4 со стандартными гониометрическими приставками ГП-13 и ГП-14. Исследования проводили совместно с ФГУП «РНИИРС». На рис. 1 приведены рентгенограммы плёнок  $\text{Ba}_{0.2}\text{Sr}_{0.8}\text{TiO}_3$ , выращенные в интервале температур 710–730 °С.

Выращенные в интервале температур 710–730 °С плёнки  $\text{Ba}_{0.2}\text{Sr}_{0.8}\text{TiO}_3$  были структурно совершенны и обладали кристаллографической ориентацией (100), аналогичной ориентации подложек. Причем в плёнках толщиной 1.0 мкм и более наблюдалось уширение рефлексов, что свидетельствует о снижении ориентирующего влияния подложки и структурного совершенства плёнок.

Из анализа рентгенограмм построена зависимость интенсивности рентгеновских отражений, и на рис. 2 представлено преимущественное направление кристаллографической ориентации поверхности плёнок  $\text{Ba}_{0.2}\text{Sr}_{0.8}\text{TiO}_3$ , выращенных в интервале температур 550–850 °С.

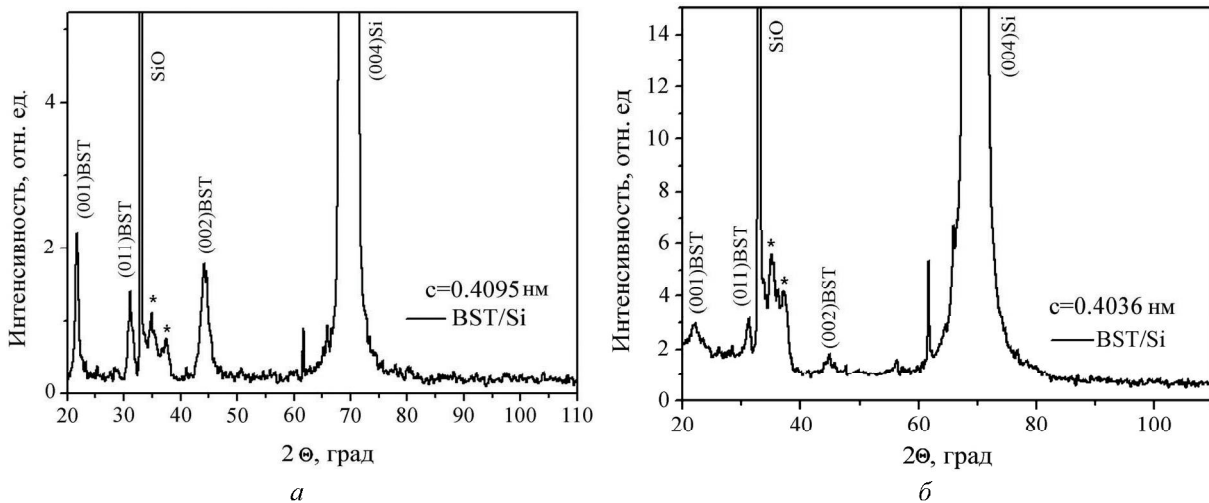


Рис. 1. Рентгенограммы плёнок  $\text{Ba}_{0.2}\text{Sr}_{0.8}\text{TiO}_3$  на Si подложке. Толщина плёнки: *a* – 0.5 мкм, *б* – 1.0 мкм

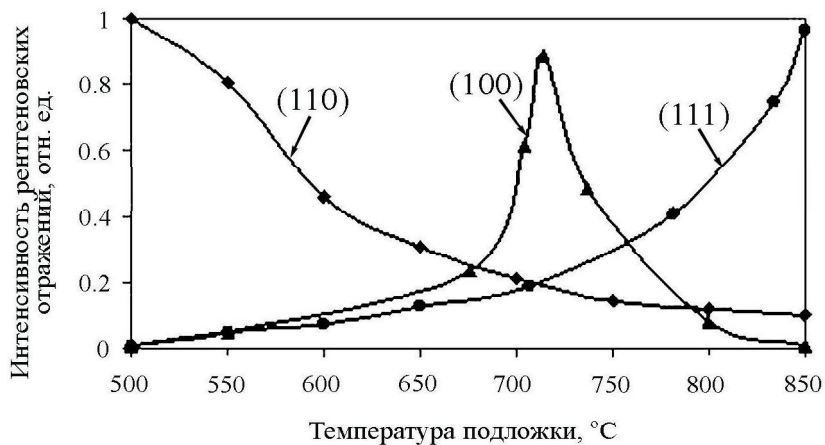


Рис. 2. Направление кристаллографической ориентации поверхности плёнок  $\text{Ba}_{0.2}\text{Sr}_{0.8}\text{TiO}_3$ , выращенных в интервале температур 550–850 °С

Морфология плёнок, выращенных за границами диапазона температур 710–730 °С, представляет собой текстурированные поликристаллы, размер зерна в которых уменьшается, как при увеличении температуры подложки выше 730 °С, так и при снижении её ниже 710 °С. При этом преимущественная кристаллографическая ориентация (110) и (111) поликристаллов увеличивалась соответственно с понижением и повышением температуры подложки.

При температурах ниже 500 °С выращенные плёнки были аморфны, а при температурах выше 850 °С плёнки химически взаимодействовали с материалом подложки.

Рентгенограммы, приведённые на рис. 1, показали наличие фазы оксида кремния, которая локализована на границе раздела фаз  $\text{Ba}_{0.2}\text{Sr}_{0.8}\text{TiO}_3/\text{Si}$ . Образование оксида кремния вызвано окислением поверхности кремния в кислородной плазме

при формировании стехиометрических плёнок  $\text{Ba}_{0.2}\text{Sr}_{0.8}\text{TiO}_3$ .

