



Получено: 12.01.2023 г. | Принято: 18.01.2023 г. | DOI: <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2022.16.1.22.28>

Научная статья

МЕТОДОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СИСТЕМ С ЗАДАННОЙ ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ ДЛЯ ХЕМОРЕЗИСТИВНОЙ ГАЗОВОЙ СЕНСОРИКИ БЕЗ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Е.С.Тюнтеров¹, аспирант, ORCID: 0000-0002-8816-9737
В.С.Абруков¹, д.ф.-м.н., зав. каф., проф., ORCID: 0000-0002-4680-6224
В.А.Мукин¹, к.ф.-м.н., доц., ORCID: 0000-0002-9147-3799
А.В.Смирнов¹, инженер, ORCID: 0000-0003-2424-8142 / fizteh21@yandex.ru
Д.В.Петров¹, аспирант, ORCID: 0000-0001-8697-257X
Н.И.Петров¹, к.ф.-м.н., доц., ORCID: 0000-0002-3790-6661
Н.В.Александрова¹, к.ю.н., доц., ORCID: 0000-0002-7145-3010
И.Ю.Семенова¹, ст. преп., ORCID: 0000-0002-7145-3017

Аннотация. Представлена методология разработки тонкопленочных систем, которая позволит получать хеморезистивные сенсоры с заданной газочувствительностью. Методология заключается в проведении серий экспериментов по синтезу тонкопленочных систем с использованием различных технологий синтеза (различные исходные материалы, параметры синтеза тонких пленок, различные методы синтеза тонких пленок: терморезистивное испарение, воздушно-капельное распыление, отжиг в атмосфере кислорода), проведении измерений их свойств и характеристик, создании базы данных результатов экспериментов; обобщении зависимостей, содержащихся в экспериментальных данных с помощью искусственных нейронных сетей в виде многофакторных вычислительных моделей. Эти модели позволят решать прямые и обратные задачи, экстраполировать выявленные в экспериментальных данных зависимости, проводить виртуальные эксперименты.

Ключевые слова: методология разработки, тонкопленочные системы, хеморезистивные сенсоры, оксиды металла, однослойные углеродные нанотрубки, газочувствительность, нейронные сети, многофакторные вычислительные модели

Для цитирования: Е.С. Тюнтеров, В.С. Абруков, В.А. Мукин, А.В. Смирнов, Д.В. Петров, Н.И. Петров, Н.В. Александрова, И.Ю. Семенова. Методология разработки тонкопленочных систем с заданной газочувствительностью для хеморезистивной газовой сенсорики без источников питания. НАНОИНДУСТРИЯ. 2023. Т. 16, № 1. С. 22–28. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2023.16.1.22.28>

Received: 12.01.2023 | Accepted: 18.01.2023 | DOI: <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2023.16.1.22.28>

Original paper

A METHODOLOGY FOR DEVELOPMENT OF THIN-FILM SYSTEMS WITH DEFINED GAS SENSITIVITY REQUIRING NO POWER SOURCES AND INTENDED FOR CHEMORESISTIVE GAS SENSING

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова", Чебоксары, Россия / The Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education "The Chuvash state university named after I. N. Ulyanov", Cheboksary, Russia



E.S.Tyunterov¹, Post Graduate, ORCID: 0000-0002-8816-9737

V.S.Abrukov¹, Doct. of Sci. (Physics and Mathematics), Head of the Department, Prof.,
ORCID: 0000-0002-4680-6224

V.A.Mukin¹, Cand. of Sci. (Physics and Mathematics), Associate Professor, ORCID: 0000-0002-9147-3799

A.V.Smirnov¹, Engineer, ORCID: 0000-0003-2424-8142 / fizteh21@yandex.ru

D.V.Petrov¹, Post Graduate, ORCID: 0000-0001-8697-257X

N.I.Petrov¹, Cand. of Sci. (Physics and Mathematics), docent, ORCID: 0000-0002-3790-6661

N.V.Aleksandrova¹, Cand. of Sci. (Law), Associate Professor, ORCID: 0000-0002-7145-3010

