

УДК 684.4.05

doi: 10.21685/2072-3059-2023-2-6

Аппаратное обеспечение информационно-измерительной и управляющей системы синтеза прозрачных проводящих оксидов

Т. О. Зинченко¹, Е. А. Печерская²^{1,2}Пензенский государственный университет, Пенза, Россия¹scar0243@gmail.com, ²pea1@list.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Объектом исследования является информационно-измерительная и управляющая система синтеза прозрачных проводящих оксидов. Предметом исследования является аппаратная часть информационно-измерительной и управляющей системы синтеза прозрачных проводящих оксидов. Цель работы – осуществить измерение, контроль и управление температурой синтеза прозрачных проводящих оксидов. *Материалы и методы.* Аппаратная часть информационно-измерительной и управляющей системы синтеза прозрачных проводящих оксидов позволяет осуществлять измерение и контроль температуры подложки, на которой формируется покрытие. Программное обеспечение разработано в среде графического программирования LabView. Система синтеза прозрачных проводящих оксидов основана на использовании метода спрей-пиролиза. *Результаты.* Разработана аппаратная часть информационно-измерительной и управляющей системы синтеза прозрачных проводящих оксидов, которая включает канал измерения температуры подложки, содержит блок стабилизации и управления температурой, имеющий два режима управления: ручной и автоматизированный. *Выводы.* Предложенная структура информационно-измерительной и управляющей системы синтеза прозрачных проводящих оксидов позволяет эффективно управлять процессом синтеза прозрачных проводящих оксидов методом спрей-пиролиза в автоматизированном либо ручном режиме.

Ключевые слова: информационно-измерительная и управляющая система, канал измерения температуры, прозрачные проводящие оксиды, стабилизация температуры

Финансирование: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант РНФ 23-29-00343).

Для цитирования: Зинченко Т. О., Печерская Е. А. Аппаратное обеспечение информационно-измерительной и управляющей системы синтеза прозрачных проводящих оксидов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2023. № 2. С. 83–89. doi: 10.21685/2072-3059-2023-2-6

Hardware for the information-measuring and control system for the synthesis of transparent conducting oxides

T.O. Zinchenko¹, E.A. Pecherskaya²^{1,2}Penza State University, Penza, Russia¹scar0243@gmail.com, ²pea1@list.ru

Abstract. *Background.* The object of the study is an information-measuring and control system for the synthesis of transparent conductive oxides. The subject of the study is the hardware part of the information-measuring and control system for the synthesis of transparent conductive oxides. The purpose of the work is to measure, control and control the

synthesis temperature of transparent conductive oxides. *Materials and methods.* The hardware part of the information-measuring and control system for the synthesis of transparent conductive oxides allows, among other things, to measure and control the temperature of the substrate on which the coating is formed. The software is developed in the LabVIEW graphical programming environment. The system of synthesis of transparent conductive oxides is based on the use of the spray pyrolysis method. *Results.* The hardware part of the information-measuring and control system for the synthesis of transparent conductive oxides has been developed, which includes a channel for measuring the temperature of the substrate, contains a temperature stabilization and control unit, which has two control modes: manual and automated. *Conclusions.* The proposed structure of the information-measuring and control system for the synthesis of transparent conductive oxides makes it possible to effectively control the process of synthesis of transparent conductive oxides by spray pyrolysis in automated or manual mode.

Keywords: information-measuring and control system, temperature measurement channel, transparent conductive oxides, temperature stabilization

Financing: the research was financed by the RSF (RSF grant 23-29-00343).

For citation: Zinchenko T.O., Pecherskaya E.A. Hardware for the information-measuring and control system for the synthesis of transparent conducting oxides. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki = University proceedings. Volga region. Engineering sciences.* 2023;(2):83–89. (In Russ.). doi: 10.21685/2072-3059-2023-2-6

Введение

Оксиды металлов представляют собой класс материалов, демонстрирующих один из самых широких диапазонов свойств: сверхпроводящие, сегнетоэлектрические, ферромагнитные, мультиферроидные, магниторезистивные, диэлектрический, или проводящий. Особый интерес представляют так называемые прозрачные проводящие оксиды и аморфные полупроводниковые оксиды. Прозрачные проводящие оксиды широко используются для плоских дисплеев, фотогальванических элементов, окон с низким коэффициентом излучения, электрохромных устройств, датчиков и прозрачной электроники [1–4].

Оксиды представляют особый интерес, потому что связь металла с оксидом прочная, так что оксидам присуще сочетание высокой теплоты образования и широкой запрещенной зоны по сравнению с любым аналогичным соединением.

