

**АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ОТКЛИКА
ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СЕНСОРОВ ГАЗА
В ХИМИЧЕСКИ АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ**

С.П. Новиков

n_serg7@mail.ru

Н.К. Плутотаренко

plugotarenko@mail.ru

**Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения, ЮФУ,
г. Таганрог, Ростовская обл., Российская Федерация**

Аннотация

В настоящее время большое внимание уделяется контролю за состоянием окружающей среды. Во многих случаях для контроля используются высокоэффективные твердотельные анализаторы газов на основе полупроводников. При этом необходимо не только использование качественных компонентов, но и быстрая, отвечающая требованиям по точности и качеству обработка данных. Такая обработка позволит диагностировать текущую работоспособность сенсоров, точнее и быстрее определять концентрацию искомого газа, контролировать характеристики. Предложена методика обработки данных отклика чувствительных элементов сенсоров газа в химически агрессивных средах, в том числе построение калибровочных зависимостей, повышающих точность определения концентраций газов

Ключевые слова

Газоанализатор, сенсор, обработка данных, надежность, калибровка, концентрация, погрешность измерения

Поступила 10.09.2019

Принята 06.07.2020

© Автор(ы), 2020

*Работа выполнена при финансовой поддержке ЮФУ
(грант № ВнГр-07/2017-21)*

Введение. В настоящее время особую актуальность приобретают вопросы оценки воздействия различных агрессивных сред на элементы полупроводниковых сенсоров. Важное значение имеют задачи контроля различных концентраций газов в окружающей среде, а также разработка материалов для датчиков контроля состава атмосферного воздуха [1].

Одной из проблем полупроводниковых сенсоров является низкая селективность. При этом их достоинства — высокая чувствительность, быстрое действие, миниатюрность, небольшая стоимость при массовом производстве — делают эти сенсоры очень привлекательными для использования в качестве датчиков газоаналитических приборов. Для повышения селективности полупроводниковых сенсоров ведутся активные

изыскания; применительно ко многим задачам газового анализа некоторые способы решения этой проблемы уже найдены [2, 3]. Так модифицируют поверхности электродов, разрабатывают новые покрытия, используют сенсоры на основе арсенида галлия и других материалов. Существуют и методы, позволяющие улучшить селекцию целевых газов, также актуальны вопросы калибровки сенсоров для различных применений. Предлагаются различные варианты калибровки. При использовании метода калибровки посредством поверочных газовых смесей требуются лабораторное и контрольное измерительные устройства [4]. Такой метод калибровки сложно реализовать, поскольку он очень дорог для портативного анализатора. В работе [5] использована калибровка в зависимости от температур нагревательного элемента и чувствительного слоя и мощности нагревательного элемента. Актуальна задача поиска более простых и удобных методов калибровки. Существенным вопросом является и периодичность калибровки [6]. В обычной среде калибровка проводится по числу сделанных измерений, но в агрессивных средах требуется более частая калибровка. Использование методов на основе поверочных смесей — это неудобно и дорого. Таким образом, определена актуальность разработки методов калибровки сенсоров за счет дополнительной обработки сигналов, получаемых с сенсоров.

Возможные направления при обработке результатов измерений, предназначенные для количественного анализа компонент, входящих в состав целевого газа, а также для формирования информационных признаков, необходимых для повышения селективности обнаружения целевых веществ, других примесей или добавок, кратко описаны в работах [7, 8]. В качестве выбранных вариантов обработки сигналов сенсоров определены следующие параметры: амплитуда отклика, время реакции, время восстановления, скорость реакции и восстановления. Как развитие методов обработки отклика в настоящей работе предложено использовать данные параметры для определения калибровки сенсоров.

Объекты исследований. Газочувствительным материалом сенсоров газа являются полупроводниковые материалы [9] или органические полупроводники, получаемые в виде пленок толщиной от 0,1 до 5 мкм, многослойных покрытий [10] или композиционных материалов.

Осаждение на адсорбционных центрах молекул газа ведет к изменению концентрации носителей заряда чувствительного материала сенсора и его сопротивления [11].

