

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.111.01,
созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения
науки Институт 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 2 февраля 2024 г., № 1

**О присуждении Амасеву Дмитрию Валерьевичу, гражданину России,
ученой степени кандидата физико-математических наук.**

Диссертация на тему: «**Фотоэлектрические явления в тонких пленках гибридных металлоорганических перовскитов на основе $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$** » принята к защите 17 ноября 2023, протокол № 9, 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 (ФГБУН ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН) (125009, Москва, ул. Моховая, д.11. корп.7) (приказ Рособнадзора 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 Амасев Дмитрий Валерьевич, 1992 года рождения, в 2015 году окончил Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова по специальности «Физика конденсированного состояния вещества» с присвоением квалификации «Физик».

С 01.09.2015 по 31.08.2019 г. проходил очное обучение в аспирантуре ФГБУН ФИЦ Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук по направлению подготовки 03.06.01 – Физика и астрономия, направленности (профилю) – Физика конденсированного состояния. За время обучения сдал кандидатские экзамены по иностранному языку (английский), истории и философии науки и по специальности «Физика конденсированного состояния». Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана ИОФ им. А.М. Прохорова РАН 31.05.2022 г.

В настоящее время работает в Научном центре волновых исследований ИОФ им. А.М. Прохорова РАН в должности младшего научного сотрудника и на кафедре физики и технической механики Института тонких химических технологий РТУ МИРЭА в должности старшего преподавателя.

Работа выполнена в Научном центре волновых исследований ИОФ им. А.М. Прохорова РАН.

Научный руководитель: Михалевич Владислав Георгиевич, ведущий научный сотрудник ФГБУН ФИЦ ИОФ им. А.М. Прохорова РАН, доктор физико-математических наук, 01.04.06 (акустика).

Официальные оппоненты:

Гладышев Павел Павлович, доктор химических наук (02.00.10 – Биологическая химия и 02.00.04 – Физическая химия), профессор кафедры химии, новых технологий и материалов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Университет «Дубна».

Козодаев Максим Геннадьевич, кандидат физико-математических наук (01.04.07 – Физика конденсированного состояния), старший научный сотрудник Центра коллективного пользования уникальным научным оборудованием в области нанотехнологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)».

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, **в своем положительном отзыве**, подписанном Новиковым Сергеем Витальевичем, доктором физико-математических наук (02.00.04 – Физическая химия), ведущим научным сотрудником ФГБУН ИФХЭ РАН, Некрасовым Александром Александровичем, доктором химических наук (02.00.05 – Электрохимия), заведующим лабораторией «Электронные и фотонные процессы в полимерных наноматериалах» ФГБУН ИФХЭ РАН, **указала**, что диссертация Амасева Дмитрия Валерьевича «Фотоэлектрические явления в тонких пленках гибридных металлоорганических перовскитов на основе $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ » представляет собой завершённую квалификационную научную работу, полностью удовлетворяющую требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Амасев Дмитрий Валерьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния. В отзыве отмечено, что поставленные задачи решены на высоком теоретическом и экспериментальном уровне, цель диссертационного исследования достигнута. Основные положения работы и выводы сформулированы ясно и аргументированно. Полученные результаты обладают несомненной научной значимостью и новизной.

В отзыве указаны следующие замечания:

1. Согласно Рис. 3.11 (стр. 56) образец перовскита MAPbI_3 показывает гистерезис температурной зависимости. При этом возникают вопросы: насколько воспроизводимы эти зависимости при повторных измерениях и насколько существенен факт в каком направлении начинается измерение – в сторону повышения или понижения температуры? Все эти обстоятельства в тексте не обсуждаются.;

2. В работе автор без явных доказательств указывает на то, что именно кислород присутствующий в воздухе, приводит к увеличению удельной темновой проводимости и фотопроводимости $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$, тогда как в воздухе присутствует вода и другие компоненты, которые могут влиять на электрофизические свойства тонких пленок.;

3. Формирование фазы PbI_2 в результате термического отжига следовало бы сопроводить результатами структурного анализа.

Основные результаты по теме диссертации опубликованы в 13 работах, из них: 2 публикации в журналах, вошедших в Перечень изданий, рекомендованный ВАК, 6 публикаций в зарубежных рецензируемых журналах, входящих в Международные реферативные базы данных и системы цитирования Scopus и Web of Science, 5 публикаций в трудах международных и

русских конференций. Публикации по материалам диссертации полностью отражают ее содержание.