По топологии МСЭП-структуры с электродами представляют собой конденсаторные элементы. На установках МДС-802 и [4] для определения электрофизических параметров МДП-структур при напряжении смещения на электродах  $\pm 50$  В были измерены при комнатной температуре вольт-фарадные характеристики конденсаторных элементов, изготовленных на кремнии с различным типом проводимости (рис. 3).

Вид вольт-фарадных характеристик конденсаторных элементов, возможно, обусловлен накоплением заряда на границе раздела  $\text{Ba}_{0.2}\text{Sr}_{0.8}\text{TiO}_3/\text{Si}$ . Зеркальное отражение вольт-фарадных характеристик свидетельствует об образовании на границе раздела в МСЭП-структуре практически одинаковых по величине, но противоположных по знаку зарядов.

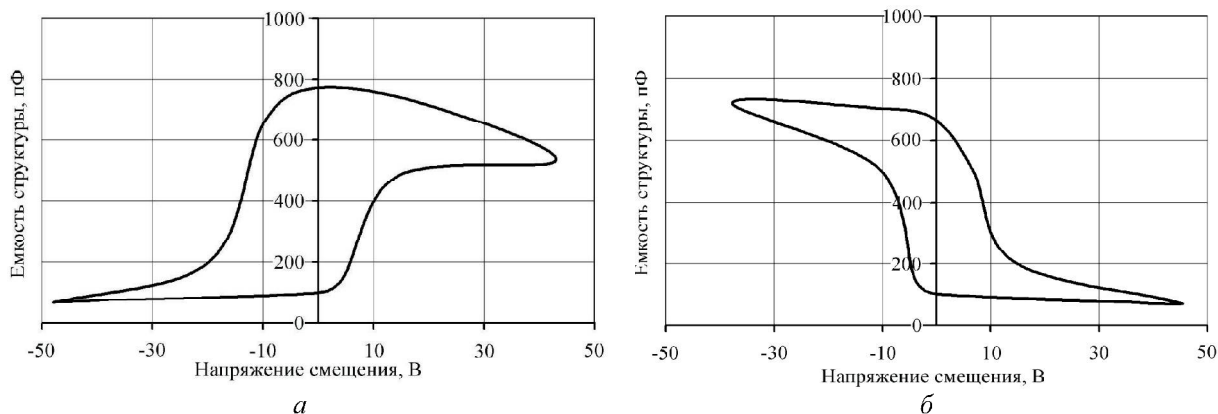


Рис. 3. Вольтфарадные характеристики конденсаторных элементов в МСЭП-структуре на кремниевой подложке: а – n-типа; б – p-типа

### Выводы

Исследованы режимы формирования на кремниевых подложках тонкоплёночных сегнетоэлектриков состава  $Ba_{0,2}Sr_{0,8}TiO_3$  и установлено, что диапазон температур 710–730 °С является предпочтительным для формирования эпитаксиальных плёнок  $Ba_{0,2}Sr_{0,8}TiO_3$ .

Созданы на основе гетероструктур металл–сегнетоэлектрик–кремний n- или p-типа электронно-управляемые конденсаторные элементы.

В конденсаторных элементах два состояния сегнетоэлектрической поляризации разной полярности позволяют использовать МСЭП-структуры для создания запоминающих устройств.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (госконтракт 16.513.11.3072), РФФИ (проект № 12-07-00662-а), Программы фундаментальных исследований Президиума*

РАН «Основы фундаментальных исследований нанотехнологий и наноматериалов».

### Список литературы

1. Ковтонок Н. Ф. Электронные элементы на основе структур полупроводник–диэлектрик. М. : Энергия, 1976.
2. Воротилов К. А., Мухортов В. М., Сигов А. С. Интегрированные сегнетоэлектрические устройства / под ред. чл.-корр. РАН А. С. Сигова. М. : Энергоатомиздат, 2011. 175 с.
3. Афанасьев М. С., Иванов М. С. Особенности формирования тонких сегнетоэлектрических плёнок  $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$  на различных подложках методом высокочастотного распыления // ФТТ. 2009. Т. 51, № 7. С. 1259–1262.
4. Гольдман Е. И., Ждан А. Г., Чучева Г. В. Определение коэффициентов ионного переноса в диэлектрических слоях на поверхности полупроводников по динамическим вольтамперным характеристикам деполяризации // ПТЭ. 1997. № 2. С.110–115.

УДК 537.9

## РАСЧЁТ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МПЛ СВЧ ДИАПАЗОНА

М. С. Афанасьев, С. А. Левашов, А. Ю. Митягин, Г. В. Чучева, А. Э. Набиев<sup>1</sup>

Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова Российской академии наук  
E-mail: gvc@ms.ire.rssi.ru

<sup>1</sup>Азербайджанский государственный педагогический университет  
E-mail: gvc@ms.ire.rssi.ru

Проведен расчёт теплофизических параметров микрополосковой линии передачи (МПЛ) СВЧ диапазона. Расчёты показали, что высокая теплопроводность алмаза позволяет осуществлять эффективный отвод тепла от активной зоны МПЛ, увеличивая мощ-

ность входного сигнала до 50 Вт на частоте 3 ГГц без ухудшения частотных характеристик МПЛ.

**Ключевые слова:** микрополосковая линия передачи, СВЧ, тонкие плёнки, алмазная подложка.

