

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
БАЛТИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ И. КАНТА



«УТВЕРЖДАЮ»
Врио проректора по
научной работе
И.Г. Самусев
2025 г.

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

по программе подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

Научная специальность **2.6.6 Нанотехнологии и наноматериалы**

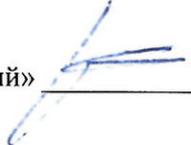
Лист согласования

Составитель:

Алексей Игоревич Грунин, кандидат физико-математических наук

Программа одобрена Экспертным советом ОНК «Институт высоких технологий»

Протокол № 13 от «24» ноября 2025 г.

Председатель Экспертного совета ОНК «Институт высоких технологий»  _____ В.Н. Лейцин

Главный специалист Института подготовки НПК



_____ Е.И. Козенкова

Настоящая программа разработана для поступающих в аспирантуру на научную специальность 2.6.6 Нанотехнологии и наноматериалы.

Абитуриенты, желающие освоить основную образовательную программу подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности 2.6.6 Нанотехнологии и наноматериалы, должны ознакомиться с Правилами приема в Балтийский федеральный университет им. И. Канта на обучение по образовательным программам высшего образования – программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре.

К освоению программ аспирантуры по научной специальности 2.6.6 Нанотехнологии и наноматериалы, имеющие высшее образование, подтверждаемое присвоением им квалификации «специалист», «дипломированный специалист», «магистр», а также лица, имеющие базовое высшее образование (освоение программы сроком не менее 6 лет) или специализированное высшее образование, при выполнении одного из двух условий:

— образование релевантно группе научных специальностей 2.6. Химические технологии, науки о материалах, металлургия (в соответствии со Списком релевантности направлений подготовки по программам магистратуры и специалитета группам научных специальностей (научным специальностям) по программам аспирантуры в 2026 году, утвержденным Ученым советом БФУ им. И. Канта);

— имеется стаж работы в отрасли/должности, соответствующей группе научных специальностей 2.6 Химические технологии, науки о материалах, металлургия, сроком не менее 3 лет.

Целью вступительного испытания является оценка базовых знаний, поступающих в аспирантуру с точки зрения их достаточности для проведения научно-исследовательской деятельности по научной специальности 2.6.6 Нанотехнологии и наноматериалы.

Вступительное испытание по специальной дисциплине научной специальности 2.6.6 Нанотехнологии и наноматериалы проводится на русском или английском языке по билетам в устной форме. Экзаменационный билет включает 2 вопроса из предлагаемого перечня, а также собеседование с членами экзаменационной комиссии, в ходе которого абитуриент обосновывает выбор научной специальности, выбор предполагаемого научного руководителя из числа преподавателей и научных работников университета, имеющих право осуществлять научное руководство аспирантами по соответствующей научной специальности, излагает профессиональные планы и цели подготовки и защиты кандидатской диссертации по выбранной научной специальности

Содержание программы

- Раздел 1. Методы синтеза наноструктурированных материалов и тонких плёнок
1. Методы синтеза тонких плёнок и наноструктурированных материалов.
 2. Взаимодействие импульсного лазерного излучения с металлами. Лазерная абляция.
 3. Метод импульсно-лазерного осаждения (ИЛО): основные параметры процесса осаждения, рост поликристаллических и эпитаксиальных тонкоплёночных структур, *in-situ* анализ плёнок в процессе осаждения.
 4. Основные типы лазеров, используемые в методе импульсно-лазерного осаждения, и их области применения.
 5. Методы формирования тонких плёнок методом магнетронного напыления: виды газовых разрядов и условия горения тлеющего разряда.
 6. Влияние условий эксперимента на параметры формирования тонкоплёночных структур при магнетронном напылении.
 7. Основы DC, ВЧ и импульсного магнетронного распыления, типы катодов магнетронных распылительных систем.
 8. Сравнительный анализ методов импульсно-лазерного осаждения и магнетронного напыления для получения функциональных наноматериалов.

