

УДК 539.24;621.315.592; 621.382.002; 621.382.043.77.002

## ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНДЕНСАТОРНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ПЛЕНОК ТИТАНАТА СТРОНЦИЯ, СФОРМИРОВАННЫХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ

СОХРАБИ АНАРАКИ Х., Н.В. ГАПОНЕНКО, М.В. РУДЕНКО, С.М. ЗАВАДСКИЙ, Д.А. ГОЛОСОВ, А.Ф. ГУК, В.В. КОЛОС\*, А.Н. ПЕТЛИЦКИЙ\*, А.С. ТУРЦЕВИЧ\*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

*\*ОАО «Интеграл», ул. Казинца И.П.121А, г. Минск, 220108 Беларусь*

*Поступила в редакцию 13 июня 2014*

Сформированы тонкопленочные конденсаторы на подложках кремния. Основу конденсатора составляет многослойная пленка титаната стронция, полученная золь-гель методом при температурах отжига 750–800 °С. Нижний электрод сформирован из платины, верхний – из никеля. Средние значения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь лежат в пределах 150–190 и 0,06–0,1 соответственно. Приведены значения среднеквадратического отклонения указанных величин.

*Ключевые слова:* золь-гель, титанат стронция, конденсатор.

### Введение

Технологии получения сегнетоэлектрических оксидов  $\text{BaTiO}_3$  и  $\text{SrTiO}_3$  со структурой перовскита активно исследуются для формирования пьезоэлектрических детекторов, электрооптических модуляторов, тонкопленочных конденсаторов, элементов оптической памяти и других устройств электронной техники [1–3]. Проблема формирования тонкопленочных конденсаторов связана с числом отказов вследствие короткого замыкания между обкладками из-за дефектности осаждаемых пленок, электрического пробоя в местах микровыступов нижнего электрода, возникновении трещин вследствие механических напряжений при отжиге и других технологических факторов. Качество пленки, сформированной золь-гель методом, зависит от состава золя, способа нанесения, температуры и длительности термообработки.

В данной работе определены значения диэлектрической проницаемости ( $\epsilon$ ) и тангенса угла диэлектрических потерь ( $\text{tg}\delta$ ) тонкопленочных конденсаторов на основе пленок титаната стронция, полученных золь-гель методом (ксерогелей), сформированных на структуре кремний/титан/платина, отличающихся составом золя и режимами термообработки.

### Методика эксперимента

Исходными компонентами золь-гелей являлись ацетат гидрат стронция  $\text{Sr}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$  и тетраизопророксид титана  $\text{Ti}(\text{OCH}(\text{CH}_3)_2)_4$ . В качестве растворителей использовали уксусную кислоту и монометиловый эфир этиленгликоля. В каждый золь в качестве стабилизатора добавляли ацетон или ацетилацетон. Ксерогели получали из золь-гелей с различной концентрацией компонентов. Пленки наносились на подложки монокристаллического кремния методом центрифугирования. Для изготовления конденсаторной структуры на подложке кремния формировались слои оксида титана и платины с последующей термообработкой в атмосфере кислорода при температуре не ниже 450 °С в течение 30 мин. Слой оксида титана использовался для улучшения адгезии платинового электрода к подложке. После нанесения каждого слоя геля на подложку кремния или структуру кремний/оксид титана/платина образцы

подвергались предварительной термообработке при температуре 200 °С. Затем использовалось несколько режимов термообработки (табл. 1). Для приготовления образца № 1, содержащего пять слоев ксерогеля, сначала проводили сушку каждого нанесенного слоя. Образцы №2, 3, 4 прошли высокотемпературную обработку после сушки первого слоя, после чего наносились последующие слои с сушкой каждого слоя. Затем следовала заключительная термообработка образцов при температурах 750 и 800 °С. Для изготовления конденсаторной структуры формировались верхние электроды из никеля диаметром 300 мкм.

Морфологический анализ пленок исследовался методом растровой электронной микроскопии на установке HITACHI-4800. Спектры рентгеновской дифракции были получены на установке D8 ADVANCE фирмы «Bruker AXS».

Таблица 1. Формирование образцов с пленками титаната стронция и их характеристики

№ образца	Стабилизатор золя	Скорость центрифугирования, об/мин	Время и режимы обработки, мин	Число слоев	Температура отжига, °С	Толщина, нм
1	ацетон	3000	30 мин, одна высокотемпературная обработка (нанесение, сушка, нанесение,.....сушка, термообработка)	5	750	200
2	ацетон	2700	60 мин, две стадии (нанесение, сушка, отжиг 800 градусов, (нанесение, сушка, нанесение,сушка, термообработка)	5	800	250
3	ацетон	2700	60 мин, две стадии, аналогично образцу 2	6	750	280
4	ацетилацетон	1500	40 мин, две стадии, аналогично образцу 2	8	750	430

### Результаты и их обсуждение

На рис. 1 представлены результаты анализа конденсаторных структур методом растровой электронной микроскопии (РЭМ). Изображения на рис. 1 приведены для пленок, полученных из золь с концентрацией 40 мг/мл. Толщина титаната стронция составляет приблизительно 280 и 430 нм для пятислойной и восьмислойной пленки соответственно.

