

УДК 538.9

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА ФОРМИРОВАНИЯ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛЕНОК НА КРЕМНИЕВЫХ ПОДЛОЖКАХ

К. т. н. М. С. Афанасьев¹, А. И. Левашова¹, С. А. Левашов¹, В. Г. Нарышкина¹,
д. ф.-м. н. Г. В. Чучева¹, к. ф.-м. н. А. Э. Набиев²

¹Фрязинский филиал ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН,
г. Фрязино, Россия;

²Азербайджанский государственный педагогический университет
г. Баку, Азербайджан
gvc@ms.ire.mssi.ru

С целью создания нового конструкционного материала для энергонезависимой памяти получены сегнетоэлектрические пленки $Ba_{0,8}Sr_{0,2}TiO_3$ на p -Si(100)-подложках методом высокочастотного (ВЧ) распыления поликристаллической мишени в атмосфере кислорода при различных технологических режимах. Установлено, что наиболее подходящие по требуемым свойствам являются пленки, полученные при мощности ВЧ-разряда 230 Вт и температуре подложки 596°C.

Ключевые слова: структуры металл—диэлектрик—полупроводник, сегнетоэлектрические пленки, C-V-характеристики.

Гетероструктуры на основе тонких сегнетоэлектрических пленок представляют собой наиболее перспективные наносистемы для современной микроэлектроники с точки зрения их практического применения, в частности в качестве энергонезависимой памяти. Сдерживающим фактором для их применения является то, что существующие в настоящее время технологии не обеспечивают контролируемый и воспроизводимый рост пленок в наноразмерном диапазоне. Поэтому задача поиска метода и материала подложки для изготовления качественных сегнетоэлектрических структур на сегодняшний день является одной из актуальных задач.

Целью работы является поиск оптимального технологического режима формирования структурно-совершенных сегнетоэлектрических пленок на кремниевых подложках.

Для исследований получены структуры металл—диэлектрик—полупроводник (МДП). Структуры представляли собой сегнетоэлектрические пленки состава $Ba_{0,8}Sr_{0,2}TiO_3$ (BST), сформированные на кремниевых подложках p -типа марки КДБ-20 с ориентацией 100 методом высокочастотного (ВЧ) распыления поликристаллической мишени BST на экспериментальной установке ПЛАЗМА-50СЭ. Основная идея метода состоит в использовании низкотемпературной кислородной плазмы в качестве среды, где окислительный процесс при осаждении преобладает над восстановительным. Основным преимуществом метода является возможность напыления структурно-совершенных сегнетоэлектрических пленок с сохранением стехиометрии по кислороду.

Методика напыления BST пленок заключалась в следующем. На нагревателе закрепляли кремниевую подложку размером 15×15 мм при помощи держателя, выполненного из нержавеющей стали толщиной 0,3 мм. Герметично закрывали рабочую камеру. Камера откачивалась форвакуумным насосом НВР-16 ДМ до остаточного давления 1 Па. Затем в камеру подавался медицинский кислород марки ОСЧ до достижения в камере остаточного давления 60 Па. Подложку нагревали до 400°C и выдерживали при этой температуре 15 мин. Далее включали блок питания ВЧ-генератора, и в рабочем объеме зажигалась кислородная ВЧ-плазма. Процесс получения пленок включал в себя два этапа. На первом этапе проводили непосредственно процесс напыления в плазме кислорода. Второй этап заключался в термообработке пленки в атмосфере кислорода. Для этого выключали ВЧ-генератор, закрывали вакуумный вентиль и увеличивали давление кислорода в камере до 100 Па. Затем подложку охлаждали до комнатной температуры в течение двух часов.

Длительность процесса напыления пленок BST составляла 30 мин, рабочее давление кислорода задавалось 60 Па для всех образцов, варьировалась только мощность ВЧ-разряда от 210 до 290 Вт и температура нагрева подложки в процессе напыления — в пределах 580—650°C.

Далее на пленку BST наносились омические контакты. Контакты формировались электронно-лучевым методом через теньевую маску. В качестве материала омического контакта использовалось золото, обладающее наилучшей адгезией к пленке.

