

*Т. О. Зинченко, Е. А. Печерская, В. И. Кондрашин,  
К. Ю. Спицына, А. В. Фимин, О. А. Мельников*

## АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЛЕНОК ПРОЗРАЧНЫХ ПРОВОДЯЩИХ ОКСИДОВ

*T. O. Zinchenko, E. A. Pecherskaya, V. I. Kondrashin,  
K. Yu. Spitsyna, A. V. Fimin, O. A. Mel'nikov*

## ANALYSIS OF THE ELECTROPHYSICAL PARAMETERS OF TRANSPARENT FILMS CONDUCTIVE OXIDES

**А н н о т а ц и я. Актуальность и цели.** Прозрачные проводящие оксиды, представляющие собой тонкопленочные покрытия (полупроводниковые оксиды металлов, полимеры, углеродные структуры) с высокой электропроводностью и хорошей оптической прозрачностью, являются перспективными материалами в солнечных элементах, «умных» стеклах, применяются в функциональной электронике. Цель исследования – анализ зависимостей электрофизических параметров пленок SnO<sub>2</sub> от концентрации примеси, объема раствора, что позволяет установить оптимальные технологические режимы для получения оксидных покрытий с улучшенными свойствами. **Материалы и методы.** Для получения пленок SnO<sub>2</sub> применен метод спрей-пиролиза – один из наиболее перспективных методов с точки зрения нанесения прозрачных проводящих покрытий на подложки большой площади. В качестве подложек использованы натриево-кальциево-силикатные стекла. Нанесение пленок SnO<sub>2</sub> произведено из растворов, содержащих тетрахлорид пентагидрат олова (SnCl<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O), в качестве растворителя использован этанол. Для измерения электрофизических параметров пленок применены четырехзондовый метод и метод Ван дер Пау. **Результаты.** В результате проведенных экспериментов определены электрофизические параметры образцов прозрачных проводящих оксидов, полученных при разных технологических режимах. Построены графики зависимостей поверхностного сопротивления, подвижности носителей заряда от концентрации примеси, что позволило проанализировать механизмы рассеяния, присутствующие в оксидных пленках. **Выводы.** Подтверждена теория о том, что в прозрачных проводящих оксидах рассеяние на ионизированных примесях является основным механизмом, ограничивающим подвижность носителей заряда. Установлены критические значения концентрации примеси, при увеличении которых качество синтезируемых пленок ухудшается по причине увеличения поверхностного сопротивления, снижения подвижности носителей зарядов. Указанные выводы использованы при определении оптимальных технологических режимов.

**A b s t r a c t. Background.** Transparent conductive oxides, which are thin-film coatings (semiconductor metal oxides, polymers, carbon structures) with high electrical conductivity and good optical transparency, are promising materials in solar cells, smart glasses, and are used in functional electronics. The purpose of the study is to analyze the dependences of the electrophysical parameters of SnO<sub>2</sub> films on the impurity concentration and solution volume, which allows us to establish optimal technological conditions for producing oxide coatings with improved properties. **Materials and methods.** To obtain SnO<sub>2</sub> films, the spray pyrolysis method was used – one of the most promising methods from the point of view of applying transpar-

ent conductive coatings to large-area substrates. Sodium-calcium-silicate glasses were used as substrates. The SnO<sub>2</sub> films were deposited from solutions containing tin pentahydrate tetrachloride (SnCl<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O), and ethanol was used as a solvent. The four-probe method and the van der Pauw method were used to measure the electrophysical parameters of the films. **Results.** As a result of the experiments, the electrophysical parameters of the samples of transparent conductive oxides obtained under different technological conditions were determined. The dependences of the surface resistance and charge carrier mobility on the impurity concentration were plotted, which allowed us to analyze the scattering mechanisms present in oxide films. **Conclusions.** The theory was confirmed that scattering by ionized impurities in transparent conducting oxides is the main mechanism limiting the mobility of charge carriers. Critical values of the impurity concentration are established, with an increase in which the quality of the synthesized films deteriorates due to an increase in surface resistance and a decrease in the mobility of charge carriers. These conclusions were used in determining the optimal technological conditions.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** прозрачные проводящие оксиды, диоксид олова, метод спрей-пиролиза, механизмы рассеяния, поверхностное сопротивление, концентрация примеси, подвижность носителей заряда.

