

### Заключение диссертационного совета МГУ.013.3

по диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Решение диссертационного совета от 11 сентября 2025 г. № 5

О присуждении Логинову Артему Борисовичу, гражданину Российской Федерации,  
ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Формирование пленок двумерных материалов в процессе газофазного химического осаждения» по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния принята к защите диссертационным советом МГУ.013.3 24 июня 2025 г., протокол № 2.

Соискатель Логинов Артем Борисович, 1997 года рождения, в период подготовки диссертации обучался в аспирантуре Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» с 01.10.2021 г. по настоящее время.

Соискатель работает в должности ведущего инженера кафедры физики полимеров и кристаллов физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова».

Диссертация выполнена на кафедре физики полимеров и кристаллов физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова».

Научный руководитель – Образцов Александр Николаевич, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры физики полимеров и кристаллов физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова».

Официальные оппоненты:

Попов Михаил Юрьевич, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М.Прохорова Российской академии наук», Центр естественно-научных исследований, отдел светоиндуцированных поверхностных явлений, ведущий научный сотрудник лаборатории алмазных материалов;

Мишина Елена Дмитриевна, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет», профессор кафедры нанoeлектроники;

Горшунов Борис Петрович, доктор физико-математических наук, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), заведующий лабораторией терагерцовой спектроскопии

дали положительные отзывы на диссертацию.

Выбор официальных оппонентов обосновывался их профессиональной квалификацией и наличием публикаций в области физики конденсированного состояния.

Соискатель имеет 38 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 9 статей, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния (по физико-математическим наукам). Все статьи индексируются в базах данных Web of Science, Scopus и RSCI:

1. Loginov A.B. Designing a scanning probe microscope for in situ study of carbon materials growth processes during chemical vapor deposition / Loginov A.B., Ismagilov R.R. // *Journal of Nanophotonics*. – 2017. – Vol. 11, No. 3. – P. 032509. Импакт-фактор 1,1 (JIF), 1,85 печ.л., вклад автора - 0,9.

2. Loginov A.B. Few-layer graphene formation by carbon deposition on polycrystalline Ni surface / Loginov A.B., Bozhev I.V., Bokova-Sirosh S.N., Obraztsova E.D., Ismagilov R.R., Loginov B.A., Obraztsov A.N. // *Applied Surface Science*. – 2019. – Vol. 494. – P. 1030-1035. Импакт-фактор 6,3 (JIF), 1,38 печ.л., вклад автора - 0,8.

3. Логинов А.Б. Формирование графена на поликристаллическом никеле / Логинов А.Б., Божьев И.В., Бокова-Сирош С.Н., Образцова Е.Д., Исмагилов Р.Р., Логинов Б.А., Образцов А.Н. // *Журнал технической физики*. – 2019. – Т. 89, № 11. – С. 1756-1762. Импакт-фактор 0,7 (РИНЦ), 1,61 печ.л., вклад автора - 0,8.

Loginov A.B. Formation of graphene on polycrystalline nickel / Loginov A.B., Bozhev I.V., Bokova-Sirosh S.N., Obraztsova E.D., Ismagilov R.R., Loginov B.A., Obraztsov A.N. // *Technical Physics*. – 2019 – Vol. 64, No. 11. – P. 1666-1672. Импакт-фактор 1,1 (JIF), 1,61 печ.л., вклад автора - 0,8.

4. Логинов А.Б. Формирование наноструктурированных пленок MoS<sub>2</sub>, WS<sub>2</sub>, MoO<sub>2</sub> и гетероструктур на их основе / Логинов А.Б., Исмагилов Р.Р., Бокова-Сирош С.Н., Божьев И.В., Образцова Е.Д., Логинов Б.А., Образцов А.Н. // *Журнал технической физики*. – 2021. – Т. 91, № 10. – С. 1509-1516. Импакт-фактор 0,7 (РИНЦ), 1,84 печ.л., вклад автора - 0,8.

