

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.286.01,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Воронежский государственный технический  
университет»,

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации,  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 21.10.2025г. № 392

О присуждении Пермякову Дмитрию Сергеевичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка технологического процесса изготовления пленок ZnO:Al для планарных мемристорных матриц с фотодиодным селектором» принята к защите 17.06.2025 года, (протокол заседания № 390) диссертационным советом 24.2.286.01, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84, приказ о создании совета № 105/нк от 11.04.2012 г.

В период подготовки диссертации соискатель Пермяков Дмитрий Сергеевич обучался в аспирантуре Воронежского государственного технического университета и работал инженером научно-образовательной лаборатории «Функциональные материалы» кафедры «Твердотельная электроника» ВГТУ.

Соискатель Пермяков Дмитрий Сергеевич 27 мая 1996 года рождения, в 2020 году окончил учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет» с присуждением квалификации магистра по направлению подготовки 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника. В 2024 г. окончил очную аспирантуру Воронежского государственного технического университета по программе 05.27.01. Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нано-электроника, приборы на квантовых эффектах. В настоящее время, является инженером научно-образовательной лаборатории «Функциональные материалы».

Диссертация выполнена на кафедре твердотельной электроники федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Строгонов Андрей Владимирович, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет», профессор кафедры твердотельной электроники.

#### **Официальные оппоненты:**

1. Пронин Игорь Александрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой нано- и микроэлектроники федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пензенского государственного университета»;

2. Рябцев Станислав Викторович, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник кафедры общей физики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»,

дали **положительные отзывы** на диссертацию.

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)» ФГБОУ ВО СКГМИ, г. Владикавказ, в своем **положительном** отзыве, подписанном профессором кафедры электронных приборов, доктором технических наук, доцентом, Гончаровым Игорем Николаевичем и утвержденном первым проректором – проректором по научной работе, инновационной деятельности и стратегическому развитию ФГБОУ ВО «СКГМИ (ГТУ)», доктором экономических наук, профессором Галачиевой Светланой Владимировной, указала, что диссертация Пермякова Дмитрия Сергеевича выполнена на актуальную тему, полученные в работе результаты представляются достоверными, а выводы и основные положения, выносимые на защиту - хорошо обоснованными. Отмечено, что результаты диссертации имеют высокую научную и практическую значимость, связанную с уточнением механизмов легирования алюминием оксида цинка, установлением особенностей роста плёнки при синтезе спрей-пиролизом, и апробацией синтезированных плёнок в фотоселекторах мемристорных структур. В заключении указано, что диссертация представляет собой законченную научно-



исследовательскую работу, которая по актуальности поставленных задач, научной новизне и практической значимости, а также по количеству работ, опубликованных в открытой печати, соответствует квалификационным требованиям п. 9 "Положения о присуждении учёных степеней", утверждённого постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. (со всеми последующими изменениями), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств, а её автор, Пермяков Дмитрий Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Соискатель имеет 10 опубликованных научных работ, в том числе 3 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ и 4 – в изданиях, которые входят в международные реферативные базы данных и системы цитирования Scopus и Web of Science. Получено 3 патента на полезные модели. В работах, опубликованных в соавторстве, лично соискателю принадлежат: [1 - 7] – подготовка образцов, проведение экспериментов, получение и анализ экспериментальных данных, обсуждение полученных результатов и подготовка к печати; [8 - 10] – предложены конструктивные решения, разработаны модели, проведен патентный поиск.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. **Пермяков Д.С.** Исследование мемристорных структур на основе оксидов меди и олова / Д.С. Пермяков, А.В. Строгонов // НТБ Электроника. – 2024. – Т. 228. - № 7. – С. 184-190.

2. **Пермяков Д.С.** Реверсивный рост пиролитических пленок ZnO / Д.С. Пермяков, А.В. Строгонов, В.А. Небольсин, М.А. Белых // НТБ Электроника. – 2024. – Т. 239. - № 8.

3. Polkovnikov V.E. Effect of isothermal annealing on the parameters of CuO films synthesized via spray pyrolysis and sol-gel technology / Polkovnikov V.E., **Permyakov D.S.**, Rembesa S.I., Menshikova T.G. // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 2020. Т. 84. № 9. С. 1089-1092

4. **Permyakov D.S.**, Sensitivity of moisture-sensitive structures with UV recovery, based on ZnO prepared via sol-gel synthesis // Permyakov D.S., Belykh M.A., Strogonov A.V./ Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 2023. Т. 87. № 9. С. 1372-1376.

