

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

РХТУ.2.6.06 РХТУ им. Д.И. Менделеева  
по диссертации на соискание ученой степени доктора наук

аттестационное дело № 6/23  
решение диссертационного совета  
от 14 сентября 2023 г. № 9

О присуждении ученой степени доктора технических наук Мочалову Леониду Александровичу, представившему диссертационную работу на тему «Плазмохимический синтез тонких пленок оксида галлия, оксида цинка и халькогенидов систем As(S,Se,Te) и As-Se-Te» по научным специальностям 2.6.7. Технология неорганических веществ, 2.6.17. Материаловедение.

Принята к защите 08 июня 2023 г., протокол № 5 диссертационным советом РХТУ.2.6.06 РХТУ им. Д.И. Менделеева. Состав диссертационного совета утвержден в количестве 23 человек приказами и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева № 269 А от «08» июля 2022 г., № 435 А от «20» октября 2022 г., № 523 А от «28» ноября 2022 г.

Приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева № 632ст от «21» апреля 2023 г. в состав диссертационного совета дополнительно введены 5 человека – специалистов по научной специальности 2.6.17. Материаловедение.

Соискатель Мочалов Леонид Александрович 1972 года рождения. В 1994 году окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» (диплом серия ЦВ номер 537686). В 1998 году окончил аспирантуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» (диплом серия ДКН номер 167645).

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата химических наук на тему «Термодинамика урансодержащих соединений ряда  $M^I P(As)UO_6$  ( $M^I$  – H, Li, Na, K, Rb, Cs) и их кристаллогидратов» по научной специальности 02.00.04 Физическая химия защитил в 1998 году, в диссертационном совете, созданном на базе Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского.

Соискатель работает старшим научным сотрудником управления научно-исследовательских и инновационных работ федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева».

Диссертация выполнена на кафедре «Нанотехнологии и биотехнологии» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева».

Официальные оппоненты:

д.х.н., профессор Сулейманов Евгений Владимирович, главный научный сотрудник лаборатории неорганических материалов отдела химии неорганических соединений научно-исследовательского института химии ННГУ им. Н.И. Лобачевского;

д.х.н., профессор Маренкин Сергей Федорович, главный научный сотрудник лаборатории полупроводниковых и диэлектрических материалов ИОНХ РАН,

д.х.н., профессор Аветисов Игорь Христофорович, заведующий кафедрой химии и технологии кристаллов РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Основные положения и выводы диссертационного исследования в полной мере изложены в 41 научной работе, опубликованных соискателем, в том числе в 31 публикации в изданиях, индексируемых в международных базах данных. 8 наиболее значимых статей приведены далее:



1. **Mochalov L.** Heteroepitaxial Growth of Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Thin Films of Various Phase Composition by Oxidation of Ga in Hydrogen-Oxygen Plasmas / L. Mochalov, A. Logunov, M. Kudryashov, I. Prokhorov, T. Sazanova, P. Yunin, V. Pryakhina, I. Vorotuntsev, V. Malyshev, A. Polyakov and S. Pearton // ECS Journal of Solid-State Science and Technology. – 2021 – V. 10 (7) – 073002.

Статья посвящена изучению гетероэпитаксиального роста тонких пленок Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> различного фазового состава путем окисления Ga в водородно-кислородной плазме. Объем статьи 13 страниц.

2. **Mochalov L.** Plasma-Chemical Synthesis of Ytterbium Doped As–S Thin Films / L. Mochalov, M. Kudryashov, A. Logunov, A. Kovalev, V. Vorotyntsev // Plasma Chemistry and Plasma Processing. – 2021 – V. 41 (6) – P. 1661–1670.

В статье описан плазмохимический синтез тонких пленок As–S, легированных иттербием. Объем статьи 11 страниц.

3. **Mochalov L.** Characteristics of the Te-based chalcogenide films dependently on the parameters of the PECVD process // L. Mochalov, A. Logunov, A. Markin, A. Kitnis, V. Vorotyntsev // Optical and Quantum Electronics. – 2020 – V. 52(4) – 197

В статье изучены характеристики халькогенидных пленок на основе Te зависящие от параметров процесса PECVD. Объем статьи 12 страниц.

4. **Mochalov L.** Plasma-Chemistry of Arsenic Selenide Films: Relationship Between Film Properties and Plasma Power/ L. Mochalov, A. Logunov, A. Kitnis, V. Vorotyntsev // Plasma Chemistry and Plasma Processing. – 2020 – V. 40(1) – P. 407-421.

