

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК ОРТОСТАННАТА ЦИНКА, СИНТЕЗИРОВАННЫХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ-ТЕХНОЛОГИЕЙ

С. М. ВЕНЕВЦЕВ, Я. Н. ГУСЕНИЦА

*Военный инновационный технополис „ЭРА“, 353456, Анапа, Россия
E-mail: yaromir226@gmail.com*

Представлены результаты исследования тонких пленок Zn_2SnO_4 . Образцы ортостанната цинка получены золь-гель-методом, гель нанесен с помощью центрифугирования на стеклянные подложки. Образцы были высушены на воздухе и подвергнуты отжигу для формирования кристаллической структуры и удаления растворителя. Поверхностное сопротивление образцов исследовалось четырехзондовым методом, толщина пленок измерялась с помощью микроинтерферометра, удельное сопротивление получено расчетным методом. Поверхность образцов исследовалась с помощью растровой электронной микроскопии на различных этапах отжига. Элементный состав пленок получен с помощью рентгенофазового анализа. Соотношение цинка к олову соотносится с теоретическими данными и составляет 2:1, также в составе пленок обнаружено большое количество хлора из-за недостаточного времени отжига. Спектры пропускания образцов получены с помощью спектрофотометра. В видимом диапазоне коэффициент пропускания составляет 48—75 %. По спектрам пропускания получены данные ширины запрещенной зоны образцов графическим методом (пересечение прямолинейного участка кривой с осью абсцисс). Ширина запрещенной зоны образцов составила 3,72—3,75 эВ. Результаты исследований показывают, что материал Zn_2SnO_4 пригоден для использования в прозрачной электронике.

Ключевые слова: золь-гель-технология, металлооксидные тонкие пленки, ортостаннат цинка, прозрачная электроника, элементный состав, прозрачность, ширина запрещенной зоны

Введение. В современном мире металлооксидные полупроводники наиболее интересны для науки благодаря возможности широкого диапазона практического применения. В настоящее время для прозрачной электроники ведется активный поиск новых материалов. В частности, уже используемые технологии с использованием галлия (Ga_2O_3) и индия (In_2O_3), а также ИТО ($In_2O_3:Sn$) показывают хорошие результаты, однако высокая цена и дефицит галлия и индия, а также растущий спрос на материалы прозрачной электроники привели к широкому поиску новых оксидных соединений с сопоставимой прозрачностью, проводимостью, но с меньшими затратами. Среди тройных соединений в качестве альтернативы рассматривается шпинельный тип ортостанната цинка (Zn_2SnO_4) из-за его низкой стоимости, экологической безопасности и структуры, подобной Cd_2SnO_4 . Ортостаннат цинка обладает большой шириной запрещенной зоны (3,4—3,8 эВ — в зависимости от способа получения), высокой подвижностью электронов, высокой электропроводимостью, а также низким поглощением в видимой области спектра [1—3].

Целями работы являются синтез тонких пленок ортостанната цинка с помощью золь-гель-технологии и исследование свойств полученных образцов, а также оценка их пригодности в прозрачной электронике. Основными электрическими параметрами выбраны поверхностное и удельное сопротивление пленок, а также концентрация основных носителей заряда. Среди оптических параметров выбраны коэффициент пропускания (прозрачности) в видимом диапазоне, а также ширина запрещенной зоны образцов. Контроль морфологии поверхности

пленок и их химический состав также являются важными параметрами для понимания полученных свойств образцов.

Синтез пленок ортостанната цинка. Для синтеза материала выбрана золь-гель-технология — способ получения неорганических и органо-неорганических объектов с определенными химическими и физическими свойствами на основе процесса гомогенизации исходных веществ, входящих в раствор, с последующим переводом их в золь, а затем в гель. Преимуществами такого способа получения материалов является легкость очистки исходных составляющих, использование низких температур для проведения золь-гель-синтеза, высокая степень однородности, а также возможность получения некристаллических веществ, синтез которых остальными методами приводит либо к кристаллизации, либо к разделению на фазы [4—6].