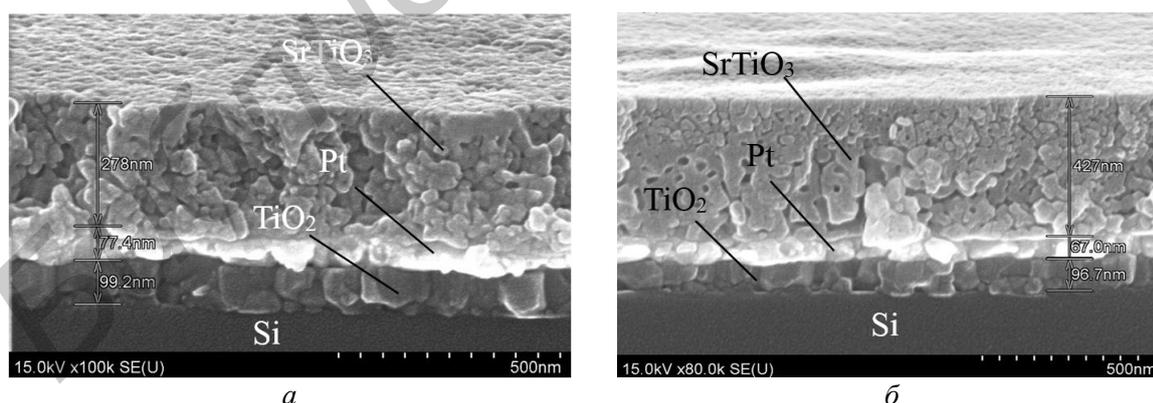


Рис. 1. РЭМ изображения пленок ксерогеля титаната стронция (образец № 4) на структуре кремний/титан/платина после двухстадийной термообработки при температуре 750 °С в течение 40 мин: *а* –пятислойная пленка ксерогеля; *б* – восьмислойная пленка ксерогеля

Полученные структуры, изображенные на рис. 1, использовались для изготовления пленочного конденсатора и измерения его характеристик. Емкость  $C$  и тангенс угла диэлектрических потерь ( $\text{tg}\delta$ ) измерены с использованием измерителя RLC E7-20 на частоте 1 МГц. Значения диэлектрической проницаемости рассчитывались, исходя из толщины

диэлектрического слоя  $d$  и емкости конденсаторной структуры по формуле:

$$\varepsilon = \frac{C \cdot d}{\varepsilon_0 \cdot S}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}$  Ф/м,  $S$  – площадь конденсатора.

Результаты измерений емкости сформированных пленочных конденсаторов и вычисленных средних значений диэлектрической проницаемости  $\varepsilon$  и тангенса угла диэлектрических потерь ( $\text{tg}\delta$ ) для сформированных конденсаторных структур представлены в таблице 2. Существенно, что при толщине пленки титаната стронция меньше 200 нм и длительности отжига 30 мин при температуре 750 °С (образец №1) конденсаторная структура не формируется. Полученный результат может быть обусловлен как шунтированием структуры, так и изменением проводимости титаната стронция. Для образцов конденсаторных структур № 2–4 полученные значения диэлектрической проницаемости лежат в пределах 150–190 и находятся в соответствии с известными ранее работами [2, 3]. В таблице приведены также значения среднеквадратического отклонения указанных величин, рассчитанное по формуле  $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$ , и число измеренных значений емкости конденсаторов (объем выборки) для каждого образца.

Таблица 2. Характеристики полученных конденсаторных структур

№ образца	Емкость, пФ	Диэлектрическая проницаемость, $\varepsilon$	Средне-квадратическое отклонение, $\sigma\varepsilon$	Тангенс угла диэлектрических потерь, $\text{tg}\delta$	Средне-квадратическое отклонение, $\sigma\text{tg}\delta$	$n$ , объем выборки	Толщина, нм
1	–	–	–	–	–	–	200
2	589	186	10,7	0,08	0,035	5	250
3	413	153	12,3	0,06	0,011	16	280
4	335	190	32,3	0,1	0,036	7	430

Образцы, на которых удалось сформировать конденсаторы, исследовались методом рентгеновской дифракции. На рис. 2 представлена дифрактограмма пленки  $\text{SrTiO}_3$ , сформированной при температуре 750 °С в течение 40 мин (образец № 4). Полученная дифрактограмма подтверждает наличие фазы титаната стронция.

