

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 11 ноября 2022 г., № 8

**О присуждении Кашину Вадиму Валерьевичу, гражданину России,
ученой степени кандидата физико-математических наук.**

Диссертация на тему: «Электрофизические и акустические свойства сенсорных покрытий на основе биообъектов и наноуглеродных материалов для наноэлектронных и акустоэлектронных датчиков» принята к защите 19 августа 2022, протокол № 4, диссертационным советом 24.1.111.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Российской академии наук (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 Кашин Вадим Валерьевич, 1968 года рождения, в 1993 году окончил Физический факультет ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова».

С 01.10.2016 по 30.09.2020 г. проходил очное обучение в аспирантуре ФГБУН Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук, по направлению подготовки 03.06.01 – Физика и астрономия, направленности (профилю) – Физическая электроника. С 02.06.2021 по 02.07.2021 был прикреплен к аспирантуре ИРЭ им. В.А. Котельникова для сдачи кандидатского экзамена по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния. За время обучения сдал кандидатские экзамены по иностранному языку (английский), истории и философии науки (физико-математические науки), и по специальностям «Физическая электроника» и «Физика конденсированного состояния». Справки о сдаче кандидатских экзаменов выданы ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН в 02.07.2021г. и 27.05.2022г.

В настоящее время работает в лаб. №193 «Физические свойства композиционных материалов для информационных технологий» ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН в должности научного сотрудника.

Работа выполнена в лаборатории «Физические свойства композиционных материалов для информационных технологий» №193 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук (ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН).

Научный руководитель: Колесов Владимир Владимирович, кандидат физико-математических наук (спец. 01.04.03 «Радиофизика»), ведущий научный сотрудник, заведующий лаб. №193 «Физические свойства композиционных материалов для информационных технологий» ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН.

Официальные оппоненты:

Кучменко Татьяна Анатольевна, доктор химических наук (02.00.02 – аналитическая химия), профессор, зав. кафедры "Физической и аналитической химии" Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий», и

Петронюк Юлия Степановна, кандидат физико-математических наук (специальность 01.04.06 - Акустика), ведущий научный сотрудник лаборатории акустической микроскопии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук (ИБХФ им. Н.М. Эмануэля РАН),

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (НИУ «МЭИ»), в своем положительном отзыве, подписанном Жгуном Сергеем Александровичем, кандидатом технических наук, старшим научным сотрудником, заведующим лаб.08921 кафедры Основ радиотехники МЭИ, Швецовым Александром Сергеевичем, кандидатом технических наук, старшим преподавателем кафедры Основ радиотехники МЭИ и Меркуловым Андреем Александровичем, кандидатом технических наук, ассистентом кафедры Основ радиотехники МЭИ, и утвержденном проректором по научно-исследовательской работе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», доктором технических наук, профессором Драгуновым Виктором Карповичем, указала, что диссертация Кашина Вадима Валерьевича «Электрофизические и акустические свойства сенсорных покрытий на основе биообъектов и нанокремниевых материалов для наноэлектронных и акустоэлектронных датчиков» представляет собой завершенную квалификационную научную работу, полностью удовлетворяющую требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Кашин Вадим Валерьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 (01.04.07) – 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. Главы объединены одной целью, однако обоснование объединения проведенных автором разнообразных исследований изложено относительно кратко;

2. Отсутствует сравнение исследуемых топливных элементов с известными решениями, что требует от читателя самостоятельно находить ответ об их области применения;

3. Недостаточно подробно обсуждаются известные аналоги исследованных материалов и устройств;

4. Было бы желательно произвести более подробное сравнение чувствительности разработанных датчиков и промышленных аналогов;
5. Описание измерения фазы дано слишком схематично и становится понятным читателю только после знакомства с оригинальной публикацией, на которую ссылается автор;
6. При полученном автором рекордно низком пороге срабатывания датчика влажности надо было привести данные о долговременной стабильности этого порога и всей калибрационной кривой в целом;
7. В работе встречаются сленговые стилистические обороты, затрудняющие восприятие текста.