I.Y.Semenova¹, Senoir Researcher, ORCID: ORCID: 0000-0002-7145-3017

Abstract. A methodology for development of thin-film systems is presented, which will make it possible to obtain chemoresistive sensors with a given gas sensitivity. The methodology provides for conducting a series of experiments on the thin-film systems synthesis using various synthesis technologies (different starting materials, parameters of thin films synthesis, various methods of thin films synthesis: thermoresistive evaporation, air-drop sputtering, annealing in oxygen atmosphere), measuring their properties and characteristics, creating a database of experimental results; generalization of the dependencies contained in the experimental data using artificial neural networks in the form of multifactorial computational models. These models will make it possible to solve direct and inverse problems, extrapolate the dependencies revealed in the experimental data, and conduct virtual experiments.

Keywords: development methodology, thin-film systems, chemoresistive sensors, metal oxides, single-walled carbon nanotubes, gas sensitivity, neural networks, multivariate computational models

For citation: E.S. Tyunterov, V.S. Abrukov, V.A. Mukin, A.V. Smirnov, D.V. Petrov, N.I. Petrov, N.V. Aleksandrova, I.Y. Semenova. A methodology for development of thin-film systems with defined gas sensitivity requiring no power sources and intended for chemoresistive gas sensing. NANOINDUSTRY. 2023. V. 16, no. 1. PP. 22-28. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2023.16.1.22.28>

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время активно развивается газовая сенсорика, востребованная в промышленности на производственных предприятиях, в медицине, в обеспечении общественной безопасности и т. д. [1, 2]. Перспективными материалами для газовых сенсоров являются наноматериалы, поскольку они обладают хорошими газочувствительными свойствами.

В данной работе представлена новая методология разработки сенсоров с заранее заданной газочувствительностью на основе тонкопленочных систем: оксиды металлов (ОМ) + однослойные углеродные нанотрубки (ОУНТ). Предварительные эксперименты [3] показывают, что такие системы могут обладать хорошими газочувствительными свойствами.

Методология разработки состоит из экспериментальной части и части, связанной с обобщением полученных результатов с помощью искусственных нейронных сетей в виде многофакторных вычислительных моделей, которые позволяют решать прямые и обратные задачи эксперимента, экстраполировать выявленные в экспериментальных данных зависимости, проводить виртуальные эксперименты.

INTRODUCTION

Nowadays, gas sensing is being actively developed as it is in demand in industry at manufacturing plants, in medicine, in public safety, etc. [1, 2]. Nanomaterials are promising materials for gas sensors as they have good gas-sensitive properties.

This paper presents a new methodology for developing sensors with predetermined gas sensitivity based on thin film systems: metal oxides (MOs) + single layer carbon nanotubes (SLCNTs). Preliminary experiments [3] prove that such systems can have good gas sensing properties.

The development methodology consists of an experimental part and a part related to the generalisation of the results obtained using artificial neural networks in the form of multifactor computational models which will allow solving direct and inverse problems of the experiment, extrapolating the dependencies revealed in the experimental data and conducting virtual experiments.

As an example of the methodology application, in this paper we shall consider thin film systems



В качестве примера применения методологии в данной работе будут рассмотрены тонкопленочные системы на основе SnO_2 , $\text{SnO}_2/\text{ОУНТ}$. Данные системы интересны тем, что могут работать, как сенсоры, без источника питания, так как они не требуют нагрева. Они могут использоваться для обнаружения таких газов, как метанол, этанол.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

С целью обобщения всех полученных экспериментальных данных (не только тех, что описаны выше) с помощью искусственных нейронных сетей (ИНС) был создан комплекс многофакторных вычислительных моделей. Основы ИНС и методы использования ИНС для моделирования экспериментальных данных представлены и описаны в [3]. Для создания моделей использовались нейронные сети, включенные в аналитическую платформу Deductor Academic 5.3 Build 0.88 (www.basegroup.ru) – бесплатная академическая версия.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Первым шагом в получении тонкопленочной системы на основе ОМ и ОУНТ будет напыление тонкой пленки ОМ на поверхность стеклянной подложки методом терморезистивного испарения в вакуумной установке ВУП-4. Суть метода терморезистивного испарения заключается в следующем: на вольфрамовый испаритель помещаются гранулы ОМ, затем испаритель нагревают, атомы и кластеры ОМ переходят в газообразную фазу и конденсируются на поверхности стеклянной подложки в виде пленки.

