

Рындин Евгений Адальбертович – Южный федеральный университет; e-mail: earyndin@sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +78634361374; кафедра конструирования электронных средств; д.т.н.; профессор.

Исаева Алина Сергеевна – e-mail: isaevaas@gmail.com; тел.: +79889972166; к.т.н., научный сотрудник.

Ryndin Evgeniy Adalbertovich – Southern Federal University; email: earyndin@sfedu.ru; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634361374; the department of electronic apparatuses design; dr. of eng. sc.; professor.

Isaeva Alina Sergeevna – e-mail: isaevaas@gmail.com; phone: +79889972166; research associate.

УДК 531.768

DOI 10.18522/2311-3103-2016-10-1219

В.В. Петров, А.С. Каменцев, И.И. Черепяхин, Д.А. Коваленко**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СЕНСОРА ВИБРАЦИИ
НА ОСНОВЕ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛЕНОК
ЦИРКОНАТА-ТИТАНАТА СВИНЦА**

Исследованы некоторые свойства пленок цирконата-титаната свинца (ЦТС), сформированных на окисленных кремниевых подложках. Пленки получены по разработанной технологии. Образцы сегнетоэлектрических пленок ЦТС состава $Pb(Ti_xZr_{1-x})O_3$ были получены методом высокочастотного реактивного плазменного распыления в кислородной атмосфере на установке «Плазма 80-СЭ». Пленки напылялись на окисленные кремниевые пластины марки КЭФ-4,5, кристаллографической ориентации $\langle 111 \rangle$ и толщиной 380 мкм. Толщина пленки SiO_2 составляла 150 ± 20 нм, что обеспечивало минимизацию токов утечки с сегнетоэлектрической пленки на подложку. Толщина пленки ЦТС составляла $1,48 \pm 0,18$ мкм. С помощью рентгенофазового анализа установлено, что пленки имеют фазу ЦТС. Кристаллическая фаза ЦТС соответствует химической формуле $Pb(Ti_{0,5}Zr_{0,5})O_3$. На поверхности пленок ЦТС методом термического испарения в вакууме формировалась контактная металлизация. Формирование металлизации позволило проверить адгезионные свойства системы подложка (с подслоем SiO_2) – пленка ЦТС – металлические контакты. Адгезия свойства пленок ЦТС к поверхности оксида кремния позволяла выдерживать напряжения на разрыв равное $3,5 \cdot 10^4$ кг/м². Электрофизические свойства сегнетоэлектрических материалов исследовались по методу Сойэра-Тауэра. Были исследованы петли гистерезиса образцов пленок ЦТС для трех частот – 0,1; 1,0 и 10,0 Гц и влияние процесса «поляризации» на сегнетоэлектрические характеристики пленок. Показано, что наибольшее значение поляризации равно $0,0015$ Кл/м² проявляется у образцов, исследованных на частоте 0,1 Гц, а наибольший вклад в поляризацию образцов вносят «медленные» домены. Разработана конструкция сенсора для исследования его чувствительности на воздействии амплитуды и частоты вибраций. Испытания сенсора проходили на электродинамическом стенде ВСВ-206200. Сенсор испытывался на воздействие ускорений от 0,08 до 5g в диапазоне частот от 2 до 90 Гц. Показано, что чувствительность в диапазоне частот от 2 до 5 Гц составляла 60–75 пКл/g. В указанном диапазоне частот чувствительность сенсора от величины ускорения не зависит. Сделан вывод о возможном практическом применении разработанных сенсоров.

Цирконат-титанат свинца; сегнетоэлектрики; высокочастотное реактивное распыление; поляризация; сенсор вибрации.