Список статей автора, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК:

1. Перченко Е.М., Савин К.А., Амасев Д.В. Импедансная спектроскопия перовскита MAPbI_3 // Ученые записки физического факультета Московского Университета. — 2018. — № 4.
2. Амасев Д.В., Козюхин С.А., Текшина Е.В., Казанский А.Г. Влияние окружающей среды и длительного освещения на проводимость и фотопроводимость пленок металлоорганического перовскита $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$. Ученые записки физического факультета Московского Университета, № 3. - с. 1830501–1–1830501–5, 2018.

Список статей автора в зарубежных рецензируемых журналах, входящих в Международные реферативные базы данных и системы цитирования Scopus и Web of Science:

3. Khenkin M.V., Amasev D.V., Kozyukhin S.A., Sadovnikov A.V., Katz E.A., Kazanskii A.G. Temperature and spectral dependence of $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ films photoconductivity // Applied Physics Letters. — 2017. — Vol. 110. — P. 222107–1–222107–5.
4. Амасев Д. В., Тамеев А.Р., Казанский А.Г. Особенности температурных зависимостей фотопроводимости пленок металлоорганического перовскита $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ // Физика и техника полупроводников. — 2019. — Т. 53, № 12. — С. 1625–1630 (перевод Amasev D.V., Tameev A.R., Kazanskii A.G. Features of the temperature dependences of the photoconductivity of organometallic $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ perovskite films // Semiconductors. — 2019. — Vol. 53, no. 12. — P. 1597–1602).
5. Amasev D.V., Krivogina E.V., Khalipova O.S., Zabolotskaya A.V., Kozik V.V., Ivonin I.V., Kozyukhin S.A., Kazanskii A.G. The effect of the air environment and prolonged illumination on conductivity and photoconductivity of organic-inorganic perovskite $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ films // Journal of Physics: Conference Series. — 2020. — Vol. 1611. — P. 012043.
6. Амасев Д.В., Михалевиц В.Г., Тамеев А.Р., Сайтов Ш.Р., Казанский А.Г. Формирование двухфазной структуры в металлоорганическом перовските $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ // Физика и техника полупроводников. — 2020. — Т. 54, № 6. — С. 543–546 (перевод Amasev D.V., Mikhalevich V.G., Tameev A.R., Saitov S.R., Kazanskii A.G. Formation of a two-phase structure in $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ organometallic perovskite // Semiconductors. — 2020. — Vol. 54, no. 6. — P. 543–546).
7. Amasev D.V., Saitov S.R., Mikhalevich V.G., Tameev A.R., Kazanskii A.G. Effect of the heat treatment of $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ perovskite on its electrical and photoelectric properties // Mendeleev Communications. — 2021. — Vol. 31. — P. 469–470.
8. Амасев Д. В., Савин К. А., Николаев С. Н. Фотоэлектрические параметры фотоприемников на основе тонких микрокристаллических пленок перовскита $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ // Письма в Журнал технической физики. — 2020. — Т. 46, № 13. — С. 31–31 (перевод Photoelectric parameters of photodetectors based on thin microcrystalline films of $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ perovskite / Amasev D.V., Savin K.A., Nikolaev S.N. // Technical Physics Letters. — 2020. — Vol. 46, no. 7. — P. 653–656).

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

На автореферат диссертации поступили положительные отзывы из:
ИОФ РАН от к.т.н., старшего научного сотрудника Арапкиной Л.В.

(замечания: 1. В автореферате представлен снимок поверхности исследуемого образца, полученный методом сканирующей электронной микроскопии. Проводилась ли автором оценка распределения по размерам микрокристаллитов, формирующих пленку? 2. В автореферате представлено большое количество экспериментальных данных, но не описаны модели (формулы), использовавшиеся для их теоретической обработки. 3. В автореферате отсутствуют ссылки на литературные данные других авторов. Стр.12 абзац 3. Автор описывает Рисунок 7 и делает сравнение с результатами другой работы (о не резком изменении параметров, определяющих фотопроводимость материала), ссылка на которую отсутствует.;

ИОНХ РАН от д.х.н., главного научного сотрудника Козюхина С.А. (замечания: 1. Спектральные зависимости $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ демонстрируют практически постоянную величину фотопроводимости. Исходя из литературных данных, в данном материале должен наблюдаться дополнительный край поглощения вблизи 3,1 эВ. Исследование данного края дополнило бы результаты работы). 2. В тексте приводится информация о возможности оценки соотношения фаз $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ и PbI_2 в результате термического отжига. Однако не приводится численной оценки соотношения данных фаз.

