

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский
государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)

Физический факультет

Кафедра физики полупроводников

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Физические основы нанотехнологии для аспирантов

направление подготовки: 03.06.01 Физика и астрономия

Курс 2, семестр 3

профиль

Физика конденсированного состояния

Форма обучения: очная

Разработчик:

д.ф.-м.н., профессор, член - корр. РАН



А.В. Двуреченский

Заведующий кафедрой физики полупроводников ФФ
академик РАН, д.ф.-м.н.,



А.В. Латышев

Новосибирск 2020

Содержание

Аннотация к рабочей программе дисциплины «Физические основы нанотехнологии для аспирантов».....	3
1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.....	5
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.....	6
3. Трудоемкость дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося.....	6
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий.....	7
5. Перечень учебной литературы.....	10
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.....	11
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.....	11
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.....	12
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	12
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.....	12

Аннотация

к рабочей программе дисциплины «**Физические основы нанотехнологии для аспирантов**»

Направление: **03.06.01 Физика и астрономия**

Направленность (профиль): **Физика конденсированного состояния**

Дисциплина «Физические основы нанотехнологии для аспирантов» реализуется в рамках образовательной программы высшего образования – программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 03.06.01 «Физика и астрономия» профиль подготовки «Физика конденсированного состояния» по очной форме обучения на русском языке. Дисциплина «Физические основы нанотехнологии для аспирантов» развивает знания, умения и навыки, сформированные у обучающихся по результатам общей базовой подготовки в рамках программ бакалавриата и магистратуры, и не требует знаний по другим дисциплинам подготовки для аспирантов. Курс входит в набор вариативных дисциплин, направленных на подготовку к сдаче экзаменов кандидатского минимума и подготовки научно-квалификационной работы (диссертации), для аспирантов, обучающихся по профилю подготовки «Физика конденсированного состояния».

Основными задачами, стоящими перед изучением данной дисциплины является углубленное изучение теоретических вопросов физики полупроводников, развитие практических навыков решения задач в области физики полупроводников, применения квантово-оптических методов в системах анализа вещества, передачи и обработки информации, в технологических и измерительных оптических системах, формирование у аспирантов представления о современных фундаментальных и прикладных проблемах физики полупроводников, её связи с лазерной физикой, проблемах приложения квантово-оптических методов исследования в науке и технике, Формирование у аспирантов представления о теоретических основах квантово-оптических методов обработки информации (квантовые вычисления и квантовая коммуникация), об основных идеях и достижениях в этой области.

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Знания:

УК-1.1. Знать актуальные исследования и критически анализировать результаты предшественников и современные достижения в области физики в применении к профессиональной области деятельности.

УК-5.1. Знать возможные направления профессиональной самореализации, владеть приемами планирования и оценки собственной деятельности по решению профессионально-значимых задач.

ОПК-1.1. Знать современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в применении к профессиональной области деятельности.

ПК-1.1. Знать теоретические основы, базовые понятия и модели построения теоретических моделей физических явлений и процессов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.

ПК-2.1. Знать физические основы базовых экспериментов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.

Умения:

УК-1.2. Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений физики, в части постановки

актуальных задач научных исследований в применении к профессиональной области деятельности и в зависимости от специфики объекта исследования.

УК-5.2. Уметь выявлять и формулировать проблемы собственного профессионального развития.

ОПК-1.2. Уметь определять и применять современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в зависимости от специфики объекта исследования.

ПК-1.2. Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.

ПК-2.2. Уметь определять и применять современные научные методы в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.

Навыки:

УК-5.3. Владеть приемами осознания собственных достижений с целью их совершенствования, достаточными для выполнения научных исследований на современном мировом уровне в применении к профессиональной области деятельности в зависимости от специфики объекта исследования.

ОПК-1.3. Владеть способностью составлять и оформлять научно-технической документацию, научные отчеты, обзоры, доклады и статьи.

Текущий контроль успеваемости:

Текущий контроль успеваемости включает контроль посещаемости обучающимися занятий, сдачу заданий, оценку их активности в ходе дискуссий и заключается в презентации аспирантом доклада по одному из разделов программы курса.

