

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 27 декабря 2024 г., №14

**О присуждении Асафьеву Никите Олеговичу, гражданину России,
ученой степени кандидата физико-математических наук.**

Диссертация на тему: «Исследование физико-химических свойств материалов, в том числе, при высоких давлениях и температурах, с помощью СВЧ акустоэлектронных сенсоров на алмазных подложках» принята к защите 25 октября 2024, протокол № 11, диссертационным советом 24.1.111.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института 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 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 Асафьев Никита Олегович, 1995 года рождения, в 2020 окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки 03.04.01 «Прикладные математика и физика» с присвоением квалификации «магистр».

С сентября 2020 по август 2024 г. Асафьев Никита Олегович обучался в очной аспирантуре Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия». Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2024 году Учебным управлением Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)».

В настоящее время работает в лаборатории физической акустики и акустоэлектронных устройств НИЦ «Курчатовский институт» – ТИСНУМ в должности младшего научного сотрудника.

Работа выполнена в лаборатории физической акустики и акустоэлектронных устройств НИЦ «Курчатовский институт» – ТИСНУМ.

Научный руководитель: Сорокин Борис Павлович, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией физической акустики и акустоэлектронных устройств НИЦ «Курчатовский институт» – ТИСНУМ (спец. 01.04.07 Физика конденсированного состояния).

Официальные оппоненты:

Коробов Александр Иванович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры акустики физического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова

Левин Вадим Моисеевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией акустической микроскопии Института биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН
дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научно-технологический центр уникального приборостроения Российской академии наук, в своем положительном отзыве, подписанном Зининым Павлом Валентиновичем, кандидатом физико-математических наук, ведущим научным сотрудником лаборатории высокочастотных ультразвуковых методов НТЦ УП РАН, и утвержденном и.о. директора Научно-технологического центра уникального приборостроения РАН, доктором технических наук Михаилом Сергеевичем Афанасьевым, указала, что диссертация Асафьева Никиты Олеговича «Исследование физико-химических свойств материалов, в том числе, при высоких давлениях и температурах, с помощью СВЧ акустоэлектронных сенсоров на алмазных подложках» является завершенным научным трудом и удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор - Асафьев Н.О. достоин 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. В диссертации утверждается, что с помощью интегрированной измерительной системы “Камера высокого давления на алмазных наковальнях с композитным ОАВ-резонатором” можно исследовать акустические свойства материалов и фазовый переход к пластической деформации при высоких давлениях. К сожалению, в работе не приведены теоретические оценки, описывающие взаимосвязь изменения частоты с изменением акустических и вязкоупругих свойств образцов с ростом давления.

2. Утверждается, что использование ОАВ-резонатора в камере высокого давления на алмазных наковальнях позволяет измерять давление с точностью выше, чем с помощью широко используемого метода комбинационного рассеяния света в алмазе. Необходимо определить диапазон давлений, в котором это утверждение справедливо, и указать точность таких измерений.

3. В работе утверждается, что достигнутая чувствительность к приращению толщины плёнки платины составляет примерно 0,5 нм. Эта величина близка к

разрешению атомно-силового микроскопа по глубине. Поэтому вызывает вопрос точность оценки этой величины.