Основные результаты диссертационной работы изложены в 18 работах, в том числе 5 – в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, 5 – в журналах, индексируемых в наукометрических базах данных Web of Science и Scopus, и 8 публикаций в трудах международных и российских конференций. Публикации по материалам диссертации полностью отражают ее содержание.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Plekhanova Y., Tarasov S., Kitova A., Reshetilov A., Kolesov V., Kashin V., Sundramoorthy A. Modification of thermally expanded graphite and its effect on the properties of the amperometric biosensor // 3 Biotech. – 2022. – Vol. 12. – No 2. – DOI 10.1007/s13205-021-03107-w.
2. Reshetilov A., Plekhanova Yu., Tarasov S., Tikhonenko S., Dubrovsky A., Kim A., Kashin V., Machulin A., Wang G.-J., Kolesov V., Kuznetsova I. Bioelectrochemical Properties of Enzyme-Containing Multilayer Polyelectrolyte Microcapsules Modified with Multiwalled Carbon Nanotubes// Membranes. – 2019. – Vol. 9. – No 4. – P. 53. – DOI 10.3390/membranes9040053
3. Мельников А. Е., Солдатов Е. С., Анисимкин В.А., Кузнецова И. Е., Кашин В. В., Колесов В. В. Акустоэлектронный нанобиосенсор // Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2019. – Т. 83. – № 1. – С. 62-65. – DOI 10.1134/S0367676519010162
4. Kuznetsova I.E., Anisimkin V.I., Kolesov V.V., Kashin V.V., Osipenko V.A., Gubin S.P., Tkachev S.V., Verona E., Sun S., Kuznetsova A.S. Sezawa wave acoustic humidity sensor based on graphene oxide sensitive film with enhanced sensitivity// Sensors and Actuators B: Chemical. – 2018. – Vol. 272. – P. 236-242. – DOI 10.1016/j.snb.2018.05.158
5. Kuznetsova I.E., Anisimkin V.I., Gubin S.P., Tkachev S.V., Kolesov V.V., Kashin V.V., Zaitsev B.D., Shikhabudinov A.M., Verona E., Sun S. Super high sensitive plate acoustic wave humidity sensor based on graphene oxide film// Ultrasonics. – 2017. – Vol. 81. – P. 135–139. – DOI 10.1016/j.ultras.2017.06.019
6. Kuznetsova I.E., Kolesov V., Zaitsev B., Tkachev S., Kashin V., Shikhabudinov A., Fionov A., Gubin S., Sun S. Structural, electrical, and acoustical properties of graphene oxide films for acoustoelectronic applications// Physica Status Solidi. A: Applications and Materials Science. – 2017. – Vol. 214. – No 8. – P. 1600757. – DOI 10.1002/pssa.201600757
7. Колесов В. В., Кузнецова И. Е., Солдатов Е. С., Анисимкин В.И., Кашин В.В., Дагесян С.А., Мельников А.Е. Разработка нанобиосенсоров на основе акустоэлектронных технологий // Ученые записки физического факультета Московского университета. – 2017. – № 5. – С. 1750404.
8. Паршинцев, А.А., Солдатов Е.С., Кашин В.В., Колесов В.В., Крупенин С.В., Решетиллов А.Н. Создание планарных систем нанозлектродов для биосенсоров // Известия РАН. Серия физическая. – 2014. – Т. 78. – № 2. – С. 216. – DOI 10.7868/S0367676514020215

9. Алферов В.А., Василев Р.Г., Кашин В.В., Китова А.Е., Колесов В.В., Губин С.П., Мачулин А.В., Решетилов А.Н., Решетилова Т.А. Биотопливные элементы на основе наноуглеродных материалов // Радиотехника. Наносистемы. Информационные технологии. – 2014. – Т. 6. – № 2. – С. 187–208. – DOI 10.17725/RENSITe.0006.201402d.0187
10. Паршинцев А.А., Солдатов Е.С., Кашин В.В., Колесов В.В., Крупенин С.В., Решетилов А.Н., Азев В.Н. Молекулярный нанобиосенсор на основе фермента глюкозооксидазы // Радиотехника. Наносистемы. Информационные технологии. – 2013. – Т. 5. – № 2. – С. 45–61.

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

На автореферат диссертации поступили отзывы из:

- Из ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет» от д.ф.-м.н., профессора Глушкова Е.В. Отзыв положительный. (замечание: отсутствие информации о конкретном методе построения дисперсионных кривых);
- Из СФ ИРЭ РАН им. В.А. Котельникова РАН от д.ф.-м.н., профессора Ушакова Н.М. Отзыв положительный. (замечания: не указано по отношению к чему при увеличении влажности, сопротивление пленки оксида графена уменьшается; нет объяснения, почему измеренная величина диэлектрической проницаемости плёнки из оксида графена не зависит от изменения толщины и разных значений влажности);
- Из Института биохимии и физиологии растений и микроорганизмов, ФИЦ «Саратовский научный центр РАН» от д.б.н., профессора Гулий О.И. Отзыв положительный. (замечание: отсутствие в конце автореферата выводов по результатам работы);
- Из ФГБУН Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН от д.ф.-м.н., профессора Медвинского А.Б. Отзыв положительный. (замечания: автору следует более тщательно соблюдать нормы, принятые в научной литературе; в заключительной части автореферата не представлены основные выводы; на рисунке 1 автореферата представлены две системы, но отсутствует пояснение из связи; в автореферате не объясняется, почему в качестве объектов исследования выбраны именно терморасширительный графит и оксид графена);
- Из Института микробиологии им. С.Н.Виноградского РАН, ФГУ ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» от д.б.н., профессора Складнева Д.А. Отзыв положительный. (замечания: выводы по результатам работы могли бы быть полнее, автор не всегда соблюдает общепринятый в мире стандарт в обозначении номенклатуры видов микроорганизмов, на калибровочных кривых отсутствуют доверительные интервалы измеряемых величин);

