

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Саратовский государственный технический
университет имени Гагарина Ю.А.»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и инновациям

А.И. Землянухин

«22» декабря 2025 г.



ПРОГРАММА
ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА В АСПИРАНТУРУ
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
Научная специальность
2.6.6 «Нанотехнологии и наноматериалы»

Саратов, 2025

ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА В АСПИРАНТУРУ ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

ВОПРОСЫ

1. Стержнеподобные мицеллы. Обратные мицеллы. Микроэмульсии «вода-масло» и «масло-вода». Двухслойные жидкие мембраны. Однокластерные и многокластерные везикулы. Зарядовый и стерический типы стабилизации. Блок-сополимеры. Нанореакторы и темплаты.

2. Механизмы стабилизации. Гомостерическая и усиленная стерическая стабилизация. Флокуляция. Фазовые разделения, вытеснительная коагуляция, кристаллизационная коагуляция, гетеростерическая стабилизация.

3. Углеродные наноматериалы.

Классификация углеродных материалов по признакам: тип гибридизации химических связей, ближний порядок в средний порядок, дальний порядок и степень дефектности, размеры фактуры. Алмазы, графиты, ультрадисперсный алмаз, графен, биграфен. Семейство аморфных углеродных наноструктурированных материалов. Физико-химические основы идентификации состава аморфных материалов по концентрациям разных типов С-С связей. Применение в современных устройствах записи и хранения информации. Сажи. Фуллерены. Фуллерит. Экзо и эндопроизводные фуллерена. Интеркалированные соединения. Эндоедральные материалы. Полимерные фазы на основе фуллеренов. Сверхтвердые наноматериалы. Углеродные нанотрубки (УНТ). Хиральность углеродных нанотрубок. Одностенные и многостенные УНТ. Эндоедральные УНТ (стручки). Луковичные структуры. Нановолокна и другие углеродные наноматериалы. Нанотубулены на основе других материалов.

Одноэлектронные транзисторы на УНТ. МДП – транзисторы. Углеродная наноэлектроника. Применение УНТ в эмиссионной оптике. Перспективы использования УНТ и фуллеренов в микро- и наносистемной технике.

4. Нанопорошки и компактные нанокристаллические материалы.

Классификация порошковых материалов. Особенности характеристики ультрадисперсных порошков. Индивидуальные наночастицы. Порошковый материал. Порошковое (компактное) твердое тело. Нисходящие технологии получения порошковых материалов. Особенности твердотельного синтеза порошковых наночастиц сложного состава.

Взаимосвязь технологии получения порошковых наноматериалов и свойств порошковых тел. Возможные направления применения порошковых наноматериалов в современной технике.

5. Наноккомпозиты.

Гранулированные наноккомпозиты. Перколяционные системы «магнит - немагнит», «проводник - диэлектрик», «проводник - сверхпроводник» и др. Эффект гигантского магнетосопротивления, суперферромагнетизм в однодоменных наночастицах. Переход к суперпарамагнетизму.

Органно-неорганические гибриды – новый класс материалов. Структурные особенности на разных масштабных уровнях. Потребность в гибридных органно-неорганических материалах в электротехнике и электронике. Требования к их свойствам. Классификация и методы получения. Применение в качестве защитных диэлектрических покрытий.

Оболочечные наноструктуры. Особенности физических и химических методов получения оболочечных наночастиц. Применение в наносенсорике, микро- и наносистемной технике, спинтронике.

6. Нанополимеры и биополимеры.

Физико-химические, электрические и механические свойства полимеров и олигомеров. Персистентная модель строения полимеров. Линейные, цепочечные, разветвленные полимеры и дендримеры, как новый класс полимеров. Переход «клубок-глобула». Теория рептаций.

Температуροустойчивость. Полимерные материалы в радиотехнике микроэлектронике. Полимерные диэлектрики: достоинства, недостатки, пути совершенствования свойств. Особенности и перспективы применения в

радиоэлектронике кремнийорганических материалов. Методы синтеза и формования полимерных материалов. Функциональные полимерные материалы. Клеи, герметики. Потребность электронной техники и электротехники в новых полимерных материалах. Разработка новых материалов, методы их получения, направления использования.

Принципы функционализации в наном мире. Пластиковая электроника. Наночернила для нанотехники и «глубокого пера». Методы мягкой нанолитографии.

Биополимеры. Архитектура биоматериалов. Наноматериалы, полученные ДНК-синтезом. Биочипы и другие технические применения.

Нанотехнологии на основе соединений «липкими» (sticky ends) комплементарными концами ДНК. Формирование двухмерных решеток из крестообразных молекулярных структур ДНК. Соединение нанопроводов. Супрамолекулярные гибриды. Ротаксины. Катенаны.