Метод спрей-пиролиза основан на пиролитическом разложении прекурсора с образованием тонкопленочной структуры. В связи с этим контроль температуры подложки является важным системным решением с точки зрения управления процессом синтеза прозрачных проводящих оксидов. Температура пиролиза влияет на электрофизические, оптические, структурные и морфологические параметры получаемых покрытий [5, 6].

1. Разработка системы нагрева подложки для синтеза прозрачных проводящих оксидов

Для того чтобы привести в действие процесс разложения прекурсора, необходимо обеспечить его тепловой энергией. Для этой цели был создан нагреватель подложек, который представлен на рис. 1. В качестве источников тепла используются специальные галогенные лампы накаливания, в которых находится небольшое количество паров галогенов (брома или йода). Когда

электрический ток проходит через вольфрамовую спираль, находящуюся внутри лампы, тело накала начинает нагреваться до очень высокой температуры – около 3000 К. Под воздействием тепла тело накала начинает светиться и выделять тепловую энергию, достаточную для того, чтобы нагреть подложку до температуры от 400 до 450 °С. Некоторые галогенные лампы могут использоваться в течение 8000 ч. Эти и другие технические характеристики помогли определить выбор нагревательного элемента. Отметим, что нагреватель подложек используется в производстве полупроводниковых устройств для создания тонких пленок на поверхности подложки [7].

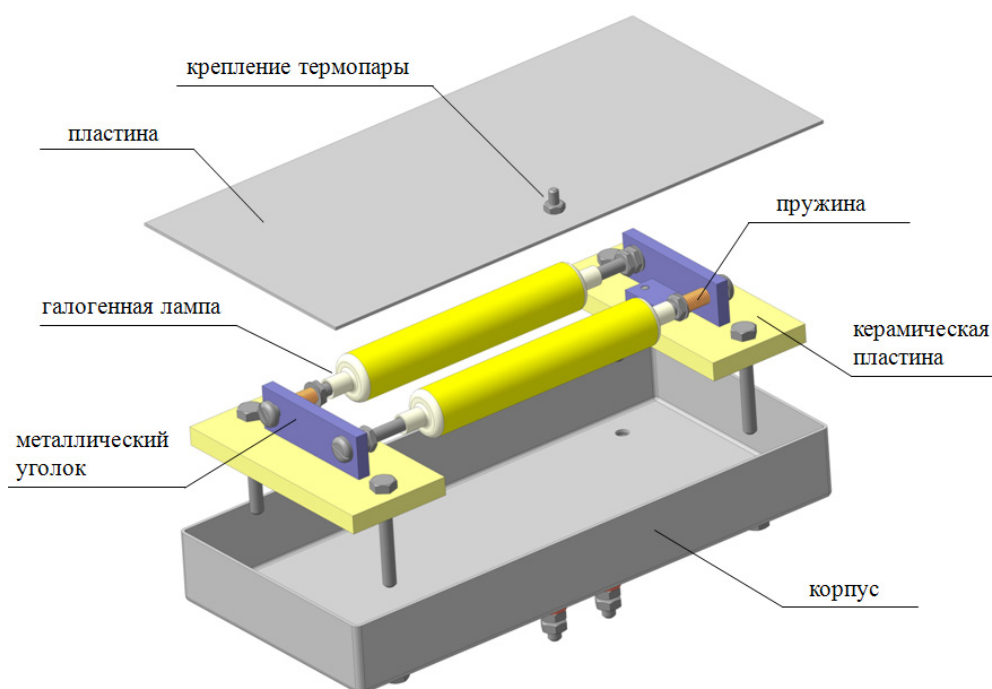


Рис. 1. Конструкция нагревателя подложек

Галогенные лампы могут выдерживать большие перепады температур и не повреждаются от тепловых ударов. Галогенные лампы являются более энергоэффективными, чем обычные лампы накаливания, и могут длительное время сохранять яркость свечения.

2. Разработка канала измерения температуры подложки в составе системы синтеза прозрачных проводящих оксидов

Разработана аппаратная часть системы управления нагревом подложек в установке [8–10]. Помимо системы нагрева, также в установку внедрен блок стабилизации температурного режима ± 10 °С. Блок стабилизации имеет электронную часть, изображенную на рис. 2, и созданное для него программное обеспечение. Устройство электронного блока включает в себя контроллер. В составе канала измерения температуры в качестве первичного датчика используется термопара, усилитель напряжения, а также установлен регулятор напряжения и источник питания блока стабилизации температурного режима в процессе синтеза прозрачных проводящих оксидов.