Полупроводниковые сенсоры, применяемые для определения паров ядовитых веществ, состоят из газочувствительного слоя, подложки-

диэлектрика и нагревательного элемента. Чувствительный элемент включает в себя полупроводниковый слой, нанесенный на подложку, с обратной стороны которой расположен нагреватель. В настоящее время особое внимание уделяется сенсорам газов резистивного типа на основе неорганических пленок оксидов металлов, в том числе оксидов меди (CuO и Cu_2O) [6–8]. При производстве таких сенсоров основными методами изготовления пленок оксидов меди являются электрохимическое осаждение, золь-гель метод, термическое окисление, вакуумное напыление [12, 13].

При создании сенсоров газа, использующих полупроводники, структура самого сенсора может отличаться по типу используемого материала — *n*- или *p*-типа. В большинстве случаев это полупроводники *n*-типа проводимости [14, 15]. При этом воздействие агрессивной среды будет различно. В одном случае сопротивление сенсора увеличивается, в другом уменьшается под воздействием целевого газа, что необходимо учитывать, проводя обработку получаемых данных.

В качестве газочувствительного использовали материалы, полученные золь-гель методом, тонкие пленки состава SiO_2ZrO_x [16]. Данные сенсоры работают при невысоких рабочих температурах [17, 18].

Для данного исследования выбраны одни из наиболее распространенных и опасных газов, такие как NH_3 , NO_2 . Эти газы повсеместно используются в промышленности, и их детектирование является важной задачей. При этом необходимо с высокой точностью определять их концентрацию. Исследования проводились на эталонных смесях аммиака и диоксида азота с воздухом, с концентрацией целевого газа 25 и 50 ppm.

Алгоритмы обработки данных сигналов сенсоров. Проводимая обработка сигналов позволяет определить требуемые характеристики сенсоров, как статические, так и динамические.

Процесс первичной обработки представляется в виде ряда процедур, таких как первичная обработка значений, фильтрация данных, предварительная оценка статистики [19].

Для обработки отклика данных с сенсоров разработана и реализована программа, позволяющая определять основные характеристики отклика [7, 8].

Данная программа позволяет решать задачи по определению параметров сигнала как в автоматическом, так и в ручном режимах (рис. 1).

Выделяя исходный сигнал по каждому проведенному опыту, определяют параметры отклика сенсора, характерные для реакции газочувствительного материала, на химический состав среды. Размах амплитуды

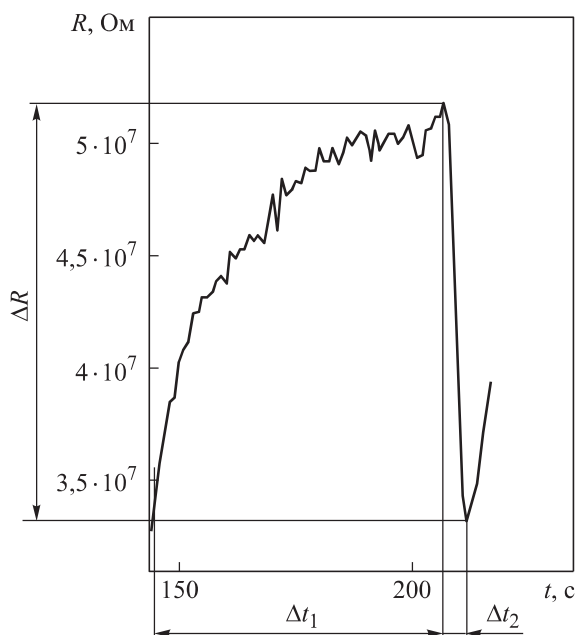


Рис. 1. Технологические этапы при проведении измерений
(ΔR — амплитуда изменения сопротивления; Δt_1 и Δt_2 — время реакции и восстановления сенсора)

отклика, а также значения скорости и времени реакции соответствуют определенной концентрации газа. Данные, полученные при выполнении серий опытов с различной концентрацией вещества, приведены на рис. 2. Видны существенные различия в реакции датчиков, как количественные, так и качественные.