**Key words:** transparent conductive oxides, tin dioxide, spray pyrolysis method, scattering mechanisms, surface resistance, impurity concentration, charge carrier mobility.

### Введение

К прозрачным проводящим оксидам (ППО) относятся тонкопленочные материалы (полупроводниковые оксиды металлов, полимеры, углеродные структуры), которым присуща высокая электропроводность, хорошая оптическая прозрачность. Наибольшее применение сегодня получили ППО на основе металлооксидов (MeO). Наибольшее распространение получили бинарные соединения (In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZnO, SnO<sub>2</sub> и CdO), в составе которых один металлический элемент. По стехиометрическому составу данные вещества являются диэлектриками, но по причине большого количества внутренних дефектов (дефекты обусловлены наличием кислородных вакансий, присутствием межузельных атомов металла) они способны становиться полупроводниками, обладающими широкой запрещенной зоной ( $E_g > 3$  эВ). Поскольку энергия образования вакансий и атомов в междоузлии является низкой, то перечисленные дефекты легко формируются. В свою очередь, это является причиной относительно низкого сопротивления нестехиометрических металлооксидов.

Наиболее подходящим по технико-экономическим показателям методом получения подобных оксидных покрытий является метод спрей-пиролиза. Ему присущ ряд преимуществ, в том числе следующие: простота, низкая стоимость по сравнению с другими методами; возможность модификации свойств ППО посредством изменения технологических режимов; возможность нанесения покрытия большой площади; возможность массового производства как для нужд солнечной энергетики, так и «умных» стекол [1].

С целью достижения ППО высокой производительности необходимо добиться высоких значений проводимости пленок. Для этого необходимо всестороннее системное исследование процессов и физических эффектов, которые имеют место в оксидных пленках [2, 3]. Наиболее существенное влияние на проводимость оказывает рассеяние электронов. Несмотря на то, что исследования по изучению ППО проводятся учеными в течение многих лет, механизмы рассеяния, влияющие на их электрические свойства, до сих пор недостаточно изучены. Электрическое сопротивление обусловлено рассеянием электронов при взаимодействии с решеткой. По причине волновой природы электроны способны проходить сквозь совершенную решетку без затухания, поэтому удельное сопротивление является мерой совершенства структуры кристаллической решетки. В реальности, по ряду причин структура является несовершенной, поэтому электроны подвергаются рассеянию [4]. При этом среднее расстояние, которое электроны проходят между соударениями, характеризуется средним свободным пробегом. Даже если

решетка не имеет структурных дефектов вследствие тепловых колебаний атомов около своих средних положений, решетка не является совершенной для дрейфа электронов. Электроны взаимодействуют с различными видами колебаний решетки (фононами), что и обуславливает электросопротивление.

### *Экспериментальное получение пленок*

Пленки SnO<sub>2</sub> синтезированы методом спрей-пиролиза, который на современном этапе развития технологий представляется одним из наиболее перспективных способов нанесения ППО на подложки большой площади.

Данный метод используется в основном для формирования тонких пленок простых оксидов металлов (ZnO, SnO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>, и др.), имеющих широкое практическое применение в качестве прозрачных электропроводящих и антибликовых покрытий, чувствительных элементов газовых сенсоров, структур для оптоэлектроники, твердооксидных топливных элементов и фотоэлектрических преобразователей [5]. Кроме этого, можно получать спрей-пиролизом пленки смешанных оксидов (SrTiO<sub>3</sub>, Pb(Zr<sub>x</sub>Ti<sub>1-x</sub>)O<sub>3</sub>), бинарных халькогенидов (CdS, CdSe, CdTe), сверхпроводящие оксидные пленки (YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub>) [6, 7]. При использовании метода спрей-пиролиза формирование пленок происходит в результате термического разложения прекурсоров, которые содержатся в аэрозоле при его распылении на нагретую подложку [8].

