

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.111.01,
созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения
науки Института радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова
Российской академии наук, по диссертации на соискание ученой степени
кандидата наук.

аттестационное дело N _____
решение диссертационного совета от 12 декабря 2025 г., № 5

**О присуждении Матасову Антону Владимировичу, гражданину России,
ученой степени кандидата физико-математических наук.**

Диссертация на тему: «Эффект порогового по электрическому полю
переключения из высокоомного в низкоомное состояние в образцах $\text{CuCr}_{1-x}\text{Al}_x\text{O}_2$ со структурой делафоссита» принята к защите 10 октября 2025,
протокол № 12, диссертационным советом 24.1.111.01, созданным на базе
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт
радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук
(ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН) (125009, Москва, ул. Моховая. д.11. корп.7)
(приказ Рособрназора о создании совета № 2397-1776 от 07.12.2007 г.; приказ
Минобрнауки РФ о продлении деятельности совета № 75/нк от 15.02.2013 г.)

Соискатель Матасов Антон Владимирович, 1993 года рождения, в 2017 г.
окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» с
присвоением квалификации Магистр по специальности 11.04.04 «Электроника и
наноэлектроника».

С сентября 2017 г. по сентябрь 2021 г. Матасов А.В. обучался в очной
аспирантуре Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Национальный исследовательский
университет «МЭИ» на кафедре физики и технологии материалов
электротехнических материалов и компонентов, специальность 13.06.01
Электро- и теплотехника. С 01.04.2025 г. по 02.07.2025 г. Матасов А.В. был
прикреплен к ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН для сдачи кандидатских
экзаменов без освоения программы аспирантуры по научной специальности
1.3.11 Физика полупроводников. Справка о сдаче кандидатских экзаменов
выдана 03.07.2025 г. Отделом аспирантуры, докторантуры и стажировки ИРЭ
им. В.А. Котельникова РАН.

В настоящее время Матасов А.В. работает в научно-исследовательском
институте материалов твердотельной электроники ФГБОУ ВО «МИРЭА –
Российский технологический университет» в должности стажера-исследователя.

Работа выполнена в научно-исследовательском институте материалов
твердотельной электроники ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский
технологический университет»

Научный руководитель: Буш Александр Андреевич, доктор технических
наук (специальность 05.27.06 «Технология и оборудование для производства
полупроводников, материалов и приборов электронной техники»), профессор,
директор научно-исследовательского института материалов твердотельной

электроники ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет».

Официальные оппоненты:

Таланов Михаил Валерьевич

доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник ФГАОУ ВО «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)».

Орлов Валерий Георгиевич

кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник ФГБУ "Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт"

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет", в своем положительном отзыве, подписанном Юсуповым Романом Валерьевичем, кандидатом физико-математических наук, доцентом, заведующим кафедрой квантовой электроники и радиоспектроскопии ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» и утвержденном Туриловой Екатериной Александровной, доктором физико-математических наук, проректором по образовательной деятельности ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», **указала**, что диссертация Матасова Антона Владимировича «Эффект порогового по электрическому полю переключения из высокоомного в низкоомное состояние в образцах $\text{CuCr}_{1-x}\text{Al}_x\text{O}_2$ со структурой делафоссита» является завершенным научным трудом и удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Матасов А.В., **достоин** присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11 – «Физика полупроводников».

В отзыве указаны следующие замечания:

1. Представляется некорректным использование автором терминов «фаза CuCrO_2 » или «ромбоэдрическая модификация фазы CuCrO_2 » вместо «соединения CuCrO_2 » или «политипа 3R соединения CuCrO_2 с ромбоэдрической симметрией».

2. Непонятна причина использования автором слова «электропроводимость», а не общепринятых «электропроводность» или «электрическая проводимость».

3. На странице 32 имеется ссылка на рисунок 1.12, где должны демонстрироваться полярные нанообласти на изображениях, полученных на сканирующем электронном микроскопе, однако содержание имеющегося рисунка 1.12 совершенно иное.

4. В обзоре литературы автор отмечает большой разброс значений ширины запрещенной зоны соединения CuCrO_2 , представленных в опубликованных работах. Каково мнение автора: может ли такой разброс быть обусловлен ложной интерпретацией проявлений дефектных состояний как зон?