Раздел 2. Методы структурного и морфологического анализа наноматериалов

1. Современные методы исследования функциональных наноматериалов: классификация, возможности и ограничения.
2. Выбор методов исследования для решения конкретных практических задач в области нанотехнологий и наноматериалов.
3. Физические основы растровой электронной микроскопии (РЭМ) и энергодисперсионного анализа (ЭДС).
4. Подготовка образцов и алгоритм проведения исследований в растровом электронном микроскопе.
5. Способы обработки и интерпретации результатов РЭМ- и ЭДС-исследований. Техника безопасности при работе с электронно-микроскопическим оборудованием.
6. Рентгеновские методы исследования материалов: физические основы взаимодействия рентгеновского излучения с веществом, явление дифракции на электронах, нейтронах и фотонах.
7. Принципы постановки эксперимента по получению дифракционных спектров: геометрия эксперимента, выбор параметров с учётом характеристик образца, особенности дифракции на кристалле и порошковой дифракции.
8. Обработка дифракционных спектров: применение математического аппарата, основные подходы к определению структурных параметров наноматериалов.
9. Особенности рентгеновской дифракции на сверхмалых и малых углах; понятие естественной и искусственной кристаллической решётки.
10. Рентгеновская рефлектометрия: постановка эксперимента, выбор параметров, особенности анализа многослойных и наноструктурированных систем.
11. Современные методы программного анализа рентгеновских дифракционных и рефлектометрических спектров, использование специализированного программного обеспечения для обработки экспериментальных данных.

Раздел 3. Зондовые, спектроскопические и литографические методы в нанотехнологиях

1. История развития сканирующей зондовой микроскопии, основные виды сканирующей зондовой микроскопии (атомно-силовая, туннельная и др.), их области применения.
2. Физические основы атомно-силовой микроскопии (АСМ): силовое взаимодействие зонда с поверхностью, принципы получения и обработки изображений.
3. Основные узлы атомно-силового микроскопа, их устройство и назначение; требования к защите от внешних воздействий и факторы, ограничивающие разрешающую способность.
4. Спектроскопия комбинационного рассеяния света: история открытия, классическое и квантовое описание явления, стоксовое и антистоксовое рассеяние, рассеяние первого и второго порядка.
5. Основные узлы и принцип работы спектрометров комбинационного рассеяния света, регистрация сигнала и особенности обработки спектров.
6. Спектроскопия Резерфордского обратного рассеяния (РОР): теоретические основы, использование законов сохранения энергии и импульса, кинематический фактор.
7. Ускорители заряженных частиц для реализации методики РОР (ускоритель Ван-дер-Граафа), основные узлы и принцип работы экспериментально-измерительных установок.
8. Составные части и принцип работы спектрометра Резерфордского обратного рассеяния, особенности анализа спектров и возможностей метода для исследования наноструктур.
9. Современные методы фотолитографии для прототипирования наноструктур: основы и

- приложения технологий литографии, фотолитография и электронная литография.
10. Оборудование для процесса фотолитографии, принцип работы и особенности безмасочной фотолитографии, тенденции развития литографических технологий в нанoeлектронике и нанофотонике.

Критерии оценивания уровня знаний

Оценка знаний поступающего в аспирантуру производится по 100-бальной шкале. Максимальный балл за ответ на экзаменационный билет – 100. Минимальный балл, соответствующий положительной оценке – 50.

86-100 баллов выставляется экзаменационной комиссией за обстоятельный и обоснованный ответ на все вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии. Поступающий в аспирантуру в процессе ответа на вопросы экзаменационного билета правильно определяет основные понятия, свободно ориентируется в теоретическом и практическом материале по предложенной тематике. Экзаменуемый показывает всестороннее, систематическое и глубокое знание основного и дополнительного материала, усвоил рекомендованную литературу; может объяснить взаимосвязь основных понятий; проявляет творческие способности в понимании и изложении материала. В ходе собеседования устанавливается высокая степень мотивированности к подготовке и защите кандидатской диссертации в период освоения программы аспирантуры, наличие научного задела по теме планируемого исследования, участия в исследовательских проектах, научных грантах, студенческих конкурсах.

