

## ЗАКЛЮЧЕНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

**ЮФУ801.02.05,**

созданного на базе Института нанотехнологий, электроники и приборостроения Южного федерального университета, по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

*аттестационное дело № \_\_\_\_\_,  
решение диссертационного  
совета от 04 сентября 2025 № 3*

О присуждении Игнатъевой Ирине Олеговне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Получение и исследование пленок оксида цинка, модифицированного оксидами меди, кобальта, никеля или алюминия» по специальности 2.2.3 – «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники» принята к защите 30 июня 2025 г. (протокол заседания № 2) диссертационным советом ЮФУ801.02.05, созданным на базе Института нанотехнологий, электроники и приборостроения Южного федерального университета приказом №235-ОД от 27 сентября 2022 г.

Соискатель Игнатъева Ирина Олеговна, 1998 года рождения.

В 2021 году Игнатъева И.О. окончила федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет» по специальности 04.05.01 «Фундаментальная и прикладная химия».

В 2021 г. поступила в аспирантуру химического факультета Южного федерального университета (ЮФУ) по направлению 04.06.01 Химические науки (Неорганическая химия) (приказ о зачислении в аспирантуру от 15 сентября 2021 г. № 13285-К).

Диссертация выполнена на кафедре общей и неорганической химии

химического факультета Южного федерального университета.

Научный руководитель – профессор кафедры общей и неорганической химии химического факультета Южного федерального университета, доктор технических наук, доцент Баян Екатерина Михайловна.

Официальные оппоненты:

**Спивак Юлия Михайловна**, доктор технических наук, доцент кафедры микро- и нанoeлектроники, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), специальность 05.27.06 – Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники,

**Конькова Татьяна Владимировна**, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология неорганических веществ и электрохимических процессов», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», специальность 05.17.01 – Технология неорганических веществ,

дали **положительные отзывы** на диссертацию.

Соискатель имеет 16 опубликованных работ по теме диссертации, пять из них в научных изданиях, входящих в базы данных международных индексов научного цитирования Scopus и/или Web of Science; получен один объект ноу-хау (Приказ №590 от 27.03.2025 "О введении режима коммерческой тайны для объекта ноу-хау").

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, виде, авторском вкладе и объеме научных изданий.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Optical properties of the CuO-ZnO thin films / I. O. Ignatieva, A. P. Starnikova, V. V. Petrov, E. M. Bayan // St. Petersburg State Polytechnical

University Journal. Physics and Mathematics. – 2024. – Vol. 17, No. S3.1. – P. 293-296. – DOI 10.18721/JPM.173.159.

2. Polycrystalline Transparent Al-Doped ZnO Thin Films for Photosensitivity and Optoelectronic Applications / V. V. Petrov, I. O. Ignateva, M. G. Volkova [et al.] // Nanomaterials. – 2023. – Vol. 13, No. 16. – P. 2348. – DOI 10.3390/nano13162348. 21

3. Nanocomposite  $\text{Co}_3\text{O}_4$ -ZnO Thin Films for Photoconductivity Sensors / V. V. Petrov, V. V. Sysoev, I. O. Ignatieva [et al.] // Sensors. – 2023. – Vol. 23, No. 12. – P. 5617. – DOI 10.3390/s23125617.

На диссертацию и автореферат поступило шесть отзывов, отзывы дали:

- Егорова М.А., к.т.н., доцент кафедры «Экология и промышленная безопасность», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова; отзыв содержит два замечания;

- Плугин И.А., к.т.н., ведущий научный сотрудник НИЛ сенсоров и микросистем, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», отзыв содержит одно замечание;

- Толстолуцкий С.И., к.т.н., доцент, начальник лаборатории Федерального государственного унитарного предприятия «Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт радиосвязи» Федерального научно-производственного центра, отзыв содержит два замечания;

- Шкирская С.А., д.х.н., профессор кафедры физической химии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный университет», отзыв содержит одно замечание;

- Флик Е.А., к.х.н., доцент кафедры «Химические технологии нефтегазового комплекса», Федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет», отзыв содержит одно замечание;

- Григорьев Михаил Николаевич, к.т.н., ведущий инженер-технолог АО «Таганрогский научно-исследовательский институт связи».