V.V. Petrov, A.S.Kamentsev, I.I. Cherepakhin, D.A. Kovalenko

**RESEARCH OF CHARACTERISTICS OF THE SENSOR OF VIBRATION
ON THE BASIS OF SEGNETOELEKTRICHESKY FILMS
OF ZIRCONATE-TITANATE OF LEAD**

*Some properties of the films of the lead zirconate-titanate (PZT) created on the oxidized silicon substrates are investigated. Films are received with the use of the developed technology. Samples of ferroelectric PZT films composition $Pb(Ti_xZr_{1-x})O_3$ were prepared by rf reactive plasma sputtering in an oxygen atmosphere on the "Plasma-80 SE". The films were deposited on oxidized silicon wafers brand KEP-4.5, the crystallographic orientation $\langle 111 \rangle$ and 380 μm thick. SiO_2 film thickness was 150 ± 20 nm, to thereby minimize the leakage currents from the ferroelectric film on the substrate. Thickness of a film of PZT made $1,48 \pm 0,18$ microns. By means of the X-ray phase analysis it is established that the films have phase PZT. Crystal phase PZT corresponds to a chemical formula $Pb(Ti_{0,5}, Zr_{0,5})O_3$. On the surface of PZT films a contact metallization has been formed by thermal evaporation in a vacuum. The metallization formation allowed testing the adhesive properties of the substrate system (with sub-layer of SiO_2) - PZT film - metal contacts. Adhesion properties of PZT films to the silicon oxide surface allowed withstanding the stress at break equal to $3.5 * 10^4$ kg/m². Electrical properties of ferroelectric materials were investigated by the Soyera-Tower method. The hysteresis loop DTN film samples for three frequencies - 0.1; 1.0 and 10.0 Hz and the "polarization" effect of the process on the films ferroelectric properties were investigated. It is shown that the greatest value of polarization equal to 0,0015 Kl/m² is shown at the samples investigated at a frequency of 0,1 Hz, and the greatest contribution to polarization of samples is made by "slow" domains. The sensor design is developed to study its sensitivity on influence of amplitude and vibrations frequency. Sensor tests were conducted on an electrodynamic stand VSV-206200. The sensor was tested for impact accelerations of 0.08 to 5g in a frequency range of 2 to 90Hz. It is shown that sensitivity in the range of frequencies from 2 to 5 Hz was 60–75 pKl/g. In the specified range of frequencies the sensor sensitivity does not depend on the value of acceleration. The conclusion on possible practical application of the developed sensors is made.*

Lead zirconate-titanate; ferroelectric material; high-frequency jet dispersion; polarization; vibration sensor.

Введение. Возможность формирования тонких сегнетоэлектрических пленок на металлических, полупроводниковых и диэлектрических подложках открывает широкие возможности для конструирования функциональных устройств изготавливаемых по интегральной технологии. Сегнетоэлектрические оксиды являются чрезвычайно перспективными для применения в микромеханических системах, учитывая их функциональные возможности [1–4]. К числу наиболее эффективных сегнетоэлектриков относятся пьезокерамические материалы системы цирконата-титаната свинца (ЦТС) [5–7]. В ЦКП «Микросистемной техники и интегральной сенсорики» Южного федерального университета разработана технология формирования сегнетоэлектрических пленок ЦТС на окисленных кремниевых подложках [7–12].

Постановка задачи. Целью данной работы являлось формирование на базе имеющегося опыта пленок ЦТС, разработка на их основе макета сенсора вибраций и проведение испытаний с целью определения его характеристик.

Образцы сегнетоэлектрических пленок ЦТС состава $Pb(Ti_xZr_{1-x})O_3$ были получены методом высокочастотного реактивного плазменного распыления в кислородной атмосфере на установке «Плазма 80-СЭ» [9]. Пленки напылялись на окисленные кремниевые пластины марки КЭФ-4,5, кристаллографической ориентации $\langle 111 \rangle$ и толщиной 380 мкм. Толщина пленки SiO_2 составляла 150 ± 20 нм, что обеспечивало минимизацию токов утечки ($I_{ут}$) с сегнетоэлектрической пленки на подложку. Толщина пленки ЦТС составляла $1,48 \pm 0,18$ мкм.