Варьироваться и измеряться будут следующие величины: время напыления, температура испарителя, общая масса гранул ОМ, средний размер гранул. Регистрироваться будет толщина полученной пленки ОМ.

Вторым шагом будет нанесение на тонкую пленку ОМ пленок ОУНТ методом воздушно-капельного распыления. Будут использоваться готовый раствор с ОУНТ, гравер и печь. Готовый раствор с ОУНТ предварительно будет обрабатываться в ультразвуковой ванне для достижения однородного состава раствора, что позволит обеспечить более однородное нанесение пленки ОУНТ. Далее на гравер закрепляется подложка с напыленной на нее тонкой пленкой ОМ, гравер с пленкой приводится во вращение и помещается в муфельную печь, нагретую до 100 °С. ОУНТ на тонкую пленку ОМ наносится методом воздушно-капельного распыления из готового раствора. Вращение гравера необходимо

based on SnO_2 , $\text{SnO}_2/\text{SLCNT}$. These systems are interesting in that they can operate as sensors without a power supply, as they do not require heating. They can be used to detect such gases as methanol and ethanol.

RESEARCH METHODS

In order to generalise all obtained experimental data (not only those described above), a set of multifactor computational models has been developed using artificial neural networks (ANNs). The basics of ANNs and methods of using ANNs in modeling experimental data are presented and described in [3]. Neural networks included in the analytical platform Deductor Academic 5.3 Build 0.88 (www.basegroup.ru) – free academic version – were used to develop the models.

RESULTS

The first step in producing a thin-film system based on MO and SLCNT will be to spray a thin film of MO on the surface of a glass substrate by thermoresistive evaporation in a vacuum apparatus VUP-4. The essence of the method of thermoresistive evaporation is as follows: MO granules are placed on the tungsten evaporator, then the evaporator is heated, the MO atoms and clusters convert into the gaseous phase and condense on the glass substrate surface in the form of a film.

The following quantities will be varied and measured: spray time, evaporator temperature, total mass of MO pellets and average pellet size. Thickness of the resulting MO film will be recorded.

The second step will be to apply SLCNT films on the thin MO film using the air-spray method. A ready-to-use SLCNT solution, an engraver and an oven will be used. The ready-to-use SLCNT solution will be pretreated in an ultrasonic bath to achieve a homogeneous solution composition which will ensure a more homogeneous application of the SLCNT film. Then the substrate with the MO thin film sprayed on it is fixed on the engraver, the engraver with the film is brought in rotation and placed into the muffle furnace heated to 100 °С. The SLCNT is sprayed onto the thin MO film using an air-drop spraying method from the prepared solution. Rotation of the graver is necessary to homogeneously spray the SLCNT onto the MO film.

The concentration of the SLCNT solution will be varied and measured. The thickness of the resulting system: MO film + SLCNT will be recorded.



для однородного напыления ОУНТ на пленку ОМ.

Варьироваться и измеряться будет концентрация раствора ОУНТ. Регистрироваться будет толщина полученной системы: пленка ОМ + ОУНТ.

Третьим этапом в получении тонкопленочной системы на основе ОМ будет отжиг полученных образцов в печи МИМП-ВМ.

В процессе отжига будут варьироваться и измеряться следующие величины: температура отжига, время отжига.

Четвертым этапом исследований будет измерение характеристик полученных образцов композитной системы ОМ + ОУНТ. Будут измерены топографические (профиль поверхности), электрофизические (сопротивление и удельное поверхностное сопротивление) и газочувствительные характеристики: изменение сопротивления образца во времени выдержки в парах определенного газа, время отклика, время восстановления. По профилю поверхности (будет измеряться с помощью атомно-силового микроскопа) можно будет узнать взаимное расположение на поверхности кластеров ОМ и ОУНТ (сплошность пленки, максимальная и минимальная "высота" поверхности, среднеквадратичное отклонение "высоты поверхности").