Промежуточная аттестация:

Промежуточная аттестация по дисциплине «Физические основы нанотехнологии для аспирантов» проводится по итогам завершения программы дисциплины в виде зачета, по результатам которого выставляется оценка «зачтено» или «не зачтено». Оценка «зачтено» может быть выставлена по результатам текущего контроля, если в ходе представления самостоятельно подготовленного доклада и ответов на вопросы обучающийся продемонстрировал уровень сформированности компетенций не ниже порогового. Оценка «зачтено» является положительным результатом прохождения промежуточной аттестации. На зачете для дополнительной проверки сформированности отдельных компетенций обучающемуся могут быть заданы вопросы по пройденному материалу.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции и практические занятия, доклады обучающихся по тематике, связанной с выполнением их научной работы, индивидуальная работа с преподавателем/консультации в период занятий. самостоятельная подготовка обучающихся, зачет.

Общий объем дисциплины – 3 зачетных единицы (108 часов).

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Код	Компетенции, формируемые в рамках дисциплины
УК-1. Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	
УК-1.1	Знать актуальные исследования и критически анализировать результаты предшественников и современные достижения в области физики в применении к профессиональной области деятельности.
УК-1.2	Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений физики, в части постановки актуальных задач научных исследований в применении к профессиональной области деятельности и в зависимости от специфики объекта исследования.
УК-5. Способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития	
УК-5.1	Знать возможные направления профессиональной самореализации, владеть приемами планирования и оценки собственной деятельности по решению профессионально-значимых задач.
УК-5.2	Уметь выявлять и формулировать проблемы собственного профессионального развития, владеть приемами осознания собственных достижений с целью их совершенствования.
УК-5.3	Обладать знаниями, достаточными для выполнения научных исследований на современном мировом уровне в применении к профессиональной области деятельности в зависимости от специфики объекта исследования.
ОПК-1. Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	
ОПК-1.1	Знать современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в применении к профессиональной области деятельности.
ОПК-1.2	Уметь определять и применять современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в зависимости от специфики объекта исследования.
ОПК-1.3	Владеть способностью составлять и оформлять научно-технической документацию, научные отчеты, обзоры, доклады и статьи.
ПК-1. Способность построения теоретических моделей физических явлений и процессов в области физики в зависимости от специфики профиля подготовки.	
ПК-1.1	Знать теоретические основы, базовые понятия и модели построения теоретических моделей физических явлений и процессов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.
ПК-1.2	Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.
ПК-2. Способность к решению научных и практических задач в области физики в зависимости от специфики профиля подготовки.	
ПК-2.1	Знать физические основы базовых экспериментов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.
ПК-2.2	Уметь определять и применять современные научные методы в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Физические основы нанотехнологии для аспирантов» реализуется в рамках образовательной программы высшего образования – программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 03.06.01 «Физика и астрономия» профиль подготовки «Физика конденсированного состояния» по очной форме обучения на русском языке. Дисциплина «Физические основы нанотехнологии для аспирантов» развивает знания, умения и навыки, сформированные у обучающихся по результатам общей базовой подготовки в рамках программ бакалавриата и магистратуры, и не требует знаний по другим дисциплинам подготовки для аспирантов. Курс входит в набор вариативных дисциплин, направленных на подготовку к сдаче экзаменов кандидатского минимума и подготовки научно-квалификационной работы (диссертации), для аспирантов, обучающихся по профилю подготовки «Физика конденсированного состояния».

Основными задачами, стоящими про изучении данной дисциплины - дать обучающимся базовые знания по основным разделам нанотехнологии полупроводников: методы и подходы, обеспечивающие создание материалов (структур), содержащие элементы с размерами нанометрового диапазона (1-100 нм), приводящими к принципиально новым свойствам и характеристикам, методы формирования наноструктур на поверхности полупроводниковых кристаллов в рамках развития технологии молекулярно-лучевой эпитаксии, нанесение металлических и диэлектрических пленок при физическом, химическом и плазменном осаждении материала, микролитографии, анизотропном селективном травлении..