Для изготовления золя выбраны следующие исходные компоненты: хлорид цинка ($ZnCl_2$) и хлорид олова двуводный ($SnCl_2 \cdot 2H_2O$). В качестве растворителя использовался этиловый спирт (C_2H_5OH). Молярное соотношение компонентов было подобрано 2:1, чтобы получить золь для формирования пленки ортостанната цинка. С помощью магнитной мешалки проводилось перемешивание компонентов и растворителя при комнатной температуре в течение 1 ч. Далее оба раствора смешивались, после чего добавлялся полиэтиленгликоль (ПЭГ-400). Затем в течение 1,5 ч происходило перемешивание магнитной мешалкой при комнатной температуре. Прекурсор ортостанната цинка созревал на воздухе при комнатной температуре в течение 30 ч. За это время раствор из прозрачной бесцветной жидкости стал ярко-желтого цвета, а также увеличилась вязкость из-за процессов гелеобразования. Эта методика подобрана на основе работ [7, 8].

В качестве подложек использовались предметные стекла размером $3,2 \times 2,5$ см, промытые в этиловом спирте. Нанесение геля выполнялось с помощью метода центрифугирования [9]. Дозатор с раствором равномерно подавал вещество на поверхность подложки, скорость вращения около 1500 об/мин, что позволило добиться равномерности толщины наносимой пленки. Далее полученные образцы подвергались сушке на воздухе при $150^\circ C$ в течение 4 ч, что позволило полностью удалить растворитель из пленки. Если пропустить процесс сушки или затратить недостаточное количество времени, то при высокотемпературном отжиге происходит интенсивное испарение не только растворителя, но и компонентов ортостанната цинка.

Отжиг заготовок проводился при температуре $500^\circ C$ в течение 10 ч. Использование таких высоких температур позволило добиться перехода пленки из аморфного состояния в кристаллическое. На рис. 1 представлена схема изготовления образцов пленок Zn_2SnO_4 . По такой методике получено три образца.

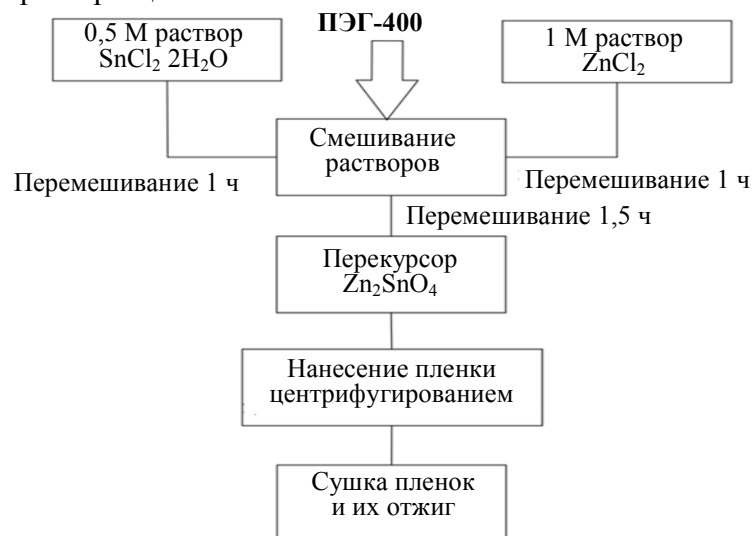


Рис. 1

Исследование сопротивления пленок ортостанната цинка. В процессе температурной обработки для контроля поверхностного сопротивления измерения проводились на вычислительно-измерительном комплексе УЭС с помощью четырехзондового метода [10, 11]. Изменение сопротивления поверхности образцов представлено на рис. 2.

