

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ ОБЩЕЙ И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ ИМ. Н.С. КУРНАКОВА  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

(ИОНХ РАН)

«УТВЕРЖДАЮ»  
Директор ИОНХ РАН

чл.-корр.РАН \_\_\_\_\_ В.К.Иванов

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2022г.

**ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПРОГРАММА  
ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ**

*Теоретические и практические основы газовой хемосенсорики*

**Категория слушателей:** заведующие (начальники) научно-исследовательских отделов (лабораторий) учреждений, научные сотрудники, инженеры, специалист химического производства, студенты.

**Уровень квалификации:** лица, имеющие среднее профессиональное или высшее образование; лица, получающие среднее профессиональное или высшее образование.

**Объем:** 20 акад. часов

**Форма обучения:** очная

Москва 2022 г.

Составители (разработчики):

Мокрушин А.С., к.х.н., н.с. ИОНХ РАН

Симоненко Е.П., д.х.н., гл.н.с. ИОНХ РАН

Терехова А.Н., зав.НОЦ – зав.аспирантурой ИОНХ РАН

## I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРАММЫ

### 1.1. Нормативные правовые основания разработки программы

Нормативную правовую основу разработки программы составляют:

- Федеральный закон от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»;

- приказ Минтруда России от 12 апреля 2013 г. № 148н «Об утверждении уровней квалификаций в целях разработки проектов профессиональных стандартов»;

- приказ Минобрнауки России от 1 июля 2013 г. № 499 «Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по дополнительным профессиональным программам».

Программа разработана с учетом профессионального(ых) стандарта(ов) (квалификационных требований):

- проект профессионального стандарта «Научный работник (научная (научно-исследовательская) деятельность)»;

- профессиональный стандарт 40.006 «Инженер-технолог в области производства наноразмерных полупроводниковых приборов и интегральных схем», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 03.02.2014 г. № 71н;

- профессиональный стандарт 40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 04.03.2014 г. № 121н;

- профессиональный стандарт 40.159 «Специалист по аддитивным технологиям», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 05.10.2020 г. № 697н;

- профессиональный стандарт 26.001 «Специалист по обеспечению комплексного контроля производства наноструктурированных композиционных материалов», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 07.09.2015 г. № 589н;

- профессиональный стандарт 26.012 «Технолог по наноструктурированным PVD-покрытиям», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 29.08.2017 г. № 647н.

- квалификационный справочник должностей руководителей, специалистов и других служащих, утвержденный постановлением Минтруда России от 21 августа 1998г. №37 (с изменениями и дополнениями).

**1.2. Срок освоения программы:** 20 акад. часов.

**1.3. Требования к слушателям:** лица, имеющие среднее профессиональное или высшее образование; лица, получающие среднее профессиональное или высшее образование.

**1.4. Формы освоения программы:** очная.

**1.5. Цель и планируемые результаты обучения**

Программа «Теоретические и практические основы газовой хемосенсорики» охватывает основные теоретические аспекты газовой хемосенсорики, а также содержит лабораторные занятия, посвященные практической части данного направления.

**Целью** образовательной программы дополнительного профессионального образования – программы повышения квалификации является создание компетенций, необходимых для профессиональной деятельности в рамках имеющейся квалификации сотрудников научных и производственных лабораторий, специалистов в области неорганической и аналитической химии, химии твердого тела, материаловедения, микроэлектроники, работающих с газоаналитическими устройствами, а также для понимания физико-химических процессов на поверхности хеморезистивных газочувствительных материалов, позволяющих получать аналитический сигнал, а также лиц, получающих среднее профессиональное образование и (или) высшее образование в данных отраслях науки по следующим должностям, но не ограничиваясь:

- заведующий (начальник) научно-исследовательским отделом (лабораторией) учреждения,
- научный сотрудник,
- инженер,
- главный инженер,
- инженер-технолог (технолог),
- инженер по охране окружающей среды (эколог),
- инженер-химик.

Курс разработан на основе оптимального соотношения теоретических и прикладных вопросов хеморезистивных газовых сенсоров для формирования общего представления функционирования данного типа химических газовых сенсоров.

