

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научно- исследовательской работе
Федеральное государственное бюджетное обра-
зовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский университет
«МЭИ»



(ФГБОУ ВО «МЭИ»)

доктор технических наук,

профессор

ДРАГУНОВ Виктор Карпович

«...» сентября 2022 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу

Кашина Вадима Валерьевича

**«Электрофизические и акустические свойства сенсорных покрытий на основе био-
объектов и наноклеродных материалов для наноэлектронных и акустоэлектронных
датчиков»,**

представленную на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук по специальности

1.3.8 - физика конденсированного состояния

1. Актуальность темы диссертации

Сенсорика является одним из ключевых современных направлений науки и технологии и ее развитие связано, в том числе и с использованием и исследованием новых эффектов, новых способов измерений и новых материалов. Исследования электрофизических свойств материалов позволит не только улучшить параметры существующих сенсорных устройств, но и создать новые датчики с предельной чувствительностью. В случае востребованных в последние годы наноклеродных материалов важным является создание бесконтактных методов измерения их характеристик. Особые ожидания связываются с использованием акустических датчиков, обладающих уникальными свойствами по чувствительности, стабильности, миниатюризации и стоимости. Весьма интересными являются исследования молекулярных интерфейсов и использование отдельных органических молекул в качестве сенсорных элементов в планарных устройствах. Планарность – существенное требование микроэлектроники сегодняшнего дня, однако исследования возмож-

ности использования развитых поверхностей наноуглеродных материалов и создания объемных структур создают задел для будущих исследований и технологий. Особенно это эффективно при разработке сенсорных покрытий с использованием живых биообъектов. Не менее важным является и исследование электронного транспорта в биотопливных элементах с более дешевыми и технологичными биоматериалами в качестве сенсорных покрытий.

В связи с этим тема диссертации Кашина В.В., целью которой является исследование электрофизических и акустических свойств сенсорных покрытий на основе биообъектов и наноуглеродных материалов для создания нанозлектронных и акустоэлектронных сенсоров, а также исследование электронных процессов, протекающих в разрабатываемых устройствах, является несомненно актуальной.

2. Новизна исследования и полученных результатов.

Зарегистрирован электронный транспорт при использовании одиночной молекулы фермента, размещенной в нанозазоре до 5 нм, полученном для золотого нанопровода шириной 50 нм и толщиной 15 нм, при реакции окисления фермента глюкозооксидазы глюкозой. Получена концентрационная зависимость одномолекулярного биосенсора от процентного содержания глюкозы в тестовом растворе.

На основе терморасширенного графита с иммобилизованными на нем мембранными фракциями бактерий *G. oxydans* создан объемный биоанод топливного элемента. Работоспособность данного биоанода подтверждена экспериментально.

Обнаружено, что мембранные фракции *G. oxydans*, иммобилизованные на электроде из терморасширенного графита, так же, как и в случае целых бактерий *G. oxydans*, позволяют осуществить безмедиаторное биоэлектрокаталитическое специфическое окисление этанола на электроде.

Теоретически исследованы характеристики поперечно-горизонтальных акустических волн нулевого порядка в структуре «УХ пластина ниобата лития – воздушный зазор – пленка с произвольной проводимостью» и разработана оригинальная бесконтактная акустоэлектрическая методика измерения проводимости тонких плёнок в диапазоне 10^{-8} - $5 \cdot 10^{-6}$ См.

При помощи акустоэлектронных технологий измерены плотность (850 ± 10 кг/м³), продольный (12.3 ± 0.1 МПа) и поперечный (3.0 ± 0.1 МПа) модули упругости и диэлектрическая проницаемость (21 ± 1 при 20 Гц) сенсорной 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.

Теоретически и экспериментально исследовано влияние влажности на характеристики симметричных волн Лэмба высших порядков в $128^\circ Y-90^\circ X$ пластине ниобата лития в контакте с сенсорной пленкой оксида графена и создан прототип акустоэлектронного датчика влажности на этой основе с пониженным порогом срабатывания 0.03% RH.

Теоретически и экспериментально исследовано влияние влажности на характеристики поверхностной акустической волны Сезава в структуре пленка оксида графена/ZnO/Si и показана возможность создания акустоэлектронного датчика влажности с повышенным коэффициентом преобразования ~ 91 кГц/% и линейным откликом на изменение относительной влажности в диапазоне 20-98%RH.

3. Степень обоснованности и достоверности положений и выводов, сформулированных в диссертации.

Решение поставленных в диссертационном исследовании Кашина В.В. задач по расчету характеристик акустических волн и конструкций экспериментальных макетов и образцов выполнено на современном математическом уровне. Основные положения и выводы диссертации не противоречат современным теоретическим представлениям, достоверность полученных результатов подтверждается их сопоставимостью с результатами других авторов, а также хорошим соответствием расчетных и полученных автором экспериментальных данных.

4. Значимость для науки и практики выводов и рекомендаций диссертанта

Полученные результаты существенно уточняют и углубляют знания о свойствах пленок оксида графена. Особый интерес представляет бесконтактный метод измерения проводимости для нанокуглеродных материалов. Подробно исследованы сенсорные свойства оксида графена, впервые получены данные о диэлектрической проницаемости и модулях упругости полученных по описанной методике пленок. Полученные в диссертации значения материальных постоянных пленок оксида графена могут служить основой для постановки новых экспериментальных исследований. Разработанные датчики влажности имеют параметры, превосходящие параметры серийных гигрометров, а датчик влажности на волне Сезава превосходит известные прототипы по крутизне характеристики.