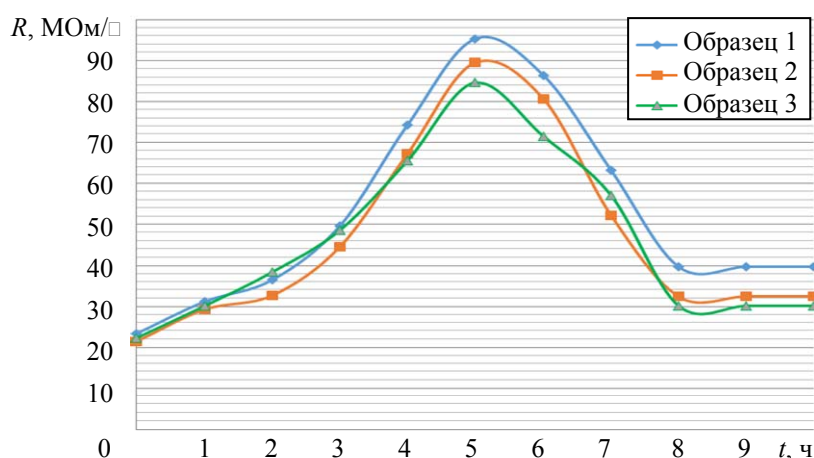


Рис. 2

Высушенные пленки имели поверхностное сопротивление 21,4—23,6 МОм/□ для различных образцов. Как видно из рисунка, значение поверхностного сопротивления растет в течение первых 5 часов отжига. Поверхностное сопротивление на пике составляет 84,5—95,3 МОм/□ для различных образцов. При отжиге 6—7 ч наблюдается падение значения, а на участке 8—10 ч видно, что оно перестает существенно изменяться. Отжиг более 10 ч не проводился, так как значение поверхностного сопротивления стабилизировалось и составляло 30,1—39,6 МОм/□ для различных образцов. Для определения удельного сопротивления необходимо определить толщину пленок на подложках. Для оценки толщины использован микроинтерферометр МИИ-4 [11]. Для возникновения интерференции необходимо отражение падающего излучения не только от поверхности нанесенной пленки, но и от его границы с подложкой, поэтому на всех образцах были сделаны царапины, чтобы появилась интерференционная картина для оценки толщины пленок [10—13]. Из-за того, что методом нанесения пленок было выбрано центрифугирование, толщина в центре образца в среднем на 5 % больше, чем на краях. На основе значений поверхностного сопротивления (в МОм/□) и толщины (в мкм) рассчитано удельное сопротивление (Ом·см). Полученные результаты показаны в табл. 1.

Таблица 1

Контролируемые параметры исследуемых пленок

Параметр	Образец		
	№1	№2	№3
Поверхностное сопротивление, МОм/□	39,6	32,5	30,1
Толщина образца, мкм	0,79	0,87	0,96
Удельное сопротивление, Ом·см	3128,4	2827,5	2889,6

Исследование поверхности пленок ортостанната цинка. Для исследования поверхности использован электронный микроскоп JEOL JSM-6610A. На рис. 3 изображена поверхность образца Zn₂SnO₄ на различных этапах.

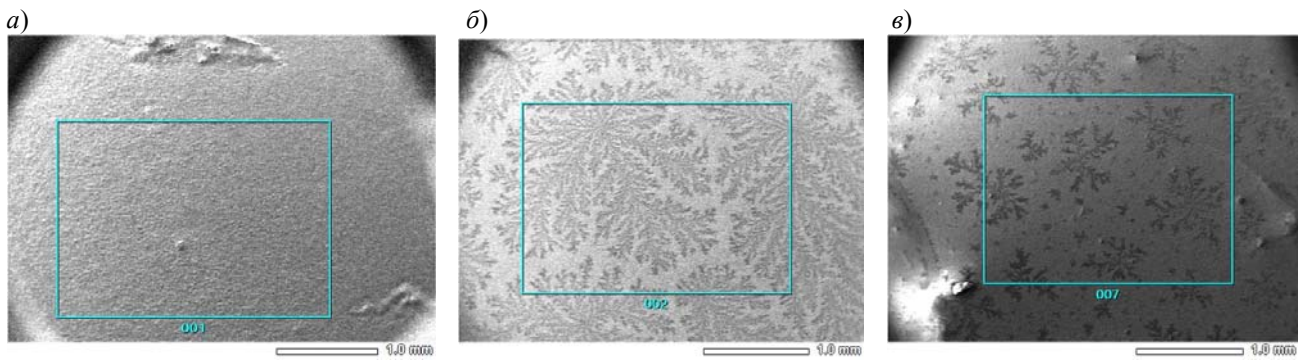


Рис. 3

На рис. 3, *а* показана поверхность пленки после сушки до высокотемпературного отжига — аморфная пленка, на рис. 3, *б* — после 4 ч отжига при 500 °С, на поверхности видны следы хлора, который испаряется с поверхности в процессе термообработки, также видно, что появляются признаки кристаллизации (изменение зернистости, цвета). На рис. 3, *в* представлена поверхность образца после 9 ч отжига, характерные образования соединений хлора в значительной степени уменьшились. Для получения однородной поверхности пленки необходимо опробовать увеличение времени отжига до полного испарения хлора с поверхности [10, 14]. Из рис. 3, *в* видно, что структура поверхности более совершенна, чем на рис. 3, *б*.