Статья посвящена изучению взаимосвязи между свойствами пленок селенида мышьяка и мощностью плазмы. Объем статьи 15 страниц.

5. **Mochalov L.** Modification of the plasma-prepared As–Se–Te films and creation on their base the planar waveguides by continuous laser writing/ L. Mochalov, A. Logunov, I. Vorotyntsev, V. Vorotyntsev // Optical and Quantum Electronics. – 2019 – V. 51 – P. 280 – 292.

Статья посвящена модификации полученных в плазме пленок As–Se–Te и созданию на их основе плоских волноводов методом непрерывной лазерной записи. Объем статьи 10 страниц.

6. **Mochalov L.** Structural and optical properties of As-Se-Te chalcogenide films prepared by plasma-enhanced chemical vapor deposition / L. Mochalov, A. Logunov, V. Vorotyntsev // Materials Research Express. – 2019 – V. 6(5) – C. 125 – 132.

В статье изучены структурные и оптические свойства пленок халькогенидов As-Se-Te, полученных методом химического осаждения из газовой фазы в плазменном разряде. Объем статьи 12 страниц.

7. **Mochalov L.** Optical emission of two-dimensional arsenic sulfide prepared by plasma / L. Mochalov, A. Nezhdanov, A. Logunov, M. Kudryashov, I. Krivenkov, A. Vorotyntsev, D. Gogova, A. Mashin // Superlattices and Microstructures. – 2018 – V. 114 – P. 305 – 313

Статья посвящена исследованию оптического излучения двумерного сульфида мышьяка, полученного в плазме. Объем статьи 8 страниц.

8. **Mochalov L.** Influence of Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition Parameters on Characteristics of As–Te Chalcogenide Films / L. Mochalov, A. Nezhdanov, M. Kudryashov, A. Logunov, A. Strikovskiy, M. Gushchin, G. Chidichimo, G. De Filpo, A. Mashin // Plasma Chem. Plasma Process. – 2017 – V. 37 – P. 1417 – 1429.

В статье изучено влияние параметров химического осаждения из паровой фазы с усилением плазмой на характеристики пленок As-Te. Объем статьи 13 страниц.

Результаты работы апробированы на 9 международных научных конференциях.

Получены два патента на изобретения:

1. патент №218.016.2604 РФ, Способ вакуумной очистки теллура от углеродсодержащих наноразмерных гетеровключений / Нежданов А.В., Машин А.И., Мочалов Л.А. – Оpubл.13.02.2018;



2. патент №216.015.42FE РФ, Плазмохимический способ получения халькогенидных стекол системы As-S и устройство для его реализации/ Степанов А. Н., Нежданов А. В., Машин А. И., Воротынцев В. М., Стриковский А.В., Костров А.В., Мочалов Л.А. – Оpubл. 19.10.2018.

Все работы опубликованы в соавторстве. Личный вклад автора в настоящую работу составляет 85% и заключается в обосновании и постановке теоретических и экспериментальных исследований, разработке математических и физико-химических моделей, создании экспериментальных установок, разработке методик эксперимента, участии в получении экспериментального материала, анализе и систематизации расчетных и экспериментальных данных, обсуждении полученных данных, формулировании выводов и положений.

#### **На диссертацию и автореферат поступили отзывы:**

1. Отзыв на диссертацию официального оппонента доктора химических наук, профессора Сулейманова Евгения Владимировича, главного научного сотрудника лаборатории неорганических материалов отдела химии неорганических соединений научно-исследовательского института химии ННГУ им. Н.И. Лобачевского. В отзыве отражены актуальность темы, научная новизна, достоверность и надежность полученных данных, результаты критического анализа существа работы.

Замечания и вопросы по работе:

1. В диссертации содержатся повторяющиеся фрагменты, касающиеся условий синтеза халькогенидных материалов.
2. На стр. 72 не до конца понятен выбор соотношения  $H_2:O_2$  (2:1, 1:1, 1:2), а также роль  $H_2$  в синтезе  $Ga_2O_3$ .
3. В экспериментальной части получения пленок As-S, легированных иттербием на стр. 91 не совсем понятно, как осуществлялись загрузка и нагрев исходного металлического Yb для подачи его паров в реактор.
4. На стр. 231 исследование ZnO, а именно ZnO в виде наностержней по типу вюрцита, - нет четкого объяснения механизма роста таких наностержней.

