

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПРОЗРАЧНЫХ ПРОВОДЯЩИХ ОКСИДОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СПРЕЙ-ПИРОЛИЗА



**Зинченко Тимур Олегович**

Аспирант Пензенского государственного университета



**Печерская Екатерина Анатольевна**

Доктор технических наук, профессор кафедры Нано- и микроэлектроника, заместитель декана по научной работе факультета приборостроения, информационных технологий и электроники Пензенского государственного университета.

**Аннотация:** Прозрачные проводящие оксиды (ППО) — материал на основе оксида металла, обладающий высокими показателями прозрачности и проводимости. Однако традиционные методы получения такого рода покрытий имеют ряд недостатков, в частности они ограничены использованием вакуума, что повышает стоимость как самой установки, так и получаемых покрытий. Также само оборудование сложно в использовании. Поэтому принято решение использовать метод спрей-пиролиза или пиролиза аэрозолей. Также на сегодняшний день активно идет поиск альтернативного материала оксиду индия-олова, поскольку этот материал довольно редкий и имеет высокую стоимость. В работе предложен диоксид олова-сурьмы. Проведенные исследования показывают, что при отработанной технологии данный материал можно использовать в качестве прозрачного проводящего оксида. Цель работы: разработка ИУС для синтеза ППО методом спрей-пиролиза, для применения в производстве солнечных элементов, умных стекол, органических светодиодов, чувствительных элементов для газовых сенсоров, покрытия для LCD-экрана, сенсорных экранов.

**Ключевые слова:** Прозрачные проводящие оксиды, спрей-пиролиз, пиролиз аэрозолей, диоксид олова, сурьма, прозрачность, проводимость, поверхностное сопротивление, раствор.

**Annotation:** Transparent conductive oxides — a material based on a metal oxide with high transparency and conductivity. However, traditional methods for producing such coatings have several disadvantages, in particular, they are limited by the use of vacuum, which increases the cost of both the installation itself and the resulting coatings. Also, the equipment itself is difficult to use. Therefore, it was decided to use the spray pyrolysis or aerosol pyrolysis method. Also today, an active search is underway for an alternative material to indium tin oxide, since this material is quite rare and has a high cost. Tin-antimony dioxide is proposed in the work. Studies show that with proven technology this material can be used as a transparent conductive oxide.

**Key words:** Transparent conductive oxides, spray pyrolysis, aerosol pyrolysis, tin dioxide, antimony, transparency, conductivity, surface resistance, solution.

### Введение

На сегодняшний день идет активное развитие технологий по всему миру, особенно в полупроводниковой и оптоэлектронной областях. Особое значение в ней занимают тонкопленочные покрытия. Одним из видов тонких пленок являются прозрачные проводящие оксиды — материал, на основе оксида металла, обладающий высокими показателями прозрачности и проводимости. Однако традиционные

методы получения такого рода покрытий имеют ряд недостатков, в частности они ограничены использованием вакуума, что повышает стоимость как самой установки, так и получаемых покрытий. Также само оборудование сложно в использовании. Поэтому принято решение использовать метод спрей-пиролиза или пиролиза аэрозолей [1]. Также на сегодняшний день активно идет поиск альтернативного материала оксиду индия-олова, поскольку этот ма-

териал довольно редкий и имеет высокую стоимость [2]. В связи с этим поставлена цель работы, а также выбраны объект и предмет исследования.

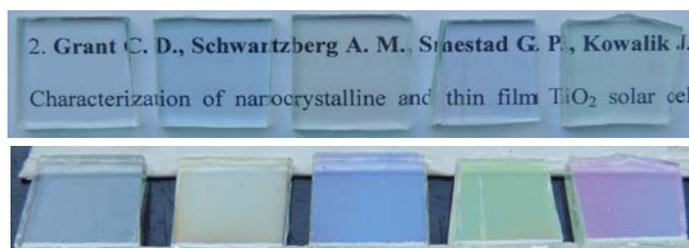
Цель: разработка ИУС для синтеза ППО методом спрей-пиролиза, для применения в производстве солнечных элементов, умных стекол, органических светодиодов, чувствительных элементов для газовых сенсоров, покрытия для LCD-экрана, сенсорных экранов [3].