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции и практические занятия, доклады обучающихся по тематике, связанной с выполнением их научной работы, индивидуальная работа с преподавателем/консультации в период занятий. самостоятельная подготовка обучающихся, зачет.

Общий объем дисциплины – 3 зачетных единицы (108 часов).

Дисциплины (практики), для изучения которых необходимо освоение дисциплины Физические основы нанотехнологии для аспирантов:

Кандидатский экзамен по модулю Физика конденсированного состояния

3. Трудоемкость дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)					Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем				Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Индивидуальная работа с преподавателем/консультации в период занятий			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Кандидатский экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	108	32	16		12	46			2		
Всего 108 часов /3 зачетных единицы, из них: - контактная работа 62 часа - в интерактивных формах 28 часов											
Компетенции: УК-1, УК-5, ОПК-1, ПК-1, ПК-2											

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)						Консультации перед экзаменом	Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы			Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	Сам. работа во время промежуточной аттестации		
				Лекции	Практические занятия	Индивидуальная работа с преподавателем /Консультации в период занятий				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.	Фронт нанотехнологических исследований: естественные границы развития существующей микроэлектроники; создание объектов по принципам «сверху-вниз» и «снизу-вверх».	1-2	6	2	2		2			
2.	Методы молекулярно-лучевой эпитаксии и газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений.	3-4	6	2	2		2			
3.	Нанесение металлических и диэлектрических пленок при физическом распылении	5-6	6	2	2		2			
4.	Стимулированное плазмой осаждение из газовой фазы.	7	6	2	2		2			
5.	Позитивные и негативные резисты. Фоторезисты: фотохимические свойства, фоточувствительность, растворимость, разрешающая способность. Радиационные резисты: рентгеновские, ионные, электронные.	8-9	6	2	2		2			
6.	Оптическая литография: элементы дифракционной теории формирования изображений; разрешение, практическое разрешение.	10	6	2	2		2			

	Внешний и внутренний эффекты близости.									
7.	Электронная литография: рассеяние пучка электронов при экспонировании резистов. Рентгеновская литография.	11	4	2			2			
8.	Ионно-лучевая литография. Ионно-лучевое травление.	12	6	2	2		2			
9.	Реактивное ионно-лучевое травление. Реактивное ионное травление. Травление под действием ультрафиолетового излучения.	13-14	4	2			2			
10.	Чистые комнаты, их классификация	15	6	2	2		2			
11.	Требования к оборудованию и технологическим процессам	16	4	2			2			
12.	Научные доклады обучающихся по тематикам их научных исследований	1-16	46	10		12	24			
13.	Зачет	17	2							2
Всего			108	32	16	12	46			2

Программа курса по разделам и темам

1. Введение в физические основы нанотехнологии.

- 1.1 Фронт нанотехнологических исследований: естественные границы развития существующей микроэлектроники;
- 1.2 Создание объектов по принципам «сверху-вниз» и «снизу-вверх».

2. Размерные зависимости свойств материалов.

- 2.1 Особенности термодинамических свойств наносред.
- 2.2 Изменение фазовых равновесий в наноразмерных системах.
- 2.3 Изменение температуры плавления в наноматериалах.
- 2.4 Зависимость периода кристаллической решетки от размера материала.
- 2.5 Поверхность, границы, морфология наноматериалов.
- 2.6 Ферромагнитные свойства наноматериалов.
- 2.7 Особенности тепловых свойств наноматериалов.
- 2.8 Оптические и электрические свойства наноматериалов.

3. Эпитаксия, нанесение металлов и диэлектриков. Ионная имплантация.

- 3.1 Методы молекулярно-лучевой эпитаксии и газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений.
- 3.2 Получение δ -легированных слоев, латеральных сверхрешеток. Физические причины размытия границ раздела слоев и примесных профилей. Предельные возможности создания атомарно-гладких гетерограниц и сверхрезких примесных профилей при эпитаксии.
- 3.3 Получение структур с квантовыми нитями и квантовыми точками. Спонтанное упорядочение полупроводниковых наноструктур (самоорганизация). Трехмерные массивы когерентно напряженных островков.