5. В данных порошковой рентгеновской дифракции керамических образцов CuCrO_2 , представленных на рисунке 3.1 на странице 52, проявляются заметные

различия в соотношениях интенсивностей дифракционных максимумов (006), (102) и (014). Автор, с одной стороны, верно делает заключение об однофазности образцов. Однако, хотелось бы узнать его мнение о возможных причинах различий в интенсивностях рефлексов в дифрактограммах.

6. В третьей главе диссертации (рисунки 3.7 и 3.8) сообщается о наблюдении обратимых переключений между высоко- и низкоомными состояниями керамических образцов CuCrO_2 . При этом в качестве одного из параметров проводимых экспериментов указывается напряжение, приложенное к образцам. Представляется, что напряжение (разность потенциалов) не является хорошим параметром, который характеризует наблюдаемое явление, поскольку будет зависеть от геометрии образца и электродов. Правильным будет указывать напряженность электрического поля.

7. На рисунках 3.9, 4.7 и 5.6 диссертации представлены вольт-амперные характеристики, которые автор классифицирует как S-образные. При этом ни на одном рисунке не наблюдается выход на второй «резистивный» участок с положительным наклоном. Вероятно, наблюдаемые зависимости правильнее было бы характеризовать как содержащие участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением.

8. В обсуждении результатов обработки данных рентгеноструктурного анализа синтезированных автором монокристаллов CuCrO_2 (страница 92) утверждается, что были определены/уточнены заселенности позиций Cu, Cr и O. При этом в таблице 5.1 при этом величины населенностей для всех позиций равны 1 и не указаны погрешности их определения. Можно ли такой результат относить к уточнению параметров кристаллической структуры соединения CuCrO_2 ?

Основные результаты диссертационной работы изложены в 7 работах, в том числе 3 – в журналах, индексируемых в наукометрических базах данных Web of Science и Scopus и входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК, и 4 публикаций в трудах международных и российских конференций. Публикации по материалам диссертации полностью отражают ее содержание.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Bush A., Matasov A., Andrianov V., Kozlov V. Detecting the effect of electric field threshold switching from high resistivity to low resistivity state in ceramic samples of the 3R- CuCrO_2 phase // *Physica B: Condensed Matter*. – 2023. – Vol. 668. – P. 415248.

2. Matasov A., Bush A., Kozlov V., Glaz O. The effect of electric field threshold switching from high resistivity to low resistivity state in ceramic samples of $\text{CuCr}_{1-x}\text{Al}_x\text{O}_2$ delafossite solid solutions // *European Physical Journal B*. – 2024. – Vol. 97. – P. 99.

3. Matasov A., Bush A., Kozlov V., et al. 3R- CuCrO_2 delafossite: crystal growth, crystal structure, dielectric and DC conductivity properties // *Discover Materials*. – 2024. – Vol. 4. – P. 73.

Результаты диссертации опубликованы в следующих трудах международных и всероссийских конференций:

4. Козлов В.И., Матасов А.В., Буш А.А., Тищенко Э.А. Синтез и электрические свойства керамики CuCrO_2 // Российская научно-техническая конференция с международным участием. Сборник докладов конференции «Инновационные технологии в электронике и приборостроении» Физико-технологического института РТУ МИРЭА, Том 1. – М.: РТУ МИРЭА, 2021. – 574 с.

5. Матасов А.В., Буш А.А., Козлов В.И., Андрианов В.А. Синтез, термогравиметрические, диэлектрические, электрические и мессбауэровские исследования фазы CuCrO_2 со структурой делафоссита // VIII Международная конференция «Лазерные, плазменные исследования и технологии» (ЛаПлаз-2022), посвященная 100-летию со дня рождения лауреата Нобелевской премии по физике Басова Николая Геннадиевича: Сборник научных трудов. – М.: НИЯУ МИФИ, 2022. – 453 с.

6. Матасов А.В., Буш А.А., Козлов В.И. Получение и изучение керамических образцов твердых растворов $\text{CuCr}_{1-x}\text{Al}_x\text{O}_2$ // Перспективные материалы и технологии (ПМТ- 20 2023): Сборник докладов Национальной научно-технической конференции с международным участием Института перспективных технологий и индустриального программирования РТУ МИРЭА, Москва, 10–15 апреля 2023 года / Под ред. А.Н. Юрасова. Том 1. – М.: МИРЭА - Российский технологический университет, 2023. – С. 201–208.

7. Матасов А.В., Буш А.А., Козлов В.И. Электропроводимость и диэлектрические свойства монокристаллических образцов фазы 3R-CuCrO_2 // Оптические технологии, материалы и системы (Оптотех-2023): Сборник докладов Международной научно-технической конференции, Москва, 11–15 декабря 2023 года. – М.: МИРЭА - Российский технологический университет, 2023. – С. 239–244.