В результате освоения программы повышения квалификации слушатель должен обладать следующими компетенциями:

- знать и уметь применять в профессиональной деятельности основы метода газовой хемосенсорики (ПК-1);
- способность правильно и полно отражать результаты профессиональной деятельности при проведении анализов, получении и интерпретации результатов и проверки правильности измерений (ПК-2).

## II. УЧЕБНЫЙ ПЛАН

№ п/п	Наименование разделов, модулей, тем	Трудоемкость					В том числе с использованием ДОТ	Промежуточная и итоговая аттестация	Планируемый результат (коды формируемых профессиональных компетенций (ПК))
		Всего, час	Учебные занятия, в том числе		СР, час				
			Теоретические занятия	Практические занятия					
1	2	3	4	5	6		7		
1.	<b>Модуль 1. Теоретические основы газовой хемосенсорики</b> <u>Тема 1.1.</u> История развития газовой сенсорики, типы газовых сенсоров и области их применения.	2	2	-	-	-	-	ПК-1 ПК-2	
2.	<u>Тема 1.2.</u> Хеморезистивные газовые сенсоры: теоретические основы, компоненты и конструкция	2	2	-	-	-	-	ПК-1 ПК-2	
3.	<u>Тема 1.3.</u> Рецепторные материалы для хеморезистивных газовых сенсоров.	2	2	-	-	-	-	ПК-1 ПК-2	
4.	<u>Тема 1.4.</u> Механизм детектирования хеморезистивных газовых сенсоров	2	2	-	-	-	-	ПК-1 ПК-2	
5.	<b>Модуль 2. Практические основы газовой хемосенсорики</b> <u>Тема 2.1.</u> Получение паст и нанесение толстых плёнок на подложку газового сенсора.	2	-	2	-	-	-	ПК-1 ПК-2	
6.	<u>Тема 2.2.</u> Нанесение тонких плёнок методом газофазного осаждения (CVD) на подложку газового сенсора.	4	-	4	-	-	-	ПК-1 ПК-2	

7.	Тема 2.3. Измерение газочувствительных свойств и анализ полученных результатов.	4	-	4	-	-	-	ПК-1 ПК-2
8.	Итоговая аттестация в форме теста	-	-	-	-	-	2	
	<b>ИТОГО:</b>	<b>20</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	ПК-1 ПК-2

### III. КАЛЕНДАРНЫЙ УЧЕБНЫЙ ГРАФИК

Табличная форма:

Наименование учебного модуля, темы	Объем нагрузки	Учебная неделя						
		1	2	3	4	5	6	7
		1 день	2 день	3 день	4 день	5 день	6 день	7 день
<b>Модуль 1. Теоретические основы газовой хемосенсорики (лекции)</b>	2							
<u>Тема 1.1.</u> История развития газовой сенсорики, типы газовых сенсоров и области их применения.								
<u>Тема 1.2.</u> Хеморезистивные газовые сенсоры: теоретические основы, компоненты и конструкция								
<u>Тема 1.3.</u> Рецепторные материалы для хеморезистивных газовых сенсоров.								
<u>Тема 1.4.</u> Механизм детектирования хеморезистивных газовых сенсоров.	2							
<b>Модуль 2. Практические основы газовой хемосенсорики (лабораторные работы)</b>	2							
<u>Тема 2.1.</u> Получение паст и нанесение толстых плёнок на подложку газового сенсора.								
<u>Тема 2.2.</u> Нанесение тонких плёнок методом газофазного осаждения (CVD) на подложку газового сенсора.		4						
<u>Тема 2.3.</u> Измерение газочувствительных свойств и анализ полученных результатов.	4							
Итоговая аттестация	2							

***Описательная форма:***

Продолжительность обучения: 4 дня.

Учебные дни: в соответствии с утвержденным графиком обучения.

Продолжительность занятий в день: 1-й день – 4 ак.ч.

2-й день – 4 ак.ч.

3-й день – 6 ак.ч.

4-й день – 4 ак.ч.

Итоговая аттестация:

4-й день – 2 ак.ч.