С помощью рентгеновского микроанализатора JED-2300 получен элементный состав одного из образцов. Элементным составом называют зависимость кинетической энергии связи и числа электронов (энергетические спектры), соответствующую определенным атомным элементам, в данном случае основной интерес составляют содержание Zn, Sn и O, а также побочный Cl [12, 14]. Данные по элементному составу (в процентных долях) на различных этапах отжига представлены в табл. 2.

Таблица 2

Элементный состав (%) образцов на различных этапах отжига			
Элемент	После сушки	4 часа	9 часа
Sn	8,18	8,75	7,71
Zn	14,26	15,5	16,05
O	53,1	57,35	64,75
Cl	24,46	18,4	9,49

На основе этих данных можно сделать следующие выводы:

- 1) в процессе отжига происходит насыщение пленки кислородом, а также уменьшение доли хлора (испарение в процессе отжига);
- 2) соотношение цинка к олову (примерно 2:1) соотносится с данными источников [7, 8];
- 3) недостаток времени для полного испарения хлора на конечном этапе отжига (9 ч) доказывает его содержание как на снимках поверхности образцов, так и элементный состав.

Исследование оптических свойств пленок ортостанната цинка. В результате отжига изменяются не только электрические, но и оптические параметры. Одним из основных параметров является коэффициент оптического пропускания, или коэффициент прозрачности. Соответственно рост данного параметра сигнализирует об увеличении размеров кристаллитов и доформировании кристаллической структуры. Измерение спектров пропускания проводилось на двулучевом спектрофотометре [10, 11].

Спектры пропускания исследуемых образцов представлены на рис. 4. Величина пропускания для образцов Zn_2SnO_4 в видимой области спектра, ограниченная черными вертикальными линиями (380—780 нм), составляет 48—75 %. Измерения проводились в трех точках по всей длине образцов, значения коэффициентов пропускания идентичны в центре и ближе к краям.

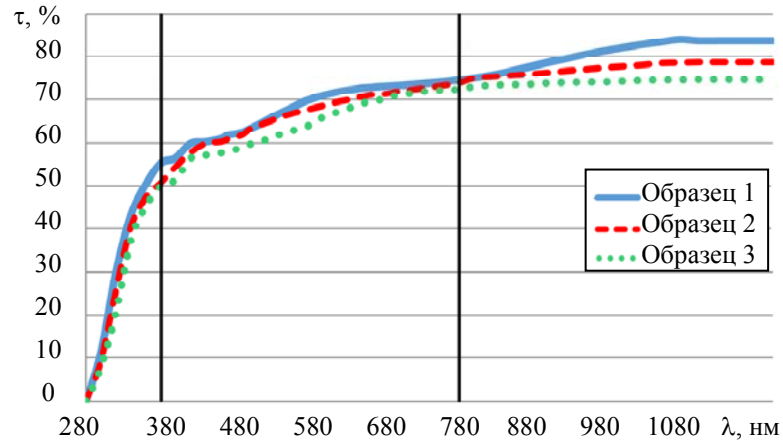


Рис. 4

Для известной толщины пленок образцов (измерена с помощью микроинтерферометра), а рассчитанного по методике, приведенной в [10], коэффициента поглощения α спектры пропускания (рис. 4) перестраивались в координатах $\alpha(h\nu)^2 - h\nu$. Чтобы получить ширину запрещенной зоны (E_g) образцов нужно продлить прямолинейный участок графика до пересечения с осью x .

На рис. 5 представлены зависимости для нахождения ширины запрещенной зоны. Из рисунка видно, что для образцов № 1 и 3 ширина запрещенной зоны 3,72 эВ, для № 2 — 3,75 эВ. Погрешность измерений по графику составляет $\pm 0,01$ эВ. Полученные значения E_g соответствуют теоретическим данным для пленок ортостанната цинка (Zn_2SnO_4) [13]. Разброс значения E_g по образцу практически отсутствует, так как коэффициент пропускания пленок идентичен, а разброс толщины пленок незначительно отличается от центра к краю.