В качестве подложек использованы натриево-кальциево-силикатные стекла. Предварительно подложки были очищены путем их ультразвуковой обработки в ацетоне, этаноле и дистиллированной воде. Нанесение пленок SnO<sub>2</sub> произведено из растворов, которые содержат тетрагидрид пентагидрат олова (SnCl<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O) с молярной концентрацией  $C_M$ , в качестве растворителя использован этанол. Растворы с разными объемами  $V$  были распылены на подложки, нагретые до требуемой температуры. Значения концентрации примеси  $\chi$ , а также технологических параметров  $C_M$ ,  $V$  сведены в табл. 1. Распыление произведено с помощью сжатого воздуха, который был подан под давлением в пневматический распылитель.

Таблица 1

Значения технологических параметров при получении пленок SnO<sub>2</sub>

Номер образца	$\chi$ , %	$C_M$ , моль/л	$V$ , мл
1	0	0,25	5
2			10
3			15
4			20
5	0,025		5
6			10
7			15
8	0,05		5
9			10
10			15

### *Методы измерения электрофизических параметров оксидных пленок*

С целью измерения электрофизических параметров пленок SnO<sub>2</sub>, нанесенных на стеклянные подложки, в данной работе использованы четырехзондовый метод и метод Ван дер Пау.

Четырехзондовый метод – наиболее распространен для измерения поверхностного сопротивления полупроводниковых материалов. Метод выбран в связи с высокими метрологическими показателями и простой схемой эксперимента. Принцип основан на явлении растекания электрического тока в точке контакта металлического острия с полупроводником. Поверхностное сопротивление определяется косвенно по результатам измерений разности потенциалов в двух точках, расположенных на плоской поверхности при пропускании тока

определенной величины через два точечных контакта, расположенных на рассматриваемой поверхности.

Остальные электрофизические параметры были получены методом Ван дер Пау, основная особенность которого заключается в способе измерения удельного электрического сопротивления. Ток пропускается через два соседних контакта в магнитном поле, а разность потенциалов измеряется между двумя другими. Сопротивление определяется косвенно по полученным данным. Затем процедура повторяется, но для других пар контактов и определяется сопротивление уже в другом направлении. Описанная методика применяется для измерения сопротивления как объемно легированных слоев, так и эпитаксиальных гетероструктур.

#### *Анализ результатов измерения электрофизических параметров*

В результате проведенных исследований определены электрофизические параметры прозрачных проводящих оксидов. Построены графики зависимостей поверхностного сопротивления, подвижности носителей заряда от концентрации примеси, что позволяет проанализировать механизмы рассеяния, присутствующие в оксидных пленках.

Проанализируем поверхностное сопротивление, измеренное двумя методами (четырёхзондовым и методом Ван дер Пау). Результаты измерений поверхностного сопротивления 15 образцов покрытий толщиной  $d$  представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты измерений поверхностного сопротивления  $R_s$   
образцов покрытий толщиной  $d$

Номер образца	$d$ , нм	$R_s$ , Ом/Г (4-зондовый метод)	$R_s$ , Ом/Г (метод Ван дер Пау)	$\delta$ , %
1	115	1528	1463	4.4
2	133	861	841	2.4
3	168	675	667	1.2
4	209	637	624	2.1
5	211	426	445	4.3
6	245	139	145	4.1
7	262	89	92	3.3
8	225	221	216	4.5
9	260	95	96	1
10	270	57	59	3.4
11	275	28	27	3.7
12	210	262	268	2.3
13	255	106	110	3.6
14	263	71	74	4.1
15	271	58	60	3.3

Следует отметить, что результаты измерений, полученные 4-зондовым методом и методом Ван дер Пау, отличаются не более, чем на 4,5 %. Относительная погрешность составляет менее 5 %, за истинное значение принималось сопротивление, полученное методом Ван дер Пау. Также из таблицы видно, что сопротивление понижается при увеличении толщины покрытия. Такая зависимость объясняется «размерным эффектом», при котором происходит увеличение поверхностного рассеяния с уменьшением толщины по сравнению с объемным материалом.