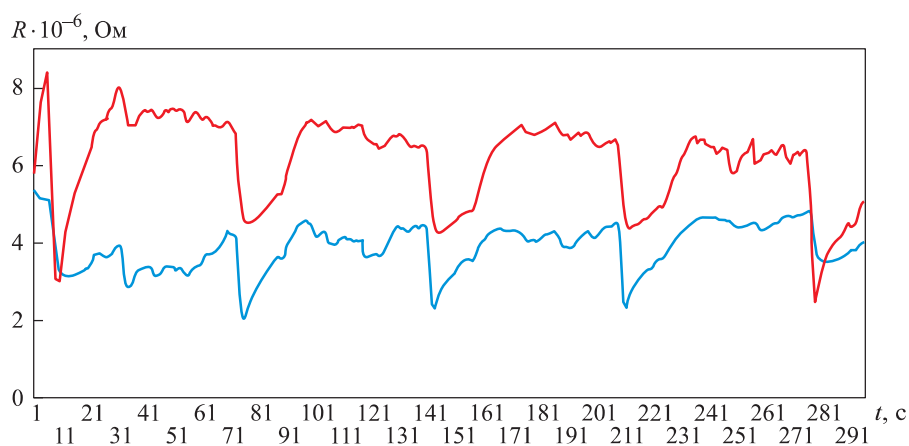


Рис. 2. Графическое отображение сигнала от датчика при серии опытов с различной концентрацией агрессивного газа

Примеры анализа данных по каждому полученному сигналу приведены на рис. 3 и 4. В каждом опыте на выделенном диапазоне определены скорости реакции и восстановления, время реакции и восстановления.

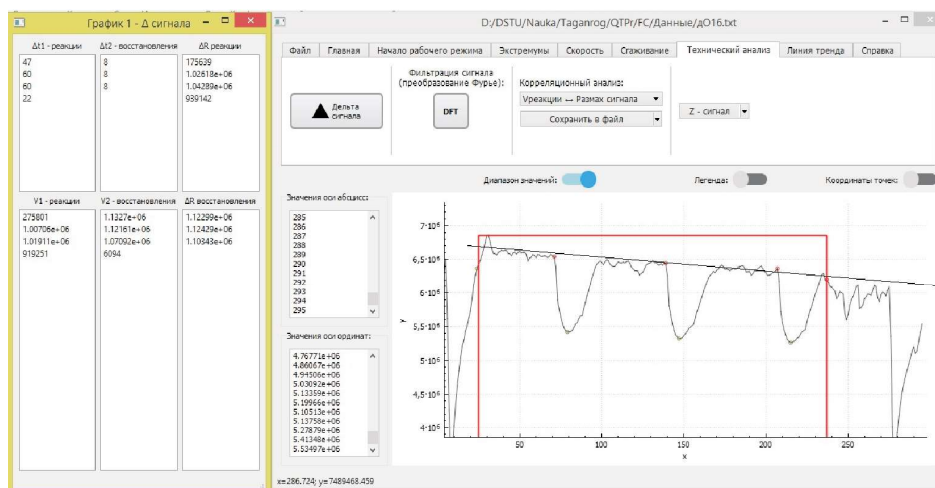


Рис. 3. Определение параметров сигналов

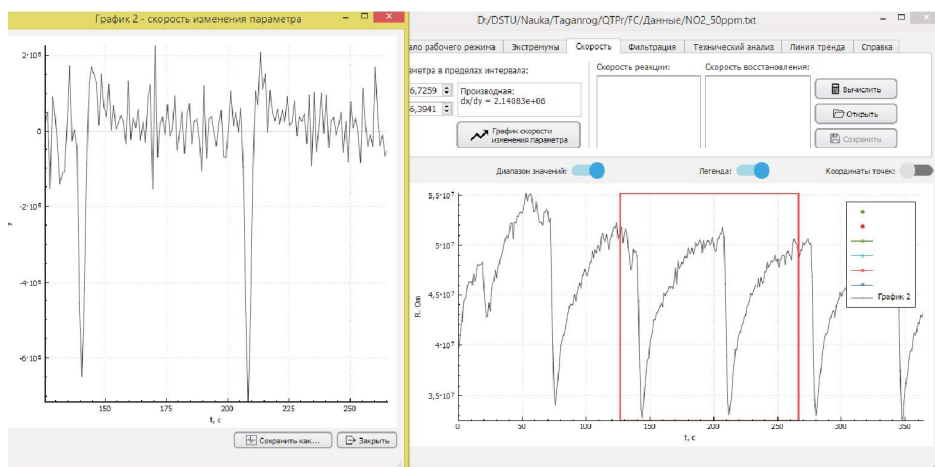


Рис. 4. Определение скорости изменения параметра на выбранном отрезке и график скорости