Далее проводился рентгенофазовый анализ полученных образцов пленок ЦТС, который проводился на дифрактометре ARL X'TRA (Thermo Fisher Scientific, Швейцария) – рис. 1. Анализ дифрактограммы показал, что пик, соответствующий углу 2θ , равному $32,47^\circ$, соответствует фазе ЦТС. Сравнение пиков дифрактограммы с базой данных карточек рентгенофазового анализа [13] и исследованиями профессора Мухортова В.М. [14, 15] позволило сделать вывод, что кристаллическая фаза ЦТС соответствует химической формуле $\text{Pb}(\text{Ti}_{0,5}\text{Zr}_{0,5})\text{O}_3$.

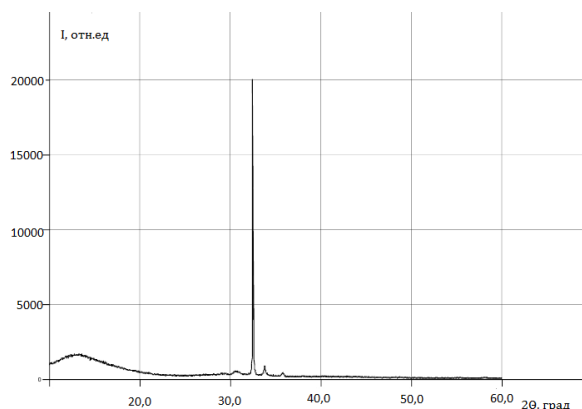


Рис. 1. Дифрактограмма образца ЦТС

Затем на поверхность сегнетоэлектрической пленки ЦТС методом термического испарения в вакууме формировалась контактная металлизация [8]. Рисунок металлизации формировался с помощью специально разработанной маски. Формирование металлизации позволило проверить адгезионные свойства системы подложка (с подслоем SiO_2) – пленка ЦТС – металлические контакты. Для этого с одного края образец жестко закреплялся, а с другого края на провода, припаянные к контактным площадкам, навешивался набор грузов. Максимально допустимым с точки зрения конструктивных особенностей сформированной структуры Si-SiO₂-ЦТС являлся груз весом 200 г, что соответствовало напряжению разрыва порядка $3,5 \cdot 10^4$ кг/м².

Основным методом, характеризующим качество и определяющим электрофизические свойства сегнетоэлектрических материалов, являются исследование петель диэлектрического гистерезиса по методу Сойэра-Тауэра [16]. Площадь, заключенная внутри контура петель диэлектрического гистерезиса отражает количество встроенных доменов, которые вращаются под действием электрического поля той или иной частоты, тем самым индуцируя заряд. Величина поляризации показывает количество индуцируемого заряда. Для увеличения величины индуцируемого заряда на практике применяют процесс «поляризации», который заключается в нагреве материала до температуры Кюри [17] при постоянно приложенном внешнем напряжении, и дальнейшем охлаждении до температуры окружающей среды. На рис. 2 представлены результаты исследования петель гистерезиса образцов пленок ЦТС для трех частот – 0,1; 1,0 и 10,0 Гц. Исследования, проведенные ранее, показали, что сформированные пленки обладают более высокими характеристиками при невысоких - не выше 100 Гц частотах [10].

Известно, что после формирования пленки ЦТС представляют собой поликристаллиты с неоднородно ориентированной доменной структурой, имеющей «быстрые» и «медленные» домены [18, 19]. Процесс «поляризации», способствует переориентированию доменов преимущественно в одном направлении, что тем

самым увеличивает величину поляризации пленок примерно на 60–70 %, что и видно на рис. 2. Исследования петель диэлектрического гистерезиса в диапазоне от 0,1 до 10 Гц показало, что максимальный вклад поляризация образцов внесла на «медленные» домены. Наибольшее значение поляризации равное 0,0015 Кл/м² проявляется у образцов, исследованных на частоте 0,1 Гц – рис. 3,г. При этом уже на частоте 10 Гц величина поляризации значительно меньше. Кроме того, видно, что процесс «поляризации» фактически не привел к существенному улучшению поляризационных свойств образцов на частоте 10 Гц.