В табл. 3 представлены электрофизические параметры, полученные методом Ван дер Пау. Получены данные электрофизические параметры, поскольку предоставляется возможность первичной оценки электрофизических свойств, а также возможности их улучшения. Основным параметром является проводимость, на которую прежде всего влияют подвижность и концентрация носителей заряда.

Таблица 3

Электrofизические параметры ППО, полученные методом Ван дер Пау

Номер образца	Удельное сопротивление, Ом·см	Удельная проводимость, $\frac{1}{\text{Ом} \cdot \text{см}}$	Подвижность носителей заряда, $\frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$	Объемная концентрация, $\text{см}^{-3}$	Поверхностная концентрация $\text{см}^{-2}$
1	$6,67 \cdot 10^{-3}$	150	13,25	$7,08 \cdot 10^{20}$	$7,08 \cdot 10^{14}$
2	$6,24 \cdot 10^{-3}$	160	11,34	$8,83 \cdot 10^{19}$	$8,83 \cdot 10^{15}$
3	$1,46 \cdot 10^{-2}$	68,4	8,03	$5,31 \cdot 10^{19}$	$5,31 \cdot 10^{14}$
4	$8,41 \cdot 10^{-3}$	119	9,15	$8,11 \cdot 10^{19}$	$8,11 \cdot 10^{14}$
5	$4,45 \cdot 10^{-3}$	225	12,24	$1,15 \cdot 10^{20}$	$1,15 \cdot 10^{15}$
6	$1,45 \cdot 10^{-3}$	692	14,75	$2,93 \cdot 10^{20}$	$2,93 \cdot 10^{15}$
7	$9,16 \cdot 10^{-4}$	1090	15,91	$4,33 \cdot 10^{20}$	$4,33 \cdot 10^{15}$
8	$2,16 \cdot 10^{-3}$	463	8,12	$3,56 \cdot 10^{20}$	$3,56 \cdot 10^{15}$
9	$9,56 \cdot 10^{-4}$	2240	7,41	$9,04 \cdot 10^{20}$	$9,04 \cdot 10^{15}$
10	$5,91 \cdot 10^{-4}$	1690	13,56	$7,79 \cdot 10^{20}$	$7,79 \cdot 10^{15}$
11	$2,74 \cdot 10^{-4}$	3650	9,78	$2,33 \cdot 10^{21}$	$2,33 \cdot 10^{16}$
12	$2,68 \cdot 10^{-3}$	374	6,34	$3,7 \cdot 10^{20}$	$3,7 \cdot 10^{15}$
13	$1,1 \cdot 10^{-3}$	907	6,31	$8,98 \cdot 10^{20}$	$8,98 \cdot 10^{15}$
14	$6,39 \cdot 10^{-4}$	1560	5,64	$1,73 \cdot 10^{21}$	$1,73 \cdot 10^{16}$
15	$6,02 \cdot 10^{-4}$	1661	4,83	$2,15 \cdot 10^{21}$	$2,15 \cdot 10^{16}$

Увеличение концентрации примеси приводит к уменьшению поверхностного сопротивления, т.е. к увеличению показателя проводимости (рис. 1).