Loginov A.B. Formation of nanostructured films based on MoS<sub>2</sub>, WS<sub>2</sub>, MoO<sub>2</sub> and their heterostructures / Loginov A.B., Ismagilov R.R., Bokova-Sirosh S.N., Bozhev I.V., Obraztsova E.D., Loginov B.A., Obraztsov A.N. // *Technical Physics*. – 2022. – Vol. 92, No. 13. – P. 2078-2084. Импакт-фактор 1,1 (JIF), 1,61 печ.л., вклад автора - 0,8.

5. Loginov A.B. Synthesis, Structural, and Photoluminescence Properties of MoS<sub>2</sub> Nanowall Films / Loginov A.B., Fedotov P.V., Bokova-Sirosh S.N., Sapkov I.V., Chmelenin D.N., Ismagilov R.R., Obraztsova E.D., Loginov B.A., Obraztsov A.N. // *Physica Status Solidi B*. – 2023. – Vol. 260, No. 9. – P. 2200481. Импакт-фактор 1,5 (JIF), 1,38 печ.л., вклад автора - 0,8.

6. Логинов А.Б. Получение и свойства мезопористых пленок MoS<sub>2</sub> / Логинов А.Б., Бокова-Сирош С.Н., Федотов П.В., Сапков И.В., Хмеленин Д.Н., Исмагилов Р.Р., Образцова Е.Д., Логинов Б.А., Образцов А.Н. // *Физика и техника полупроводников*. – 2022. – Т. 56., № 12. – С. 1112-1119. Импакт-фактор 0,56 (РИНЦ), 1,84 печ.л., вклад автора - 0,8.

Loginov A.B. Formation and properties of mesoporous MoS<sub>2</sub> films/ Loginov A.B., Bokova-Sirosh S.N., Fedotov P.V., Sapkov I.V., Chmelenin D.N., Ismagilov R.R., Obraztsova E.D., Loginov

V.A., Obraztsov A.N. // Semiconductors. – 2022. – Vol. 56., No. 12 – P. 887-893. Импорт-фактор 0,6 (JIF), 1,61 печ.л., вклад автора - 0,8.

7. Логинов А.Б. Изменение свойств пленок дихалькогенидов переходных металлов на различных стадиях их формирования в процессе химического газофазного осаждения / Логинов А.Б., Исмагилов Р.Р., Федотов П.В., Сапков И.В., Куватов М.М., Логинов Б.А., Образцова Е.Д., Образцов А.Н. // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 2024. – Т. 165, № 3. – P. 355-366. Импорт-фактор 1,31 (РИНЦ), 2,77 печ.л., вклад автора - 0,8.

Loginov A.B. Changes in transition metal dichalcogenide films properties on various stages of chemical vapor deposition / Loginov A.B., Ismagilov R.R., Fedotov P.V., Sapkov I.V., Kuvatov M.M., Loginov B.A., Obraztsova E.D., Obraztsov A.N. // Journal of experimental and theoretical physics – 2024. – Vol. 165, No 3. – P. 354-366. Импорт-фактор 0,8 (JIF), 3 печ.л., вклад автора - 0,8.

8. Loginov A.B. Evolution of transition metal dichalcogenide film properties during chemical vapor deposition: from monolayer islands to nanowalls / Loginov A.B., Kuvatov M.M., Ismagilov R.R., Sapkov I.V., Fedotov P.V., Kleshch V.I., Obraztsova E.D., Obraztsov A.N. // Nanotechnology. – 2024. – Vol. 35, No. 41, – P. 415601. Импорт-фактор 2,9 (JIF), 3,46 печ.л., вклад автора - 0,8.

9. Логинов А.Б. Резистивный датчик газовой среды на основе мезопористых пленок MoS<sub>2</sub> / Логинов А.Б., Куватов М.М., Сапков И.В., Исмагилов Р.Р., Клещ В.И., Образцов А.Н. // Вестник Московского Университета. Серия 3. Физика. Астрономия. – 2025. – Т. 80, № 2. – С. 2520501. Импорт-фактор 0,46 (РИНЦ), 1,61 печ.л., вклад автора - 0,8.