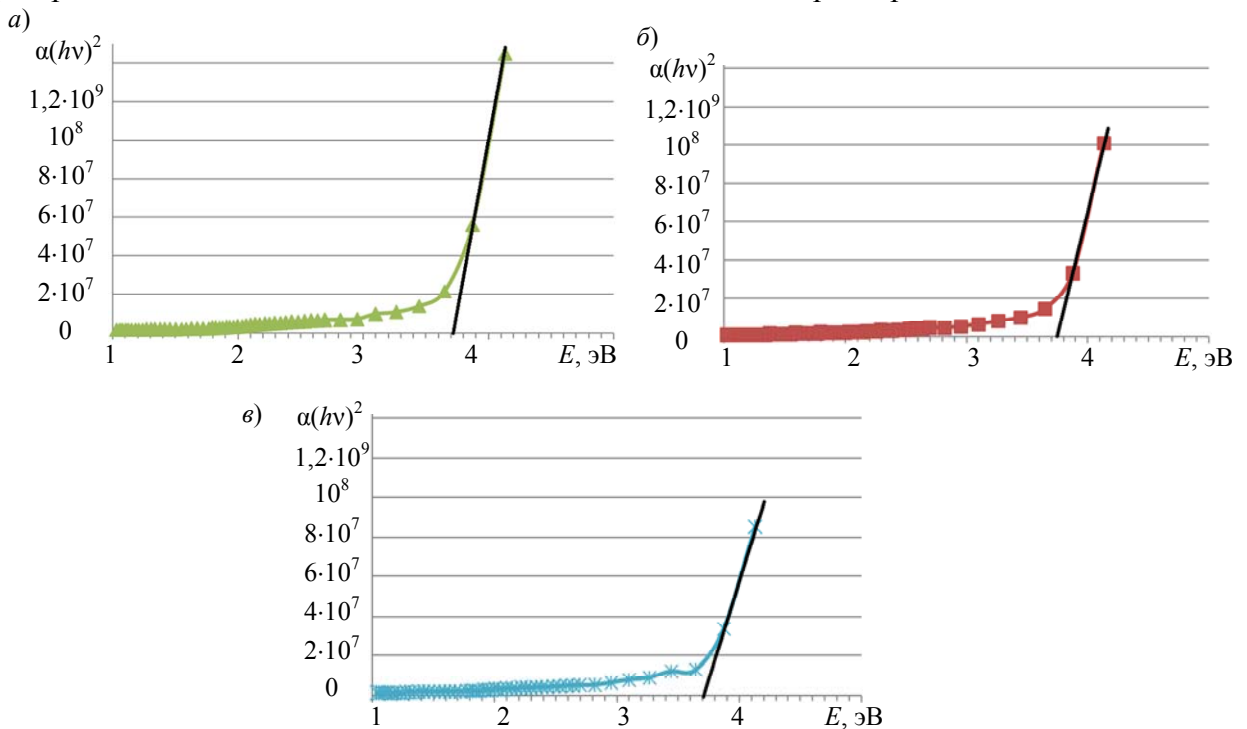


Рис. 5

Было проведено сравнение результатов с другими исследователями. В работе [15] образцы получены с помощью электронно-лучевого испарения керамических мишеней, коэффициент пропускания в видимой области 56—87 %, $E_g=1,95$ эВ. В статье [16] образцы получены с помощью ионно-лучевого распыления с керамических мишеней, коэффициент пропускания в видимой области составляет 60—88 %, $E_g=3,2$ эВ. В работе [17] пленки получены

с помощью золь-технологии и нанесения на подложку с помощью спрей-пиролиза, коэффициент пропускания в видимой области 47—79 %, $E_g=3,87$ эВ. В источнике [2] описан сходный с этой работой синтез образцов с помощью золь-гель-технологии и нанесения центрифугированием, коэффициент пропускания в видимой области 45—75 %, $E_g=3,65$ эВ.

Заключение. С помощью золь-гель-технологии синтезирована пленка ортостанната цинка (Zn_2SnO_4). Этот способ получения материалов выбран из-за легкости очистки исходных составляющих, использования низких температур, высокой степени однородности.

Исследование поверхностного сопротивления пленок показало, что пленки обладают слишком высоким удельным сопротивлением, поэтому не удалось провести исследование концентрации основных носителей заряда с помощью эффекта Холла. Для получения данных необходимы образцы с более низким значением удельного сопротивления за счет увеличения толщины пленки или изменения методики синтеза.