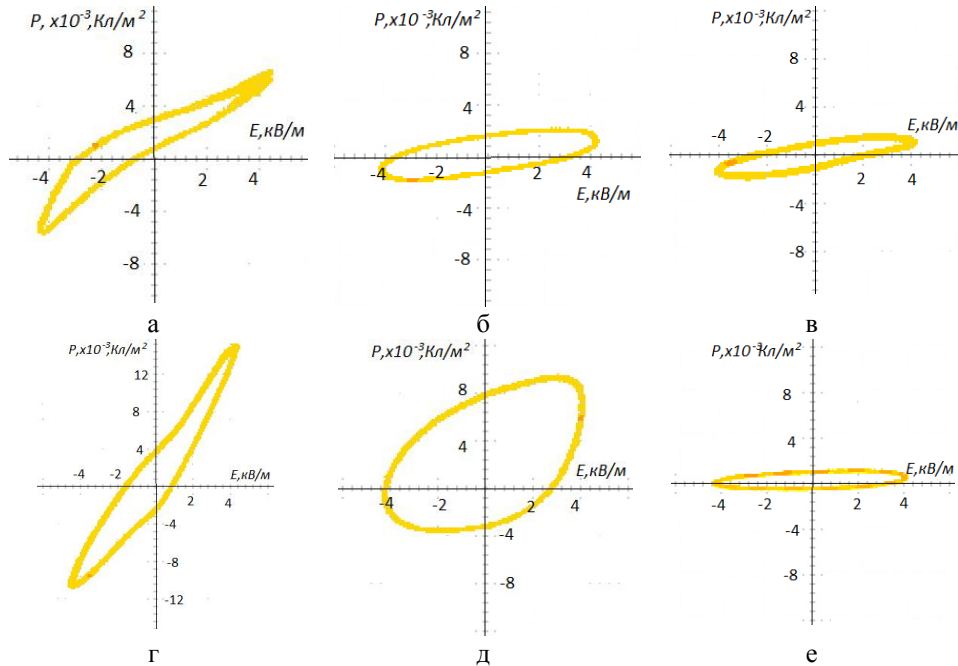


Рис. 2. Петли диэлектрического гистерезиса пленки ЦТС на частотах: 0,1 Гц (а, г), 1,0 Гц (б, д), 10 Гц (в, е) до (а-в) и после (г-е) их поляризации

Для исследования чувствительности сенсора к вибрации и ускорениям в качестве чувствительного элемента применялась кремниевая балка (1) с заземленным концом – рис. 3. Кремниевую балку одним концом крепили к текстолитовой подложке (5), а к контактной металлизации формировали выводы (6). К свободному краю балки крепился грузик определенной массы. Вся конструкция была помещена в экранированный корпус из нержавеющей стали – рис. 4,а. В корпусе были смонтированы разъемы для подключения сенсора к зарядочувствительному усилителю РШ2731Е и осциллографу Tektronix TBS1042. Испытания сенсора проходили калиброванной нагрузкой на электродинамическом стенде ВСВ-206200. Сенсор испытывался на воздействие ускорений от 0,08 до 5g в диапазоне частот от 2 до 90 Гц. На рис. 4,б показан отклик сенсора вибрации, полученного при испытаниях на электродинамическом стенде ВСВ 200-206, на частоте 2 Гц, и ускорении 0.2g.

Зависимость чувствительности сенсора от частоты колебаний представлена на рис. 5.