66-85 баллов выставляется поступающему в аспирантуру за правильные и достаточно полные ответы на вопросы экзаменационного билета, которые не содержат грубых ошибок и неточностей в трактовке основных понятий и категорий, но в процессе ответа возникли определенные затруднения при ответе на дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии. Экзаменуемый показывает достаточный уровень знаний в пределах основного материала; усвоил литературу, рекомендованную в программе; способен объяснить взаимосвязь основных понятий при дополнительных вопросах экзаменатора. Допускает несущественные погрешности в ответах. В ходе собеседования устанавливается высокая степень подготовленности поступающего в аспирантуру к проведению самостоятельных научных исследований по выбранной научной специальности и мотивированности к подготовке кандидатской диссертации в период освоения программы аспирантуры и ее защите.

50-65 баллов выставляется поступающему в аспирантуру при недостаточно полном и обоснованном ответе на вопросы экзаменационного билета и при возникновении серьезных затруднений при ответе на дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии. Экзаменуемый показывает знания основного материала в минимальном объеме, знаком с литературой, рекомендованной программой. Допускает существенные погрешности в ответах, но обладает необходимыми знаниями для их устранения под руководством экзаменатора. В ходе собеседования устанавливается низкая степень подготовленности поступающего в аспирантуру к проведению самостоятельных научных исследований (в том числе на основании анализа представленных индивидуальных достижений) по выбранной научной специальности; мотивация к подготовке кандидатской диссертации в период освоения программы аспирантуры низкая или совсем отсутствует.

0-49 баллов выставляется в случае отсутствия необходимых для ответа на вопросы экзаменационного билета теоретических и практических знаний. Экзаменуемый показывает пробелы в знаниях основного материала, допускает принципиальные ошибки в ответах, не знаком с рекомендованной литературой, не может исправить допущенные ошибки самостоятельно.

Основная и дополнительная литература

Основная литература

- 1) А. Г. Ткачев, И. В. Золотухин. Аппаратура и методы синтеза твердотельных наноструктур. М.: Машиностроение-1, 2007.
- 2) Ю. В. Поленов. Физико-химические основы нанотехнологий. Ижевск: ИжГТУ (электронное издание).
- 3) Л. Н. Маскаева, Е. А. Федорова, В. Ф. Марков. Технология тонких плёнок и покрытий. Екатеринбург: Урал. ун-т, 2019.
- 4) В. Ю. Васильев. Свойства и применение диэлектрических тонких плёнок в технологиях микроэлектроники. Новосибирск: НГТУ, 2021.
- 5) А. А. Теплоухов, Н. А. Семенюк, Д. А. Полонянкин. Основы синтеза наносистем. Омск: ОмГТУ, 2020.

Дополнительная литература

- 1) С. Н. Григорьев. Технологии нанообработки: методы получения наноструктур и наноматериалов / суперпрецизионная обработка. Ульяновск: УлГТУ, 2018.
- 2) А. Н. Лукашин. Химические методы синтеза наночастиц. Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2014 (электронное издание).
- 3) М. М. Колесов, А. Н. Харин, И. В. ... Исследование поверхностей тонких плёнок органических полупроводниковых материалов методами сканирующей зондовой микроскопии. Ленинград/Петербург: СПбГУ, 2019.
- 4) В. Ю. Петухов, Г. Г. Гумаров. Ионно-лучевые методы получения тонких плёнок: учебно-методическое пособие. Казань: КГУ, 2010.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

- 1) [Научно-образовательный портал Университета: — электронные издания по материалам и нанотехнологиям.](#)
- 2) [Учебно-методический раздел Физико-химического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова: материалы по тонким плёнкам.](#)