В агрессивной среде возможен дрейф сопротивления сенсора без изменения концентрации целевого газа, что видно на графиках (см. рис. 3). Это явление делает невозможным абсолютную калибровку сенсора, когда определенному значению сопротивления соответствует определенное значение концентрации газа. Предложенная система обработки позволяет построить линию тренда, а также определить процент изменения сопротивления за отведенное время.

При обработке данных измерений для определения концентрации целевого газа в агрессивной среде предложены следующие варианты решения проблемы калибровки сенсоров:

- расчет тренда сопротивления и внесения соответствующей поправки;
- калибровка по значению амплитуды отклика;
- использование в качестве калибровочной зависимости скорости изменения сопротивления от времени.

Научная новизна заключается в разработке алгоритма построения калибровочной зависимости полупроводниковых резистивных датчиков с учетом скорости реакции датчика на воздействие целевого газа.

Результаты и обсуждения. Экспериментальная часть включала в себя проведение серии измерений отклика полупроводниковых сенсоров к двум газам — NO_2 и NH_3 при концентрациях 25 и 50 ppm.

Погрешность измерений при воздействии агрессивной среды на сенсор определяли по результирующему сопротивлению, амплитуде сопротивления, скорости реакции. При этом скорость реакции принимала как отрицательные, так и положительные значения в зависимости от реакции газа (окислитель, восстановитель) в соответствии с изменением сопротивления сенсора. Далее данный параметр будет рассматриваться по модулю.

Все значения получены путем усреднения значений четырех измерений для каждого опыта. По полученным данным построены калибровочные зависимости указанных параметров от концентрации газов.

Основные измерения проводили, используя амплитуду сопротивления и рассчитанную скорость реакции (скорость изменения сопротивления). Фрагменты калибровочных зависимостей приведены на рис. 5 и 6.