## IV. СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

Наименование разделов и тем	Содержание учебного материала и формы организации деятельности обучающихся		Объем часов
1	2		3
<b>Модуль 1. Теоретические основы газовой хемосенсорики</b> Тема 1.1. История развития газовой сенсорики, типы газовых сенсоров и области их применения. Тема 1.2. Хеморезистивные газовые сенсоры: теоретические основы, компоненты и конструкция	<i>Историческая справка о развитии газовых хемосенсоров. Основные типы газовых хемосенсоров, принцип их работы и области применения. Классификация газов по их практическому значению, ПДК, пределы взрываемости и другие нормативы. Дизайн и устройство хеморезистивных газовых сенсоров. Материалы подложек и электродов, основные требования.</i>	<b>Уровень освоения<sup>1</sup></b>	<b>4</b>
	Историческая справка о развитии газовых хемосенсоров. Основные типы газовых хемосенсоров, принцип их работы и области применения. Классификация газов по их практическому значению, ПДК, пределы взрываемости и другие нормативы. Дизайн и устройство хеморезистивных газовых сенсоров. Материалы подложек и электродов, основные требования.	<i>1</i>	
Тема 1.3. Рецепторные материалы для хеморезистивных газовых сенсоров. Тема 1.4. Механизм детектирования хеморезистивных газовых сенсоров.	<i>Статический анализ по используемым рецепторным материалам для хеморезистивных газовых сенсоров. Виды рецепторных материалов, их достоинства и недостатки. Теоретические основы механизмов детектирования различных газов хеморезистивными газовыми сенсорами. Влияние кислотных и основных центров, дисперсности, формы частиц на газочувствительные свойства.</i>	<b>Уровень освоения</b>	<b>4</b>
	Статический анализ по используемым рецепторным материалам для хеморезистивных газовых сенсоров. Виды рецепторных материалов, их достоинства и недостатки. Теоретические основы механизмов детектирования различных газов хеморезистивными газовыми сенсорами. Влияние кислотных и основных центров, дисперсности, формы частиц на газочувствительные свойства.	<i>1</i>	
<b>Модуль 2. Практические основы газовой хемосенсорики</b> Тема 2.1. Получение паст	<i>Получение паст на основе высокодисперсных порошков металлоксидных рецепторных материалов. Нанесение толстой плёнки методом трафаретной печати. Синтез тонкой наноструктурированной металлоксидной плёнки на</i>	<b>Уровень освоения</b>	<b>6</b>

и нанесение толстых плёнок на подложку газового сенсора. <u>Тема 2.2.</u> Нанесение тонких плёнок методом газофазного осаждения (CVD) на подложку газового сенсора.	<i>датчике методом аэрозольного газофазного осаждения (AACVD).</i>		
	Получение паст на основе высокодисперсных порошков металлоксидных рецепторных материалов. Нанесение толстой плёнки методом трафаретной печати.	1 2 3	
	Синтез тонкой наноструктурированной металлоксидной плёнки на датчике методом аэрозольного газофазного осаждения (AACVD).		
	<b>Практические занятия, стажировка</b>		<b>6</b>
<u>Тема 2.3.</u> Измерение газочувствительных свойств и анализ полученных результатов.	<i>Знакомство с установкой по измерению газочувствительных свойств хеморезистивных газовых сенсоров. Измерение газочувствительных свойств металлоксидного рецепторного материала. Анализ полученных данных.</i>	<b>Уровень освоения</b>	<b>4</b>
	Знакомство с установкой по измерению газочувствительных свойств хеморезистивных газовых сенсоров. Измерение газочувствительных свойств металлоксидного рецепторного материала. Анализ полученных данных.	1 2 3	
	<b>Практические занятия, стажировка</b>		<b>4</b>
	<b>Итоговая аттестация</b>	<b>Уровень освоения</b>	<b>2</b>
	Контроль знаний слушателей	<b>3</b>	<b>2</b>
<b>Всего:</b>			<b>20</b>

Для характеристики уровня освоения учебного материала используются следующие обозначения:

1. – ознакомительный (узнавание ранее изученных объектов, свойств);
2. – репродуктивный (выполнение деятельности по образцу, инструкции или под руководством)
3. – продуктивный (планирование и самостоятельное выполнение деятельности, решение проблемных задач)

## V. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ

### 5.1. Формы аттестации

Итоговая аттестация заключается в проверке теоретических знаний слушателей, полученных на курсе в форме зачета в виде итогового тестирования, зачет проводит ведущий преподаватель курса.