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

На автореферат диссертации поступили отзывы:

- Из ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» от кандидата технических наук, директора научно-исследовательского центра «Конструкционные керамические наноматериалы» Московских Дмитрия Олеговича. Отзыв положительный. (Замечание: На рисунке 8, где представлена рентгеновская дифрактограмма не подписана ось абсцисс).
- Из ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» от доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника Командина Геннадия Анатольевича. Отзыв положительный. (Замечания: 1. Прежде всего есть пожелание внимательнее следить за терминологией. Автор использует выражение «Фаза со структурой делафоссита». Скорее всего автор имеет ввиду, что соединение CuCrO_2 имеет структуру делафоссита в ромбоэдрической симметрии $R\bar{3}$. В контексте этой работы использование термина фаза было бы корректным при сравнении с другими типами симметрии данного соединения. 2. Поскольку в автореферате обсуждаются

температурные зависимости электрофизических параметров, было бы более наглядным показать данные на рисунке 3 (Мессбауэровский спектр $\text{Cu}(\text{Cr}_{0.96}^{57}\text{Fe}_{0.04})\text{O}_2$) в большем диапазоне скоростей и для нескольких температур. 3. Таблица 1, на мой взгляд, перегружена большим объемом данных. Было бы достаточно представить основные зависимости и корреляции в виде графиков).

- Из ФГБУН Института физических проблем им. П.Л. Капицы Российской академии наук от кандидата физико-математических наук, научного сотрудника Готовко Софьи Климентовны. Отзыв положительный. (Замечание: На рисунке 1 представлена рентгеновская дифрактограмма для порошка керамик CuCrO_2 . Для экспериментальных данных для керамики, исследованной после проведенного термогравиметрического анализа соотношения между интенсивностями рефлексов по сравнению с другими данными, отличаются. Возможно, такое различие вызвано текстурой керамики. Однако пояснений в автореферате касемо этого вопроса, возможно из-за краткости изложения, не представлено).
- Из ФГБУН Института металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук от кандидата химических наук, старшего научного сотрудника Сиротинкина Владимира Петровича. Отзыв положительный. (Замечание: По тексту автореферата есть несколько небольших замечаний. Неудачные выражения: стр.3 “дериватографический анализ”, стр. 8 “все рефлексы хорошо идентифицируются”. Автор используется термин “фактор надежности”, а в литературе обычно этот фактор называют фактором расходимости).
- Из АО Научно-исследовательского института «Элпа» от кандидата технических наук, начальника производства Спицина Александра Игоревича. Отзыв положительный. Замечаний по автореферату нет.
- Из ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет» от доктора физико-математических наук, и.о. заведующего кафедрой «Физики конденсированного состояния и наносистем» Палчаева Даира Каировича. Отзыв положительный. Замечаний по автореферату нет.

Обоснование выбора официальных оппонентов и ведущей организации:

Таланов Михаил Валерьевич, доктор физико-математических наук (специальность 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния»), ведущий научный сотрудник Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» — является крупным специалистом в области физики и технологии функциональных материалов, фазовых переходов и кристаллографии.

Орлов Валерий Георгиевич, кандидат физико-математических наук (специальность 01.04.02 – «Теоретическая физика»), ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения "Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт" — является

высококвалифицированным специалистом в области физики полупроводников и термоэлектрических явлений.

Официальные оппоненты широко известны своими достижениями в данных отраслях науки, имеют многочисленные научные труды в рецензируемых научных журналах, способны определить актуальность, новизну, научную и практическую ценность оппонируемой диссертации.

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет" (институт физики, кафедра квантовой электроники и радиоспектроскопии) известно своими разработками и исследованиями в области физики полупроводников, квантовой электроники и электрофизических свойств функциональных материалов. Многочисленные работы его сотрудников в области оппонируемой диссертации свидетельствуют об их способности адекватно оценить результаты, представленные автором для защиты.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: обнаружено, что температурные зависимости электросопротивления имеют полупроводниковый характер, при этом в области 200 К с уменьшением температуры происходит смена механизма проводимости от активационного к прыжковому механизму с переменной длиной прыжка по локализованным состояниям вблизи энергии Ферми. Обнаружено, что на температурно-частотных зависимостях диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь в области 90–250 К наблюдаются ступенчатые максимумы релаксационного характера. Обнаружен эффект порогового по электрическому полю переключения из высокоомного в низкоомное состояние, происходящего в диапазоне температур 120–275 К при приложении к керамическим и монокристаллическим образцам $\text{CuCr}_{1-x}\text{Al}_x\text{O}_2$ электрического поля с напряженностью выше 1 кВ/см. Установлено, что эффект проявляется в виде скачков электросопротивления порядка 2–6 по величине, а также в виде вольт-амперных характеристик с участком отрицательного дифференциального сопротивления. Показано, что обнаруженные особенности диэлектрических, нелинейных электрических свойств объясняются тем, что носители заряда в рассматриваемых соединениях находятся в состоянии поляронов малого радиуса, которые под действием электрического поля переходят в квазисвободное состояние с резким увеличением их подвижности.