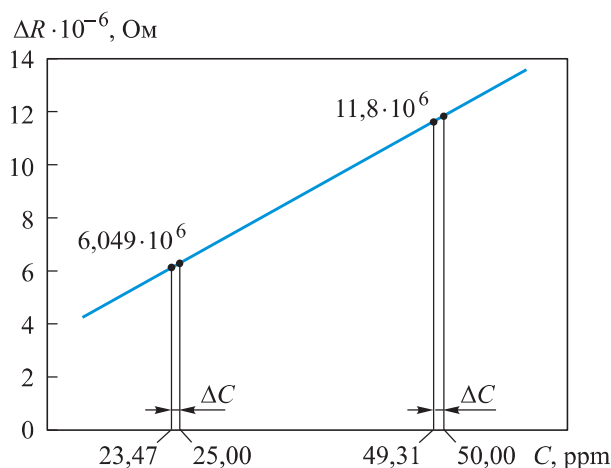


Рис. 5. Зависимость изменения сопротивления от концентрации газа NH_3

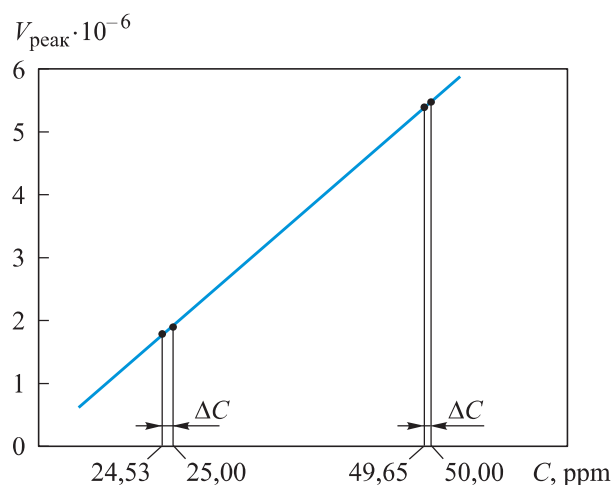


Рис. 6. Зависимость максимальной скорости реакции от концентрации газа NH_3

Соотнесение амплитуды отклика с параметрами, полученными по калибровочной зависимости, позволяет определить абсолютную погрешность сенсора. Другой вариант определения погрешности — это использование в зависимости скорости изменения сопротивления от времени в качестве калибровочной. В данном случае погрешность представлена абсолютными величинами отклонения измеренного значения параметра от действительного значения (таблица).

Амплитуды отклика сопротивления и пиковые значения скорости реакции в зависимости от концентрации газа

Целевой газ	Концентрация газа C , ppm	Амплитуда сопротивления, Ом	Пиковое значение скорости реакции, $V_{\text{реак}}$	Расчетное значение концентрации по ΔR , Ом	ΔC , ppm	Расчетное значение концентрации по V	ΔC , ppm
NH_3	25	6 390 780	1 830 000	23,46	-1,54	24,52	-0,48
NH_3	50	11 951 250	5 500 000	49,31	-0,69	49,65	-0,35
NO_2	25	1 722 172	6 637 625	22,70	-3,30	23,10	-1,90
NO_2	50	1 808 468	6 825 000	42,33	-6,67	54,54	4,54

В результате исследований выявлена возможность уменьшения абсолютной погрешности определения концентрации целевого газа при проведении дополнительной обработки отклика, с использованием пиковой скорости изменения сопротивления при реакции на газ. Относительные

погрешности, рассчитанные по ΔR , находились в диапазоне от 2 до 13 %, по пиковой скорости реакции — в диапазоне от 1 до 9 %.

Приведенный алгоритм обработки сигналов дает возможность сформировать метод определения концентрации целевого газа в зависимости от полученных данных.

Заключение. Предложенный алгоритм преобразования сигналов полупроводниковых сенсоров с применением дополнительных операций обработки позволил уменьшить в 1,5–3,2 раза абсолютную погрешность определения концентрации целевого газа полупроводникового резистивного сенсора на основе оксидов кремния и циркония, а максимальную относительную погрешность измерения снизить на 4 %.

Результаты исследования показали информативность скорости изменения сопротивления сенсора при воздействии газа как параметра сигнала для определения концентрации газа и выявления различий между распознаваемыми сигналами отклика.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Петров В.В., Назарова Т.Н., Копылова Н.Ф. и др. Исследование процесса получения и свойств наноразмерного материала состава $\text{SiO}_2\text{SnO}_x\text{CuO}_y$ для сенсора газа. *Известия ЮФУ. Технические науки*, 2011, т. 117, № 4, с. 123–128.
- [2] Sauter D., Weimar U., Noetzel G., et al. Development of modular ozone sensor system for application in practical use. *Sens. Actuators B*, 2000, vol. 69, pp. 1–9.
- [3] Обвинцева Л.А., Губанова Д.П. Быстрая идентификация хлора и диоксида хлора в воздухе полупроводниковыми сенсорами. *Журнал аналитической химии*, 2004, т. 59, № 8, с. 876–878.
- [4] Sorocki J., Rydosz A. A prototype of a portable gas analyzer for exhaled acetone detection. *Appl. Sc.*, 2019, vol. 9, no. 13, art. 2605. DOI: <https://doi.org/10.3390/app9132605>
- [5] Isaienko O., Maksymovych N., Yatsimirsky V. Determination of the sensitive layer temperature of the adsorption-semiconductor gas sensor. *Sens. Actuators B*, 2005, vol. 108, no. 1-2, pp. 134–142. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2004.12.081>
- [6] Utembe S.R., Hansford G.M., Sanderson M.G., et al. An ozone monitoring instrument based on the tungsten trioxide (WO_3) semiconductor. *Sens. Actuators B*, 2006, vol. 114, pp. 507–512.
- [7] Новиков С.П., Свирепова М.С. Анализ данных исследовательских испытаний легированных кремний-углеродных покрытий в химически агрессивных средах. *Вестник молодежной науки России*, 2019, № 2.
URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_42896762_88049294.pdf
- [8] Новиков С.П., Свирепова М.С., Плуготаренко Н.К. Анализ данных отклика чувствительных элементов сенсоров газа в химически агрессивных средах. *ММТТ-32. Сб. тр. междунар. науч. конф.*, 2019, т. 3, с. 90–93.