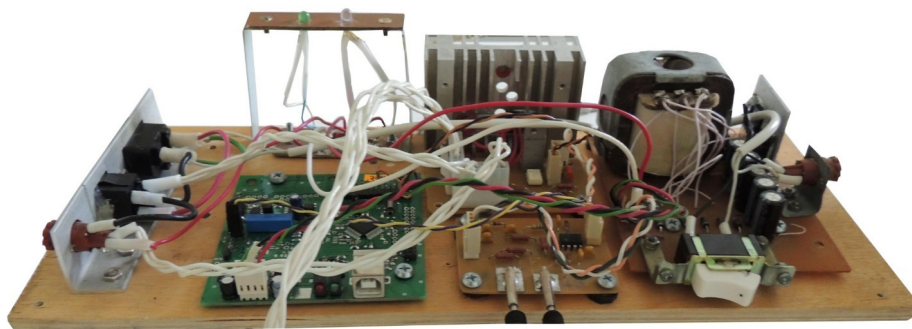


Рис. 2. Электронный блок системы стабилизации температуры

Микроконтроллер выбран типа ADUC845. Блок стабилизации подключается через USB к персональному компьютеру для управления температурой в автоматическом режиме.

Регулятор напряжения необходим для регулирования мощности галогеновых ламп, поскольку это позволяет обеспечивать долговечность конструкции и самих ламп, а также дополнительный контроль температурного режима вручную. Регулятор выполнен на основе оптоэлектронного регулятора *МОС3040М*.

Структурная схема канала измерения температуры подложки представлена на рис. 3.

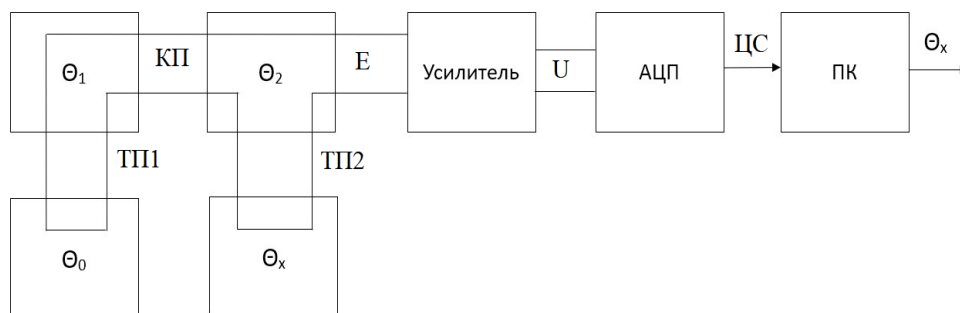


Рис. 3. Структура канала измерения температуры с компенсационной температурой: ТП1 – термопара; ТП2 – дополнительная термопара; КП – провода; Е – термо-ЭДС; U – напряжение; ЦС – цифровой сигнал; ПК – компьютер; Θ_0 – температура термостата; Θ_1 – температура свободных концов термопары; Θ_2 – температура компенсационных проводов на конце линии; Θ_x – измеряемая температура

Программное обеспечение выполнено в виде пользовательского интерфейса графического типа, который изображен на рис. 4. С целью повышения наглядности и удобства пользования интерфейсом программы на панель выведены изображения всех основных элементов управления, что упрощает процесс управления процессом нагрева.

Виртуальный инструмент получает инструкции от блок-диаграммы, которая выступает в качестве графического изображения программы, задающей алгоритм решения задачи и являющейся в то же время «исходным текстом» для спроектированного виртуального инструмента.

Как описано выше, возможны режимы управления двух вариантов: основной – автоматизированный, и дополнительный – ручной – в случае необходимости применения и регулировки вручную.