Слушатель допускается к итоговой аттестации после изучения материала, предъявляемого ему в соответствии с планом дополнительной профессиональной программы повышения квалификации.

Критерием успешной сдачи итоговой аттестации являются успешная сдача зачета.

Слушатели, освоившие учебную программу и прошедшие итоговую аттестацию, получают удостоверение установленного ИОНХ РАН образца о повышении квалификации.

Слушателям, показавшим неудовлетворительные знания данной учебной программы, выдается справка о прослушанной учебной дисциплине.

### 5.2. Оценочные средства

#### Критерии оценки:

«Зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> <li>- демонстрирует знания, умения в области газовой хемосенсорики;</li> <li>- использует информационные технологии для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов;</li> <li>- понимает механизмы при детектировании газов газоаналитическими устройствами;</li> <li>- показывает знания при создании газоаналитических устройств;</li> <li>- представляет ответы на контрольные вопросы.</li> </ul>
«Не зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> <li>- демонстрирует фрагментарные знания в области газовой хемосенсорики;</li> <li>- не использует современную аппаратуру для научных исследований;</li> <li>- не умеет собирать, обрабатывать и систематизировать информацию по проблеме исследования;</li> <li>- не владеет навыками анализа собственной научной деятельности.</li> </ul>

*Пример тестового задания по итоговой аттестации:*

1. Какое требование не является обязательным для газа носителя?

- а) инертность к анализируемым веществам;
- б) высокая чистота;
- в) огнестойкость.

2. Какое преимущество дает программирование температуры в газовой хроматографии?

- а) ускоряет анализ;
- б) повышает точность;
- в) повышается возможность разделения сложной смеси веществ;
- г) нет преимуществ.

3. В качестве подвижной фазы в газовой хроматографии может быть использован:

- а) водород;
- б) угарный газ;
- в) кислород;
- г) оксид азота.

## VI. ОРГАНИЗАЦИОННО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ

### 6.1. Требования к кадровым условиям

Реализация программы обеспечивается руководящими, научными и научно-педагогическими работниками ИОНХ РАН, имеющими ученую степень и публикации в ведущих отечественных и/или

зарубежных рецензируемых научных журналах и изданиях, осуществляющими самостоятельную научно-исследовательскую деятельность.

## 6.2. Требования к материально-техническим условиям

ИОНХ РАН располагает необходимой материально-технической базой. Аудитории для проведения занятий оснащены компьютерами и проекторами для показа мультимедийных презентаций.

Компьютеры, объединенные в локальную сеть с выходом в Интернет и подключенные к международным и российских научным базам данных, имеют доступ к электронной библиотеке с основными международными научными журналами.

<b>Информация о материально-технической базе, используемой при осуществлении образовательной деятельности по программе</b>	
<b>№ аудитории/форма проведения занятия</b>	<b>Наименование оснащенного помещения, с перечнем основного оборудования (с указанием количества)</b>
Ауд. 809 для проведения практических занятий	<p>Специализированная прецизионная установка по измерению хеморезистивных газочувствительных свойств материалов, состоящая из:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- контроллеров расхода газа Bronkhorst с разной пропускной способностью – 5 шт.</li> <li>- тепловизор Testo 868 – 1 шт.</li> <li>- мультиметр Fluke 8846A – 1 шт.</li> <li>- источник питания – 2 шт.</li> <li>- оптическая система УФ облучения ThorLabs – 1 шт.</li> <li>- проточный гигрометр «Эксис» - 1 шт.</li> <li>- система барботирования – 1 шт.</li> <li>- газы и поверочные газовые смеси в баллонах с редукторами (воздух, азот, H<sub>2</sub>, CO, NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub>, бензол, ацетон и этанол) – 11 шт.</li> </ul> <p>Компьютер в комплекте:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- системный блок - 2 шт.</li> <li>- монитор - 2шт.</li> <li>- клавиатура - 2шт.</li> <li>- мышь - 2шт.</li> <li>- стол - 2 шт.</li> </ul>
Ауд. 517. для проведения практических занятий	<p>Набор химической посуды, вытяжные шкафы, столы лабораторные.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- установка по напылению плёнок методом AACVD в сборе (ультразвуковой (УЗ) генератор («Альбеда ИН-7»), печь с проточной камерой, система улавливания аэрозоля, азот в баллоне, регулятор расхода газа, система фитингов) – 1 шт.</li> </ul>
Ауд. 87а для проведения лекционных занятий	<p>Стол, стулья, доска настенная, посадочные места на 18 человек, проекционное оборудование, экран. Доступ в интернет и обеспечение доступа в ЭИОС института.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Переносной ноутбук – 2 шт.</li> <li>Указка лазерная – 1шт.</li> <li>Микрофон – 1 шт.</li> </ul>
Читальный зал для самостоятельной работы	<p>Учебное помещение для самостоятельной работы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Стол 18 шт., стулья 18 шт.</li> <li>Справочная и методическая литература (доступна в библиотеке БЕН РАН).</li> <li>Компьютерный класс на 1 место с доступом к основным мировым базы</li> </ul>