- [9] Аль-Хадрами И.С., Королев А.Н., Семенистая Т.В. и др. Исследование газочувствительных свойств медьсодержащего полиакрилонитрила. *Известия высших учебных заведений. Электроника*, 2008, № 1, с. 20–25.
- [10] Safonova O.V., Rumyantseva M.N., Ryabova L.I., et al. Effect of combined Pd and Cu doping on microstructure, electrical and gas sensor properties of nanocrystalline tin dioxide. *Mater. Sc. Eng. B*, 2001, vol. 85, no. 1, pp. 43–49.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0921-5107\(01\)00640-7](https://doi.org/10.1016/S0921-5107(01)00640-7)
- [11] Румянцева М.Н., Макеева Е.А., Гаськов А.М. Влияние микроструктуры полупроводниковых сенсорных материалов на хемосорбцию кислорода на их поверхности. *Российский химический журнал*, 2008, т. 52, № 2, с. 122–129.
- [12] Dhanasekaran V., Mahalingam T., Chandramohan R., et al. Electrochemical deposition and characterization of cupric oxide thin films. *Thin Solid Films*, 2012, vol. 520, no. 21, pp. 6608–6613. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2012.07.021>
- [13] Casella I.G., Gatta M.J. Anodic electrodeposition of copper oxide/hydroxide films by alkaline solutions containing cuprous cyanide ions. *Electroanal. Chem.*, 2000, vol. 494, no. 1, pp. 12–20. DOI: 10.1016/S0022-0728(00)00375-2
- [14] Петров В.В., Королев А.Н. Наноразмерные оксидные материалы для сенсоров газов. Таганрог, Изд-во ТТИ ЮФУ, 2008.
- [15] Казаков С.А., Каминский В.В., Соловьев С.М. и др. Полупроводниковые газовые датчики кислорода на основе поликристаллических пленок сульфида самария. *Научное приборостроение*, 2015, т. 25, № 3, с. 116–123.
- [16] Назарова Т.Н., Сергиенко Д.В., Петров В.В. и др. Исследование физико-химических, электрофизических свойств и газочувствительных характеристик нанокompозитных пленок состава SiO_2ZrO_x . *Нано- и микросистемная техника*, 2012, № 2, с. 38–41.
- [17] Petrov V.V., Nazarova T.N., Korolev A.N., et al. Thin sol-gel $\text{SiO}_2\text{-SnO}_x\text{-AgO}_y$ films for low temperature ammonia gas sensor. *Sens. Actuators B*, 2008, vol. 133, no. 1, pp. 291–295. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2008.02.026>
- [18] Петров В.В., Назарова Т.Н., Королев А.Н. и др. Формирование тонких газочувствительных оксидных пленок смешанного состава, легированных серебром. *Физика и химия обработки материалов*, 2005, № 3, с. 58–62.
- [19] Николаев А.В., Эль-Салим С.З. Алгоритм обработки кинетических данных в процессе анализа газовых смесей. *Надежность и качество сложных систем*, 2017, № 4, с. 19–26. DOI: <https://doi.org/10.21685/2307-4205-2017-4-3>

Новиков Сергей Петрович — аспирант кафедры «Техносферная безопасность и химия» Института нанотехнологий, электроники и приборостроения ЮФУ (Российская Федерация, 347928, Ростовская обл., г. Таганрог, ул. Шевченко, д. 2, корп. Е).