Заключение по работе положительное. Диссертационная работа Мочалова Л.А. представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно обоснованные технические, технологические или иные решения и разработки, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальностям 2.6.7. Технология неорганических веществ и 2.6.17. Материаловедение.

2. Отзыв на диссертацию официального оппонента доктора химических наук, профессора Маренкина Сергея Федоровича, главного научного сотрудника лаборатории полупроводниковых и диэлектрических материалов ИОНХ РАН. В отзыве отражены актуальность темы, научная новизна, практическая значимость и теоретическая значимость.

Замечания по работе:

1. В диссертации на рис.4 представлен алгоритм получения и исследования тонких пленок оптического и полупроводникового качества. На мой взгляд в предложенную схему необходимо добавить или более четко рассмотреть и выделить лимитирующую стадию. Обычно процессы получения пленок разбивают на три основных стадий. Это испарение, массоперенос и конденсация. Конечно, каждая стадия сопровождается рядом особенностей, в зависимости, какие процессы происходят. Рассмотрение этих процессов и выделение лимитирующей стадии, при определенных технологических условиях, позволило бы полнее проводить анализ качества получаемых пленок.
2. В третьей главе, посвященной плазмохимическому синтезу, не совсем понятно, происходит ли контакт нагретых паров халькогенов с металлом в местах сочленения кварц-металл. Если такой контакт происходит, то возможен процесс неконтролируемого загрязнения халькогена.
3. В четвертой главе посвященной модификации халькогенидных пленок непрерывным лазерным излучением, представляется для более объективной оценки оптической



прозрачности привести данные по коэффициенту поглощения, т.к. значение отражения пленок не рассматривались.

4. В качестве замечания по стилю и форме диссертации можно отметить, что наблюдаются повторы фраз, например, при описании метода атомно силовой микроскопии стр. 103 и 111.

Заключение по работе положительное. Приведенные замечания не снижают научный уровень и практическую ценность рецензируемой диссертации. Актуальность темы, степень обоснованности выводов и научных положений работы, достоверность и новизна результатов позволяют заключить, что диссертация Мочалова Л.А. представляет собой законченную научную работу, в которой содержится решение проблемы, имеющей важное значение для полупроводниковой промышленности, а ее автор – Мочалов Леонид Александрович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальностям 2.6.7. Технология неорганических веществ и 2.6.17. Материаловедение.

3. Отзыв на диссертацию официального оппонента доктора химических наук, профессора **Аветисова Игоря Христофоровича**, заведующего кафедрой химии и технологии кристаллов РХТУ им. Д.И. Менделеева. В отзыве отражены актуальность темы, научная новизна, достоверность и надежность полученных данных, результаты критического анализа существа работы.

Замечания по работе:

1. Автор в диссертации говорит о тонких пленках. При этом характеристика пленок по толщине в большинстве случаев отсутствует. Не ясно какие требования к толщине пленок предъявляются в зависимости от их практического использования. По косвенным данным (скорости осаждения и времени процесса) можно предположить, что речь идет о слоях толщиной от 100 до 600 нм. Естественный вопрос. Как при таких толщинах проводилась съемка рентгеновской дифракции с целью определения фазы пленочного материала? Каким образом устранялось влияние подложки? На стр. 88 при описании аппаратуры для рентгеновской дифракции также добавлен хромато-масс спектрометр FOCUS DSQ II без пояснения о том, какие измерения проводились с помощью данного прибора.

2. В работе отсутствуют прямые измерения примесного состава продуктов (как порошков, так и тонких пленок). Между тем хорошо известно, что примеси в концентрации даже  $10^{-3}$  мас.% могут существенно влиять на процесс трансформации фаз при полиморфных переходах. В этой связи оценки по фазообразованию различных полиморфных модификаций оксида галлия недостаточно обоснованы.

3. При обсуждении результатов по пленкам оксида цинка автор исходит из того, что метод рентгеновской флуоресцентной спектроскопии (в диссертации ошибочно написано метод EDX, который является лишь одним из вариантов детектирования спектров рентгеновской флуоресценции) определяет состав пленок оксида цинка ( $Zn_{43\pm 1}O_{57\pm 1}$ ,  $Zn_{49\pm 1}O_{41\pm 1}$ ,  $Zn_{56\pm 1}O_{44\pm 1}$  - стр.228). Автору следовало оговориться, что это условный состав, так как область гомогенности фазы оксида цинка не превышает 0,1 мол.%. Следовательно, в рамках указанных составов должны были получаться двухфазные образцы, которые легко идентифицировались методом РФА, что противоречит полученным автором результатам. Это замечание в полной мере относится и к образцам As-S (раздел 5.2).