	данных.
Комната 209б. Хранение и профилактическое обслуживание учетного оборудования	Компьютер в комплекте: системный блок interCorei3 - 1шт. Монитор черный Beng. Клавиатура – 2шт. Мышь – 2шт. Компьютер в комплекте: Системный блок inter Core i5/8GbDDR4/ASUS Монитор BengGW 2270 черный МФУ – 1шт. МФУ imageRUNNERC3051, цветной Проектор SonyVPL –DW 122. Экран на штативе ClassicScutum 160*160 Экран мобильный 180*180 в комплекте DSK -1102.

### 6.3. Требованиям к информационным и учебно-методическим условиям

Электронный конспект лекций по всем разделам курса.

Демонстрационные презентации.

Вопросы для самоконтроля по всем разделам курса.

#### Перечень используемых учебных изданий, Интернет-ресурсов, дополнительной литературы

##### Основная литература:

- [1] S. Dhall, B.R. Mehta, A.K. Tyagi, K. Sood, A review on environmental gas sensors: Materials and technologies, *Sensors International*. 2 (2021) 100116. <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2021.100116>.
- [2] A. Chizhov, M. Romyantseva, A. Gaskov, Light activation of nanocrystalline metal oxides for gas sensing: Principles, achievements, challenges, *Nanomaterials*. 11 (2021). <https://doi.org/10.3390/nano11040892>.
- [3] H. Ji, W. Zeng, Y. Li, Gas sensing mechanisms of metal oxide semiconductors: A focus review, *Nanoscale*. 11 (2019) 22664–22684. <https://doi.org/10.1039/c9nr07699a>.
- [4] А.М.Г. А.В. Марикуца, Н.А. Воробьева, М.Н. Румянцева, Активные центры на поверхности нанокристаллических полупроводниковых оксидов ZnO, SnO<sub>2</sub> и газовая чувствительность, *Известия Академии Наук. Серия Химическая*. 10 (2017) 1728–1763.
- [5] H.J. Kim, J.H. Lee, K. Hyo-Joong, L. Jong-Heun, Highly sensitive and selective gas sensors using p-type oxide semiconductors: Overview, *Sensors and Actuators, B: Chemical*. 192 (2014) 607–627. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2013.11.005>.
- [6] M.A. Carpenter, S. Mathur, A. Kolmakov, *Metal Oxide Nanomaterials for Chemical Sensors*, Springer, NY, 2013. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5395-6>.
- [7] NOISH, Documentation for Immediately Dangerous to Life or Health Concentrations (IDLHs)-7783064. National Institute Occupational Safety Health, (<http://www.cdc.gov/niosh/idlh/7783064.html>), 1996. <http://www.cdc.gov/niosh/idlh/7783064.html>.
- [8] A. Bag, N.E. Lee, Recent Advancements in Development of Wearable Gas Sensors, *Advanced Materials Technologies*. 6 (2021) 1–37. <https://doi.org/10.1002/admt.202000883>.
- [9] A. Marikutsa, M. Romyantseva, E.A. Konstantinova, A. Gaskov, The key role of active sites in the development of selective metal oxide sensor materials, *Sensors*. 21 (2021). <https://doi.org/10.3390/s21072554>.
- [10] S. Thomas, N. Joshi, V.K. Tomer, *Functional Nanomaterials: Advances in Gas Sensing Technologies*, 2020. <https://0-link-springer-com.pugwash.lib.warwick.ac.uk/book/10.1007%2F978-981-15-4810-9>.