Плуготаренко Нина Константиновна — канд. техн. наук, заведующая кафедрой «Техносферная безопасность и химия» Института нанотехнологий, электроники и приборостроения ЮФУ (Российская Федерация, 347928, Ростовская обл., г. Таганрог, ул. Шевченко, д. 2, корп. Е).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Новиков С.П., Плуготаренко Н.К. Алгоритмы обработки данных отклика чувствительных элементов сенсоров газа в химически агрессивных средах. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение*, 2020, № 4, с. 153–164.

DOI: <https://doi.org/10.18698/0236-3933-2020-4-153-164>

**ALGORITHMS FOR PROCESSING THE RESPONSE DATA
OF SENSITIVE ELEMENTS OF GAS SENSORS
IN CHEMICALLY AGGRESSIVE ENVIRONMENTS**

S.P. Novikov

n_serg7@mail.ru

N.K. Plugotarenko

plugotarenko@mail.ru

Southern Federal University, Taganrog, Rostov Region, Russian Federation

Abstract

Currently, much attention is paid to environmental monitoring. This is in many cases characterized by the use of highly efficient solid state gas analyzers based on semiconductors. At the same time, it is necessary not only to use high-quality components, but also to process data quickly, meeting the requirements for accuracy and quality. Such processing makes it possible to diagnose the current performance of sensors, more accurately and faster determine the concentration of the target gas, and control the characteristics. The study introduces a method for processing the response data of the sensitive elements of gas sensors in chemically aggressive media, including the construction of calibration dependencies which increase the accuracy of determining gas concentrations

Keywords

Gas analyzer, sensor, data processing, reliability, calibration, concentration, instrument error

Received 10.09.2019

Accepted 06.07.2020

© Author(s), 2020

This work was carried out with the financial support of the Southern Federal University, project no. VnGr-07/2017-21

REFERENCES

[1] Petrov V.V., Nazarova T.N., Kopylova N.F., et al. Research of formation process and properties of nano-sized $\text{SiO}_2\text{SnO}_x\text{CuO}_y$ material for gas sensor application. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2011, vol. 117, no. 4, pp. 123–128 (in Russ.).

- [2] Sauter D., Weimar U., Noetzel G., et al. Development of modular ozone sensor system for application in practical use. *Sens. Actuators B*, 2000, vol. 69, pp. 1–9.
- [3] Obvintseva L.A., Gubanova D.P. Rapid detection of chlorine and chlorine dioxide in air using semiconductor sensors. *J. Anal. Chem.*, 2004, vol. 59, no. 8, pp. 785–787. DOI: <https://doi.org/10.1023/B:JANC.0000037287.04531.3a>
- [4] Sorocki J., Rydosz A. A prototype of a portable gas analyzer for exhaled acetone detection. *Appl. Sc.*, 2019, vol. 9, no. 13, art. 2605. DOI: <https://doi.org/10.3390/app9132605>
- [5] Isaienko O., Maksymovych N., Yatsimirsky V. Determination of the sensitive layer temperature of the adsorption-semiconductor gas sensor. *Sens. Actuators B*, 2005, vol. 108, no. 1-2, pp. 134–142. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2004.12.081>
- [6] Utembe S.R., Hansford G.M., Sanderson M.G., et al. An ozone monitoring instrument based on the tungsten trioxide (WO₃) semiconductor. *Sens. Actuators B*, 2006, vol. 114, pp. 507–512.
- [7] Novikov S.P., Svirepova M.C. Analysis of data of research tests of alloyed silicon-carbon coatings in chemical aggressive media. *Vestnik molodezhnoy nauki Rossii*, 2019, no. 2 (in Russ.). Available at: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_42896762_88049294.pdf
- [8] Novikov S.P., Svirepova M.C., Plugotarenko N.K. [Analysis of the results of response to sensitive elements of gas sensors in chemical aggressive environment]. *MMTT-32. Sb. tr. mezhdunar. nauch. konf.* [MMTT-32. Proc. Int. Sc. Conf.], 2019, vol. 3, pp. 90–93 (in Russ.).
- [9] Al'-Khadrami I.S., Korolev A.N., Semenistaya T.V., et al. Research of gas sensitive properties of Cu-containing Ir-pyrolyzed polyacrylonitril. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Elektronika* [Proceedings of Universities. Electronics], 2008, no. 1, pp. 20–25 (in Russ.).
- [10] Safonova O.V., Rummyantseva M.N., Ryabova L.I., et al. Effect of combined Pd and Cu doping on microstructure, electrical and gas sensor properties of nanocrystalline tin dioxide. *Mater. Sc. Eng. B*, 2001, vol. 85, no. 1, pp. 43–49. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0921-5107\(01\)00640-7](https://doi.org/10.1016/S0921-5107(01)00640-7)
- [11] Rummyantseva M.N., Makeeva E.A., Gas'kov A.M. Effect of semiconductor sensor materials microstructure on oxygen chemisorbtion on their surfaces. *Rossiyskiy khimicheskii zhurnal*, 2008, vol. 52, no. 2, pp. 122–129 (in Russ.).
- [12] Dhanasekaran V., Mahalingam T., Chandramohan R., et al. Electrochemical deposition and characterization of cupric oxide thin films. *Thin Solid Films*, 2012, vol. 520, no. 21, pp. 6608–6613. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2012.07.021>
- [13] Casella I.G., Gatta M.J. Anodic electrodeposition of copper oxide/hydroxide films by alkaline solutions containing cuprous cyanide ions. *Electroanal. Chem.*, 2000, vol. 494, no. 1, pp. 12–20. DOI: [10.1016/S0022-0728\(00\)00375-2](https://doi.org/10.1016/S0022-0728(00)00375-2)
- [14] Petrov V.V., Korolev A.N. Nanorazmernye oksidnye materialy dlya sensorov gazov [Nanosize oxide materials for gas sensors]. Taganrog, TTI YuFU Publ., 2008.