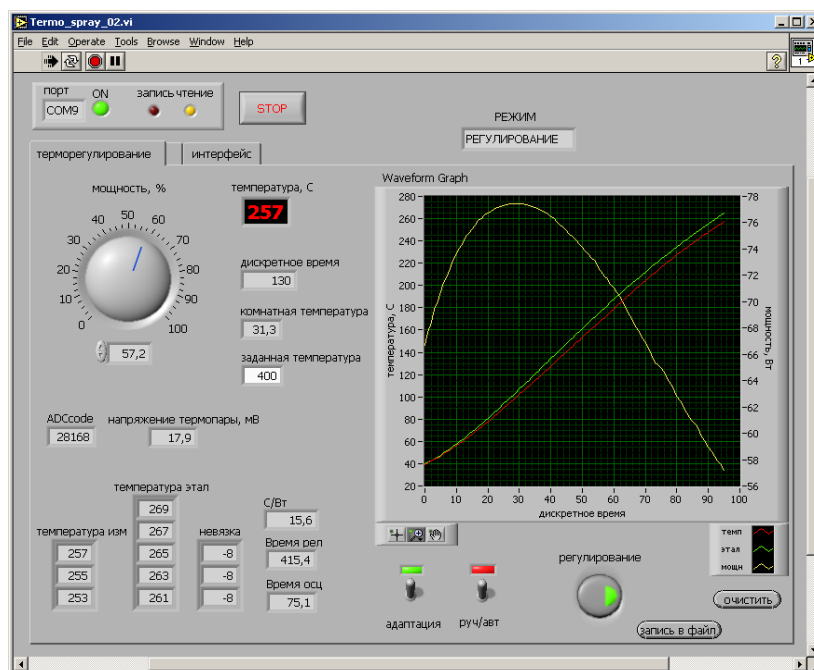


Рис. 4. Панель управления приложением системы стабилизации температуры

Заключение

Применение разработанной аппаратной части позволяет осуществлять контроль и стабилизировать температурный режим подложки на протяжении процесса распыления в автоматизированном режиме. Помимо этого, предусмотрен ручной режим управления. Разработанное программное обеспечение является удобным, простым и функциональным решением управления температурой подложки в процессе распыления, обеспечивающим повышение параметров качества получаемых покрытий.

Список литературы

1. Зинченко Т. О., Печерская Е. А., Кондрашин В. И., Антипенко В. В., Мельников О. А., Карпанин О. В. Анализ факторов, влияющих на электрофизические свойства прозрачных проводящих покрытий // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2021. № 1 (35). С. 64–72.
2. Зинченко Т. О., Печерская Е. А., Паличев А. М., Сибринин Б. П., Бибарсова А. М. Прозрачные проводящие оксиды и их применение в умных стеклах // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации ("Шлядинские чтения – 2019") : материалы XI Междунар. науч.-техн. конф. с элементами научной школы и конкурсом научно-исследовательских работ для студентов, аспирантов и молодых ученых / под ред. Е. А. Печерской. Пенза, 2019. С. 315–318.
3. Зинченко Т. О., Печерская Е. А., Козлов Г. В., Кондрашин В. И., Вареник Ю. А., Александров В. С. Анализ влияния характеристик раствора на электрофизические параметры прозрачных проводящих оксидов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2021. № 3. С. 73–79.
4. Зинченко Т. О., Печерская Е. А., Антипенко В. В., Артамонов Д. В., Волик А. В., Вареник Ю. А. Синтез оксидных материалов для электрохромных панелей методом спрей-пиролиза // IEEE XXII Междунар. конф. молодых специалистов в обла-

- сти электронных приборов и материалов (EDM 2021). Дайджесты. Новосибирск, 2021. С. 261–266.
5. Zinchenko T., Pecherskaya E., Artamonov D. The properties study of transparent conductive oxides (TCO) of tin dioxide (ATO) doped by antimony obtained by spray pyrolysis // *AIMS Materials Science*. 2019. Vol. 6, № 2. P. 276–287.
 6. Печерская Е. А., Зинченко Т. О., Кравцов А. Н., Александров В. С., Бержинская М. В. Разработка технологии спрей-пиролиза для синтеза прозрачных проводящих покрытий на основе диоксида олова // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки*. 2020. № 4. С. 92–103.
 7. Васильев В. А., Волчихин В. И., Печерская Р. М., Чернецов К. Н. Элементы квантовой и оптической электроники. Ч. 2. Принципы построения источников и приемников оптического излучения : учеб. пособие. Пенза : Изд-во ПГУ, 2007. 282 с.
 8. Метальников А. М., Печерская Е. А., Карпанин О. В., Соловьев В. А., Пивкин А. Ю. Автоматизация исследования газочувствительных свойств тонких пленок // *Молодежь и наука: модернизация и инновационное развитие страны : материалы Междунар. науч.-практ. конф.* Пенза : Изд-во ПГУ, 2011. Ч. 2. С. 233–234.
 9. Соловьев В. А., Карпанин О. В., Метальников А. М., Пивкин А. Ю. Автоматизированная система для получения и контроля свойств тонких пленок // *Инновационные технологии в машиностроительном комплексе : сб. тр. I Междунар. науч.-практ. конф.* Пенза : Изд-во ПГУ, 2012. С. 171–175.
 10. Зинченко Т. О., Печерская Е. А., Кондрашин В. И., Александров В. С., Козлов Г. В., Левин А. И. Управление свойствами прозрачных проводящих оксидов в зависимости от параметров раствора // *Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль*. 2021. № 3. С. 64–72.