3.4 Нанесение металлических и диэлектрических пленок при физическом распылении. Стимулированное плазмой осаждение из газовой фазы.

4. *Микролитография.*

4.1 Позитивные и негативные резисты. Фоторезисты: фотохимические свойства, фоточувствительность, растворимость, разрешающая способность. Радиационные резисты: рентгеновские, ионные, электронные.

4.2 Нанесение резистных пленок: центрифугирование, способ Ленгмюра - Блоджет, осаждение из газовой фазы.

4.3 Оптическая литография: элементы дифракционной теории формирования изображений; разрешение, практическое разрешение; экспонирование фоторезистов; контактная печать и печать с зазором, проекционная печать, совмещение, фотошаблоны, сенситометрия. Внутренний и внешний эффекты близости. Перспективы развития оптической литографии.

4.4 Электронная литография: рассеяние пучка электронов при экспонировании резистов, коэффициенты прохождения пучка электронов сквозь тонкую пленку и отражения от мишени; распределение плотности энергии, выделенной электронами в слое резиста; эффект близости, методы коррекции эффекта близости; передаточная функция трафаретных масок.

4.5 Рентгеновская литография: элементы рентгеновской оптики; источники излучения; свойства синхротронного излучения; рентгено-литографические системы теневого переноса изображения с зазором; системы совмещения, контраст теневых масок, рентгеновские резисты, разрешающая способность.

4.6 Ионно-лучевая литография: физические процессы ионно-лучевой литографии; источники: жидкометаллические, плазменные; экспонирование резистов ионными пучками; проекционные ионно-лучевые системы и системы для печати с зазором.

4.7 Формирование наноструктур с помощью сканирующей туннельной микроскопии и атомно-силовой микроскопии.

5. *Анизотропное селективное травление.*

5.1 Реактивное ионное травление: общие принципы, параметры процесса, селективность, анизотропность, скорость травления, травление некоторых материалов и структур, оборудование.

5.2 Ионно-лучевое травление: физика ионно-лучевого распыления (травления), зависимость коэффициента распыления от угла падения пучка, пере осаждение материала; области применения, оборудование.

5.3 Реактивное ионно-лучевое травление: физико-химические основы, ионные источники, применение.

5.4 Травление под действием ультрафиолетового излучения.

6. *Чистые комнаты, их классификация. Требования к оборудованию и технологическим процессам.*

Теоретический материал курса освещается в ходе лекций. В лекциях обсуждается как необходимый математический аппарат и теоретические аспекты алгоритмов, так и реальные примеры использования обсуждаемых методов из практики наиболее известных экспериментов в мировой науке. Практикуется обсуждение проблемных вопросов, в том числе, с элементами свободной дискуссии с участием обучающихся и преподавателя. На занятиях также заслушиваются доклады обучающихся по заданным темам, сопровождающиеся уточняющими вопросами со стороны преподавателя и других обучающихся. Темы закрепляются в ходе самостоятельной работы обучающегося по решению задач с использованием рекомендованной литературы, а также в процессе научно-исследовательской деятельности. Материал всех лекций доступен в электронном виде. В

ходе лекций широко используются компьютерные демонстрации.

Индивидуальная работа с преподавателем

Перечень работ	Объем, час
Обсуждение плана доклада по избранной теме, рекомендации преподавателя относительно литературных источников, которые можно использовать при подготовке доклада, индивидуальные консультации по ходу подготовки доклада. Обсуждение задач, стоящих перед аспирантом в рамках его научно-исследовательской работы, и возможных способов их решения с привлечением различных методов.	12

Самостоятельная работа обучающихся

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Самостоятельная подготовка к лекционным и практическим занятиям с использованием учебной литературы. Подготовка доклада по избранной теме. Поиск литературных источников, работа с научным текстом, анализ литературных данных. Подготовка к практическим занятиям. Решение практических заданий.	46

5. Перечень учебной литературы

5.1 Основная литература

1. Нанотехнологии: [Учеб. пособие для вузов по направлению "Нанотехнологии"] / Ч. Пул, Ф. Оуэнс; Пер. с англ. под ред. Ю.И. Головина = Introduction to Nanotechnology. М.: Техносфера, 2004. 327 с.
2. Методы получения и свойства нанобъектов: учебное пособие: [для студентов, обучающихся по специальности "Нанотехнологии" / Н.И. Минько, В.В. Строкова, И.В. Жерновский, В.М. Нарцев]. Москва: Флинта: Наука, 2009. 162.