На диссертацию и автореферат поступило 5 дополнительных отзывов, все положительные.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований получены научные результаты и решены научные задачи, имеющие значение для развития экспериментальной физики конденсированного состояния.

Основные результаты работы:

– С помощью разработанного варианта методики сканирующей туннельной микроскопии выявлено влияние неоднородностей на поверхности никелевой подложки, приводящей к формированию в процессе пиролиза метана графеновой пленки в виде совокупности наноразмерных пузырей, а также влияние частиц примесей на формирование зародышеобразование кристаллитов MoS<sub>2</sub> при их синтезе с использованием порошкообразных прекурсоров.

– Впервые предложен и практически реализован вариант газофазного химического осаждения пленок MoS<sub>2</sub>, WS<sub>2</sub> с использованием в качестве прекурсоров газообразных сероводорода и термически распыляемого металла (Mo, W), отличающийся на порядок меньшим временем образования сплошного покрытия (15 секунд) по сравнению с альтернативными методами (несколько минут).

– Выявлены пять стадий роста пленок дихалькогенидов переходных металлов в процессе газофазного химического осаждения с использованием H<sub>2</sub>S и термически распыляемого металла.

Впервые описана трансформация спектра фотолюминесценции при переходе от горизонтального режима роста кристаллитов, при котором в спектре доминирует трионная рекомбинация, к вертикальному, для которого характерна нейтрально-экситонная рекомбинация. Впервые измерена электрическая проводимость пленки дихалькогенидов переходных металлов непосредственно в процессе роста, выявлены характерные стадии изменения ее проводимости.

– Предложен метод селективного удаления наностенок  $\text{MoS}_2$  определенных ориентаций, из состава пленок, полученных газофазным химическим осаждением, с помощью лазерной абляции наносекундным излучением с линейной поляризацией. С помощью предложенного метода впервые получены материалы с анизотропным распределением направлений ориентации  $\text{MoS}_2$  наностенок вдоль поверхности подложки. Выявлены спектральные различия фотолюминесценции и соотношение интенсивностей от различных подсистем пленки: наностенок и планарных кристаллитов.

– Показана возможность применения пленок, содержащих наностенки  $\text{MoS}_2$ , в качестве газовых сенсоров, изготовлены и протестированы прототипы газовых сенсоров на основе таких материалов, отличающиеся малым временем отклика (порядка нескольких секунд) на изменение химического состава газовой среды. Продемонстрирована возможность применения данных пленок для регистрации оптического излучения за счет изменения ее проводимости;

– Обнаружено, что последовательное осаждение  $\text{WS}_2$  поверх  $\text{MoS}_2$  в методе газофазного химического осаждения с использованием  $\text{H}_2\text{S}$  и термически распыляемого металла приводит к формированию гетероструктур  $\text{WS}_2/\text{MoS}_2$  нового для этих материалов типа, свойства которых проявляются, проявляются в характерных нелинейных вольт-амперных характеристиках гетероперехода и в подавлении интенсивности фотолюминесценции от  $\text{MoS}_2$  и ростом пика фотолюминесценции от  $\text{WS}_2$ , вызванным транспортом зарядов между подсистемами при оптическом возбуждении, а также характерными нелинейными вольт-амперными характеристиками гетероперехода.

Предложенная и реализованная конструкция сканирующего зондового микроскопа расширяет возможности физиков-экспериментаторов, исследующих начальные стадии роста покрытий различных, не только двумерных, материалов.

Предложенный метод синтеза пленок дихалькогенидов переходных металлов с использованием сероводорода и термически распыляемого металла существенно увеличивает скорость осаждения покрытий, что важно для его внедрения в промышленности.

Результаты исследования трансформации электрофизических и оптических свойств пленок дихалькогенидов переходных металлов на разных стадиях их формирования вносят вклад в развитие физических представлений о механизмах формирования пленок двумерных материалов и могут служить основой для дальнейшего масштабирования синтеза материалов с наперед заданными свойствами для применения, в частности, в оптических и газовых датчиках.