Обоснование выбора официальных оппонентов и ведущей организации:

Кучменко Татьяна Анатольевна, доктор химических наук (02.00.02 – аналитическая химия), профессор, зав. кафедры "Физической и аналитической

химии" Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий», является крупным специалистом в области сенсорики, в том числе с помощью пьезоэлектронных технологий, системах типа «Электронный нос», неинвазивной клинической диагностики,

Петрониук Юлия Степановна, кандидат физико-математических наук (специальность 01.04.06 «Акустика»)), ведущий научный сотрудник лаборатории акустической микроскопии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук (ИБХФ им. Н.М. Эмануэля РАН), является специалистом по акустическим методам диагностики и акустической микроскопии.

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 бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский энергетический институт» известен своими разработками и исследованиями в области наноэлектроники, акустоэлектроники, сенсорики и микромощной энергетики. 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:

Создан прототип биосенсора на основе планарной структуры с нанозазором до 5 нм и осажденными молекулами фермента глюкозооксидазы и при его помощи зарегистрирована электронная проводимость при реакции окисления фермента глюкозой, зависящая от процентного содержания глюкозы в тестовом растворе.

Подтверждена работоспособность анода топливного элемента на основе терморасширенного графита с иммобилизованными на нем мембранными фракциями бактерий *G. Oxydans* и безмедиаторное биоэлектрокаталитическое специфическое окисление этанола, как и в случае целых бактерий *G. Oxydans*.

При помощи акустоэлектронных технологий измерены плотность, модули упругости и диэлектрическая проницаемость пленки из оксида графена с толщиной 1-10 мкм, в том числе при различных значениях влажности. Показано, что модули упругости и проводимость плёнки оксида графена обратимо изменяются при изменении влажности.

Созданы прототипы акустоэлектронного датчика влажности на основе симметричных волн Лэмба высших порядков в 128YX+90 пластине ниобата лития с пониженным порогом срабатывания 0.03% RH и на основе поверхностной акустической волны Сезава в структуре пленка оксида графена/ZnO/Si с повышенным коэффициентом преобразования и линейным откликом.

Теоретическая значимость исследования: теоретически исследованы характеристики поперечно-горизонтальных акустических волн нулевого порядка в структуре «УХ пластина ниобата лития – воздушный зазор – пленка с произвольной проводимостью». На основе полученных теоретических результатов разработана оригинальная бесконтактная акустоэлектрическая методика измерения проводимости тонких плёнок в диапазоне 10^{-8} - $5 \cdot 10^{-6}$ См. Теоретически исследовано влияние влажности на характеристики симметричных волн Лэмба высших порядков в 128УХ+90 пластине ниобата лития и поверхностной акустической волны Сезава в структуре ZnO/Si в присутствии сенсорной пленки оксида графена. На основе полученных теоретических результатов созданы прототипы соответствующих датчиков влажности с улучшенными характеристиками.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что: рассмотренные в диссертации способы создания и исследования планарных одномолекулярных структур могут использоваться при производстве биосенсоров, в системах датчиков типа «Электронный нос», в распределённых сенсорных системах, в lab-on-chip технологиях и послужить основой для дальнейших исследований в одномолекулярной биосенсорике.

Использование наноуглеродных материалов с большой удельной поверхностью позволяет увеличить полезную площадь электродов, что приведет к увеличению удельной мощности биотопливного элемента. Биосовместимость наноуглеродных материалов позволяет использовать их для эффективной иммобилизации микроорганизмов и их мембранных фракций для улучшения электрофизических характеристик биотопливных элементов и биосенсоров.

Разработанный в диссертации метод бесконтактного измерения проводимости тонких пленок будет полезен для характеристики материалов, чувствительных к контактному явлению.

Разработанные акустоэлектронные датчики влажности на основе плёнки оксида графена превосходят серийные гигрометры по диапазону линейности, по коэффициенту преобразования, по порогу срабатывания и чувствительности.

Оценка достоверности результатов исследования выявила: Для исследований акустоэлектрического взаимодействия пленки оксида графена с пьезоэлектрическими линиями задержки в работе использован стандартный теоретический подход. Исследование созданных образцов сенсоров подтвердило справедливость использованного теоретического анализа.

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

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 В. В. Кашина является законченной научно-квалификационной работой, которая содержит решение научных и практических задач по изучению электрофизических и акустических свойств пленок оксида графена для создания новых акустоэлектронных сенсоров, по изучению электронного транспорта в планарных молекулярных ферментных структурах и на анодах биотопливных элементов. 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 11 ноября 2022 г. диссертационный совет принял решение присудить Кашину В.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 19 человек, из которых 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из общего числа 25 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 17, против – 1, 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

«11» ноября 2022 г.