7. Каталитические наночастицы.

Понятие гетерогенного катализа. Размерные эффекты в катализе. Модель оборванных связей. Современный синтез каталитических активных наночастиц и каталитически активных подложек (из полимерных наноматериалов, высокопористых структур, биоматериалов и других). Ансамбли каталитических наночастиц, кооперативные явления. Влияние подложки на каталитические свойства. Фотокатализ. Размерные эффекты в катализе. Синтез каталитических активных наночастиц. Синглетное и триплетное состояния кислорода. Адсорбция газов на поверхности оксидов металлов. Механизм фотокатализа на наночастицах оксидов металлов. Механизмы минерализации органических соединений в процессе фотокатализа. Применение каталитических частиц в аксиальной и радиальной гетероструктурной наноэлектронике и наносенсорике.

8. Пористые наноматериалы и темплаты.

Аэрогели. Физико-химические особенности золь-гель процессов при получении аэрогелей. Сушка в критических условиях. Молекулярные сита.

Понятие порообразующих веществ (ПВ). Темплатный синтез с использованием ПВ. Дендримеры как ПВ вещества, обеспечивающие калиброванные размеры пор. Основные свойства дендримеров класса РАМAM. Фрактальные представления пористых наноматериалов. Квazитемплатный метод получения пористого кремния. Применение пористых материалов для теплоизоляции. Перспективы использования в фотонике и наноэлектронике, сенсорике и в устройствах водородной энергетики.

9. Основные закономерности изменения свойств наноструктур и наноматериалов для наноэлектроники и сенсорики.

Изменение механических, тепловых, электронных, магнитных и оптических свойства материалов при критическом изменении линейных размеров. Сравнение свойств объемных и наноструктурированных твердых тел.

Кристаллофизика наносистем. Энергетический спектр в квантовых точках, квантовых ямах, квантовых проводах, сверхрешетках.

Баллистический транспорт. Резонансное спинзависящее туннелирование. Квантовый эффект Холла.

Кулоновская блокада.

Кооперативно-синергетические процессы переноса энергии и зарядов в конденсированных средах.

10. Практически важные специальные технологии наноматериалов.

Молекулярно-пучковая эпитаксия создания тонких пленок и наногетероструктур.

Метод молекулярных пучков малой интенсивности. Кластерные пучки большой интенсивности со сверхзвуковым истечением газов из сопла.

Ионная бомбардировка. Методы на основе ударных волн.

Методы вакуумного испарения, катодного распыления и низкотемпературной плазмы.

Методы диспергирования. Ультразвуковое диспергирование.

Химический синтез в условиях протекания реакций восстановления и окислительно-восстановительных реакций, а также путем реакций, стимулированных высокоэнергетичным излучением, электронными и ионными пучками. Кристаллохимические методы получения кластеров, включая стабилизирующие среды.

Химическое осаждение из тазовой фазы. Химическое осаждение из паров металлоорганических соединений.

Спрей-пиролиз.

Импульсное лазерное напыление.

Послойное осаждение из газовой и жидкой фаз, ионное и молекулярное наслаивание.

Криометоды. Твердофазный синтез. Кластерообразование из аморфных сред и из материалов, подвергавшихся радиационному воздействию.

Золь-гель-технология синтеза металлооксидных наночастиц. Темплатный синтез наночастиц. Акустический (ультразвуковой) синтез. Гидротермальный синтез. Микроволновый синтез наночастиц. Газофазные методы синтеза металлооксидных наночастиц: химическое осаждение из паровой фазы. Криохимический синтез.

Методы синтеза квантовых точек. Твердофазный синтез наночастиц в матрице. Микроэмульсионный метод, прямые и обратные мицеллы. Критические концентрация и температура мицеллообразования. Метод горячей инъекции. Синтез наночастиц в поточном реакторе. Термодинамическое описание роста нанокристаллов, кинетика процессов нуклеации и роста наночастиц. Стабилизация наночастиц молекулами поверхностно-активных веществ. Структурные превращения в нанокристаллах.

Наночастицы «ядро/оболочка». Особенности методов получения оболочечных наночастиц. Гидрофобное взаимодействие. Изоляция

наночастиц. Замена оболочки лигандов. Особенности легирования полупроводниковых наночастиц.

Методы синтеза наностержней «сверху-вниз» и «снизу-вверх». Коллоидный синтез наностержней. Синтез массивов наностержней с использованием шаблонов активных центров роста. Механизм «пар-жидкость-кристалл». Создание нановолокон методом электроспиннинга. Синтез нанотрубок на основе неорганических материалов. Наностержни «ядро-оболочка», наностержни чередующихся материалов (сверхрешеточные наностержни).