5.2 Дополнительная литература

3. Валиев К.А. Физические основы субмикронной литографии в микроэлектронике / К. А. Валиев, А. В. Раков Москва : Радио и связь, 1984, 350 с.
4. Наноэлектроника / [К.А. Валиев, В.В.Вьюрков, В.А. Гридчин и др.] ; под ред. акад. А.А. Орликовского Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009-24 см.(Электроника в техническом университете, Прикладная электроника / под общ. ред. И.Б. Федорова)
5. Плазменная технология в производстве СБИС / [Толливер Д., Новицки Р., Хесс Д. и др.]; под ред. Н. Айнспрука, Д. Брауна; пер. с англ. Ю.М. Золотарева, В.В. Юдина; под ред. Е.С. Машковой Москва : Мир, 1987 469 с.
6. Моро У. Микролитография: принципы, методы, материалы: в 2 ч. Ч.1. / У. Моро; пер. с англ. под ред. Р.Х. Тимерова; с предисл. К.А. Валиева М: Мир, 1990606 с.: ил.; 22 см. ISBN 5-03-001716-X.
7. Молекулярно-лучевая эпитаксия и гетероструктуры / [Л. Эсаки, Б.А. Джойс, Р. Хекингботтом и др.]; под ред. Л. Ченга, К Плога; пер. с англ. под ред. Ж.И. Алферова, Ю.В. Шмарцева Москва: Мир, 1989582 с. : ил. ; 21 см. ISBN 5-03-000737-7.

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся

Размещение учебных материалов: Адрес страницы кафедры ИФП СО РАН «Нанотехнологии» – URL: <http://www.isp.nsc.ru/obrazovanie/aspirantura/obshchaya-informatsiya>

Обучающиеся полностью обеспечены необходимой научной литературой за счет фондов библиотеки НГУ (<http://libra.nsu.ru/>). Обучающимся, проходящим практику в Институтах СО РАН, предоставляется доступ к информационным ресурсам на тех же основаниях, что и научным сотрудникам этих институтов на основании договоров о прохождении практической подготовки.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

Освоение дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет;
- http://www.ph4s.ru/book_nano.html

Поисковая платформа "Web of Knowledge

http://apps.webofknowledge.com/WOS_GeneralSearch_input.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&SID=S2kBCc@@@5IIfkFB7B9a&preferencesSaved=&highlighted_tab=WOS;
<http://wokinfo.com/russian>

Взаимодействие обучающегося с преподавателем (синхронное и (или) асинхронное) осуществляется через личный кабинет студента в ЭИОС.

7.1 Современные профессиональные базы данных:

1. Полнотекстовые журналы Springer Journals за 1997-2020 г., электронные книги (2005-2020 гг.), коллекция научных биомедицинских и биологических протоколов SpringerProtocols, коллекция научных материалов в области физических наук и инжиниринга SpringerMaterials, реферативная БД по чистой и прикладной математике zbMATH.
2. Электронная библиотека диссертаций Российской государственной библиотеки (ЭБД РГБ).
3. Полнотекстовые электронные ресурсы Freedom Collection издательства Elsevier (Нидерланды) (23 предметные коллекции).
4. Электронные ресурсы Web of Science Core Collection (Thomson Reuters Scientific LLC.), Journal Citation Reports + ESI.
5. Электронные БД JSTOR (США). 15 предметных коллекций: Arts & Sciences I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, Life Sciences, Health & General Science, Mathematics & Statistics, Ecology & Botany, Language & Literature, Business I, II).
6. БД Scopus (Elsevier).