References

1. Zinchenko T.O., Pecherskaya E.A., Kondrashin V.I., Antipenko V.V., Mel'nikov O.A., Karpanin O.V. Analysis of factors affecting the electrical properties of transparent conductive coatings. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurement. Monitoring. Management. Control*. 2021;(1):64–72. (In Russ.)
2. Zinchenko T.O., Pecherskaya E.A., Palichev A.M., Sibrinin B.P., Bibarsova A.M. Transparent conductive oxides and their application in smart glasses. *Metody, sredstva i tekhnologii polucheniya i obrabotki izmeritel'noy informatsii ("Shlyandinskie chteniya – 2019") : mater. XI Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. s elementami nauchnoy shkoly i konkursom nauchno-issledovatel'skikh rabot dlya studentov, aspirantov i molodykh uchenykh = Methods, means and technologies for obtaining and processing measurement information ("Shlyandinslie readings - 2019") : proceedings of the 11th International scientific and engineering conference with elements of scientific school and competition of research works for students, postgraduate students and young scientists*. Penza, 2019:315–318. (In Russ.)
3. Zinchenko T.O., Pecherskaya E.A., Kozlov G.V., Kondrashin V.I., Varenik Yu.A., Aleksandrov V.S. Analysis of the influence of solution characteristics on the electrical parameters of transparent conducting oxides. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurement. Monitoring. Management. Control*. 2021;(3):73–79. (In Russ.)
4. Zinchenko T.O., Pecherskaya E.A., Antipenko V.V., Artamonov D.V., Volik A.V., Varenik Yu.A. Synthesis of oxide materials for electrochromic panels by spray pyrolysis. *IEEE XXII Mezhdunar. konf. molodykh spetsialistov v oblasti elektronnykh priborov i materialov (EDM 2021). Daydzhesty = IEEE the 22nd International conference of young young specialists in the field of electronic devices and materials (EDM 2021). Digests*. Novosibirsk, 2021:261–266. (In Russ.)
5. Zinchenko T., Pecherskaya E., Artamonov D. 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.

6. Pecherskaya E.A., Zinchenko T.O., Kravtsov A.N., Aleksandrov V.S., Berzhinskaya M.V. A development of spray-pyrolysis technology for synthesis of transparent conductive coating based on tin dioxide. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Po-volzhskiy region. Tekhnicheskie nauki = University proceedings. Volga region. Engineering sciences*. 2020;(4):92–103. (In Russ.)
7. Vasil'ev V.A., Volchikhin V.I., Pecherskaya R.M., Chernetsov K.N. *Elementy kvantovoy i opticheskoy elektroniki. Ch. 2. Printsipy postroeniya istochnikov i priemnikov opticheskogo izlucheniya: ucheb. posobie = Elements of quantum and optical electronics. Part 2. Principles for constructing sources and receivers of optical radiation: textbook*. Penza: Izd-vo PGU, 2007:282. (In Russ.)
8. Metal'nikov A.M., Pecherskaya E.A., Karpanin O.V., Solov'ev V.A., Pivkin A.Yu. Automation of the study of gas-sensitive properties of thin films. *Molodezh' i nauka: modernizatsiya i innovatsionnoe razvitie strany: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. = Youth and science: modernization and innovative development of the country: proceedings of the International scientific and practical conference*. Penza: Izd-vo PGU, 2011;2:233–234. (In Russ.)
9. Solov'ev V.A., Karpanin O.V., Metal'nikov A.M., Pivkin A.Yu. Automated system for obtaining and monitoring the properties of thin films. *Innovatsionnye tekhnologii v mashinostroitel'nom komplekse: sb. tr. I Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. = Innovative technologies in the mechanical engineering complex: proceedings of the 1st International scientific and practical conference*. Penza: Izd-vo PGU, 2012:171–175. (In Russ.)
10. Zinchenko T.O., Pecherskaya E.A., Kondrashin V.I., Aleksandrov V.S., Kozlov G.V., Levin A.I. Controlling the properties of transparent conducting oxides depending on the solution parameters. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurement. Monitoring. Management. Control*. 2021;(3):64–72. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Тимур Олегович Зинченко

инженер кафедры информационно-измерительной техники и метрологии, Пензенский государственный университет (Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: scar0243@gmail.com

Timur O. Zinchenko

Engineer of the sub-department of information and measuring technology and metrology, Penza State University (40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Екатерина Анатольевна Печерская

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационно-измерительной техники и метрологии, Пензенский государственный университет (Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: peal@list.ru

Ekaterina A. Pecherskaya

Doctor of engineering sciences, professor, head of the sub-department of information and measuring technology and metrology, Penza State University (40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 15.02.2023

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 29.03.2023

Принята к публикации / Accepted 20.04.2023