

## ЛИТЕРАТУРА

1. X. Zhang, W.C. Tang, Viscous air damping in laterally driven microresonators, IEEE Workshop on Micro Electro Mechanical Systems, MEMS '94, 199-204 (1994);
2. T. Klose, H. Conrad, T. Sandner, H. Schenk, Fluidmechanical damping analysis of resonant micromirrors with out-of-plane comb drive, Proc. COMSOL Conf., online, <http://www.comsol.com/papers/5208> (2008).

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

Сохраби Анараки Х.<sup>1</sup>, Н. В. Гапоненко<sup>1</sup>, М. В. Руденко<sup>1</sup>, С. М. Завадский<sup>1</sup>,  
Д. А. Голосов<sup>1</sup>, А. Ф. Гук<sup>1</sup>, В. В. Колос<sup>2</sup>, А. Н. Петлицкий<sup>2</sup>, А. С. Турцевич<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
*nik@nano.bsuir.edu.by*,

<sup>2</sup>ОАО «ИНТЕГРАЛ», Минск, Беларусь

## ВВЕДЕНИЕ

Технологии получения сегнетоэлектрических оксидов BaTiO<sub>3</sub> и SrTiO<sub>3</sub> со структурой перовскита активно развиваются для формирования пирозлектрических детекторов, электрооптических модуляторов, тонкопленочных конденсаторов и других устройств электронной техники [1-3].

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.

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Исходными компонентами золь являлись ацетат гидрат стронция Sr(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>·1/2H<sub>2</sub>O и тетраизопропоксид титана Ti(OCH(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>)<sub>4</sub> [4]. Пленки наносились 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. Использовали несколько режимов термообработки. 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 – 800 °С. Для изготовления конденсаторной структуры формировались верхние электроды из никеля диаметром 300 мкм.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 1 представлены результаты анализа конденсаторных структур методом растровой электронной микроскопии (РЭМ). Изображения на рис. 1 (а, б) приве-

дены 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.

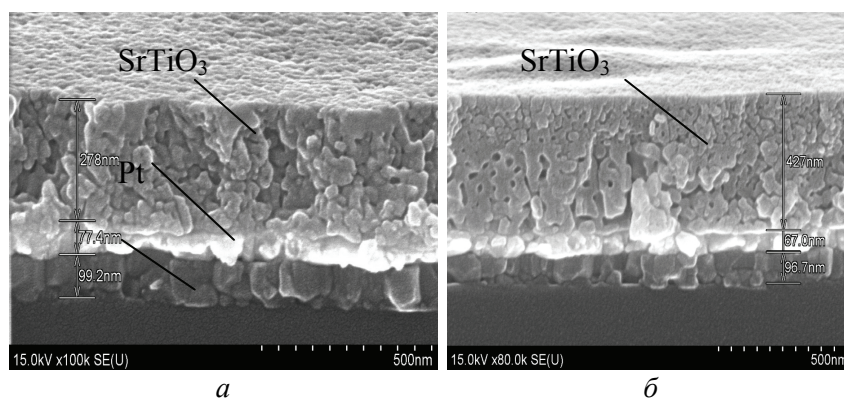


Рис. 1. РЭМ изображения пленок ксерогеля титаната стронция (образец №4) на структуре кремний/титан/платина после двухстадийной термообработки при температуре 750°C в течение 40 мин: (а) —пятислойная пленка ксерогеля; (б) —восьмислойная пленка ксерогеля

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.

Таблица

**Характеристики конденсаторных структур для частоты 1 МГц.**

№ образца	Емкость, пФ	Диэлектрическая проницаемость, $\epsilon$	Среднеквадратическое отклонение, $\sigma_{\epsilon}$	Тангенс угла диэлектрических потерь, $\text{tg}\delta$	Среднеквадратическое отклонение, $\sigma_{\text{tg}\delta}$	Объем выборки, п	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

На рисунке 2 представлена дифрактограмма пленки SrTiO<sub>3</sub>, сформированной при температуре 750 °С в течение 40 мин (образец №4). Полученная дифрактограмма подтверждает наличие фазы титаната стронция.

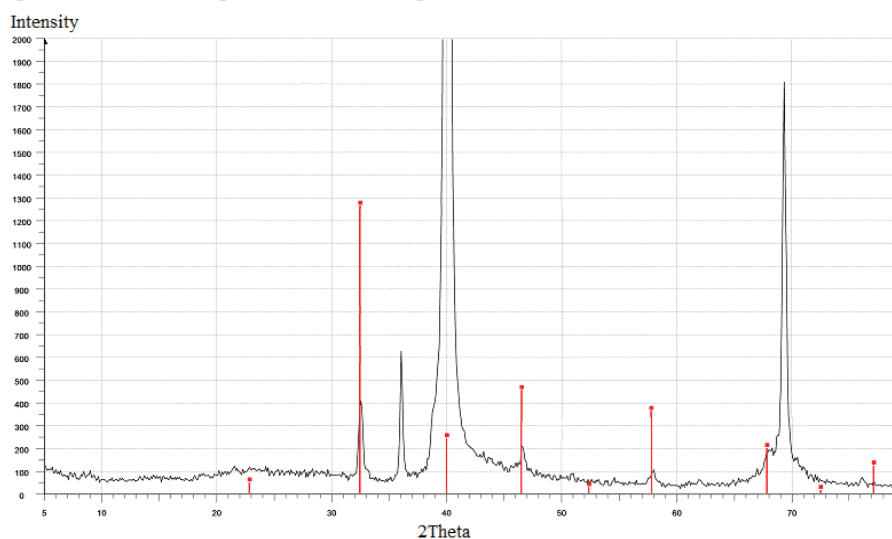


Рис. 2. Дифрактограмма восьмислойной пленки SrTiO<sub>3</sub> на структуре кремний/титан/платина, (образец № 4) после окончательной термообработки при температуре 750°С

Таким образом, разработана лабораторная технология формирования многослойных пленочных конденсаторов на основе ксерогелей титаната стронция со значением диэлектрической проницаемости в пределах 150 – 190. **ЛИТЕРАТУРА**

1. *Fuentes S.* Preparation of SrTiO<sub>3</sub> nanomaterial by a sol-gel hydrothermal method / S. Fuentes [et al.] // J. Mater. Sci. 2010. Vol. 45. P. 1448-1452.
2. *Hofman W.* Dopant influence on dielectric losses, leakage behavior, and resistance degradation of SrTiO<sub>3</sub> thin films / W. Hofman, S. Hoffmann, R. Waster // Thin Solid Films 1997 Vol. 305 P. 66–73.
3. *Pontes F. M.* Preparation, microstructural and electrical characterization of SrTiO<sub>3</sub> thin films prepared by chemical route / F. M. Pontes [et al.] // J. Mater. Sci. 2000. Vol. 35. P. 4783 – 4787.
4. *Сохраби Анараки X.* Синтез пленок титаната стронция золь-гель методом и перспективы их применения в электронной технике /X. Сохраби Анараки [ и др.] // Физика и техника полупроводников, 2014, том 48, вып. 12. С. 140-142.