

## МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПЛЕНОК ТИТАНАТА БАРИЯ И ТИТАНА СТРОНЦИЯ, СФОРМИРОВАННЫХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ОТЖИГА

П. А. Холов, Х. Сохраби Анараки, М.В. Руденко, Н.А. Трацевский, В.Л. Ярошик,  
Н.В. Гапоненко

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь

тел: (017) 293-8869, факс: (017) 293-8869, Эл. почта: nik@nano.bsuir.edu.by

Интерес к синтезу перовскитов – титанату стронция и титанату бария возрастает благодаря высоким значениям диэлектрической проницаемости, наличию фототока, мемристорным и другим свойствам. В настоящей работе приведены результаты золь-гель синтеза пленок этих материалов, их морфология и электрофизические свойства.

Для получения пленок титаната стронция исходными компонентами золя являлись ацетат стронция  $\text{Sr}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  и тетраизопропоксид титана  $\text{Ti}(\text{OCH}(\text{CH}_3)_2)_4$ . В качестве растворителей использовали уксусную кислоту и монометиловый эфир этиленгликоля. В качестве стабилизатора добавляли ацетон. Пленки наносили на кварцевую подложку методом центрифугирования со скоростью  $2700 \text{ мин}^{-1}$ . После формирования каждого слоя  $\text{SrTiO}_3$  проводили его сушку и предварительную термообработку при  $200^\circ\text{C}$ ; после нанесения пяти слоев осуществляли заключительную термообработку при температурах  $500\text{--}850^\circ\text{C}$  на воздухе в течение 30-60 мин, после чего образцы остывали до комнатной температуры.

Для формирования ксерогеля титаната бария исходными компонентами золь являлись ацетат бария  $\text{Ba}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  и тетраизопропоксид титана  $\text{Ti}(\text{OCH}(\text{CH}_3)_2)_4$ . В качестве растворителей использовали уксусную кислоту и ацетил ацетон. Ацетат бария смешивали с уксусной кислотой до полного растворения солей. В качестве стабилизатора в золь добавляли ацетон. Концентрация золя составляла  $44 \text{ мг/мл}$ . Золи наносили методом центрифугирования со скоростью  $2700 \text{ мин}^{-1}$  на подложки монокристаллического кремния. После нанесения каждого слоя образцы подвергались термообработке при температуре  $200^\circ\text{C}$  в течение 10 мин. Затем следовала окончательная термообработка в течение 30 минут при температуре  $850^\circ\text{C}$ .

На рис.1 представлены результаты растровой электронной микроскопии (РЭМ) пленок ксерогелей титаната бария. Толщины однослойной и пятислойной пленок титаната бария составляют соответственно  $75$  и  $390 \text{ нм}$  после сушки при температуре  $200^\circ\text{C}$ . Пленки имеют однородную аморфную структуру. Термообработка при температуре  $850^\circ\text{C}$  приводит к формированию зернистой структуры пленки. Толщина пленок уменьшилась и составляет  $46 \text{ нм}$  для однослойной пленки и  $167 \text{ нм}$  для пятислойной.

При скорости центрифугирования  $2700 \text{ мин}^{-1}$  толщина пленок титаната стронция изменяется от  $60$  до  $430 \text{ нм}$  при размере зерна около  $10\text{--}50 \text{ нм}$  после термообработки при температуре  $500\text{--}1000^\circ\text{C}$  [3]. Конденсаторные структуры, изготовленные на основе многослойных пленок титаната стронция толщиной  $250\text{--}430 \text{ нм}$ , сформированных золь-гель методом на кремнии с нижним электродом из платины и верхним электродом из никеля, характеризуются диэлектрической проницаемостью  $150\text{--}190$  и тангенсом угла диэлектрических потерь  $0,06\text{--}0,1$  соответственно для частоты  $1 \text{ МГц}$ . Значения среднеквадратичного отклонения диэлектрической проницаемости титаната стронция в сформированных конденсаторах составляют  $10\text{--}32$ , значения среднеквадратичного отклонения тангенса угла диэлектрических потерь  $0,01\text{--}0,04$  соответственно [3, 4]. С использованием золь-гель синтеза титаната стронция сформированы структуры  $\text{Si/TiO}_2/\text{Pt/SrTiO}_3/\text{Ni}$ , для которых наблюдаются два состояния с сопротивлением, отличающимся на три порядка величины для диапазона частот от  $10 \text{ кГц}$  до  $2 \text{ МГц}$ . При