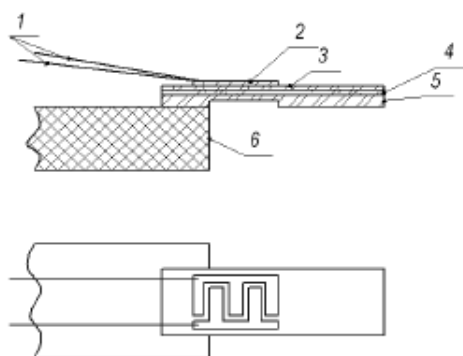


Рис. 3. Конструкция сенсора вибрации: 1 – провода; 2 – контактные площадки; 3 – пленка ЦТС; 4 – оксид кремния; 5 – кремний

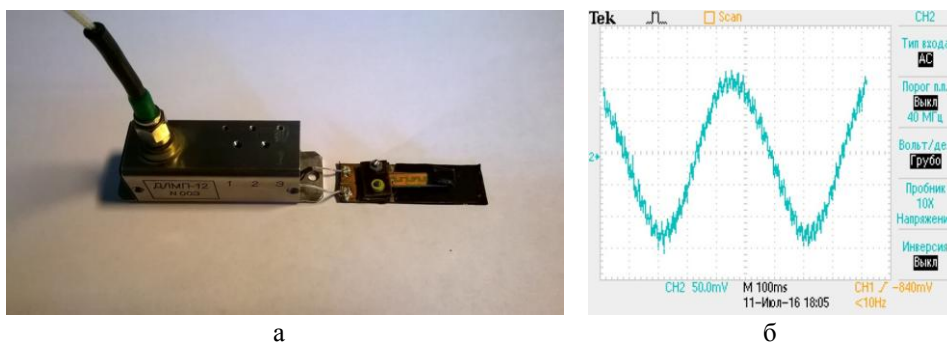


Рис. 4. Внешний вид макета для испытаний сенсора на основе пленки ЦТС на воздействие вибраций (а) и отклик сенсора полученный на частоте 2 Гц и ускорении 0.2g (б)

Исследования показали что сенсор проявляет степенную зависимость чувствительности от частоты ускорений наибольшую чувствительность в диапазоне частот от 2 до 5 Гц с чувствительностью 60–75 пКл/г, что соответствует чувствительности 1.2–1.5 В/г. Погрешность измерения, при этом, составляла $\pm 10\%$. Стоит отметить, что в указанном диапазоне частот чувствительность сенсора от величины ускорения не зависит.

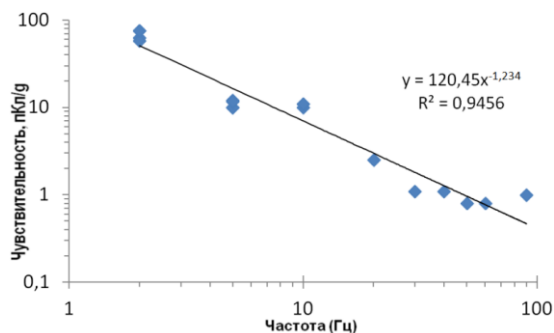


Рис. 5. Зависимость чувствительности сенсора от частоты колебаний

Выводы. Таким образом, в результате выполнения исследований разработан макет сенсора вибраций на основе пленок ЦТС. Исследованы электрофизические характеристики сформированных пленок, показавшие, что разработанный сенсор является низкочастотным. Наибольшее значение поляризации равно $0,0015 \text{ Кл/м}^2$ проявляется у образцов, к которым прикладывалось электрическое поле с частотой 0,1 Гц. Максимальная чувствительность сенсора к вибрационным ускорениям наблюдалась в диапазоне частот от 2 до 5 Гц. Сенсоры обладали чувствительностью 60–75 пКл/г.