- [15] Kazakov S.A., Kaminskiy V.V., Solov'yev S.M., et al. Semiconductor gas oxygen sensors based on polycrystalline films of samarium sulfide. *Nauchnoe priborostroenie*, 2015, vol. 25, no. 3, pp. 116–123 (in Russ.).
- [16] Nazarova T.N., Sergienko D.V., Petrov V.V., et al. Study of physical and chemical, electrophysical properties and gas sensitive characteristics of SiO_2ZrO_x nanocomposite films. *Nano- i mikrosistemnaya tekhnika* [Nano- and Microsystems Technology], 2012, no. 2, pp. 38–41 (in Russ.).
- [17] Petrov V.V., Nazarova T.N., Korolev A.N., et al. Thin sol-gel $\text{SiO}_2\text{-SnO}_x\text{-AgO}_y$ films for low temperature ammonia gas sensor. *Sens. Actuators B*, 2008, vol. 133, no. 1, pp. 291–295. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2008.02.026>
- [18] Petrov V.V., Nazarova T.N., Korolev A.N., et al. Formation of thin gas-sensitive oxide films with complex composition alloyed with Ag. *Fizika i khimiya obrabotki materialov* [Physics and Chemistry of Materials Treatment], 2005, no. 3, pp. 58–62 (in Russ.).
- [19] Nikolaev A.V., El'-Salim S.Z. An algorithm for kinetic data processing during the analysis of gas mixtures. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem* [Reliability & Quality of Complex Systems], 2017, no. 4, pp. 19–26 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21685/2307-4205-2017-4-3>

Novikov S.P. — Post-Graduate Student, Department of Technosphere Safety and Chemistry, Institute of Nanotechnologies, Electronics and Equipment Engineering, Southern Federal University (Shevchenko ul. 2, korp E, Taganrog, Rostov Region, 347928 Russian Federation).

Plugotarenko N.K. — Cand. Sc. (Eng.), Head of the Department of Technosphere Safety and Chemistry, Institute of Nanotechnologies, Electronics and Equipment Engineering, Southern Federal University (Shevchenko ul. 2, korp. E, Taganrog, Rostov Region, 347928 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Novikov S.P., Plugotarenko N.K. Algorithms for processing the response data of sensitive elements of gas sensors in chemically aggressive environments. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Instrument Engineering*, 2020, no. 4, pp. 153–164 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18698/0236-3933-2020-4-153-164>