По результатам этих четырех этапов будет сформирована база данных проведенных экспериментов, включающая в себя все вышеуказанные параметры технологий синтеза систем и все измеренные характеристики созданных систем, и, с помощью искусственных нейронных сетей (ИНС) будет создана многофакторная вычислительная модель, способная выявлять все зависимости, содержащиеся в экспериментальных данных, решать прямые и обратные задачи эксперимента, экстраполировать выявленные в экспериментальных данных зависимости, проводить виртуальные эксперименты.

Создание такой ИНС – модели позволит разрабатывать технологии создания сенсоров на основе систем ОМ + ОУНТ с заранее заданной чувствительностью.

Методика создания таких ИНС-моделей подробно описана в [4].

Примеры применения ИНС-моделей для решения прямых и обратных задач эксперимента, экстраполяции выявленных в экспериментальных данных зависимостей, проведения виртуальных экспериментов приведены в [5-13].

ОБСУЖДЕНИЕ

Использовались нейронные сети прямого пространства (feed forward neural networks)

The third step in obtaining an MO-based thin-film system will be annealing of the obtained samples in a MIMP-VM furnace.

During the annealing process, the following values will be varied and measured: annealing temperature, and annealing time.

The fourth stage of the research will be to measure characteristics of the obtained samples of the MO + SLCNT composite system. Topographical (surface profile), electrophysical (resistance and specific surface resistivity) and gas-sensitive characteristics will be measured: change of sample resistance while holding it in a certain gas vapour, response time and recovery time. From the surface profile (to be measured with an atomic force microscope) it will be possible to know the mutual arrangement of MO and SLCNT clusters on the surface (film solidity, maximum and minimum "height" of the surface and the standard deviation of the "height of the surface").

Based on the results of these four stages, a database of experiments conducted, including all the above parameters of system synthesis technologies and all measured characteristics of the created systems, will be generated and, using artificial neural networks (ANN), a multifactor computational model will be created, capable of identifying all dependencies contained in the experimental data, solving direct and inverse problems of experiment, extrapolating the dependencies identified in the experimental data and conducting virtual experiments.

Elaboration of such an ANN model will make it possible to develop technologies for production of sensors based on MO + SLNT systems with predetermined sensitivity.

The methodology for developing such ANN models is described in detail in [4].

Examples of the application of ANN models for solving direct and inverse problems of the experiment, extrapolation of the dependencies revealed in the experimental data and conducting virtual experiments are given in [5-13].

DISCUSSIONS

We used feed forward neural networks with one input layer (the number of neurons was determined by the number of factors), one hidden layer with different number of hidden neurons (from 5 to 8), and one output layer (with one neuron). The target functions of the models were transparency coefficient and apparent and real parts of dielectric permittivity. The model factors were as follows: temperature dependences of electrical



с одним входным слоем (число нейронов определялось числом факторов), одним внутренним (hidden) слоем с разным числом скрытых нейронов (от 5 до 8), одним выходным слоем (с одним нейроном). Целевыми функциями моделей являлись коэффициент прозрачности, мнимая и действительная части диэлектрической проницаемости. Факторами моделей были: температурные зависимости электросопротивления (значения сопротивлений от температуры нагрева подложки 25...90 °С) с нанесенными полупроводниковыми пленками SnO_2 и $\text{SnO}_2/\text{OУНТ}$ – рис.1, 2; электрическое сопротивление для газочувствительных пленок SnO_2 и $\text{SnO}_2/\text{OУНТ}$ от времени выдержки в газе-аналите (пары этанола) – рис.3, 4.

Полученные модели представляли собой своеобразные (полученные в процессе обучения нейронных сетей) калькуляторы (вычислительные структуры) по проведенным реальным газосенсорным измерениям, позволяющие для любого набора значений факторов определять целевую функцию конкретной модели.

Отметим, что по графикам (рис.1, 2) определяется энергия активации (электрическая ширина запрещенной зоны), тип проводимости, и по данным параметрам, а также оптической ширине запрещенной зоны возможно оценивать степень легированности полупроводниковых пленок (р- и n-типов проводимости) [14]. Степень легированности соответственно влияет на газочувствительность сенсорных структур.