По фотографиям поверхности образцов, а также по элементному составу можно сделать вывод, что решающим фактором для определения времени отжига является наличие хлора в пленке, а не стабилизация поверхностного сопротивления, как считалось ранее. Также хлор является примесью и повышает удельное сопротивление, поэтому необходимо скорректировать время отжига образцов для минимизации этого фактора.

Коэффициент пропускания исследуемых образцов в видимой области спектра составляет 48—75 %. Ширина запрещенной зоны пленок 3,72—3,75 эВ соответствует теоретическим данным. Для проверки стабильности структуры от времени на изготовленных образцах было проведено исследование спектра пропускания через два месяца после первичных испытаний. Установлено, что величина прозрачности снизилась на 5 %. Было проведено сравнение коэффициента пропускания в видимой области, а также значений ширины запрещенной зоны образцов, полученных различными методами. Получение материала физическими методами (электронно-лучевого испарения, ионно-лучевого распыления и др.) обеспечивает лучшие результаты коэффициента пропускания в видимой области спектра, но значение ширины запрещенной зоны не соответствует справочным данным из-за нарушения стехиометрии пленок. За счет золь-гель-технологии коэффициент пропускания меньше, но полученное значение ширины запрещенной зоны ближе к теоретическим данным.

Таким образом, основное преимущество золь-гель-метода заключается в высокой степени гомогенизации исходных компонентов. Золь-гель-метод, по сравнению с традиционной схемой синтеза веществ, обладает упрощенной технологической схемой. Данный метод позволяет достичь снижения энергозатрат и высокой степени чистоты продуктов на всех стадиях синтеза при минимуме затрат на ее достижение. Становится возможным получение данным методом продуктов, которые характеризуются: монофазной кристаллической структурой, обладающей высокой степенью совершенства; строго стехиометрическим составом; отсутствием посторонних фаз.

Таким образом, полученные пленки можно использовать в качестве элементов конструкции устройств прозрачной электроники, если добиться высокой воспроизводимости золь-гель-синтеза и получить более низкоомные образцы для проведения исследований концентрации основных носителей заряда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Brinker C. J., Scherer G. W.* Sol-Gel Science. The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing. San Diego: Academic Press, Inc., 1990. 909 p.
2. *Levy D., Zayat M.* The Sol-Gel Handbook: Synthesis, Characterization, and Applications. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons Inc., 2015. 1616 p.
3. *Levy D., Castellon E.* Transparent Conductive Materials: Materials, Synthesis, Characterization, Applications. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons Inc., 2019.

4. Максимов А. И., Мошников В. А., Таиров Ю. М., Шилова О. А. Основы золь-гель технологии нанокompозитов. СПб: Элмор, 2007. 255 с.
5. Мошников В. А., Александрова О. А., Алешин А. Н. и др. Новые наноматериалы. Синтез. Диагностика. Моделирование: лаб. практикум. СПб: СПбГЭТУ „ЛЭТИ“, 2015. 248 с.
6. Евстропьев С. К., Никоноров Н. В. Жидкостные методы получения оптических наноматериалов. Учеб. пособие. СПб: Университет ИТМО, 2018. 84 с.
7. Рембеза С. И., Носов А. А., Венецьев С. М., Белых М. А., Полковников В. Е. Синтез и исследование электрофизических и оптических свойств пленок Zn_2SnO_4 // Твердотельная электроника, микроэлектроника и наноэлектроника. Межвуз. сб. науч. тр. 2017. Вып. 16. С. 85—90.
8. Носов А. А., Полковников В. Е., Белоусов С. А., Венецьев С. М. Исследование кристаллизации пленок Zn_2SnO_4 , изготовленных золь-гель методом // Твердотельная электроника, микроэлектроника и наноэлектроника. Межвуз. сб. науч. тр. 2018. Вып. 17. С. 138—142.
9. Лапишинов Б. А. Технология литографических процессов. Учебное пособие. М.: Московский государственный институт электроники и математики, 2011. 95 с.
10. Рембеза С. И., Синельников Б. М., Рембеза Е. С., Каргин Н. И. Физические методы исследования материалов твердотельной электроники. Ставрополь: СевКавГТУ, 2002. 432 с.
11. Батавин В. В., Концевой Ю. А., Федорович Ю. В. Измерение параметров полупроводниковых материалов и структур. М.: Радио и связь, 1985. 264 с.
12. Сидорак А. В., Шубин А. А., Иванов В. В., Николаева Н. С. Синтез порошков Zn_2SnO_4 термообработкой соосажденных соединений // Журнал Сибирского Федерального Университета. 2011. Т. 4, № 3. С. 285—293.
13. Физика тонких пленок. Современное состояние исследований и технические применения / Под ред. Г. Хасса, Р. Э. Туна. М.: Мир, 1970. 439 с.
14. Singh S., Singh A., Wan M., Yadav R. R. et al. Fabrication of self-assembled hierarchical flowerlike zinc stannate thin film and its application as liquefied petroleum gas sensor // Sensors and Actuators B: Chemical. 2014. Vol. 205. P. 102—110. DOI: 10.1016/j.snb.2014.08.026.
15. Al-Shahrani A. A. Sh. Preparation and characterisation of ceramic and thin film Zn_2SnO_4 . Doct. thesis. Durham: University of Durham, 1993. 151 p.
16. Белоусов С. А., Носов А. А., Рембеза С. И., Кошелева Н. Н. Синтез и электрофизические свойства газочувствительных пленок Zn_2SnO_4 // Изв. ЮФУ. Технические науки. 2016. № 10(183). С. 19—27. DOI: 10.18522/2311-3103-2016-10-2740.
17. Barquinha P., Martins R., Pereira L., Fortunato E. Transparent Oxide Electronics: From Materials to Devices. John Wiley and Sons Inc., 2012. 360 p.