Обоснование выбора официальных оппонентов и ведущей организации:

Павел Павлович Гладышев, доктор химических наук (спец. 02.00.04 «Физическая химия»), профессор кафедры химии, новых технологий и материалов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Университет «Дубна» является крупным специалистом в области физики тонких пленок, наноструктурированных и гибридных материалов,

Козодаев Максим Геннадьевич, кандидат физико-математических наук (спец. 01.04.07 «Физика конденсированного состояния»), старший научный сотрудник Центра коллективного пользования уникальным научным оборудованием в области нанотехнологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», является специалистом в области электрофизики тонких пленок.

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 рассмотренной диссертации.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук (ИФХЭ РАН) известно своими разработками и исследованиями в области получения, исследования физических свойств тонких пленок и устройств на их основе. 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: присутствует ряд принципиально новых результатов. Впервые получены спектральные зависимости фотопроводимости тонких пленок гибридных металлоорганических перовскитов $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$. Исследованы температурные зависимости удельной темновой проводимости и фотопроводимости пленок $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$. Обнаружено аномальное поведение температурной зависимости фотопроводимости исследуемого материала при уменьшении температуры: сначала фотопроводимость уменьшается, а затем резко увеличивается. Данное явление вызвано фазовым переходом, происходящим в материале при 160 К, в результате которого резко изменяется ширина запрещенной зоны, а также эффектом очувствления фотопроводимости вследствие образования локализованных состояний в запрещенной зоне. Также впервые обнаружено, что длительное освещение белым светом приводит к изменению формы спектральной зависимости фотопроводимости $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$. Увеличением фотопроводимости при энергиях квантов света меньше ширины запрещенной зоны вызвано образованием локализованных состояний вблизи краев зон, что приводит к увеличению фотопроводимости. Данные состояния не являются центрами рекомбинации, а форма спектральной зависимости может быть восстановлена после продолжительного пребывания материала в темноте.

Было обнаружено, что нахождение исследуемого материала на воздухе приводит к увеличению фотопроводимости. Кислород, находящийся в воздухе, проникает в материал и является легирующей примесью, увеличивая время жизни носителей заряда, и, как следствие, фотопроводимость пленок $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$.

Теоретическая значимость исследования заключается в том, что были проведены фундаментальные исследования фотоэлектрических свойств тонких пленок гибридного металлоорганического перовскита на основе $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$. Полученные результаты дополняют сведения об электронных процессах, происходящих в исследуемом материале в результате внешнего воздействия атмосферы воздуха, длительного освещения и термического отжига.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что: Полученные результаты позволяют расширить сведения о фотоэлектрических свойствах и открыть новые возможности применения пленок перовскитов $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$. Обнаруженное аномальное поведение фотопроводимости вблизи фазового перехода может быть применено в оптоэлектронных устройствах, совмещающих в себе фотоэлектрические и термические принципы работы. Результаты проведенных исследований влияния внешнего воздействия атмосферы воздуха, длительного освещения и термического отжига на фотоэлектрические параметры тонких пленок $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ позволят учесть особенности материала и его использования в оптоэлектронных устройствах

Оценка достоверности результатов исследования выявила: Решение поставленных в диссертационной работе Амасева Д.В. задач по исследованию электрических и фотоэлектрических свойств тонких пленок на основе гибридного металлоорганического перовскита $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ выполнено на современном оборудовании с использованием актуальных методик. Основные положения и выводы диссертации не противоречат современным теоретическим

представлениям, достоверность полученных результатов подтверждается их сопоставимостью с результатами других авторов, а также соответствие между экспериментальными данными и расчётными. Все основные результаты работы были опубликованы в ведущих международных и российских журналах, а также доложены на международных и отечественных конференциях, что свидетельствует об их достаточной апробации.

Личный вклад соискателя состоит в том, что все материалы и результаты, вошедшие в данную диссертационную работу, подготовлены либо лично автором, либо совместно с соавторами работ, опубликованных по теме диссертации.

Диссертационная работа Д.В. Амасева является законченной научно-квалификационной работой, которая содержит решение научных и практических задач по изучению электрических и фотоэлектрических свойств тонких пленок на основе гибридного металлоорганического перовскита $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$. Работа удовлетворяет требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842 с изменениями, утвержденными постановлением Правительства РФ от 11.09.2021 №1539, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

На заседании 2 февраля 2024 г. диссертационный совет принял решение присудить Амасеву Д.В. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

При проведении тайного голосования участвующие в заседании члены диссертационного совета в количестве 15 человек, из которых 3 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 – 1

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

С.А. Никитов

Ученый секретарь диссертационного совета, доктор
физико-математических наук

И.Е. Кузнецова



«02» февраля 2024 г.