Результаты исследования оптических и электрофизических свойств гетероструктур  $\text{WS}_2/\text{MoS}_2$  расширяют фундаментальные представления о возможных вариантах выравнивания энергетических зон в данных материалах, перераспределения зарядов между ними и роли

структурных дефектов в этих процессах. Гетероструктуры описанного типа могут быть использованы в фотодатчиках и фотокатализаторах.

Применение метода создания анизотропии в пленках дихалькогенидов переходных металлов, содержащих наностенки, углубляет понимание влияния различных подсистем пленки на ее итоговые физические свойства. Дальнейшее развитие этого метода может стать основой для использования ориентированных анизотропных пленок дихалькогенидов переходных металлов в качестве активной среды экситонных лазеров.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. Использование  $H_2S$  и термически распыляемого металла (Mo, W) в качестве прекурсоров позволяет осаждение сплошных покрытий  $MoS_2$  и  $WS_2$ , состоящих из массива вертикально ориентированных кристаллитов. Рост пленки дихалькогенидов переходных металлов определяется пятью стадиями, описывающими переход от горизонтального роста кристаллитов к вертикальному, трансформацию спектра фотолюминесценции от трионного к нейтрально-экситонному, а также нелинейный характер изменения электрической проводимости и немонотонную зависимость эффективной толщины кристаллитов, составляющих пленку, от времени осаждения.

2. Гетероструктуры на основе двумерных материалов могут быть сформированы методом газофазного химического осаждения с использованием  $H_2S$  и термически распыляемого металла путем осаждения слоев дихалькогенидов переходных металлов на углеродные наностенки и/или при варьировании химического состава паровой фазы в процессе синтеза. Осаждение поверх  $MoS_2$  наностенок тонкого покрытия  $WS_2$  (1-2 атомных слоя) приводит к подавлению пика фотолюминесценции от  $MoS_2$  более чем в 15 раз и возникновению пика фотолюминесценции от  $WS_2$ , что связано с перетеканием фотовозбужденных носителей заряда из  $MoS_2$  в  $WS_2$ .

3. Воздействие наносекундным импульсным линейно-поляризованным лазерным излучением приводит к удалению из состава пленок, полученных методом газофазного химического осаждения, наностенок  $MoS_2$  определенных ориентаций, и создает выделенное направление в их упорядочении. Наибольшая степень упорядоченности наблюдается вблизи уровня мощности лазерного импульса  $1 \text{ ГВт/см}^2$ . После абляции фотолюминесценция и комбинационное рассеяние света проявляют анизотропное распределение интенсивностей. Основной вклад в фотолюминесценцию от необработанных пленок вносят наностенки, более чем в 4 раза превышая вклад от подстилающей пленки, слои которой параллельны поверхности подложки и соприкасаются с ней.

4. Пленки, содержащие вертикально ориентированные наностенки  $MoS_2$ , изменяют свое электрическое сопротивление в зависимости от состава окружающей газовой среды и позволяют детектировать изменение концентрации паров аммиака и воды с характерными временами отклика порядка нескольких единиц и десятков секунд. Наличие двух характерных времен в резистивном отклике говорит о наличии двух механизмов адсорбции – физическом (ван-дер-ваальсовым) и химическом (на оборванные связи).

На заседании 11.09.2025 г. диссертационный совет принял решение присудить Логинову Артему Борисовичу ученую степень кандидата физико-математических наук специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 5 докторов наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния, участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» – 15, «против» – 0, недействительных бюллетеней – нет.

Заместитель председателя  
диссертационного совета МГУ.013.3  
доктор физико-математических наук,  
профессор

А.В. Уваров

Ученый секретарь  
диссертационного совета МГУ.013.3  
кандидат физико-математических наук, доцент

И.А. Малышкина

11 сентября 2025г.

Подписи А.В. Уварова и И.А. Малышкиной заверяю.  
Ученый секретарь физического факультета МГУ,  
профессор

С.Ю. Стремоухов