4. При анализе содержания остаточного углерода в образцах серы (раздел 5.1) автору следовало бы привести результаты примесного анализа серы до и после проведения плазмохимического процесса, так как результатом данной работы является получение высокочистого препарата, свободного от наноразмерных включений углерода.

5. Раздел 6 диссертации «Модификация халькогенидных пленок лазерным излучением. Создание планарных структур» не отражен в Заключение. Встает вопрос о необходимости данного раздела диссертации.

6. Статистическая обработка данных по составу пленок методом РФС в диссертации не приводится. При этом в разных местах погрешность определения состава пленок составляет либо  $\pm 1$  ат.% (таб.3.4, 3.6), либо  $\pm 2$  ат.% (таб.3.12) без указания доверительной вероятности рассчитанной погрешности.



Заключение по работе положительное. Приведенные замечания не снижают теоретическую и практическую ценность рецензируемой диссертации. Диссертационная работа Мочалова Л.А. представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения и разработки, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальностям 2.6.7. Технология неорганических веществ и 2.6.17. Материаловедение.

4. Отзыв на автореферат кандидата физико-математических наук **Алмаева Алексея Викторовича**, заведующего лабораторией металлооксидных полупроводников Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет». В отзыве на автореферат отмечена актуальность темы, а также наиболее важные результаты работы и практическая значимость.

По работе имеются замечания:

1. Требуется пояснения формулировка «...близкие к монокристаллическим тонкие пленки...».
2. Не указаны толщины выращенных оксидов галлия и цинка.
3. На рисунке 7 и в соответствующих местах текста автореферата перепутаны РДА спектры для оксидов галлия и цинка.
4. Из текста автореферата следует, что микроструктура плёнок  $Ga_2O_3$  с высоким содержанием GaN имеет два уровня: первый представлен крупными фрагментами размером порядка 1 мкм; второй - нанонити с диаметром несколько десятков нм. Проявление таких резко отличающихся элементов микроструктуры плёнок требует объяснения.
5. Для плёнок  $(Al_xGa_{1-x})_2O_3$  для подтверждения полученных результатов необходимо было представить спектры пропускания.

Диссертация Мочалова Леонида Александровича выполнена на высоком научном уровне и заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальностям 2.6.7. Технология неорганических веществ и 2.6.17. Материаловедение. Отзыв положительный.

5. Отзыв на автореферат доктора физико-математических наук, профессора **Дорохина Михаила Владимировича**, заведующего научно-исследовательской лабораторией спиновой и оптической электроники Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского». В отзыве на автореферат отмечена актуальность и практическая значимость диссертационной работы.

В качестве замечания к автореферату можно отметить ошибки оформления: в части текста отсутствуют красные строки, отступы после подписей к рисункам и знаки препинания, что затрудняет восприятие текста.

На основании положений автореферата и списка опубликованных научных работ можно утверждать, что диссертация Мочалова Леонида Александровича «Плазмохимический синтез тонких пленок оксида галлия, оксида цинка и халькогенидов систем As(S,Se,Te) и As-Se-Te» выполнена на высоком научном уровне, а её автор заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальностям 2.6.7. Технология неорганических веществ и 2.6.17. Материаловедение. Отзыв положительный.

6. Отзыв на автореферат доктора технических наук **Левонича Бориса Наумовича**, заместителя директора по науке ООО «Лассард». В отзыве на автореферат отмечена актуальность и перспективность темы, а также практическая значимость.

В качестве замечания отмечено отсутствие в реферате информации о возможности получения халькогенидных материалов с высоким окном прозрачности в особо интересной области спектра 10.6 микрон на основе тройной системы Ge-As-Se путем плазмохимического осаждения из газовой фазы.

Указанные замечания не снижают высокого научного уровня и практической значимости работы. Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, а ее автор – Мочалов Л.А. заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по



специальностям 2.6.7. Технология неорганических веществ и 2.6.17. Материаловедение. Отзыв положительный.