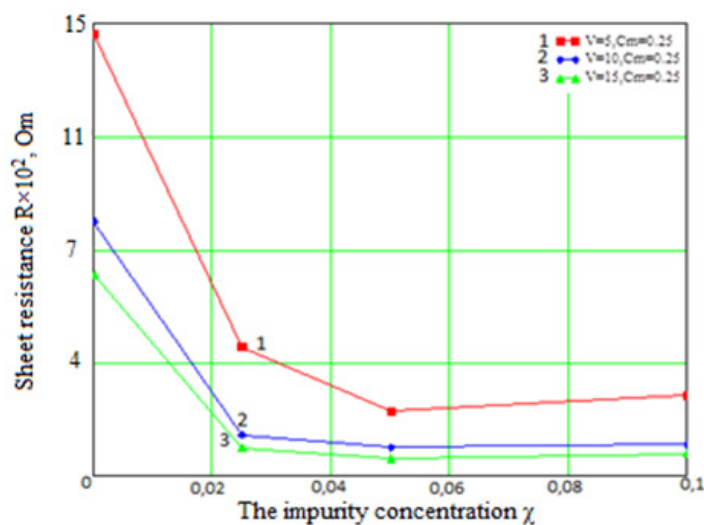


Рис. 1. Зависимость поверхностного сопротивления от концентрации примеси

При концентрации примеси менее 5 % от объема раствора наблюдается следующее: поверхностное сопротивление снижается с увеличением объема раствора, концентрации прекурсора и концентрации примеси. Поверхностное сопротивление уменьшается с увеличением концентрации примеси сурьмы. Сурьма замещает атомы олова в решетке, в результате чего атомы сурьмы являются донорами и создают избыточное количество свободных электронов. При достижении концентрации примеси 5 % и при ее дальнейшем росте, происходит некоторое увеличение поверхностного сопротивления оксидной пленки, что сказывается на удельном сопротивлении и, следовательно, на качестве покрытия. С точки зрения физических процессов это объясняется тем, что в ППО происходит рассеяние на ионизированных примесях, что выступает основным механизмом, ограничивающим подвижность носителей. Таким образом, при достижении конкретного значения концентрации (рассматриваемом случае, 5 %) свободные но-

сители заряда начинают мешать друг другу, примесные атомы встраиваются в кристаллическую решетку на неправильные позиции, что приводит к образованию дефектов. В результате появляется рассеяние на дефектах, увеличивается рассеяние на примесных атомах.

На подвижность носителей заряда концентрация носителей оказывает свое негативное влияние при достижении 2,5 % (рис. 2).

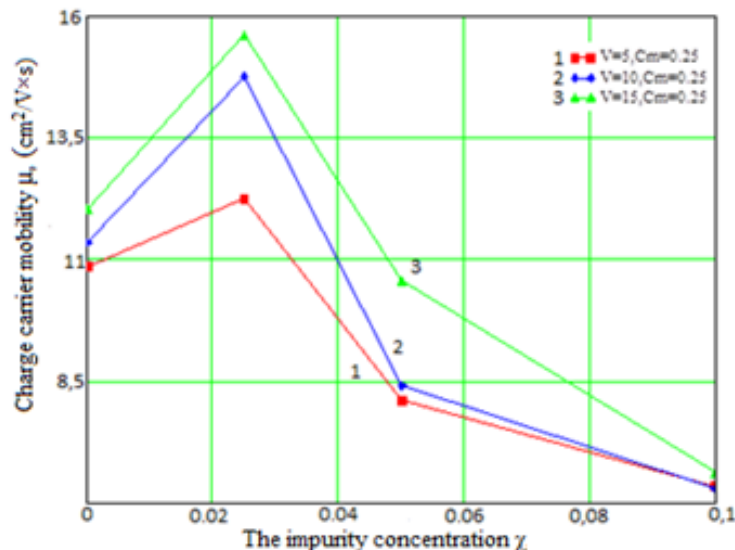


Рис. 2. Зависимость подвижности носителей заряда от концентрации примеси, при  $V = 10$  мл,  $V = 15$  мл и  $V = 20$  мл

При концентрации примеси менее 2,5 % от объема раствора подвижность носителей заряда увеличивается. Это обусловлено резким увеличением количества носителей заряда, при этом рассеяние практически не оказывает влияния на подвижность носителей заряда (пик на графике, приведенном на рис. 2).