ВЫВОДЫ

Представлена методология разработки технологий синтеза хеморезистивных тонкопленочных систем на основе оксидов металлов и углеродных нанотрубок для получения газовых сенсоров с заданной газочувствительностью. Методология включает в себя пять этапов, четыре из которых связаны с проведением экспериментов, а пятая – с использованием искусственных нейронных сетей для создания многофакторной вычислительной модели, способной выявлять все зависимости, содержащиеся в экспериментальных данных, решать прямые и обратные задачи эксперимента, экстраполировать выявленные в экспериментальных данных зависимости, проводить виртуальные эксперименты. Данная методология может быть применена при разработке технологий синтеза тонкопленочных систем различного назначения, а также при разработке новых наноматериалов. В перспективе, такая методология может быть применена для создания "Генома наноматериалов" [5].

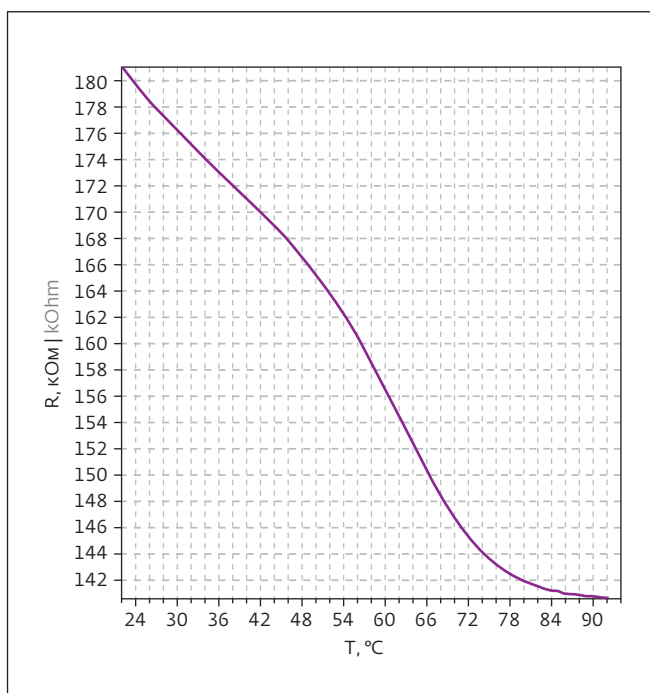


Рис.1. Вычислительная ИНС-модель графика зависимости сопротивления от температуры для синтезированных пленок $\text{SnO}_2/\text{OУНТ}$

Fig.1. Computational ANN model of the resistance versus temperature curve for synthesized $\text{SnO}_2/\text{SLCNTs}$ films

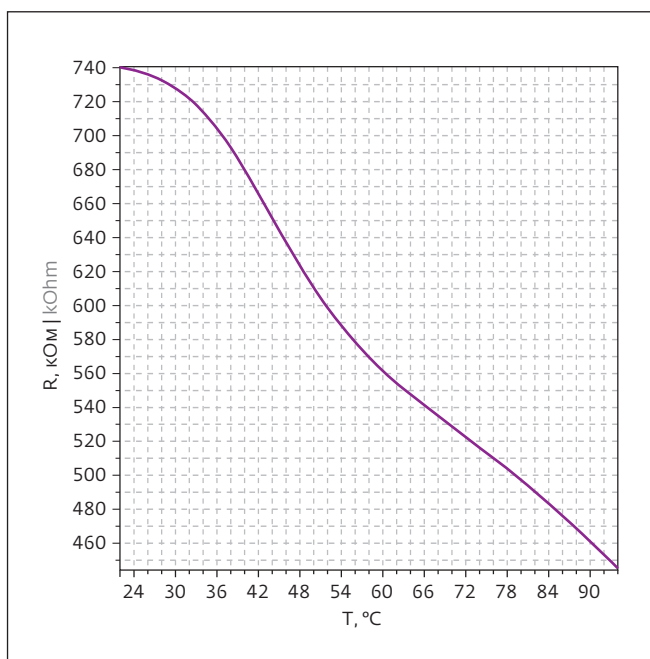


Рис.2. Вычислительная ИНС-модель графика зависимости сопротивления от температуры для синтезированных $\text{SnO}_2/\text{OУНТ}$

Fig.2. Computational ANN model of the resistance versus temperature curve for synthesized $\text{SnO}_2/\text{SLCNTs}$ films



ИНФОРМАЦИЯ О РЕЦЕНЗИРОВАНИИ

Редакция благодарит анонимного рецензента (рецензентов) за их вклад в рецензирование этой работы, а также за размещение статей на сайте журнала и передачу их в электронном виде в НЭБ eLIBRARY.RU.