7. Отзыв на автореферат доктора технических наук, профессора **Мирошниковой Ирины Николаевны**, и.о. заведующего кафедрой электроники и наноэлектроники ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ». В отзыве на автореферат отмечены актуальность и основные результаты работы, а также ее высокий уровень и большое количество опубликованных по теме диссертации работ.

Замечания по работе:

1. Плохое качество рисунка 3.
2. Некорректность подписи к рисунку 8 - Результаты исследования образцов тонких пленок  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, легированных ZnO методом СЭМ (?) - вероятно, полученных методом СЭМ (?).
3. Качество рисунка 15,b не позволяет оценить размеры слоистой структуры.
4. На рисунке 19 русские Вт соседствуют с nm.
5. Следовало бы дать расшифровки сокращений после первого упоминаний, например, термин CVD на стр. 17 расшифровывается, что удобно, даже если это сокращение и общепринято, но «метод СЭМ» следовало бы расшифровать на стр. 9, а не на стр. 14; XRD и ОЭС - на стр. 10, АСМ - на стр. 16, а еще лучше было бы указать марку микроскопа (да и других используемых приборов), например, в разделе Методология и методы исследования. PECVD (Plasma-enhanced chemical vapor deposition), ДСК (дифференциальная сканирующая калориметрия) - также следовало бы расшифровать после первого упоминания.

Несмотря на высказанные замечания, сам текст оставляет приятное впечатление и подчеркивает свободу автора переходить с русского на английский. Диссертационная работа Мочалова Леонида Александровича выполнена на высоком научном уровне, а её автор заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальностям 2.6.7. Технология неорганических веществ и 2.6.17. Материаловедение. Отзыв положительный.

8. Отзыв на автореферат доктора физико-математических наук **Толбанова Олега Петровича**, директора Центра исследований и разработок «Перспективные технологии в микроэлектронике», заведующего лабораторией детекторов синхротронного излучения Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет». В отзыве на автореферат отмечена актуальность темы, практическая значимость работы и основные теоретические и практические результаты.

Замечания по работе:

1. Каковы перспективы предложенного метода синтеза с точки зрения создания многослойных структур?
2. Каковы возможности предложенного метода с точки зрения изменения типа проводимости структур на основе оксида галлия?

Приведенные замечания не снижают научный уровень и практическую ценность диссертационной работы. Диссертационная работа Мочалова Леонида Александровича выполнена на высоком научном уровне, ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальностям 2.6.7. Технология неорганических веществ и 2.6.17. Материаловедение. Отзыв положительный.

9. Отзыв на автореферат доктора технических наук **Спивак Юлии Михайловны**, доцента кафедры микро- и наноэлектроники СПбГЭТУ «ЛЭТИ». В отзыве отмечена практическая значимость, а также основные теоретические результаты работы. Замечания по автореферату:

1. В автореферате не указана толщина полученных пленок, а также скорость осаждения.
2. На указана температура реактора в процессе плазмохимического осаждения.

Приведенные замечания не снижают теоретическую и практическую значимость работы. Диссертация Мочалова Леонида Александровича выполнена на высоком научном уровне, ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по



специальностям 2.6.7. Технология неорганических веществ и 2.6.17. Материаловедение. Отзыв положительный.

Выбор официальных оппонентов основывается на компетентности оппонентов в соответствующей отрасли науки, наличия у них публикаций по научной специальности и тематике защищаемой диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

*разработаны* научные и технологические основы плазмохимического метода синтеза современных неорганических полупроводниковых материалов на примере оксида галлия, оксида цинка и халькогенидов систем As-S, As-Se, As-Te, As-Se-Te в низкотемпературной неравновесной плазме ВЧ разряда при пониженном давлении и изучение их физико-химических свойств,

*предложены* возможные механизмы протекания реакций в зависимости от соотношений исходных веществ в газовой фазе и мощности, подаваемой в плазменный разряд,

*доказана* перспективность использования разработанного технологического подхода для синтеза оптических и полупроводниковых материалов с заданными свойствами.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

*доказана* возможность использования исключительно высокочистых элементов в качестве исходных веществ, а низкотемпературную плазму в качестве инициатора химических превращений для получения функциональных материалов в широком диапазоне макросоставов, фазовых состояний и морфологий поверхности,

*доказаны* конверсия примесей в плазменном разряде при пониженном давлении, а также возможность получения планарных халькогенидных структур высокого качества с точки зрения химической и структурной однородности при плазменном иницировании химических превращений,

