

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 BaTiO_3 и SrTiO_3 со структурой перовскита активно исследуются для формирования пирозлектрических 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 (ϵ) 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 тетраизопропоксид 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.

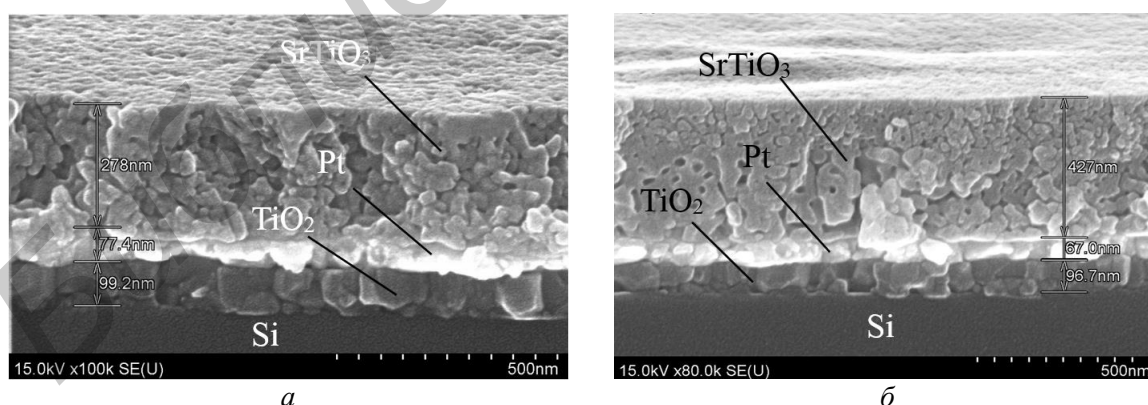


Рис. 1. РЭМ изображения пленок ксерогеля титаната стронция (образец № 4) на структуре кремний/титан/платина после двухстадийной термообработки при температуре 750 °С в течение 40 мин: *а* –пятислойная пленка ксерогеля; *б* – восьмислойная пленка ксерогеля

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 ε 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, ε	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 SrTiO_3 , сформированной при температуре 750 °С в течение 40 мин (образец № 4). Полученная дифрактограмма подтверждает наличие фазы титаната стронция.

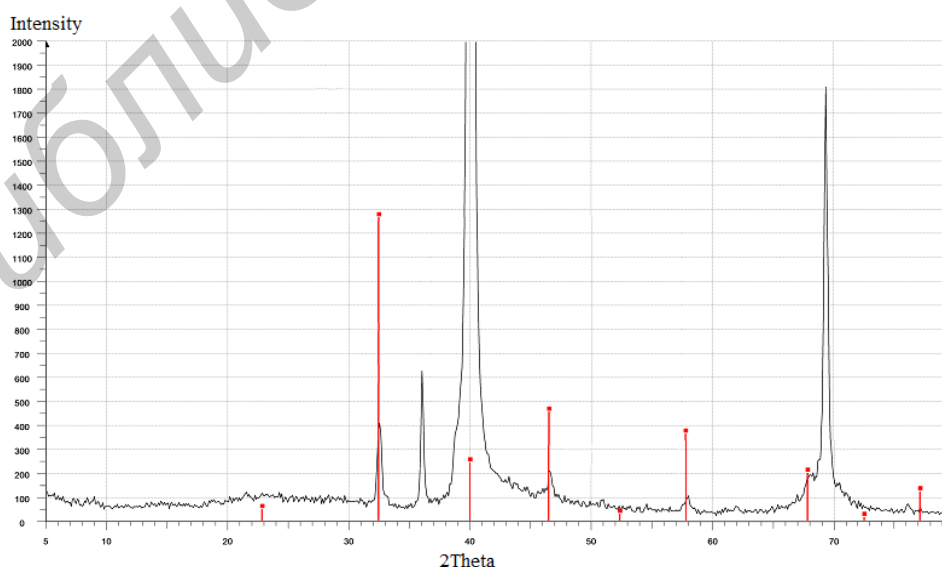


Рис. 2. Дифрактограмма восьмислойной пленки SrTiO_3 на структуре кремний/титан/платина, (образец № 4) после окончательной термообработки при температуре 750 °С

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, ϵ , 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.*