По результатам диссертационного исследования опубликовано 13 научных работ, в том числе: 10 статей в журналах, входящих в Перечень изданий, рекомендованных ВАК или приравненных к ним, 11 статей в журналах, входящих международные реферативные базы данных и системы цитирования WoS и Scopus, 2 статьи в сборниках конференций, 1 патент РФ. Основные результаты представлены также в виде докладов на 7 международных и российских конференциях. Публикации по материалам диссертации полностью отражают ее содержание.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Б.П. Сорокин, А.С. Новосёлов, Г.М. Квашнин, Н.В. Лупарев, **Н.О. Асафьев**, А.Б. Шипилов, В.В. Аксененков. Разработка и исследование композитных акустических резонаторов со структурой “Al/(Al,Sc)N /Mo/алмаз” с высокой добротностью на СВЧ. Акустический журнал. **2019**. Т. 65, № 3. С. 325–331. DOI: 10.1134/S0320791919030080.
2. B. Sorokin, G. Kvashnin, **N. Asafiev**, K. Kravchuk, N. Luparev, A. Sotnikov. Microwave diamond-based HBAR as ultrathin film sensor. Pt deposition. In: Proc. 2020 Joint Conf. of the IEEE Int. Frequency Control Symp. and Int. Symp. on Applications of Ferroelectrics (IFCS-ISAF), July 19-23, **2020**. Keystone, Colorado, USA. P. 1–4. DOI: 10.1109/IFCS-ISAF41089.2020.9234835.
3. Б.П. Сорокин, Г.М. Квашнин, Н.В. Лупарев, **Н.О. Асафьев**, Д.А. Щербаков. Исследования СВЧ акустических сенсоров на подложках из синтетического алмаза. Изв. ВУЗов. Химия и химическая технология. **2020**. Т. 63, №12. С. 63–70. DOI: 10.6060/ivkkt.20206312.10y.
4. B.P. Sorokin, **N.O. Asafiev**, G.M. Kvashnin, D.A. Scherbakov, S.A. Terentiev, V.D. Blank. Toward 40 GHz excitation of diamond-based HBAR. Appl. Phys. Lett. **2021**. V. 118. P. 083501. DOI: 10.1063/5.0038867.
5. A. Sotnikov, B. Sorokin, **N. Asafiev**, D. Scherbakov, G. Kvashnin, Yu. Suhak, H. Fritze, M. Weihnacht, H. Schmidt. Microwave acoustic attenuation in CTGS single crystals. IEEE Trans. on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control. **2021**. V. 68, No 11. P. 3423–3429. DOI: 10.1109/TUFFC.2021.3092831.
6. B.P. Sorokin, **N.O. Asafiev**, D.A. Ovsyanikov, G.M. Kvashnin, M.Yu. Popov, N.V. Luparev, A.V. Golovanov, V.D. Blank. Microwave acoustic studies of materials in diamond anvil cell under high pressure. Appl. Phys. Lett. **2022**. V. 121. P. 194102. DOI: 10.1063/5.0129651.
7. G. Kvashnin, B. Sorokin, **N. Asafiev**, V. Prokhorov, A. Sotnikov. Peculiarities of the acoustic wave propagation in diamond-based multilayer piezoelectric structures as “Me1/(Al,Sc)N/Me2/(100) diamond/Me3” and “Me1/AlN/Me2/(100) diamond/Me3” under metal thin-film deposition. MDPI Electronics. **2022**. V. 10, No 2. P. 49–53. DOI: 10.3390/electronics11020176.
8. Б.П. Сорокин, **Н.О. Асафьев**, Д.А. Овсянников, Г.М. Квашнин, Н.В. Лупарев, А.В. Голованов, М.Ю. Попов, В.В. Аксененков, В.Д. Бланк. Метод СВЧ акустического исследования материалов под высоким давлением. Изв. вузов. Химия и хим. технология. **2022**. Т. 65, вып. 11. С. 49–58. DOI: 10.6060/ivkkt.20226511.4y.
9. **Н.О. Асафьев**, Сорокин Б.П., Д.А. Овсянников, М.Ю. Попов, В.Д. Бланк. Акустоэлектронные сенсоры на основе композитных СВЧ резонаторов с алмазными

подложками. Труды XXXV сессии Российского Акустического общества. Москва, 13-17 февраля 2023 г. С. 580–585. ISBN 978-5-89118-863-1 DOI: 10.34756/GEOS.2023.17.38499.

10. Сорокин Б.П., Асафьев Н.О., Яшин Д.В., Кульницкий Б.А., Аксененков В.В., Батова Н.И. Температурная стабильность материалов для композитных СВЧ акустических резонаторов и сенсоров на алмазных подложках. Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2023. Т. 66, вып. 10. С. 75–83. DOI: 10.6060/ivkkt.20236610.8y.

11. B. Sorokin, N. Asafiev, D. Yashin, N. Luparev, A. Golovanov, K. Kravchuk. Microwave diamond-based HBAR as a highly sensitive sensor for multiple applications: acoustic attenuation in the Mo film. Sensors. 2023. V. 23, iss. 9. P. 4502. DOI: 10.3390/s23094502.

12. B.P. Sorokin, N.O. Asafiev, D.A. Ovsyannikov, M.Yu. Popov, D.V. Yashin, N.V. Luparev, V.D. Blank. Diamond-based HBAR as a high-pressure sensor. Ultrasonics. 2024. V. 142. P. 107380. DOI: 10.1016/j.ultras.2024.107380.

13. Б.П. Сорокин, Г.М. Квашнин, Н.О. Асафьев, Н.В. Лупарев. Патент RU 2 723 956. Российская Федерация МПК H01L41/00 “СВЧ акустический масс-сенсор”.

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

На автореферат диссертации поступили отзывы из:

- Научно-технологического центра уникального приборостроения РАН от д.т.н., доцента, с.н.с. Титова С.А. Отзыв положительный (замечание: В тексте автореферата не пояснено, какие величины откладываются на верхних осях графиков (Рис. 3); В п. 4.5 описан эксперимент по измерению давления по сдвигу частоты обертона акустического резонатора, который должен зависеть как от геометрии алмазной наковальни, так и от толщины и свойств гаскеты. В описании не раскрыто, разделяются ли их вклады, или предложенная методика применима для конкретных материалов и значений толщины);
- Института физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН от д.ф.-м.н., г.н.с. Втюрина А.Н. Отзыв положительный (замечаний нет);
- Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН от д.ф.-м.н., доцента, в.н.с. заведующего Центром компьютерного моделирования неорганических и композитных наноразмерных материалов Квашнина Д.Г. Отзыв положительный (замечание: Формулировка п. 4 секции “Научная новизна работы” вызывает неопределенность относительно способов определения термостойкости материалов Mo, Al, ASN. Неясно, будут ли эти материалы частью мультислойной структуры или их планируется исследовать отдельно, в качестве тонких плёнок; В тексте автореферата неоднократно указывается, что разработанные резонаторы могут использоваться в качестве физико-химических сенсоров. Однако не хватает конкретики относительно характеристик, которые эти резонаторы намерены регистрировать. Понятие физико-химических свойств является очень обширным, и с помощью одного резонатора невозможно охватить весь набор этих свойств);
- Саратовского филиала Института радиотехники и электроники им.

