

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

д.ф.-м.н. Таланова Михаила Валерьевича

на диссертационную работу Матасова Антона Владимировича 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», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11 – «Физика полупроводников»

Диссертационная работа Матасова А.В. посвящена получению керамических и монокристаллических образцов фазы CuCrO_2 со структурой делафоссита, керамических образцов твердых растворов на ее основе $\text{CuCr}_{1-x}\text{Al}_x\text{O}_2$, изучение их кристаллической структуры, полупроводниковых, диэлектрических и нелинейных электрических свойств. Основное внимание в работе уделено обнаруженному эффекту порогового по электрическому полю переключения электросопротивления из высокоомного в низкоомное состояние. Тот факт, что в литературе практически полностью отсутствуют данные о влиянии электрического поля на свойства изучаемых фаз, что критически важно для возможного применения их в качестве прозрачных проводящих оксидов, делает тему представленного исследования безусловно актуальной.

Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка цитируемой литературы из 166 наименований и списка публикаций автора из 3 статей в рецензируемых изданиях. Общий объем диссертации составляет 120 страниц. Автореферат, отражающий основное содержание и результаты диссертационной работы, изложен на 21 странице.

В первой главе диссертации изложены актуальные сведения о прозрачных проводящих оксидах, кристаллической структуре делафоссита, полупроводниковых, диэлектрических свойствах фазы CuCrO_2 , свойствах твердых растворов $\text{CuCr}_{1-x}\text{Al}_x\text{O}_2$. Сформулированы и обоснованы цель и задачи исследования, посвященные синтезу, характеристике монокристаллических и керамических образцов $\text{CuCr}_{1-x}\text{Al}_x\text{O}_2$, изучению их полупроводниковых, диэлектрических и нелинейных электрических свойств.

Во второй главе приводится подробное описание экспериментальных методов и оборудования, которые использовались при проводимых исследованиях в диссертационной работе.

В третьей главе приведены температурные режимы синтеза керамических образцов CuCrO_2 методом обычной керамической технологии. Рассматриваются и обсуждаются данные о характеристике образцов керамики CuCrO_2 методами термогравиметрии, рентгенофазового анализа, мессбауэровской спектроскопии. Представлены данные об изучении диэлектрических, полупроводниковых свойств фазы. Обнаружено, что на температурных зависимостях диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь в области 90–250 К наблюдаются ступенчатые максимумы релаксационного характера. Выявлено, что при низких температурах проводимость в керамических образцах CuCrO_2 осуществляется по прыжковому механизму с переменной длиной прыжка по локализованным состояниям вблизи энергии Ферми, а при высоких температурах по активационному механизму. Обнаружен эффект порогового по электрическому полю переключения из высокоомного в низкоомное состояние до ~ 2.6 порядков по величине в интервале температур 170–200 К и электрических полей $E \geq 1$ кВ/см на температурной зависимости сопротивления, а также в виде S-образных вольт-амперных характеристик. Дана интерпретация обнаруженного эффекта переключения на основе поляронного механизма проводимости.

В четвертой главе приведены данные о синтезе керамических образцов $\text{CuCr}_{1-x}\text{Al}_x\text{O}_2$ с $x = 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1$ по обычной керамической технологии. Показано, что данные рентгенофазового анализа свидетельствуют об образовании в системе неограниченного твердого раствора с кристаллической структурой делафоссита.

Рассчитаны средние размеры зерен образцов. Исследованы температурные зависимости электросопротивления образцов на постоянном токе в диапазоне температур от 77 до 300 К при напряженностях электрического поля 0.001, 0.94, 1.27 и 1.5 кВ/см. Исследованы вольт-амперные характеристики образцов в диапазоне напряженностей электрического поля до 4.5 кВ/см при температурах 120, 175 и 220 К. Установлено, что приложение постоянного электрического поля напряженностью 0.94, 1.27 и 1.5 кВ/см приводит к переключению из высокоомного в низкоомное состояние. Обнаружено, что не наблюдается явной корреляции параметров переключения электросопротивления с параметрами микроструктуры керамики или параметрами кристаллической структуры, что указывает на определяющую роль подрешетки меди, а не хрома в формировании основных носителей заряда.