Декларация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов или личных отношений, которые могли бы повлиять на работу, представленную в данной статье.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Боченков В.Е., Сергеев Г.Б. Наноматериалы для сенсоров, Успехи химии, 2007, 76, 11.
2. Федоров Л.Ю., Ушаков А.В., Карпов И.В. Синтез и хеморезистивная чувствительность к водороду наноструктурированных пленок CuO , Письма в ЖТФ, 2022, 48, 14.
3. Тюнтеров Е.С., Смирнов А.В., Казаков В.А., Сорокин Г.М. Исследование свойств тонкопленочной системы на основе оксида олова с однослойными углеродными нанотрубками. Физическое образование в вузах, 2022, 28, 1.
4. Аbrukov В., Киселев М., Ануфриева Д., Данилов Е. Искусственные нейронные сети как методологическая основа Генома материалов. Электронный ресурс: https://www.researchgate.net/publication/361103341_Iskusstvennye_nejronnye_seti_kak_metodologiceskaa_osnova_Genoma_materialov_Artificial_neural_networks_as_a_methodological_basis_of_the_Materials_Genome, 2022.
5. Abrukov V.S., Karlovich E.V., Afanasyev V.N., Semenov Y.V., Abrukov S.V. Creation of propellant combustion models by means of data mining tools. International Journal of Energetic Materials and Chemical Propulsion. 2010. Vol. 9. No. 5, PP. 385–396.
6. Chandrasekaran N., Bharath R.S., Oommen C., Abrukov V.S., Kiselev M.V., Anufrieva D.A., Kumar V.R.S. Development of the Multifactorial Computational Models of the Solid Propellants Combustion by Means of Data Science Methods – Phase II, 2018 Joint Propulsion Conference, AIAA Propulsion and Energy Forum, (AIAA 2018-4961), <https://doi.org/10.2514/6.2018-4961>.
7. Abrukov V., Lukin A., Anufrieva D., Oommen C., Sanalkumar V., Chandrasekaran N., Bharath R. (2019). Recent Advancements in Study of Effects of Nano Micro Additives on Solid Propellants Combustion by Means of the Data Science Methods. Defence Science Journal, 69(1), PP. 20–26. <https://doi.org/10.14429/dsj.69.12948>.

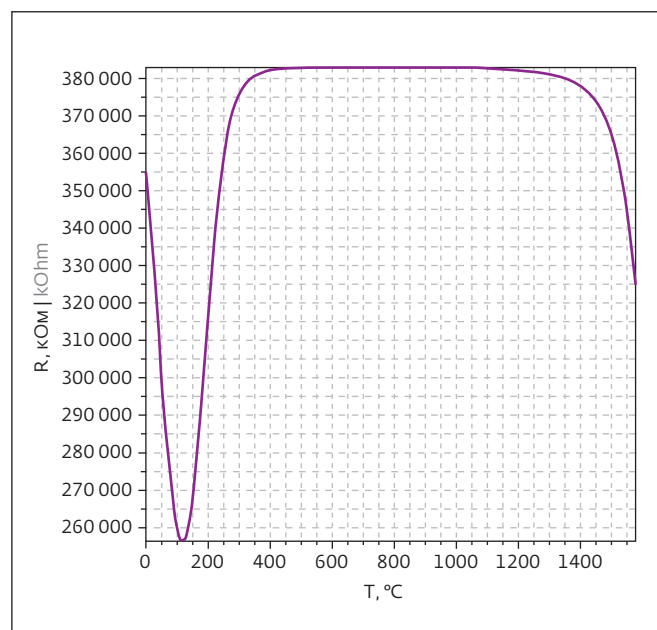


Рис.3. Вычислительная ИНС-модель газочувствительности изменения сопротивления от времени выдержки в парах этанола для синтезированных SnO_2