Результаты исследований показали, что разработанные сенсоры вибраций могут быть использованы в системах безопасности жилищно-коммунального хозяйства, в тестовых испытаниях машин и конструкций, в автомобилестроении, железнодорожном транспорте [20].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Jijima K., Ueda I., Kugimiya K.* Preparation and properties of lead zirconatetitanate thin films // *Jap. J. Appl. Phys.* – 1991. – Vol. 30. – P. 2149-2154.
2. *Окадзаки К.* Технология керамических диэлектриков. – М.: Энергия, 1976. – 336 с.
3. *Scott J.F.* The physics of ferroelectric ceramic thin films for memory applications // *Ferroelectric Review.* – 1998. – Vol. 1, No. 1. – P. 1-129.
4. *Nakagawa T., Yamaguchi J., Usuki T. et al.* Ferroelectric properties of RF-sputtered PLZT thin film // *Jap. J. Appl. Phys.* – 1979. – Vol. 18, No. 5. – P. 897-902.
5. *Dawber M., Rabe K.M., Scott J.F.* Physics of thin-film ferroelectric oxides // *Review of modern physics.* – 2005. – Vol. 77. – P. 1083-1130.
6. *Xu Yu.* Ferroelectric materials and their applications. N. Holland-Amsterdam -London-New York-Tokyo, 1991. – 391 p.
7. *Ogasawara M., Shimizu M., Shiosaki T.* Preparation of oxide thin films by laser ablation // *Jpn. J. Appl. Phys.* – 1992. – Vol. 31, No. 9B. – P. 2971-2974.
8. *Коваленко Д.А., Петров В.В., Клиндухов В.Г.* Разработка датчика динамических деформаций на основе сегнетоэлектрических пленок цирконата-титаната свинца // *Известия ЮФУ. Технические науки.* – 2014. – № 4 (153). – С. 184-190
9. *Коваленко Д.А., Петров В.В., Клиндухов В.Г.* Исследование влияния технологических параметров формирования тонких пленок цирконата-титаната свинца на их структурные и электрофизические свойства // *Известия ЮФУ. Технические науки.* – 2014. – № 9 (158). – С. 124-132.
10. *Коваленко Д.А., Петров В.В.* Исследование электрофизических свойств пленок цирконата-титаната свинца, сформированных на окисленных кремниевых подложках // *Современные проблемы науки и образования.* – 2015. – № 2. – URL: <http://www.science-education.ru/129-22498>.
11. *Коваленко Д.А., Петров В.В.* Разработка сенсоров на основе сегнетоэлектрических пленок для гибридных сенсорных систем // *Инженерный вестник Дона.* – 2012. – № 4 (2). – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1357>.
12. *Kovalenko D.A., Petrov V.V.* Researches of the Internal Mechanical Stresses Arising in Si-SiO₂-PZT Structures // *Journal of nano- and electronic physics.* – 2015. – Vol. 7, No. 3. – P. 03036(1)-03036(5).
13. International Center for Diffraction Data. Powder Diffraction Files (PDF-2). – N: 01-080-5958.
14. *Мухортов В.М., Толмачёв Г.Н., Мащенко А.И.* Влияние внутренних параметров системы ВЧ осаждения на механизм синтеза и кристаллизации пленок Pb(Zr,Ti)O₃ в процессе их роста // *ЖТФ.* – 1993. – Т. 63, № 11. – С. 135-142.
15. *Мухортов В.М., Юзюк Ю.И.* Гетероструктуры на основе наноразмерных сегнетоэлектрических пленок: получение, свойства и применение. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2008. – 224 с.
16. *Барфут Дж.* Введение в физику сегнетоэлектрических явлений: пер. с англ. – М.: Мир, 1970. – 352 с.
17. *Смоленский Т.А., Боков В.А., Крайник Н.Н., Пасынков Р.Е., Шур М.С.* Сегнетоэлектрики и антисегнетоэлектрики. – М.: Наука, 1979. – 476 с.

18. Пиралова А. Т., Алёшин В.А., Мухортю ЕМ., Дудкевич В.П., Фесенко Е.Г. Термодинамическая теория сегнетоэлектриков титаната бария // Кристаллография. – 1986. – № 6 (31). – С. 1175.
19. Krupanidhi S.B., Maffei N., Sayer M. et al. RF planar magnetron sputtering and characterization of ferroelectric Pb(Zr,Ti)O₃ // J.Appl.Phys. – 1983. – Vol. 54, No. 11. – P. 6601-6609.
20. Сыров А. Датчики малых ускорений компании Freescale Semiconductor // Компоненты и технологии. – 2010. – № 2. – С. 15-20.