Наноструктурированные материалы. Технологические и экспериментальные исследования процессов получения наноструктурированных материалов и их обработки, в том числе посредством формирования наноструктур на подложках, объёмного модифицирования расплавов, интенсивной пластической деформации, консолидации нанопорошков модифицирования поверхности материалов, облучения ускоренными частицами, термической и термомеханической обработки; разработка технологий и оборудования.

Самоорганизация и самосборка. Статическая и динамическая самоорганизация, силы, управляющие самоорганизацией. Активация самосборки. Смачивание, капиллярные силы, взаимодействие Ван-дер-Ваальса, сила Казимира, молекулярное распознавание. Способы организации 0D- и 1D- структур в упорядоченные ансамбли. Упорядочение нанообъектов на границе раздела жидкость-твёрдое тело. Упорядочение наночастиц под воздействием внешнего электрического поля и лазерного излучения. Матричная изоляция.

Нетрадиционные методы формирования иерархических структур. Ориентированное сращивание. Мезокристаллы. Мезокристаллы с минеральными мостиками. Основы атомно-молекулярного дизайна.

Современные методы литографии. Настоящее и будущее фотолитографии. Негативные и позитивные фоторезисты. Основные этапы

фотолитографии. Современные способы проецирования. Способы увеличения разрешения. OPC-коррекция. Фазосдвигающие маски. Фотолитография на эксимерных лазерах (248, 193, 157 нм). Экстремальная ультрафиолетовая фотолитография (13,4 нм). Электронно-лучевая литография. (Прямая ЭЛЛ, проекционная ЭЛЛ, SCALPEL-литография). Рентгеновская литография. NGL-литографии. Ионная литография. Принципы FIB-методов.

Перспективные технологии наноимпринтинга для полимеров. Штамповка. Нанопрессинг с использованием УФ- и термовоздействий. Роллинговые системы.

Нанопечатная литография. Сверхрешетки, фотонные кристаллы. Периодические и квазипериодические материалы. Функционально-градиентные материалы. Метаматериалы.

Нанотехнологии на основе методов сканирующей зондовой микроскопии. Dip-реп нанолитография (нанотехнология погруженного пера). Локальное анодное окисление Ближнепольная оптическая литография. Силовая нанолитография. Методы локальной зарядки поверхности. Термическая нанолитография. «Глубинная» модификация поверхности полупроводников Локальная электродинамическая модификация поверхности. Межэлектродный массоперенос.

Методы молекулярного и атомарного манипулирования. Локальное полевое испарение. Методы, сочетающие приемы СЗМ - манипулирования и эффекта самоорганизации.

Синтез супергидрофобных и супергидрофильных покрытий. Эффект лотоса. Модификация поверхности. Функциональные покрытия. Самособирающиеся монослои, применения в трибологии. Поверхностное трение в наномасштабе.

11. Основные методы исследования наноматериалов, наносистем и наноструктур. Методы электронной микроскопии (сканирующая электронная микроскопия, просвечивающая электронная микроскопия высокого

разрешения, рентгеноспектральный микроанализ, спектроскопии рентгеновского поглощения (EXAFS, XANES), Оже-электронная спектроскопия). Зондовая сканирующая микроскопия. Сканирующая туннельная микроскопия, атомно-силовая микроскопия, ближнепольная оптическая микроскопия. Сканирующая микроскопия пьезоотклика. Многопроходные методики. Регистрация силовых взаимодействий в гибридной моде. Метод зонда Кельвина. Бесконтактная емкостная мода. Магнитная силовая микроскопия. Дифракционные методы. Методы дифракции быстрых и медленных электронов. Методы малоуглового рассеяния нейтронов, электронов и рентгеновских лучей. Методы рентгеновской дифрактометрии. Методы оптической спектроскопии. Сканирующая лазерная конфокальная микроскопия. Конфокальная флуоресцентная микроскопия. Методы фотolumинесценции. Рамановская спектроскопия. Мультифотонная флуоресцентная микроскопия. Мессбауэровская спектроскопия. Метод ядерного магнитного резонанса. Адсорбционные методы (БЭТ-методы) анализа поверхности пористых наноматериалов. Методы спектроскопии импеданса. Локальные методы анализа сопротивления растекания на основе проводящих мод сканирующей зондовой микроскопии. Метод химических индикаторов (метод Танабе) для анализа энергетики поверхностных адсорбционных центров.

12. Важнейшие области применения наноматериалов и наносистем.