Объект исследования: технологический процесс синтеза прозрачных проводящих покрытий методом спрей-пиролиза с учетом применения при производстве конкретных приборов и устройств.

Предмет исследования: предметом исследования является возможность замены материала с индием на материал без индия для использования в производстве, с возможностью расширения за счет масштабирования размеров покрытия.

### Основная часть

В результате работы разработана установка для получения прозрачных проводящих оксидов методом пиролиза аэрозолей. На натриево-кальциево-силикатные стекла наносились тонкопленочные покрытия на основе диоксида олова, легированного сурьмой (представленные на рис. 1).



а) чистое стекло б)  $V_{\text{rast}} = 5$  мл в)  $V_{\text{rast}} = 10$  мл  
г)  $V_{\text{rast}} = 15$  мл д)  $V_{\text{rast}} = 20$  мл

Рис. 1. Фотографии образцов с покрытием оксида олова-сурьмы

Технологические режимы нанесения представлены в табл. 1. Стоит отметить, что параметры подобраны путем многократных экспериментов и исследований, которые показали, что именно при таких показателях пленки наиболее высокого качества.

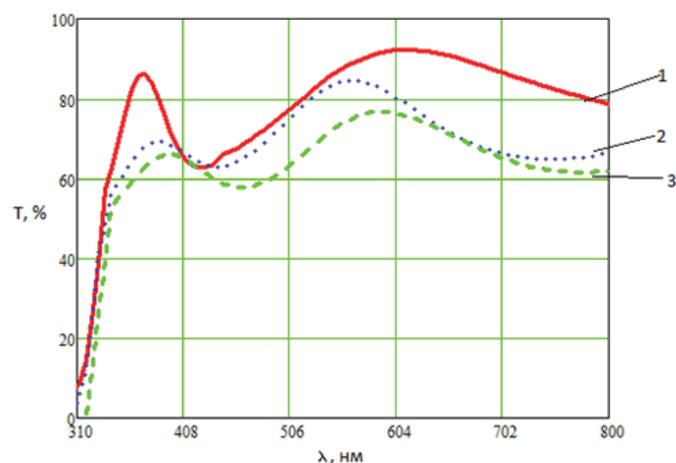
Таблица 1

#### Технологические режимы нанесения

Параметр	Значение
материал подложек	натриево-кальциево-силикатное стекло
прекурсор №1	$\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
прекурсор №2	$\text{SbCl}_3$
растворитель	этанол
газ-носитель	сжатый воздух
СМ (концентрация прекурсора №1)	0,25 моль/л

$N_{\text{prec2}}$ (концентрация прекурсора №2)	0,1
0,05 мол. %	
0,025	
$V_{\text{rast}}$ (объем растворов)	5–20 мл
$l$ (расстояние между распылителем и подложкой)	300 мм
$p$ (входное давление воздуха в распылителе)	2 бар
$TS$ (температура нагревателя)	450 °C

Наиболее важными показателями являются прозрачность и проводимость. На рис. 2 показаны спектры пропускания образцов в зависимости от уровня легирования.



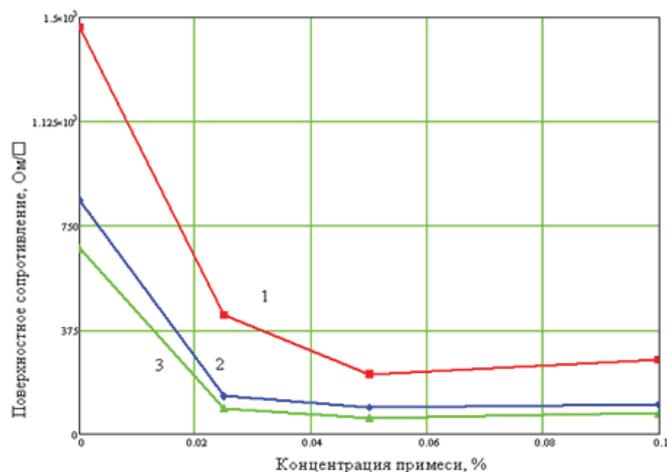
1 – 0% легирования, 2 – 0.1% легирования, образец 0.25% легирования