№ образца	Мощность ВЧ-разряда, Вт	Температура подложки, °С
1	250	630
2	260	626
3	270	624
4	290	680
5	240	610
6	230	596
7	210	573

Площадь контактов составляла $2,7 \times 10^{-4} \text{ см}^2$, толщина 0,1 мкм. Для исследований было изготовлено 7 структур (см. таблицу). Пленки напыляли в течение 30 мин при рабочем давлении кислорода 60 Па.

Исследования электрофизических характеристик МДП-структур проводились на автоматизированной экспериментальной установке, состоящей из прецизионного измерителя LCR Agilent E4980A, компьютера

и специальной камеры для крепления структур. Проведенные измерения показали, что наиболее подходящие структуры удалось получить при мощности 230 Вт и температуре подложки 596°С (образец № 6, рис. 1), напряжение смещения в структурах составляло $\pm 4 \text{ В}$.

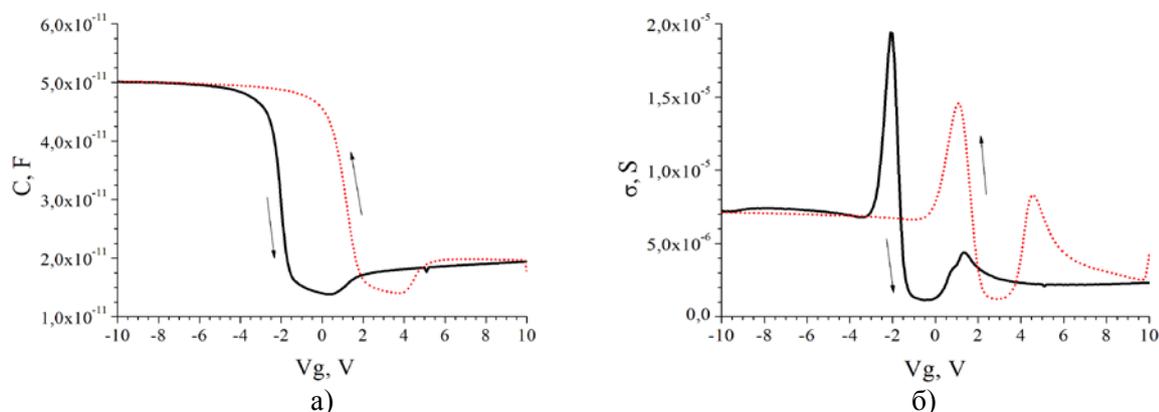


Рис. 1. Зависимость емкости C (а) и проводимости σ (б) МДП-структуры от напряжения на полевом электроде V_g на частоте 500 кГц при комнатной температуре.

Предварительные результаты исследований показали, что для формирования сегнетоэлектрических пленок состава $\text{Ba}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{TiO}_3$ на кремниевых подложках наиболее предпочтительны следующие технологические режимы: мощность ВЧ-разряда 230 Вт; температура подложки 596°С, давление кислорода во время процесса напыления 60 Па; расстояние мишень—подложка 10 мм. При таких условиях напыления скорость роста пленки составляет 1,8—2,0 нм/мин.

При дальнейшей работе по выбору оптимального режима напыления BST-пленок на кремниевые подложки планируется подобрать такие условия, при которых полученная структура будет иметь более крутые края петли гистерезиса и оптимальное напряжение смещения.

Работа выполнена при частичной поддержке проектов РФФИ № 12-07-00662-а, № 13-07-00782 и Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Основы фундаментальных исследований нанотехнологий и наноматериалов».

M. S. Afanasiev, A. I. Levashova, S. A. Levashov, V. G. Naryshkina, G. V. Chucheva, A. Nabiev

The choice of optimal regimes of ferroelectric films formation on silicon substrates

Ferroelectric $\text{Ba}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{TiO}_3$ films prepared on p -Si(100)-substrate by the method of high frequency (HF) sputtering of the polycrystalline target in an oxygen atmosphere at various technological regimes are obtained in order to create a new construction material for a nonvolatile memory. It is found, that the most suitable films, according to the required properties, are obtained at the 230 W HF-discharge and the substrate temperature of 596°С.

Keywords: metal-dielectric-semiconductor structure, ferroelectric film, C-V-characteristics.