5. Патент на полезную модель № 222538 Российская Федерация, МПК H01L 63/00 (2023.01). Планарная мемристорная матрица с фотодиодным

селектором: № 2023125163: заявлен 29.09.2023: опубликован 09.01.2024 /  
**Пермяков Д.С., Строгонов А.В.; ВГТУ**

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

На диссертацию и автореферат поступило **4 отзыва**, все положительные:

1. Игнатенко Николай Михайлович, д.ф.-м.н., доцент, профессор кафедры нанотехнологий, микроэлектроники, общей и прикладной физики ФГБОУ ВО «Юго-западный государственный университет» со следующим замечанием:

- Приведенные рис. 5, рис. 6, рис. 7 выиграли бы, в плане восприятия информации, при увеличении их масштабов.

2. Мотылёв Максим Сергеевич, к.т.н., директор ООО «Трайт» со следующими замечаниями:

- Формулировки, например, «принципиальная применимость разработанного метода», выглядят излишне категоричными. В данном случае целесообразнее говорить о том, что автор показал возможность применения метода синтеза ZnO:Al для получения плёнок с фотоэлектрическими, газочувствительными и мемристорными свойствами, что более точно отражает характер проведённых исследований.

- Отдельные результаты, касающиеся факторов, улучшающих характеристики фотоселектора, следовало бы подкрепить цифровыми значениями и количественными оценками, что сделало бы выводы более убедительными и наглядными.

3. Панюшкин Николай Николаевич, д.т.н., доцент, профессор кафедры общей и прикладной физики, Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова со следующими замечаниями:

- Из автореферата не понятно назначение экспоненциальной модели роста пленки  $h(t)$  т.к. из рис. 5 видно, что наиболее точное совпадение зависимости  $h(t)$  с экспериментом в диапазоне до  $h < (1.1-1.2)$  мкм имеет место для параболической модели. Из рис. 10 следует, что общая толщина плёнки  $h=1,2$  мкм. Таким образом, использование экспоненциальной модели  $h(t)$ , с точки зрения точности моделирования, не имеет смысла.

- Отсутствует статистическая обработка экспериментальных результатов: на рис. 5 и рис. 6 не указаны доверительные интервалы и доверительные вероятности. В связи с этим теряется возможность оценки совпадения теоретических и экспериментальных результатов.



- В таблице №1 «Свойства синтезированных структур» не отражена взаимосвязь свойств плёнок с технологическими параметрами ( $h$ ,  $V_0$ ,  $V_P$ ,  $k$ ). В связи с этим возникает вопрос о критериальности выбранных аппроксимационных параметров и целесообразности разработанных моделей зависимости толщины плёнки ZnO:Al от времени.

- В формуле (3) (страница 10) константа  $k$  имеет размерность  $1/c$ , а в формуле (5) (страница 11) её размерность  $мкм^2/c$ , экспериментальное же значение приведено как для безразмерной величины – 0,012.

- На странице 11 (11 строка снизу) ошибочно даётся ссылка на экспериментальные результаты для параболической модели, приведённые на рис. 3, никакого упоминания о параболической модели на этом рисунке нет.

- На рис. 9 (левый нижний угол) непонятна значимость результатов операции «Контроль свойств и параметров плёнки», т.к. следующая операция «Нанесение методом спрей-анализа» безальтернативна.

4. Зюзин Сергей Сергеевич, к.ф.-м.н., научный сотрудник АО НИИМЭ со следующими замечаниями:

- Представляется важным дополнить работу экспериментальными данными по старению и деградации образцов, что позволило бы точнее прогнозировать поведение структуры при длительном функционировании. Также упоминается исследование газочувствительных свойств полученных плёнок ZnO:Al, однако данная тема практически не освещена.

- Определённого внимания заслуживает вопрос масштабируемости предложенных решений. Приведён разработанный лабораторный регламент и создан аппаратный комплекс для автоматизации процесса осаждения, однако остаётся открытым вопрос о том, насколько описанная технология применима для промышленного производства. В работе было бы целесообразно провести более комплексный сравнительный анализ отечественных и зарубежных исследований в данной области.