- [11] J. Dai, O. Ogbeide, N. Macadam, Q. Sun, W. Yu, Y. Li, B.L. Su, T. Hasan, X. Huang, W. Huang, Printed gas sensors, *Chemical Society Reviews*. 49 (2020) 1756–1789. <https://doi.org/10.1039/c9cs00459a>.
- [12] S.Y. Jeong, J.S. Kim, J.H. Lee, Rational Design of Semiconductor-Based Chemiresistors and their Libraries for Next-Generation Artificial Olfaction, *Advanced Materials*. 2002075 (2020) 1–47. <https://doi.org/10.1002/adma.202002075>.
- [13] Y. Wang, X. ning Meng, J. liang Cao, Rapid detection of low concentration CO using Pt-loaded ZnO nanosheets, *Journal of Hazardous Materials*. 381 (2020) 120944. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.120944>.
- [14] Y. Deng, *Semiconducting Metal Oxides for Gas Sensing*, Elsevier, 2019. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-5853-1>.
- [15] D. Degler, U. Weimar, N. Barsan, Current Understanding of the Fundamental Mechanisms of Doped and Loaded Semiconducting Metal-Oxide-Based Gas Sensing Materials, *ACS Sensors*. 4 (2019) 2228–2249. <https://doi.org/10.1021/acssensors.9b00975>.
- [16] A.S. Mokrushin, I.A. Nagornov, T.L. Simonenko, N.P. Simonenko, P. Yu. Gorobtsov, I.A. Arkhipushkin, E.P. Simonenko, V.G. Sevastyanov, N.T. Kuznetsov, Gas-sensitive nanostructured ZnO films praseodymium and europium doped: electrical conductivity, selectivity, influence of UV irradiation and humidity, *Applied Surface Science*. 589 (2022) 152974. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2022.152974>.
- [17] N.P. Simonenko, N.A. Fisenko, F.S. Fedorov, T.L. Simonenko, A.S. Mokrushin, E.P. Simonenko, G. Korotcenkov, V. V Sysoev, V.G. Sevastyanov, N.T. Kuznetsov, Printing Technologies as an Emerging Approach in Gas Sensors: Survey of Literature, *Sensors (Switzerland)*. 22 (2022) 1–33. <https://doi.org/10.3390/s22093473>.
- [18] A.S. Mokrushin, T.L. Simonenko, N.P. Simonenko, P. Yu, N.C. Kadyrov, E.P. Simonenko, V.G. Sevastyanov, N.T. Kuznetsov, Chemoresistive gas-sensing properties of highly dispersed Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> obtained by programmable precipitation, *Journal of Alloys and Compounds*. 868 (2021) 159090. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.159090>.
- [19] A.S. Mokrushin, I.A. Nagornov, T.L. Simonenko, N.P. Simonenko, P. Yu, T. V Khamova, G.P. Kopitsa, A.N. Evzrezov, E.P. Simonenko, V.G. Sevastyanov, N.T. Kuznetsov, Chemoresistive gas-sensitive ZnO/Pt nanocomposites films applied by microplotter printing with increased sensitivity to benzene and hydrogen, *Materials Science & Engineering B*. 271 (2021) 115233. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2021.115233>.
- [20] F.S. Fedorov, N.P. Simonenko, V. Trouillet, I.A. Volkov, I.A. Plugin, D.P. Rupasov, A.S. Mokrushin, I.A. Nagornov, T.L. Simonenko, I.S. Vlasov, E.P. Simonenko, V.G. Sevastyanov, N.T. Kuznetsov, A.S. Varezchnikov, M. Sommer, I. Kiselev, A.G. Nasibulin, V. V Sysoev, Microplotter-Printed On-Chip Combinatorial Library of Ink-Derived Multiple Metal Oxides as an “ Electronic Olfaction ” Unit, *ACS Applied Materials & Interfaces*. 12 (2020) 56135–56150. <https://doi.org/10.1021/acsaami.0c14055>.

*Электронные ресурсы:*

1. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://elibrary.ru>.