Общие представления о современных приборах наноэлектроники, оптоэлектроники, MEMS и NEMS. Нанотранзисторы и транзисторы на основе квазиодномерных структур. Резонансные туннельные приборы и структуры. Приборы на эффекте баллистического переноса. Интерференционные приборы (волновые свойства носителей заряда). Оптоэлектронные приборы на основе наноструктур. Одноэлектроника и другие приборы на эффекте кулоновской блокады. Металлическая наноэлектроника. Углеродная наноэлектроника. Полимерная (пластиковая) электроника. Молекулярная наноэлектроника. Механические свойства

наностержней. Пьезоэлектрические свойства наностержней.
Термоэлектрические элементы на основе наностержней.

13. Производство наноматериалов. Наноиндустрия.

Система управления качеством, сертификация и аккредитация наноматериалов и изделий из них, нанотехнологий, оборудования для их производства, обработки и переработки.

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Нанотехнология (Физика, процессы, диагностика, приборы). Под ред. В. В. Лучинина, Ю.М. Таирова -М: Физматант, 2006.
2. Основы наноэлектроники / В.П. Драгунов, И.Г. Неизвестный, В.А. Гридчин. -М: Логос, 2006. - 496 с.
3. Наноэлектроника / В.Е. Борисенко, А.И. Воробьева, Е.А. Уткина. -М: Бином. Лаборатория знаний, 2009. - 223 с.
4. Химические способы получения наноматериалов: учебное пособие / Э. Л. Дзидзигури, Д.И. Архипов, А.А. Васильев [и др.]. — Москва: МИСИС, 2020. — 126 с. — Текст: электронный / Лань: электронно-библиотечная система.
5. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников СГ. Физика полупроводников. -М: Наука, 1977.
6. Шалимова К. В. Физика полупроводников. - М.: Энергоатомиздат, 1985.
7. Сорокин В.С., Антипов Б.Л., Лазарева Н.П. Материалы и элементы электронной техники. В 2-х т. - М.: Академия, 2006.
8. Наночастицы, наносистемы и их применение. Ч.1. Коллоидные квантовые точки. Под ред. Мошников В.А., Александровой О.А. — Уфа: Аэтерна, 2015. — 236 с.
9. Наночастицы, наносистемы и их применение. Часть 2. Углеродные и родственные слоистые материалы для современной наноэлектроники. Под ред. Мошников В.А., Александровой О.А. — Уфа: Аэтерна, 2016. — 330 с.

10. Мошников В.А., Спивак Ю.М., Алексеев П.А., Пермьяков Н.В. Атомно-силовая микроскопия для исследования наноструктурированных материалов и приборных структур. Учебное пособие. — СПб.: Изд-во СПОГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. — 144 с.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Химические методы получения керамических и полимерных наноматериалов из жидкой фазы / Под ред. Лучинин В.В и Шиловой О.А. Санкт-Петербург, 2013. Сер. Физика и технология микро- и наносистем, 218 с.

2. Золь-гель технология микро- и нанокомполитов / В.А. Мошников, Ю.М. Танров, Т.В. Хамова, О.А. Шилова - СПб.: Лань, 2021.

3. Физика и технология микро- и наносистем (ред. Лучинин В.В.) СПб.: Русская коллекция, 2011. – 240 с.

4. Ормонт Б.Ф. Введение в физическую химию и кристаллохимию полупроводников и диэлектриков. - М.: Высшая школа, 1982.

5. Пасынков В. В., Чиркин Л. К. Полупроводниковые приборы. — СПб.: Лань, 2006.

6. Пихтин А.Н. Квантовая и оптическая электроника. -М.: Абрис, 2012. - 655 с.

7. Пичугин И.Г., Таиров Ю.М. Технология полупроводниковых приборов. - М: Высшая школа, 1984.

8. Гареев К.Г., Мирошкин В.П. Физические основы магнитных материалов /СПбГЭТУ«ЛЭТИ», СПб, 2014, - 408 с.

9. Таиров Ю.М., Цветков В.Ф. Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов. - СПб.: Лань, 2002.

10. Барченко В.Т., Быстров Ю.А., Колгин Е.А. Ионно-плазменные технологии в электронном производстве. СПб.: Лань, 2001. – 254 с.

11. Мишина Е. Д. Методы получения и исследования наноматериалов и наноструктур. Лабораторный практикум по

нанотехнологиям: учебное пособие / Е. Д. Мишина, Н. Э. Шерстюк. А. А. Евдокимов; под редакцией А. С. Сигова. — 6-е изд. — Москва: Лаборатория знаний, 2021. — 187 с.

12. Особенности физико-химических свойств нанопорошков и наноматериалов: учебное пособие / А. П. Ильин, А. В. Мостовщиков, А. В. Коршунов, Л. О. Роот. — 2-е изд. — Томск: ТПУ, 2017. — 212 с.

Зав. кафедрой «Химия и химическая
технология материалов»,
д.х.н., профессор



А.В. Гороховский