Все отзывы **положительные**, во всех отзывах отмечено, что работа соответствует специальности 2.2.3 – «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники».

Критические замечания:

1) В работе исследованы свойства газочувствительности модифицированных добавками пленок оксида цинка в отношении  $\text{NO}_2$ , но из текста диссертации остается не до конца ясным проводилась ли оценка влияния водяных паров или наличия других газов в тестовой пробе? Какие подложки для данных измерений были использованы? Сколько циклов измерений газочувствительности делалось для одного образца?

2) В работе отсутствует обоснование выбора модифицирующих добавок для легирования оксида цинка – соединений переходных металлов кобальта, никеля и меди. Почему не выбрали, например, марганец или железо, как наименее токсичный элемент?

3) Поскольку нанокристаллические пленки формируются из органических соединений, то возможно наличие остаточного углерода, что может влиять на проводимость материалов. Контролировалась каким-либо методом чистота получаемого продукта?

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что они являются ведущими специалистами в областях, рассматриваемых в диссертации.

- доктор технических наук Спивак Юлия Михайловна является специалистом в области разработки полупроводниковых материалов для электронной техники, и методик их исследования.

- доктор технических наук Конькова Татьяна Владимировна является специалистом в области создания наноразмерных материалов и изучения их

свойств.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработаны** технологические основы получения тонких пленок  $ZnO-M_xO_y$ , где  $M = Al, Co, Ni, Cu$ , с использованием окислительного пиролиза абиекатов металлов, что позволяет получать тонкие пленки толщиной 150–200 нм, обладающие высокой пропускающей способностью в диапазоне 400–1000 нм, фоточувствительными свойствами при воздействии излучения с длиной волны 400 нм и газочувствительными свойствами по отношению к  $NO_2$  на уровне единиц ppm;

**установлены** закономерности влияния концентрации модифицирующих добавок ( $M_xO_y$ , где  $M = Al, Co, Ni, Cu$ ), а также температуры термической обработки (600, 700, 800 °C) на фазовый состав, физико-химические и функциональные свойства пленок  $ZnO-M_xO_y$ ;

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**выявлено** влияние добавок ( $M_xO_y$ , где  $M = Al, Co, Ni, Cu$ ) на фазовый состав (твердый раствор или композит) пленочных материалов на основе  $ZnO$ , полученных окислительным пиролизом, а также на их оптические, электрофизические, фото- и газочувствительные свойства.

**Применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов)**

**установлено**, что введение модифицирующей добавки ( $M_xO_y$ , где  $M = Al, Co, Ni, Cu$ ) и режим термической обработки (600, 700 или 800 °C) оказывают влияние на размер нанокристаллитов, формирующих пленку, фазовый состав, оптические и электрофизические свойства;

**предложены** условия формирования пленочных материалов (1,4-диоксана в качестве растворителя промежуточного продукта синтеза и температуры термообработки – 600 °C);

**установлена** возможность создания сенсоров  $NO_2$  резистивного типа на

основе пленок  $99\text{ZnO}-1\text{Co}_3\text{O}_4$ ,  $95\text{ZnO}-5\text{NiO}$ ,  $99\text{ZnO}-1\text{CuO}$ , полученных разработанным способом синтеза, с пределом обнаружения диоксида азота до 0,77 ppm;

### **Значение полученных соискателем результатов исследования для практики**

**разработанные** технологические и физико-химические основы создания полупроводниковых тонких пленок  $\text{ZnO}-\text{M}_x\text{O}_y$ , где  $\text{M} = \text{Al}, \text{Co}, \text{Ni}, \text{Cu}$ , с использованием окислительного пиролиза, а также результаты исследований влияния модифицирующей добавки и температуры термической обработки на размер нанокристаллитов, формирующих пленку, фазовый состав, оптические и электрофизические свойства **внедрены** в производственную деятельность ООО «ГалОмедТех» (г. Ростов-на-Дону), учебный процесс и научно-исследовательскую деятельность кафедры общей и неорганической химии химического факультета ЮФУ и использованы в научно-исследовательской работе Института нанотехнологий, электроники и приборостроения ЮФУ при выполнении заданий Передовой инженерной школы Инженерия киберплатформ.