Теоретическая значимость исследования: проанализированы результаты измерений температурно-полевых зависимостей электросопротивления, температурно-частотных зависимостей диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь керамических и монокристаллических образцов $\text{CuCr}_{1-x}\text{Al}_x\text{O}_2$. Проанализированы результаты характеристики образцов методами рентгенофазового, рентгеноструктурного, термогравиметрического анализа, мессбауэрской, оже-электронной спектроскопии, сканирующей электронной микроскопии. На основе анализа экспериментальных данных установлено, что структурные фазовые переходы в температурной области исследования эффекта переключения электросопротивления отсутствуют; характерное электрическое поле переключения имеет порядок 1 кВ/см, разница

между высокоомным и низкоомным состоянием составляет до 6 порядков по величине; эффект переключения электросопротивления помимо керамических образцов проявляется и в монокристаллах CuCrO_2 ; наблюдаемые особенности электрофизических свойств объясняются на основе качественной модели делокализации поляронов малого радиуса. Полученные в работе результаты, несомненно, уточняют и углубляют фундаментальные знания о нелинейных электрических свойствах соединений со структурой делафоссита.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что: Представленные в диссертации новые сведения по изучению физико-химических процессов, определяющих нелинейные свойства проводимости керамических $\text{CuCr}_{1-x}\text{Al}_x\text{O}_2$ и монокристаллических образцов CuCrO_2 могут быть использованы при проектировании приборов прозрачной электроники нового поколения. Обнаруженные сравнительно низкие величины критического напряжения переключения можно использовать для применений исследованных соединений в качестве активных элементов переключающих устройств.

Оценка достоверности результатов исследования выявила: Для исследования нелинейных электрических свойств керамических $\text{CuCr}_{1-x}\text{Al}_x\text{O}_2$ и монокристаллических образцов CuCrO_2 использованы широко известные экспериментальные методики измерения температурно-полевых зависимостей электросопротивления и вольт-амперных характеристик.

Достоверность представленных в диссертации результатов подтверждается их воспроизводимостью, согласованностью с результатами других авторов, использованием современного оборудования и стандартных математических методов обработки данных.

Основные результаты диссертационного исследования были опубликованы в ведущих международных и российских журналах, а также апробированы на специализированных международных и отечественных конференциях.

Личный вклад соискателя состоит в том, что синтез керамических и монокристаллических образцов, проведение экспериментов по их термогравиметрическим, рентгенографическим, диэлектрическим, исследованиям полупроводниковых и нелинейных свойств электропроводимости выполнены лично автором.

Диссертация соответствует шифру специальности 1.3.11 «Физика полупроводников» по п. 2 - Структурные и морфологические свойства полупроводниковых материалов и композитных структур на их основе; п. 6 - Электронный транспорт в полупроводниках и композиционных полупроводниковых структурах; п. 18 - Разработка физических принципов работы приборов на базе полупроводниковых материалов и композиционных полупроводниковых структур.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было. На все заданные в ходе заседания вопросы Матасов А.В. дал аргументированные ответы.

На заседании 12 декабря 2025 г. диссертационный совет принял решение за решение научной задачи, развивающей представления о нелинейных электрических свойствах керамических и монокристаллических образцов $\text{CuCr}_{1-x}\text{Al}_x\text{O}_2$, имеющей значение для развития фундаментальных знаний в области физики полупроводников, присудить Матасову А.В. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11 – Физика полупроводников.

При проведении тайного голосования участвующие в заседании члены диссертационного совета в количестве 14 человек, из которых 4 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из общего числа 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Заместитель председателя диссертационного совета,
доктор физико-математических наук, академик РАН

С.А. Никитов

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор физико-математических наук, доцент

И.Е. Кузнецова



«12» декабря 2025 г.