этом с увеличением толщины пленки от 250 до 430 нм величина сопротивления изменяется от 2 до 9 Ом для низкоомного состояния и от 40 до 750 кОм для высокоомного состояния для частоты 10 кГц. Обнаруженные резистивные свойства пленок титаната стронция перспективны для мемристорных элементов [5]. Золь-гель методом на подложках монокристаллического кремния с р-типом проводимости КДБ-12 синтезированы пленки  $\text{SrTiO}_3$ , имеющие после термообработки при 750 °С толщину 65–185 нм, в которых после формирования электрода из Ni и облучении видимым и ультрафиолетовым излучением зарегистрирован фототок, что представляет интерес для пленочных структур оптоэлектроники. Фототок получен на пленке толщины 65 нм составляет при прямом смещении 0,2 мА при напряжении 3 В и 80 мкА при обратном напряжении смещения 3 В [6].

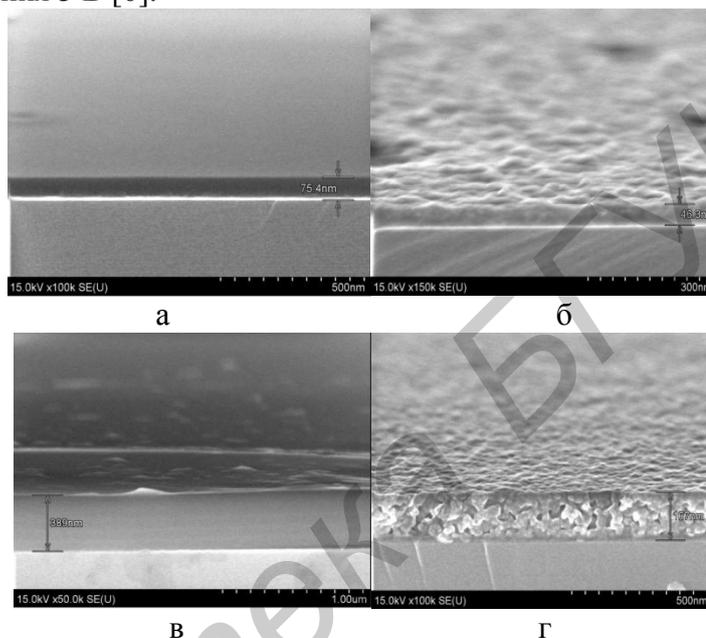


Рис.1. РЭМ изображения пленок ксерогеля титаната бария на монокристаллическом кремнии, полученных из золя: а-однослойная пленка после сушки при температуре 200°С; б-однослойная пленка после термообработки при температуре 850°С; в-пятислойная пленка после сушки при температуре 200°С; г-пятислойная пленка после термообработки при температуре 850°С.

### Литература

[3] Синтез пленок титаната стронция золь-гель методом и перспективы их применения в электронной технике / Х. Сохраби Анараки, Н.В. Гапоненко, М.А. Руденко, А.Ф. Гук, С.М. Завадский, Д.А. Голосов, Б.С. Колосницын, В.В. Колос, А.Н. Петлицкий, А.С. Турцевич // ФТП. – 2014. – Т. 48(12). – С. 140–142.

[4] Тонкопленочный конденсатор на основе титаната стронция, сформированного золь-гель методом / Х. Сохраби Анараки, Н.В. Гапоненко, М.А. Руденко, В.В. Колос, А.Н. Петлицкий, А.С. Турцевич // Микроэлектроника. – 2015. – Т. 44, № 6. – С. 476–480.

[5] Низкоомные и высокоомные состояния в пленках титаната стронция, сформированных золь-гель методом / Х. Сохраби Анараки, Н.В. Гапоненко, В.Г. Литвинов, А.В. Ермачихин, В.В. Колос, А.Н. Петлицкий, В.А. Иванов // ФТТ. – 2015. – Т. 57, № 10. – С. 1977–1980.

[6] Сохраби Анараки, Х. Фототок в ксерогелях титаната стронция / Х. Сохраби Анараки, Н.В. Гапоненко, В.А. Иванов // ЖПС. – 2015. – Т. 82, № 5. – С. 800–803.