Fig.3. Computational ANN model of gas sensitivity as dependent on the influence of exposure time in ethanol vapour on resistance change for synthesized SnO_2

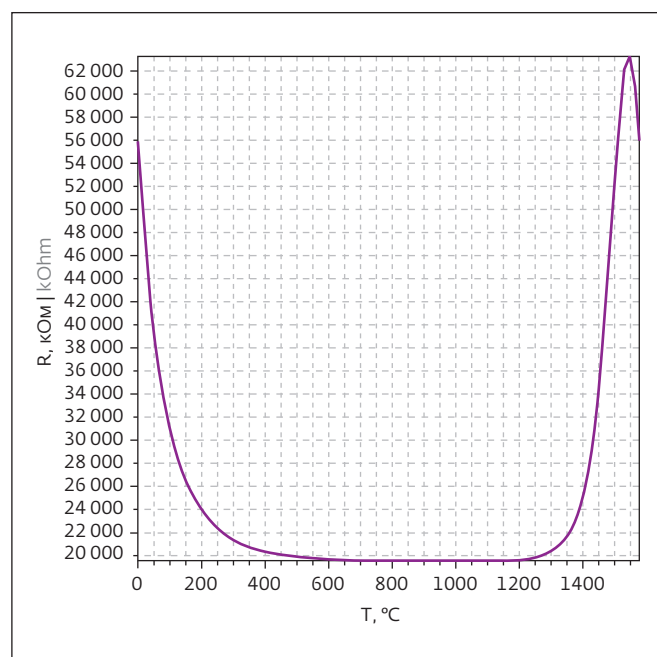


Рис.4. Вычислительная ИНС-модель газочувствительности, изменения сопротивления от времени выдержки в парах этанола для синтезированных $\text{SnO}_2/\text{ОУНТ}$

Fig.4. Computational ANN model of gas sensitivity as dependent on the influence of exposure time in ethanol vapour on resistance change for synthesized $\text{SnO}_2/\text{SLCNT}$



8. Chandrasekaran N., Oommen C., Sanalkumar V.R., Abrukov V.S., Anufrieva D.A. Prediction of Detonation Velocity and N-O Composition of High Energy C-H-N-O Explosives by Means of the Data Science Methods, Prop., Explos., Pyrotech., 2019, vol. 44, no. 5, pp. 579-587.
9. Mariappan A., Choi H., Abrukov V.S., Anufrieva D.A., Sankar V., Sanalkumar V.R. The Application of Energetic Materials Genome Approach for Development of the Solid Propellants Through the Space Debris Recycling at the Space Platform. Conference: AIAA Propulsion and Energy 2020 Forum. AIAA 2020-3898. <https://doi.org/10.2514/6.2020-3898>.
10. Abrukov V.S., Chandrasekaran N., Sanal K.V.R., Anufrieva D.A. Genome approach and data science methods for accelerated discovery of new solid propellants with desired properties, AIAA Propulsion and Energy 2020 Forum, AIAA 2020-3929, <https://doi.org/10.2514/6.2020-3929>.
11. Abrukov V.S., Oommen C., Kumar V.R.S., Chandrasekaran N., Sankar V., Kiselev M.V., Anufrieva D.A. Development of the Multifactorial Computational Models of the Solid Propellants Combustion by Means of Data Science Methods - Phase III. Technology and Investment, 2019, Proceedings of the 55th AIAA/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference 2019, AIAA Propulsion and Energy Forum, Indianapolis, Indiana, 19-22 August 2019, AIAA 2019-3957 <https://doi.org/10.2514/6.2019-3957>.
12. Abrukov V.S., Anufrieva D.A., et al. Multifactor Computational Models of the Effect of Catalysts on the Combustion of Ballistic Powders (experimental results of Denisjuk team) Direct Tasks, Virtual Experiments and Inverse Problems. Электронный ресурс: https://www.researchgate.net/publication/344727996_Multifactor_Computational_Models_of_the_Effect_of_Catalysts_on_the_Combustion_of_Ballistic_Powders_experimental_results_of_Denisjuk_team_Direct_Tasks_Virtual_Experiments_and_Inverse_Problems
13. Abrukov V.S., Anufrieva D.A., et al. Comprehensive study of AP particle size and concentration effects on the burning rate of composite AP/HTPB propellants by means of neural networks. Development of the multifactor computational models. Direct tasks and inverse problems & virtual experiments. <https://doi.org/10.13140/RC.2.2.19019.62242>.
14. Pinczlits M., Spingholz G., Bauer G. Appl. Phys. Lett., 73(1998) 250.