Использованные и разработанные в работе методики работы с планарными одномолекулярными устройствами позволяют проводить дальнейшие исследования электронного транспорта в подобных структурах, улучшать характеристики работающих на этих принципах датчиков.

Использование терморасширенного графита в качестве материала объемного электрода открывает новые перспективы развития биотопливных элементов. Применение мембранных фракций микроорганизмов может позволить сильно удешевить и упростить

используемые системы.

5.Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.

Описанные в диссертации новые результаты и выводы могут быть использованы в материаловедении для характеристики материалов с развитой поверхностью, чувствительной к контактным явлениям, тонких проводящих пленок и т.д. Результаты работы могут быть реализованы в новых типах планарных биосенсоров, в лабораториях на чипе, в распределенных системах датчиков типа «Электронный нос», для развития новых методов оперативного и точного определения электрических и механических параметров материала.

Использование терморасширенного графита позволяет увеличить полезную площадь электродов, что приведет к увеличению удельной мощности биотопливного элемента.

6. Соответствие работы требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям

Диссертация Кашина Вадима Валерьевича «Электрофизические и акустические свойства сенсорных покрытий на основе биообъектов и наноуглеродных материалов для наноэлектронных и акустоэлектронных датчиков» соответствует требованиям пунктов 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013г с изменениями на 11.09.2021 года. Содержание диссертационной работы соответствует паспорту специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния: п.1 – «Теоретическое и экспериментальное исследование физических свойств упорядоченных и неупорядоченных неорганических и органических систем, включая классические и квантовые жидкости, стекла различной природы, дисперсные, и квантовые системы»; п.6 – «Разработка экспериментальных методов изучения физических свойств и создание физических основ промышленной технологии получения материалов с определенными свойствами».

7.Соответствие содержания автореферата содержанию диссертации

Автореферат соответствует требованиям, предусмотренным п. 25 «Положения о присуждении ученых степеней», его содержание полностью отражает содержание диссертации, полученные результаты и выводы.

8.Оценка содержания и оформления диссертации

Диссертационное исследование Кашина В.В. в целом представляет собой завершённую квалификационную научную работу.

Поставленные в работе задачи решены на высоком теоретическом и экспериментальном уровне, цель диссертационного исследования достигнута. Основные положения

работы и выводы сформулированы ясно и аргументировано. Полученные результаты обладают несомненной научной значимостью и новизной.

Диссертация и автореферат оформлены в соответствии с предъявляемыми требованиями, язык и стиль изложения соответствуют литературным нормам.

Результаты исследований прошли хорошую апробацию на международных и всероссийских научных конференциях, опубликованы в 18 научных статьях в журналах, входящих в международную базу цитирования Web of Science и Scopus, из которых 5 - в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки России.

9.Замечания по работе

1. Главы диссертации, 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.

Перечисленные замечания не снижают научную и практическую ценность представленной работы.

10.Заключение

Диссертация Кашина В.В. представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой содержится решение задачи, имеющей существенное значение для создания научных основ и физических принципов разработки новых биологических и химических акустических датчиков, использующих акустические волны в пьезоэлектрических пластинах и структурах на их основе.

На основании вышеизложенного диссертация «Электрофизические и акустические

свойства сенсорных покрытий на основе биообъектов и наноуглеродных материалов для наноэлектронных и акустоэлектронных датчиков» соответствует критериям для кандидатских диссертаций, а ее автор Кашин Вадим Валерьевич достоин присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

Доклад Кашина В.В. по материалам диссертационной работы заслушан и обсужден на заседании кафедры Основ радиотехники 13 сентября 2022 года. На заседании присутствовало 14 сотрудников кафедры, в том числе 3 кандидата технических наук - специалиста по теме диссертации. Протокол № 9/22 от 13 сентября 2022 г.

Заведующая кафедрой Основ радиотехники МЭИ
Кандидат технических наук, доцент
Шалимова Елена Владимировна
номер телефона: +74953627044
адрес электронной почты: shalimovaev@mpei.ru

Отзыв подготовили:

ЖГУН Сергей Александрович,
Кандидат технических наук, с.н.с., заведующий лабораторией 08921
кафедры Основ радиотехники МЭИ
номер телефона: +74953627212 и +79036627805,
адрес электронной почты: zhgoon@mpei.ru,

Кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры Основ радиотехники
Швецов Александр Сергеевич,
номер телефона: +74953627212,
адрес электронной почты: shvetsov_as@mail.ru,

Кандидат технических наук, ассистент кафедры Основ радиотехники
Меркулов Андрей Александрович,
номер телефона: +74953627212,
адрес электронной почты: aamerkulovv@gmail.com,

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», сокращенно «ФГБОУ ВО «МЭИ»,
Адрес 111250, г. Москва Красноказарменная ул., дом 14,
Номер телефона: +74953627001, +74953627201
адрес электронной почты: universe@mpei.ac.ru