В пятой главе представлены результаты роста и исследования диэлектрических, полупроводниковых свойств монокристаллических образцов $3R-CuCrO_2$ методом раствор-расплавной кристаллизации. Уточнены параметры кристаллической структуры методом рентгеноструктурного анализа. Подтвержден элементный состав выращенных кристаллов методом оже-электронной спектроскопии. Обнаружен пороговый по электрическому полю эффект переключения из высокоомного в низкоомное состояние. Обнаружено, что температурные зависимости диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь демонстрируют релаксационный процесс дебаевского типа. Наблюдаемые особенности свойств проводимости на постоянном токе, вольт-амперных характеристик и диэлектрических свойств интерпретированы на основе существования носителей заряда в состоянии поляронов малого радиуса и разрушения этого состояния электрическим полем.

Представленные результаты содержат новую разностороннюю информацию о кристаллической структуре, полупроводниковых, диэлектрических и нелинейных электрических свойствах керамических и монокристаллических образцов $CuCr_{1-x}Al_xO_2$.

К представленному тексту диссертационной работы имеется ряд замечаний.

1. В научном положении 1, в частности, сообщается об определении энергии активации релаксационных процессов в керамике и монокристаллах $3R-CuCrO_2$ в рамках модели Дебая. Однако необходимо пояснение: поскольку схожие диэлектрические особенности наблюдаются у многих оксидных материалов, в чём заключается принципиальная новизна и значимость данного конкретного результата для настоящей диссертационной работы, что позволило вынести его в качестве отдельного научного положения? Кроме того, требует физической интерпретации полученное значение предэкспоненциального множителя $\tau_0 \approx 10^{-15}$ с. Учитывая, что это время на порядки меньше характерного периода атомных колебаний ($\sim 10^{-13}$ с), какой микроскопический релаксационный механизм может соответствовать столь высокой частоте попыток? Какая величина этого параметра в случае монокристалла?
2. В работе отсутствует систематизированный обзор материалов, демонстрирующих эффект порогового переключения сопротивления под действием электрического поля. Введение такого раздела, содержащего сравнительную таблицу с величинами перепада сопротивления, пороговых напряжений и времен переключения для различных классов материалов (оксиды, халькогениды, полимеры), позволило бы наглядно оценить конкурентные преимущества и практический потенциал исследуемой системы $3R-CuCrO_2$.
3. В тексте работы имеются случаи пропусков слов, нарушения синтаксической связи и некорректные формулировки, затрудняющие восприятие смысла. В частности:

- "Параметры решетки кристаллической структуры сильно влияют на ионные радиусы катионов А и М" (стр. 12)
 - "Из-за отталкивающего характера катионов M^{3+} вдоль общих октаэдрических ребер (стр. 12)".
 - "В отличие от других механизмов проводимости, колебания решетки не подавляют проводимость, а скорее допускают ее, как в ионной проводимости." (стр. 29)
4. В работе не обсуждается корректность измерений температурно-частотных зависимостей диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь с учетом роста проводимости с увеличением температуры в изучаемых фазах полупроводников.
5. Для более строгого подкрепления приведенных утверждений, касаемых поляронного типа проводимости требуется проведение дополнительных экспериментов по измерениям температурных зависимостей подвижности носителей заряда, стехиометрические исследования, измерения времени переключения из высокоомного в низкоомного состояния.

Несмотря на ряд замечаний, представленная диссертация может квалифицироваться как актуальный научный труд, содержащий новые достоверные экспериментальные результаты, практическая значимость которых заключается в том, что обнаруженные сравнительно низкие величины критического напряжения переключения делают полученные фазы перспективными для применений их в качестве прозрачных в видимом диапазоне активных элементов переключающих устройств. Результаты работы с достаточной полнотой отражены в трех публикациях и апробированы на четырех представительных конференциях. Содержание автореферата правильно отражает содержание диссертации.

По своему научному уровню представленная диссертационная работы соответствует требованиям ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор Матасов А.В. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11 – «Физика полупроводников».

Официальный оппонент,

доктор физико-математических наук (специальность 01.04.07 Физика конденсированного состояния), ведущий научный сотрудник, ФГАОУ ВО «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)».

«10» 11 2025 г.  Таланов Михаил Валерьевич

Контактная информация:

ФГАОУ ВО «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», 141701, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский переулок, д. 9.
Телефон: +7 (918) 506-99-23
email: mvtalanov@gmail.com

Подпись Таланова М.В. заверяю.