REFERENCES

1. Jijima K., Ueda I., Kugimiya K. Preparation and properties of lead zirconatetitanate thin films, *Jap. J. Appl. Phys.*, 1991, Vol. 30, pp. 2149-2154.
2. Okadzaki K. Tekhnologiya keramicheskikh dielektrikov [Technology of ceramic dielectrics]. Moscow: Energiya, 1976, 336 p.
3. Scott J.F. The physics of ferroelectric ceramic thin films for memory applications, *Ferroelectric Review*, 1998, Vol. 1, No. 1, pp. 1-129.
4. Nakagawa T., Yamaguchi J., Usuki T. et al. Ferroelectric properties of RF-sputtered PLZT thin film, *Jap. J. Appl. Phys.*, 1979, Vol. 18, No. 5, pp. 897-902.
5. Dawber M., Rabe K.M., Scott J.F. Physics of thin-film ferroelectric oxides, *Review of modern physics*, 2005, Vol. 77, pp. 1083-1130.
6. Xu Yu. Ferroelectric materials and their applications. N. Holland-Amsterdam -London-New York-Tokyo, 1991, 391 p.
7. Ogasawara M., Shimizu M., Shiosaki T. Preparation of oxide thin films by laser ablation, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1992, Vol. 31, No. 9B, pp. 2971-2974.
8. Kovalenko D.A., Petrov V.V., Klindukhov V.G. Razrabotka datchika dinamicheskikh deformatsiy na osnove segnetoelektricheskikh plenok tsirkonata-titanata svintsya [Development of sensor dynamic deformations based on ferroelectric films of lead zirconate titanate], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2014, No. 4 (153), pp. 184-190.
9. Kovalenko D.A., Petrov V.V., Klindukhov V.G. Issledovanie vliyaniya tekhnologicheskikh parametrov formirovaniya tonkikh plenok tsirkonata-titanata svintsya na ikh strukturnye i elektrofizicheskie svoystva [Research of influence of technological parameters of formation of thin films of zirconate-titanate of lead on their structural and electrophysical properties], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2014, No. 9 (158), pp. 124-132.
10. Kovalenko D.A., Petrov V.V. Issledovanie elektrofizicheskikh svoystv plenok tsirkonata-titanata svintsya, sformirovannykh na oksislennykh kremnievykh podlozhkakh [Research of electrophysical properties of the films of zirconate-titanate of lead created on the oxidized silicon substrates], *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2015, No. 2. Available at: <http://www.science-education.ru/129-22498>.
11. Kovalenko D.A., Petrov V.V. Razrabotka sensorov na osnove segnetoelektricheskikh plenok dlya gibridnykh sensorykh sistem [The development of sensors based on ferroelectric films for hybrid sensor systems], *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering journal of Don], 2012, No. 4 (2). Available at: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1357>.
12. Kovalenko D.A., Petrov V.V. Researches of the Internal Mechanical Stresses Arising in Si-SiO₂-PZT Structures, *Journal of nano- and electronic physics*, 2015, Vol. 7, No. 3, pp. 03036(1)-03036(5).
13. International Center for Diffraction Data. Powder Diffraction Files (PDF-2). N: 01-080-5958.
14. Mukhortov V.M., Tolmachëv G.N., Mashchenko A.I. Vliyanie vnutrennikh parametrov sistemy VCh osazhdeniya na mekhanizm sinteza i kristallizatsii plenok Pb(Zr,Ti)O₃ v protsesse ikh rosta [Influence of internal parameters of the VCh system of sedimentation on the mechanism of synthesis and crystallization of films of Pb(Zr,Ti)O₃ in the course of their growth], *ZhTF* [GTF], 1993, Vol. 63, No. 11, pp. 135-142.
15. Mukhortov V.M., Yuzyuk Yu.I. Geterostruktury na osnove nanorazmernykh segnetoelektricheskikh plenok: poluchenie, svoystva i primeneniye [Heterostructures based on nanodimensional ferroelectric films: receiving, properties and application]. Rostov-on-Don: Izd-vo YuNTs RAN, 2008, 224 p.