resistivity (resistance values as a function of substrate heating temperature 25...90°C) with deposited semiconductor SnO₂ and SnO₂/ SLCNT films - Fig.1, 2; electrical resistivity for gas-sensitive SnO₂ and SnO₂/ SLCNT films as a function of soaking time in an analyte gas (ethanol vapour) - Fig.3, 4.

The resulting models were peculiar calculators (obtained by training neural networks) based on real gas-sensor measurements which allow of any set of factor values in order to determine the target function of a particular model.

It should be noted that activation energy (electric width of forbidden zone) and conductivity type are determined from graphs (Fig.1, 2), and according to these parameters as well as optical width of forbidden zone it is possible to estimate the doping degree of semiconductor films (p- and n-type conductivity) [14]. The degree of doping, respectively, influences the gas sensitivity of the sensor structures.

CONCLUSIONS

A methodology for the development of technologies for synthesis of chemoresistive thin film systems based on metal oxides and carbon nanotubes intended for producing gas sensors with a given gas sensitivity is presented. The methodology includes five steps, four of which involve experiments, and the fifth step involves the use of artificial neural networks to develop a multifactor computational model capable of identifying all dependencies contained in the experimental data, solving direct and inverse problems of the experiment, extrapolating the dependencies identified in the experimental data, and conducting virtual experiments. This methodology can be applied in the development of technologies for synthesis of thin-film systems of various applications, as well as in development of new nanomaterials. In the future, such methodology should be applied to development of the "Genome of nanomaterials" [5].

PEER REVIEW INFO

Editorial board thanks the anonymous reviewer(s) for their contribution to the peer review of this work. It is also grateful for their consent to publish papers on the journal's website and SEL eLibrary eLIBRARY.RU.

Declaration of Competing Interest. The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТЕХНОСФЕРА» ПРЕДСТАВЛЯЕТ КНИГУ:



Гибридные наночастицы биоактивных и лекарственных веществ

*Под ред. М.Я. Мельникова,
Л.И. Трахтенберга*

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2020. – 408 с.
ISBN 978-5-94836-596-1

Цена 1300 руб.

В учебном пособии, состоящем из введения и 11 глав, обобщены результаты исследований, посвященных различным аспектам биоактивных и лекарственных наноконструктивных систем. Большое внимание уделено особенностям синтеза и тому новому, что дает наноразмер объектов в протекании в них различных физико-химических процессов. Кроме того, сделана попытка систематизировать методы синтеза, приводящие к получению соединений различного класса. Подчеркивается, что эффективность лекарственных веществ и их фармакологические свойства во многом зависят от кристаллической структуры, в частности от наличия тех или иных полиморфных модификаций или аморфного состояния. Первоочередное значение имеет размер наночастиц, так как малым частицам проще преодолевать защитные барьеры организма человека и животных, проникать в клетки и накапливаться в тканях.

Все главы написаны группами научных сотрудников, активно работающих в разных областях нанобиомедицины. Наряду с обзорным материалом, излагаются и оригинальные исследования авторов, обобщающие их работы за несколько последних лет. Предлагаемая книга будет полезным учебным и учебно-научным пособием для читателей с широким кругозором от студентов и аспирантов до преподавателей и научных сотрудников, интересующихся различными аспектами теории и практики наноразмерных биоактивных и лекарственных веществ.

Как заказать наши книги?

По почте: 125319, Москва, а/я 91
По факсу: (495) 956-33-46
E-mail: knigi@technosphaera.ru
sales@technosphaera.ru

ИНФОРМАЦИЯ О НОВИНКАХ
www.technosphaera.ru