Рис. 2. Коэффициент пропускания образцов с различным уровнем легирования (объем 10мл)

Коэффициент пропускания практически не зависит от количества вещества, распыляемого на подложку. Однако на коэффициент пропускания оказывает большое влияние химический состав пленок. Чем выше уровень легирования, тем ниже прозрачность. Но количество примеси напрямую влияет на показатель проводимости. Поэтому важно определить пороговое значение примеси, при котором будут устраивать и показатель прозрачности, и показатель проводимости. На рисунке 3 представлен график зависимости поверхностного сопротивления от концентрации примеси [4].

Поверхностное сопротивление последовательно уменьшается с увеличением объема раствора, концентрации прекурсора и концентрации примеси. Поверхностное сопротивление уменьшается с увеличением концентрации примеси (сурьма). Сурьма замещает атомы олова в решетке. В результате атомы сурьмы выступают в качестве доноров и создают избыточное количество свободных электронов. Небольшое увеличение значения  $R_s$  выше опреде-

ленной концентрации легирования. Это связано с тем, что избыточные атомы сурьма не занимают правильные позиции в решетке, что приводит к нарушению структуры и увеличению поверхностного сопротивления [5].



1 — объем раствора 5 моль/л; 2 — объем раствора 10 моль/л; 3 — объем раствора 15 моль/л

Рис. 3. Зависимость поверхностного сопротивления от концентрации примеси

#### Выводы

Метод пиролиза аэрозолей подходит для получения прозрачных проводящих оксидов хорошего качества с достаточно высокими показателями прозрачности и проводимости. Дальнейшие разработки предполагают масштабирование установки для нанесения покрытий на более большие по площади поверхности, а также анализ ряда других альтер-

нативных материалов, таких как оксид цинка-алюминия и оксид олова-фтора.

#### Список литературы

1. Зинченко Т.О. Анализ методов получения прозрачных проводящих покрытий / Т.О. Зинченко, Е.А. Печерская // Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы: сб. науч. ст. Всерос. межвуз. науч.-практ. конф.; под ред. Л. Р. Фионовой. — Пенза, 2018. — С. 258–260.
2. Зинченко Т.О. 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. Всерос. межвуз. науч.-практ. конф. (г. Пенза, 14 марта 2018 г.) / под ред. Л.Р. Фионовой. — Пенза: Изд-во ПГУ, 2018. — С. 256–258.
3. Зинченко Т.О. Разработка микропроцессорной системы управления установкой для нанесения тонкопленочных покрытий методом спрейпиролиза / Т.О. Зинченко, Е.А. Печерская // Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы: сб. науч. ст. IV ежегодной межвуз. науч.-практ. конф. — 2017. — С. 288–290.
4. Timur Zinchenko, Ekaterina Pecherskaya, Dmitriy Artamonov. The properties study of transparent conductive oxides (TCO) of tin dioxide (ATO) doped by antimony obtained by spray pyrolysis // AIMS Materials Science, 2019, 6(2): 276–287. doi: 10.3934/matricsci.2019.2.276.
5. Electrical Properties of Transparent Conductive Ato Coatings Obtained by Spray Pyrolysis / Т.О. Zinchenko, V.I. Kondrashin, E.A. Pecherskaya et al. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 1. Сер. «International Conference on Materials, Alloys and Experimental Mechanics, ICMAEM 2017». — 2017. — P. 012255.

### ИСПЫТАНИЕ АГРЕГАТА ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ НЕЗЕРНОВОЙ ЧАСТИ УРОЖАЯ В УНИЦ «АГРОТЕХНОПАРК»



#### Богданчиков Илья Юрьевич

К. т. н., доцент кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева»



#### Качармин Артемий Андреевич

Аспирант кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева»

**Аннотация.** В разработанном устройстве для утилизации незерновой части урожая рассматривается возможность регулирования расстояния вылета форсунки за распределительные заслонки,