*изложены* этапы и тенденции формирования конечной твердой фазы в зависимости от условий протекания плазмохимических процессов,

*раскрыта* экспериментальная возможность формирования в плазменном разряде новых 2D-структур халькогенидных материалов, ранее предсказанных только теоретически,

*изучена* зависимость порога фемтосекундной лазерной модификации халькогенидных пленок в пространстве параметров,

*проведена* модернизация существующих численных методов обработки спектров оптической эмиссии за счет комбинирования с данными масс-спектрометрии.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

*разработаны* диоды Шоттки на базе полученных материалов  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Образцы, выращенные на подложках из монокристаллического кремния, были проводящими n-типа с низкой плотностью доноров. ВАХ, измеренная на диоде Шоттки, показала приемлемое выпрямление, но высокое последовательное сопротивление  $4.8 \times 10^4$  Ом, высокую плотность тока утечки и коэффициент идеальности, близкий к 2. Измерения емкости-напряжения дали чистую концентрацию доноров  $1.3 \times 10^{15}$  см<sup>-3</sup> при 100 Гц. Спектры Адмиттанса (проводимость  $G$  по переменному току, деленная на угловую частоту  $\omega$ ) показали два пика, один с энергией активации 0.035 эВ, близкой к энергии ионизации доноров Si в  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, другой около 0.7 эВ, близкий к энергии ловушек электронов E2\*.

*разработаны* высокочувствительные газовые сенсоры, созданные на основе образцов наноструктур оксида галлия, легированных нитридом галлия,

*определены* возможности разработанной технологии для получения халькогенидных планарных структур с четко заданным макросоставом и высоким качеством поверхности для дальнейшего применения области прецизионной литографии,

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

*для экспериментальных работ* достоверность полученных в работе результатов



обеспечивалась применением современного оборудования. Подтверждение правильности результатов осуществлено сравнением с данными, полученными независимыми методами.

*теория построена* на хорошо известных и многократно апробированных в области плазмохимии методах получения данных о диагностики процессов;

*идея базируется* на плазменном инициировании химических процессов, при котором снимаются кинетические ограничения химических реакций;

*использованы* современные научные представления о методах исследования химически-активной плазмы и физико-химических свойств полученных материалов;

По своему содержанию диссертация отвечает паспортам научных специальностей:

2.6.7. *Технология неорганических веществ* в пункте:

9. Разработка оптимальных структур и конструкций, а также инновационных технологий изготовления материалов с заданными потребительскими и технико-экономическими показателями для обеспечения снижения затрат на организацию их производства и повышение качества продукции.

2.6.17. *Материаловедение* в пунктах:

4. Разработка физико-химических и физико-механических процессов формирования новых металлических, неметаллических и композиционных материалов, обладающих уникальными функциональными, физико-механическими, биомедицинскими, эксплуатационными и технологическими свойствами, оптимальной себестоимостью и экологической чистотой.

6. Разработка и совершенствование методов исследования и контроля структуры, испытание и определение физико-механических и эксплуатационных свойств металлических, неметаллических и композиционных материалов и функциональных покрытий.

11. Разработка функциональных покрытий различного назначения и методов управления их свойствами и качеством.

12. Разработка физико-химических процессов получения функциональных покрытий на основе новых металлических, неметаллических и композиционных материалов. Установление закономерностей влияния состава, структуры, технологии, а также эксплуатационных и других факторов на свойства функциональных покрытий.

Личный вклад соискателя состоит в обосновании и постановке теоретических и экспериментальных исследований, разработке математических и физико-химических моделей, создании экспериментальных установок, разработке методик эксперимента и руководстве его проведением, участии в получении экспериментального материала, анализе и систематизации расчетных и экспериментальных данных, обсуждении полученных данных, формулировании выводов и положений.

На заседании диссертационного совета РХТУ.2.6.06 14 сентября 2023 г. принято решение о присуждении ученой степени доктора технических наук Мочалову Леониду Александровичу.

Присутствовало на заседании \_\_ членов диссертационного совета, в том числе в режиме видеоконференции 7. Докторов наук по научным специальностям рассматриваемой диссертации: 2.6.7. *Технология неорганических веществ* - 8, 2.6.17. *Материаловедение* - 5.

При проведении голосования члены диссертационного совета по вопросу присуждения ученой степени проголосовали:

Результаты тайного голосования:

«за» - 12,

«против» - 1,

недействительные бюллетени - нет.