Сведения об авторах

- Сергей Михайлович Венецьев** — Военный инновационный технополис „ЭРА“, лаборатория испытательная (информатики и вычислительной техники); старший оператор научной роты; E-mail: sventurez@yandex.ru
- Ярослав Николаевич Гусеница** — канд. техн. наук; Военный инновационный технополис „ЭРА“, научно-исследовательский отдел (экспертизы инновационных проектов и научно-исследовательской деятельности); начальник отдела; E-mail: yaromir226@gmail.com

Поступила в редакцию
16.11.2020 г.

Ссылка для цитирования: Венецьев С. М., Гусеница Я. Н. Исследование тонких пленок ортостанната цинка, синтезированных золь-гель-технологией // Изв. вузов. Приборостроение. 2020. Т. 63, № 12. С. 1119—1127.

STUDY OF ZINC ORTHOSTANNATE THIN FILMS SYNTHESIZED BY SOL-GEL TECHNOLOGY

S. M. Venevtsev, Ya. N. Gusenitsa

Military Innovative Technopolis "ERA", 353456, Anapa, Russia
E-mail: yaromir226@gmail.com

Results of thin Zn_2SnO_4 films study are presented. Samples of zinc orthostannate are obtained by the sol-gel method; the gel has been applied by centrifugation on glass substrates. The samples were air dried and annealed to form a crystal structure and remove the solvent. The surface resistance of the samples is measured by the four-probe method, the thickness of the films is measured using a microinterferometer, and the resistivity is obtained by the calculation method. The surface of the samples has been examined using scanning electron microscopy at various stages of annealing. The elemental composition of the films is obtained using X-ray phase analysis. The zinc-to-tin ratio agrees with the theoretical data and is 2:1; a large amount of chlorine is also found in the films due to insufficient annealing time. The transmission spectra of the samples are obtained using a spectrophotometer. In the visible range, the transmittance is 48–75 %. The transmission spectra are used to obtain the data of the band gap of the samples by the graphical method (the intersection of the straight section of the curve with the abscissa axis). The band gap of the samples is 3.72–3.75 eV. Research results show that the Zn_2SnO_4 material is suitable for use in transparent electronics.