В случае достижения концентрации примеси 2,5 % и при ее дальнейшем росте имеет место увеличение рассеяния носителей заряда, из-за чего подвижность носителей заряда уменьшается. Это подтверждает теорию о том, что в ППО рассеяние на ионизированных примесях выступает основным механизмом, который ограничивает подвижность носителей заряда.

### Заключение

В результате анализа электрофизических параметров пленок прозрачных проводящих оксидов установлено следующее:

- существует критическое значение концентрации примеси (составляет 5 %), при увеличении которого наблюдается рост поверхностного сопротивления оксидной пленки, что оказывает негативное влияние на поверхностное сопротивление;
- критическое значение концентрации примеси, свыше которого увеличение концентрации оказывает негативное влияние на подвижность носителей заряда, составляет 2,5 %;
- в ППО рассеяние на ионизированных примесях является основным механизмом, ограничивающим подвижность носителей.

### Библиографический список

1. Кондрашин, В. И. Исследование влияния концентрации примеси на поверхностное сопротивление в ППП (полученных методом спрей-пиролиза) на основе диоксида олова / В. И. Кондрашин, Е. А. Печерская // Актуальные проблемы физической и функциональной электроники : сб. материалов 19-й Всерос. молод. науч. школы-семинара. – Ульяновск, 2016. – С. 175–176.
2. Electrical Properties Of Transparent Conductive Ato Coatings Obtained By Spray Pyrolysis / Т. О. Zinchenko, V. I. Kondrashin, E. A. Pecherskaya, A. S. Kozlyakov, K. O. Nikolaev, J. V. Shepeleva // Iop Conf. Series: Materials Science And Engineering. – 2017. – № 225. – P. 012255. – DOI 10.1088/1757-899x/225/1/012255.

3. *Raksha, S. V.* Функциональные материалы для сенсibilизированных красителем солнечных элементов / С. В. Ракша, В. И. Кондрашин, Е. А. Печерская, К. О. Николаев // Физика и технология наноматериалов и структур : сб. науч. ст. 2-й Междунар. науч.-практ. конф. – Курск : ЮЗГУ, 2015. – С. 143–146.
4. *Raksha, S. V.* Functional materials for dye-sensitized solar cells / S. V. Raksha, V. I. Kondrashin, E. A. Pecherskaya, K. O. Nikolaev // Journal of Nano- and Electronic Physics. – 2015. – № 7 (4). – P. 04062.
5. *Ching-Prado, E.* Optical and electrical properties of fluorine doped tin oxide thin film / E. Ching-Prado, A. Watson, H. Miranda // Journal of Materials Science: Materials in Electronics. – 2018. – Vol. 29, iss. 18. – P. 15299–15306.
6. Синтез и свойства нанокристаллических пленок диоксида олова, полученных методом пиролиза аэрозолей / Р. М. Печерская, Е. А. Печерская, А. М. Метальников, В. И. Кондрашин, В. А. Соловьев // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2012. – № 4 (24). – С. 237–241.
7. *Mamedov, H.* Электрические и фотоэлектрические свойства солнечных элементов SnO<sub>2</sub>/Cd<sub>0.4</sub>Zn<sub>0.6</sub>S/CdTe, изготовленных электрохимическим методом / H. Mamedov // Russian Physics and Technics of Semiconductors. – 2006. – № 40. – P. 1476–1478.
8. *Zinchenko, T. O.* Анализ материалов, используемых для производства прозрачных проводящих покрытий / Т. О. Зинченко, Е. А. Печерская // Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы : сб. науч. ст. V Всерос. межвуз. науч.-практ. конф. / под ред. Л. Р. Фионовой. – Пенза, 2018. – С. 256–258.