16. Barfut Dzh. Vvedenie v fiziku segnetoelektricheskikh yavleniy [Introduction to physics segnetoelektricheskikh of the phenomena]: translation from English. Moscow: Mir, 1970, 352 p.
17. Smolenskiy T.A., Bokov V.A., Kraynik N.N., Pasyukov R.E., Shur M.S. Segnetoelektriki i antisegetoelektriki [Ferroelectrics and anti-ferroelectrics]. Moscow: Nauka, 1979, 476 p.
18. Piralova A. T., Aleshin V.A., Mukhortoe E.M., Dudkevich V.P., Fesenko E.G. Termodinamicheskaya teoriya segnetoelektrikov titanata bariya [Thermodynamic theory of ferroelectrics of barium titanate], *Kristallografiya* [Crystallography], 1986, No. 6 (31), pp. 1175.
19. Krupanidhi S.B., Maffei N., Sayer M. et al. RF planar magnetron sputtering and characterization of ferroelectric $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$, *J. Appl. Phys.*, 1983, Vol. 54, No. 11, pp. 6601-6609.
20. Syrov A. Datchiki malykh uskoreniy kompanii Freescale Semiconductor [Sensors of small accelerations of the company Freescale Semiconductor], *Komponenty i tekhnologii* [Components and technologies], 2010, No. 2, pp. 15-20.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Е.А. Рындин.

Петров Виктор Владимирович – Южный федеральный университет; e-mail: vvp2005@inbox.ru; 347922, г. Таганрог, ул. Чехова, 2; тел.: +78634371624; Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения; профессор.

Каменцев Антон Сергеевич – e-mail: tostanton@yandex.ru; ЦКП «Микросистемной техники и интегральной сенсорики»; техник-проектировщик.

Черепяхин Иван Иванович – e-mail: ivan_cher74@mail.ru; НИИ многопроцессорных вычислительных систем имени академика А.В. Каляева; ведущий инженер.

Коваленко Дмитрий Александрович – e-mail: kovalenko.mitya@yandex.ru; аспирант.

Petrov Viktor Vladimirovich – Southern Fedaral University; e-mail: vvp2005@inbox.ru; 2, Chekhova street, Taganrog, 347922, Russia; phone: +78634371624; Institute of Nanotechnology, electronics, and Equipment Engineering; professor.

Kamentsev Anton Sergeevich – e-mail: tostanton@yandex.ru; CCU “Microsystemic technique and integral sensor technology”; technician-designer.

Cherepakhin Ivan Ivanovich – e-mail: ivan_cher74@mail.ru; Research Institute of Multiprocessor Computation Systems n.a. A.V. Kalyaev; senior engineer.

Kovalenko Dmitry Alexandrovich – e-mail: kovalenko.mitya@yandex.ru; graduate student.

УДК 538.95

DOI 10.18522/2311-3103-2016-10-1927

С.А. Белоусов, А.А. Носов, С.И. Рембеза, Н.Н. Кошелева

СИНТЕЗ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПЛЕНОК Zn_2SnO_4 *

Рассмотрен один из перспективных материалов для газовой сенсорики и прозрачной электроники – ортоэтанат цинка (Zn_2SnO_4) – полупроводник n-типа с шириной запрещенной зоны 3,4–3,6 эВ со структурой обратной шпинели. Целью работы является синтез пленок Zn_2SnO_4 и исследование их электрофизических свойств. Газочувствительные пленки Zn_2SnO_4 были изготовлены методом ионно-лучевого распыления керамической мишени на стеклянные подложки. Напыление проводилось в атмосфере Ar в течение 300 минут при температуре подложки 80 °С. Свежеприготовленные пленки имеют светло-коричневый цвет. По данным рентгенофазового анализа все напыленные пленки имеют аморфную

* Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания министерства науки и образования РФ грант № 3.574.2014/К на выполнение научно-исследовательской работы в сфере научной деятельности.