Keywords: sol-gel technology, metal oxide thin films, zinc orthostannate, transparent electronics, elemental composition, transparency, band gap

REFERENCES

1. Brinker C.J., Scherer G.W. *Sol-Gel Science. The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*, San Diego, Academic Press, Inc., 1990, 909 p.
2. Levy D., Zayat M. *The Sol-Gel Handbook: Synthesis, Characterization, and Applications*, Hoboken, NJ, John Wiley and Sons Inc., 2015, 1616 p.
3. Levy D., Castellon E. *Transparent Conductive Materials: Materials, Synthesis, Characterization, Applications*, Hoboken, NJ, John Wiley and Sons Inc., 2019.
4. Maksimov A.I., Moshnikov V.A., Tairov Yu.M., Shilova O.A. *Osnovy zol'-gel' tekhnologii nanokompozitov* (Fundamentals of Sol-Gel Nanocomposite Technology), St. Petersburg, 2007, 255 p. (in Russ.)
5. Moshnikov V.A. Alexandrova O.A., Aleshin A.N. et al. *Novyye nanomaterialy. Sintez. Diagnostika. Modelirovaniye* (New Nanomaterials. Synthesis. Diagnostics. Modeling), St. Petersburg, 2015, 248 p. (in Russ.)
6. Evstropiev S.K., Nikonorov N.V. *Zhidkostnyye metody polucheniya opticheskikh nanomaterialov* (Liquid Methods for Obtaining Optical Nanomaterials), St. Petersburg, 2018, 84 p. (in Russ.)
7. Rembeza S.I., Nosov A.A., Venevtsev S.M., Belykh M.A., Polkovnikov V.E. *Tverdotel'naya elektronika, mikroelektronika i nanoelektronika* (Solid State Electronics, Microelectronics and Nanoelectronics), Interuniversity collection of scientific papers, 2017, no. 16, pp. 85–90. (in Russ.)
8. Nosov A.A., Polkovnikov V.E., Belousov S.A., Venevtsev S.M. *Tverdotel'naya elektronika, mikroelektronika i nanoelektronika* (Solid State Electronics, Microelectronics and Nanoelectronics), Interuniversity collection of scientific papers, 2018, no. 17, pp. 138–142. (in Russ.)
9. Lapshinov B.A. *Tekhnologiya litograficheskikh protsessov* (Lithographic Process Technology), Moscow, 2011, 95 p. (in Russ.)
10. Rembeza S.I. Sinelnikov B.M., Rembeza E.S., Kargin N.I. *Fizicheskiye metody issledovaniya materialov tverdotel'noy elektroniki* (Physical Research Methods of Materials for Solid-State Electronics), Stavropol, 2002, 432 p. (in Russ.)
11. Batavin V.V. Kontsevoy Yu.A., Fedorovich Yu.V. *Izmereniye parametrov poluprovodnikovykh materialov i struktur* (Measurement of Parameters of Semiconductor Materials and Structures), Moscow, 1985, 264 p. (in Russ.)
12. Sidorak A.V., Shubin A.A., Ivanov V.V., Nikolayeva N.S. *Zhurnal Sibirskogo Federal'nogo Universiteta*, 2011, no. 3(4), pp. 285–293. (in Russ.)
13. Hass G. and Thun R.E., ed., *Physics of thin films. Advances in Research and Development*, NY, London, Academic Press, 1964.
14. Singh S., Singh A., Wan M., Yadav R.R. et al. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2014, vol. 205, pp. 102–110, DOI: 10.1016/j.snb.2014.08.026.
15. Al-Shahrani A.A.Sh. *Preparation and characterization of ceramic and thin film Zn_2SnO_4* , Doct. thesis, Durham, University of Durham, 1993, 151 p.
16. Belousov S.A., Nosov A.A., Rembeza S.I., Kosheleva N.N. *Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*, 2016, no. 10(183), pp. 19–27, DOI: 10.18522/2311-3103-2016-10-2740 (in Russ.)
17. Barquinha P., Martins R., Pereira L., Fortunato E. *Transparent Oxide Electronics: From Materials to Devices*, John Wiley and Sons Inc., 2012, 360 p.

Data on authors

- Sergey M. Venevtsev** — Military Innovative Technopolis "ERA", Testing Laboratory (Informatics and Computer Technology); E-mail: sventurez@yandex.ru
- Yaroslav N. Gusenitsa** — PhD; Military Innovative Technopolis "ERA", Testing Laboratory (Informatics and Computer Technology); Head of Department; E-mail: yaromir226@gmail.com

For citation: Venevtsev S. M., Gusenitsa Ya. N. Study of zinc orthostannate thin films synthesized by sol-gel technology. *Journal of Instrument Engineering*. 2020. Vol. 63, N 12. P. 1119—1127 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2020-63-12-1119-1127