### References

1. Kondrashin V. I., Pecherskaya E. A. *Aktual'nye problemy fizicheskoy i funktsional'noy elektroniki: sb. materialov 19-y Vseros. molod. nauch. shkoly-seminara* [Actual problems of physical and functional electronics: collection of materials 19th all-Russian. young. science. school-seminar's.]. Ul'yanovsk, 2016, pp. 175–176. [In Russian]
2. Zinchenko T. O., Kondrashin V. I., Pecherskaya E. A., Kozlyakov A. S., Nikolaev K. O., Shepeleva J. V. *Iop Conf. Series: Materials Science And Engineering*. 2017, no. 225, p. 012255. DOI 10.1088/1757-899x/225/1/012255.
3. Raksha S. V., Kondrashin V. I., Pecherskaya E. A., Nikolaev K. O. *Fizika i tekhnologiya nanomaterialov i struktur: sb. nauch. st. 2-y Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Physics and technology of nanomaterials and structures: collection of scientific articles, 2nd international. scientific-practical conf.]. Kursk: YuZGU, 2015, pp. 143–146. [In Russian]
4. Raksha S. V., Kondrashin V. I., Pecherskaya E. A., Nikolaev K. O. *Journal of Nano- and Electronic Physics*. 2015, no. 7 (4), p. 04062.
5. Ching-Prado E., Watson A., Miranda H. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 2018, vol. 29, iss. 18, pp. 15299–15306.
6. Pecherskaya R. M., Pecherskaya E. A., Metal'nikov A. M., Kondrashin V. I., Solov'ev V. A. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Fiziko-matematicheskie nauki* [News of higher educational institutions. Volga region. Physical and mathematical Sciences]. 2012, no. 4 (24), pp. 237–241. [In Russian]
7. Mamedov H. *Russian Physics and Technics of Semiconductors*. 2006, no. 40, pp. 1476–1478.
8. Zinchenko T. O., Pecherskaya E. A. *Informatsionnye tekhnologii v nauke i obrazovanii. Problemy i perspektivy: sb. nauch. st. V Vseros. mezhvuz. nauch.-prakt. konf.* [Information technologies in science and education. Problems and prospects: collection of scientific articles V vseros. inter-University. scientific-practical conf.]. Penza, 2018, pp. 256–258. [In Russian]

#### **Зинченко Тимур Олегович**

аспирант,  
Пензенский государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: scar0243@gmail.com

#### **Zinchenko Timur Olegovich**

postgraduate student,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

#### **Печерская Екатерина Анатольевна**

доктор технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой информационно-измерительной техники и метрологии,  
Пензенский государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: peal@list.ru

#### **Pecherskaya Ekaterina Anatolevna**

doctor of technical sciences, associate professor,  
head of sub-department of information and measuring equipment and metrology,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Кондрашин Владислав Игоревич**

директор Центра молодежного  
инновационного творчества «Парадигма»  
(Россия, г. Пенза, ул. Кирова, 51)  
E-mail: nauka-fpите@mail.ru

**Kondrashin Vladislav Igorevich**

director of Center for Youth Innovation Creativity  
«Paradigma»  
(51 Kirova street, Penza, Russia)

**Спицына Ксения Юрьевна**

аспирант,  
Пензенский государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: ksenya.kraynova.94@mail.ru

**Spitsyna Kseniya Yur'evna**

postgraduate student,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Фимин Андрей Владимирович**

аспирант,  
Пензенский государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: mr.l0tus@mail.ru

**Fimin Andrey Vladimirovich**

postgraduate student,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Мельников Олег Андреевич**

аспирант,  
Пензенский государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: oleg-068@mail.ru

**Melnikov Oleg Andreevich**

postgraduate student,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Образец цитирования:**

Анализ электрофизических параметров пленок прозрачных проводящих оксидов / Т. О. Зинченко, Е. А. Печерская, В. И. Кондрашин, К. Ю. Спицына, А. В. Фимин, О. А. Мельников // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2020. – № 1 (31). – С. 73–80. – DOI 10.21685/2307-5538-2020-1-10.