В.А. Котельникова РАН от д.ф.-м.н., профессора, заведующего лабораторией Зайцева Б.Д. Отзыв положительный (замечание: отсутствие расшифровки величин, входящих в приведённую формулу (3)).

Обоснование выбора официальных оппонентов и ведущей организации:

Коробов Александр Иванович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры акустики физического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова является крупным специалистом в области акустики твёрдого тела. Известен своими работами в области исследования влияния внешних воздействий на линейные и нелинейные акустические свойства твердых тел.

Левин Вадим Моисеевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией акустической микроскопии Института биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН является ведущим специалистом в области физики и техники ультразвука, фокусированного высокочастотного ультразвука 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 учреждение науки Научно-технологический центр уникального приборостроения Российской академии наук известен своими разработками и исследованиями в области научных приборов и систем, а также акустических технологий. 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: расширена методология изучения физико-химических и акустических свойств твёрдых тел при помощи СВЧ сенсора на основе многослойного ОАВ-резонатора на алмазной подложке. Показана эффективность замены чистого нитрида алюминия нитридом алюминия-скандия в пьезоэлектрических резонаторах для более эффективного возбуждения многослойных ОАВ-резонаторов и увеличения коэффициента электро-механической связи. Определено акустическое затухание в плёнках Mo на частотах до 20 ГГц и в монокристаллах СТГС на частотах до 6 ГГц. Впервые в многослойном ОАВ-резонаторе возбуждены объёмные акустические волны на частоте 40 ГГц с параметром качества резонатора $Q:f \sim 4 \cdot 10^{14}$ Гц. По изменению акустических параметров в СВЧ диапазоне созданного многослойного ОАВ-резонатора зафиксирован фазовый переход в Zr при давлении 2-2.5 ГПа.

Теоретическая значимость исследования: Рассчитано акустическое затухание в тонких плёнках Mo на частотах до 20 ГГц и в монокристаллах СТГС на частотах до 6 ГГц, а также определены компоненты тензора вязкости в

монокристаллах СТГС на частотах до 6 ГГц на основе экспериментально полученных данных. Показано, что затухание по механизму Ахиезера сохраняется в Мо и СТГС до 20 ГГц и до 6 ГГц включительно, соответственно.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что: представленная в диссертации методология может быть использована при экспериментальном изучении свойств тонких и сверхтонких плёнок, а также монокристаллов новых материалов в широком диапазоне рабочих частот. Экспериментальная возможность изучения *in situ* в СВЧ диапазоне фазовых переходов в твёрдых телах при высоких давлениях позволит расширить знания о физических свойствах веществ и уточнить их фазовые диаграммы.

Оценка достоверности результатов исследования выявила: В работе использованы широко известные экспериментальные методики: измерение амплитудно-частотной характеристики устройств с помощью векторного анализатора цепей, атомно-силовая микроскопия, рентгеновский фазовый анализ, сканирующая электронная микроскопия, оптическая профилометрия, магнетронное распыление, оптическая взрывная литография.

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.

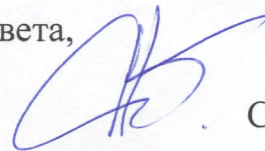
Личный вклад соискателя состоит в том, что все результаты, вошедшие в данную диссертационную работу, получены автором лично или при его непосредственном участии. Автор работы участвовал в постановке и проведении экспериментов по исследованию физико-химических и акустических свойств материалов. В соавторстве получен патент РФ.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было. На все заданные в ходе заседания вопросы Асафьев Н.О. дал аргументированные ответы.

На заседании 27 декабря 2024 г. диссертационный совет постановил: за решение научной задачи, расширяющей методологию изучения физико-химических и акустических свойств твёрдых тел с помощью многослойных ОАВ-резонаторов; изучение физических и акустических свойств материалов в СВЧ диапазоне, в том числе при высоком давлении, что имеет значение для развития фундаментальных и прикладных знаний в области физики конденсированного состояния, присудить Асафьеву Н.О. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

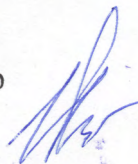
При проведении тайного голосования участвующие в заседании члены диссертационного совета в количестве 15 человек участвовавших в заседании, из которых 4 доктора наук по специальности рассматриваемой диссертации, из общего числа 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 12, против – 2, 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

«27» декабря 2024 г.