**определены** составы тонких пленок  $\text{ZnO}-\text{M}_x\text{O}_y$ , где  $\text{M} = \text{Al}, \text{Co}, \text{Ni}, \text{Cu}$ , обладающих наилучшими функциональными свойствами: пропускающей способностью ( $95\text{ZnO}-5\text{Al}$ , коэффициент пропускания – более 99 % в диапазоне 400–1000 нм), фоточувствительными свойствами ( $90\text{ZnO}-10\text{CuO}$  при воздействии излучения с длиной волны 400 нм), газочувствительностью ( $95\text{ZnO}-5\text{NiO}$  по отношению к  $\text{NO}_2$  с концентрациями 7,7 и 3,85 ppm и  $99\text{ZnO}-1\text{Co}_3\text{O}_4$  по отношению к  $\text{NO}_2$  с концентрацией 0,77 ppm), что позволяет определять содержание диоксида азота на уровне ПДК в воздухе рабочей зоны.

### **Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**теоретические результаты**, а именно закономерности влияния концентрации модифицирующих добавок, а также режима термической

обработки на фазовый состав и физико-химические и функциональные свойства пленок  $ZnO-M_xO_y$ , где  $M = Al, Co, Ni, Cu$ , в достаточной степени согласуются с результатами, представленными в научных публикациях по аналогичным материалам;

**использовано** сравнение физико-химических и функциональных свойств полученных материалов со свойствами аналогов, описанных в литературе, которое показало преимущество пленок  $ZnO-M_xO_y$ ;

**установлена** корреляция на качественном уровне результатов экспериментальных исследований с результатами исследований, представленными в независимых источниках по тематике работы;

**использованы** специализированное программное обеспечение, взаимодополняющие методы исследования, а также современное технологическое и аналитическое оборудование для создания и анализа полученных пленок оксида цинка, модифицированного оксидами меди, кобальта, никеля или алюминия.

**Личный вклад соискателя** состоит в разработке технологических основ создания тонких пленок  $ZnO-M_xO_y$ , где  $M = Al, Co, Ni, Cu$ ; получении пленок оксида цинка, модифицированного оксидами меди, кобальта, никеля или алюминия (до 10 мол.%) на различных твердых подложках и при различных условиях; исследовании физико-химических и функциональных свойств пленок, полученных при разных условиях; изучении влияния концентрации добавок на физико-химические, оптические и функциональные (газо- и фоточувствительные) свойства пленок.

На заседании 04 сентября 2025 г. диссертационный совет отметил, что рассматриваемая диссертация соответствует критериям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южный федеральный университет»», и принял решение **присудить** Игнатъевой Ирине Олеговне ученую степень кандидата технических наук по специальности

2.2.3 – «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники».

При проведении тайного голосования с использованием информационно-коммуникационных технологий диссертационный совет в количестве 10 человек, из них 5 докторов наук по специальности 2.2.3 – «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники», участвовавших в заседании очно, 1 человек, из них 1 доктор наук по специальности 2.2.3 – «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники», участвовавших в заседании дистанционно, проголосовали: за 10, против нет, недействительных бюллетеней нет.



Председатель диссертационного совета ЮФУ801.02.05 \_\_\_\_\_ Петров В.В.

Секретарь диссертационного совета ЮФУ801.02.05 \_\_\_\_\_ Вакулов З.Е.