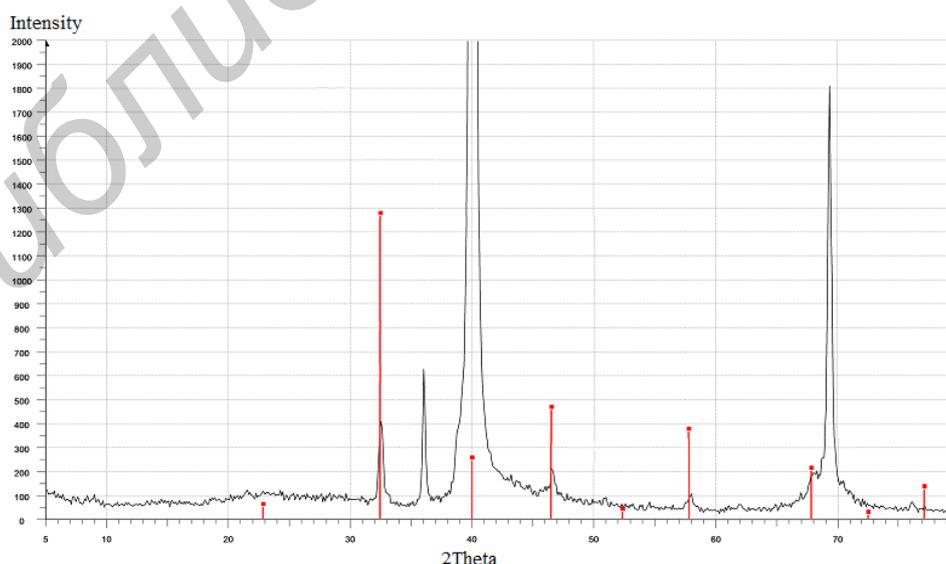


Рис. 2. Дифрактограмма восьмислойной пленки  $\text{SrTiO}_3$  на структуре кремний/титан/платина, (образец № 4) после окончательной термообработки при температуре 750 °С

### Заклучение

Таким образом, разработана лабораторная технология получения золь для формирования пленок титаната стронция и изготовления конденсаторных структур на их основе. При толщине пленки титаната стронция меньше 200 нм и длительности отжига 30 мин при температуре 750 °С конденсаторная структура не формируется, что может быть вызвано как шунтированием структуры, так и изменением проводимости титаната стронция. При толщине титаната стронция 280 нм сформирована конденсаторная структура со значениями диэлектрической проницаемости  $\epsilon = 153$  и тангенса угла диэлектрических потерь  $\text{tg} \delta = 0,06$  для частоты 1 МГц. Сформированные конденсаторные структуры могут найти применение и для светоизлучающих электролюминесцентных приборов, принимая во внимание люминесценцию лантаноидов в ксерогелях оксида титана, легированных стронцием и тербием [4].

### DIELECTRICAL CHARACTERISTICS OF CAPACITOR STRUCTURES ON THE BASIS OF SOL-GEL DERIVED STRONTIUM TITANATE FILMS

SOHRABI ANARAKI H., N.V. GAPONENKO, M.V. RUDENKO, S.M. ZAVADSKI,  
D.A. GOLOSOV, A.F. GUK, V.V. KOLOS, A.N. PYATLITSKI, A.S. TURTSEVICH

#### Abstract

The thin film capacitors were formed on silicon. The capacitor is based on the strontium titanate multi-layer which was fabricated using the sol-gel method after heat treatment at the temperature 750 or 800 °C. The lower and upper electrodes were made from platinum and nickel accordingly. The average values of the dielectric permittivity,  $\epsilon$ , and the loss factor,  $\text{tg} \delta$ , were found between 150–190 and 0,06–0,1 respectively. The standard deviation values of the mentioned characteristics were calculated.

#### Список литературы

1. *Fuentes S., Zarate R.A., Chavez E. et. al. // J. Mater. Sci. 2010. Vol. 45. P. 1448–1452.*
2. *Hofman W., Hoffmann S., Waster R. // Thin Solid Films. 1997. Vol. 305 P. 66–73.*
3. *Pontes F.M., Lee E.J.H., Leite E.R. et. al. // J. Mater. Sci. 2000. Vol. 35. P. 4783–4787.*
4. *Sohrabi Anaraki H., Gaponenko N.V., Rudenko M.V. et. al. // Докл. БГУИР. 2013. № 8 (78). С. 10–15.*
5. *Gaponenko N.V., Kortov V.S., Rudenko M.V. et. al. // J. of Applied Physics. 2012. Vol. 111. P. 103101–103107.*