**На замечания соискателем даны исчерпывающие ответы и пояснения.**

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью в соответствующей отрасли наук, наличием публикаций в соответствующей сфере исследования, а также способностью оценить научную и практическую значимость приведенных в диссертации результатов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании исследований, проведенных соискателем:

**показано**, что в спрей-пиролизном процессе реализуется реверсивный режим роста пленки ZnO, представляющий собой чередование процессов разложения аэрозоля прекурсоров с образованием оксида и его растворения под действием  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ;

**выполнен** расчёт (подтвержденный экспериментально) оптимальных параметров напыления плёнки ZnO:Al методом спрей-пиролиза (давление распылительной системы 0,3 МПа, расстояние от сопла до подложки 350 мм).

**установлен** эффект уменьшения (более чем в пять раз) электрического сопротивления пленок ZnO легированных Al (максимальное снижение сопротивления наблюдается при концентрации алюминия 1 а.%);

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

**подтверждён** механизм преимущественного замещения двухвалентных ионов  $\text{Zn}^{2+}$  трехвалентными ионами  $\text{Al}^{3+}$  ( $\text{Al}^{3+} \rightarrow \text{Zn}^{2+}$ ) в решетке оксида цинка (в плёнках ZnO:Al, синтезированных золь-гель методом);

**предложены** конструктивно-технологические решения для изготовления структуры мемристора с фотодиодным селектором на основе высокопроводящих и оптически прозрачных пленок ZnO:Al;

**показано**, что легирование плёнок ZnO алюминием в диапазоне концентраций от 0 до 1,5 ат. % практически не влияет на их прозрачность в спектральном диапазоне длин волн 300 - 1100 нм.

**выявлено**, что Al создаёт донорный уровень в энергетическом спектре ZnO с энергией активации 0,142 эВ, определяет электронную проводимость пленок ZnO:Al в интервале температур от 298 до 500 К.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

**предложена** конструкция автоматизированной установки спрей-пиролиза, имеющей высокую скорость перемещения распылительной головки (2 м/с);

**разработан и внедрен** многостадийный лабораторный технологический регламент процесса изготовления пленок ZnO:Al применительно к созданию мемристора с фотодиодным селектором;

**продемонстрировано** увеличение крутизны мемристорной ВАХ, полная компенсация токов утечки, улучшение доступа падающего излучения и расширение рабочего диапазона длин волн в мемристорной структуре с фотодиодным селектором на основе ZnO;

**разработана и защищена** патентом на полезную модель планарная мемристорная матрица с фотодиодным селектором на основе ZnO:Al.



Оценка достоверности результатов исследования выявила:

**результаты экспериментальных исследований** получены на современном сертифицированном и поверенном оборудовании с использованием стандартизированных методик проведения измерений, показана воспроизводимость результатов экспериментов при различных условиях;

**теория**, используемая для объяснения результатов экспериментов, описания механизмов легирования, роста и электропроводности плёнок ZnO:Al, адекватна для описания исследуемых в работе объектов;

**новизна** в установлении экстремальной зависимости электропроводности от концентрации легирующего элемента в пленках ZnO:Al, синтезированных методом спрей-пиролиза;

**идея** компенсации токов утечки мемристоров за счёт фотодиодного селектора на основе ZnO:Al является улучшением известного решения с диодными селекторами;

**использованы современные** методики измерений физических свойств плёнок и структур на их основе, а также методы математической и статистической обработки полученных экспериментальных данных;

**установлено** качественное совпадение авторских результатов с результатами других исследователей, представленными в современных научно-технических публикациях по данной тематике.

Диссертация соответствует шифру специальности 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств и отвечает критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств.

В ходе защиты диссертации профессором Нечаевым В.Н. было высказано следующее критическое замечание: «При эвристическом введении аппроксимационных моделей для описания механизмов роста не была проведена статистическая обработка экспериментальных результатов с целью нахождения оптимальных значений параметров и коэффициентов моделей».

Соискатель Пермяков Д.С. согласился с замечанием и заверил, что учтёт его в ходе дальнейшей работы.

На заседании 21.10.2025 г. диссертационный совет за решение научных задач, имеющих значение для улучшения электрических характеристик плёнок ZnO легированных алюминием, модернизацию и регламентирование методов их синтеза, а также апробацию плёнок этого материала в мемристорных структурах с фотодиодным селектором принял решение о присуждении Пермякову Дмитрию Сергеевичу учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 14, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Заместитель председателя  
диссертационного совета

Белоногов  
Евгений Константинович

Учёный секретарь  
диссертационного совета

Стогней  
Олег Владимирович

21.10.2025 г.