7.2. Информационные справочные системы

Не используются

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации;
2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине и индикаторов их достижения, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы по дисциплине представлен в разделе 1.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль успеваемости:

Текущий контроль включает контроль посещаемости обучающимися еженедельных занятий, оценку их активности в ходе дискуссий и проверки заданий для самостоятельного решения, на основании чего выставляется оценка «зачтено» или «не зачтено». Текущий контроль успеваемости учитывается в рамках промежуточной аттестации.

Промежуточная аттестация:

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится по итогам завершения программы дисциплины в виде зачета. По результатам зачета выставляется оценка «зачтено» или «не зачтено». Оценка «зачтено» является положительным результатом прохождения промежуточной аттестации.

Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине

Таблица 10.1

Код компетенции	Результат обучения по дисциплине	Оценочное средство
УК-1. Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях		Работа на занятиях Представление доклада Зачет
УК-1.1	Знать актуальные исследования и критически анализировать результаты предшественников и современные достижения в области физики в применении к профессиональной области деятельности.	
УК-1.2	Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений физики, в части постановки актуальных задач научных исследований в применении к профессиональной области деятельности и в зависимости от специфики объекта исследования.	
УК-5 Способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития		Работа на занятиях Представление доклада Зачет
УК-5.1	Знать возможные направления профессиональной самореализации, владеть приемами планирования и оценки собственной деятельности по решению профессионально-значимых задач.	
УК-5.2	Уметь выявлять и формулировать проблемы собственного профессионального развития.	
УК-5.3	Владеть приемами осознания собственных достижений с целью их совершенствования, достаточными для выполнения научных исследований на современном мировом уровне в применении к профессиональной области деятельности в зависимости от специфики объекта исследования.	
ОПК-1. Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий		Работа на занятиях Представление доклада Зачет
ОПК-1.1	Знать современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в применении к профессиональной области деятельности.	
ОПК-1.2	Уметь определять и применять современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в зависимости от специфики объекта исследования.	
ОПК-1.3	Владеть способностью составлять и оформлять научно-техническую документацию, научные отчеты, обзоры, доклады и статьи.	
ПК-1. Способность построения теоретических моделей физических явлений и процессов в области физики в зависимости от специфики профиля подготовки.		Работа на занятиях Представление доклада Зачет
ПК-1.1	Знать теоретические основы, базовые понятия и модели построения теоретических моделей физических явлений и	

	процессов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.	
ПК-1.2	Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.	
ПК-2. Способность к решению научных и практических задач в области физики в зависимости от специфики профиля подготовки.		Работа на занятиях Представление доклада Зачет
ПК-2.1	Знать физические основы базовых экспериментов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.	
ПК-2.2	Уметь определять и применять современные научные методы в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.	

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (не зачтено)	Пороговый уровень (зачтено)	Базовый уровень (зачтено)	Продвинутый уровень (зачтено)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	УК 1.1 УК 5.1 ОПК 1.1 ПК 1.1 ПК 2.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	УК 1.2 УК 5.2 ОПК 1.2 ПК 1.2 ПК 2.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном

			негрубые ошибки.		объеме без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	УК 5.3 ОПК 1.3	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.

Типовые контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Тематика докладов дисциплины «Физические основы нанотехнологии для аспирантов».

Ниже приведена примерная тематика докладов дисциплины (конкретная тема доклада определяется преподавателем совместно с обучающимся с учетом специфики научных исследования аспиранта).

1. Методы молекулярно-лучевой эпитаксии и газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений.
2. Нанесение металлических и диэлектрических пленок при физическом распылении. Стимулированное плазмой осаждение из газовой фазы.
3. Получение структур с квантовыми нитями и квантовыми точками. Спонтанное упорядочение полупроводниковых наноструктур (самоорганизация). Трехмерные массивы квантовых точек.
4. Оптическая литография: элементы дифракционной теории формирования изображений; разрешение, проекционная печать, совмещение, фотошаблоны. Внутренний и внешний эффекты близости. Перспективы развития оптической литографии.
5. Реактивное ионное травление: общие принципы, параметры процесса, селективность, анизотропность, скорость травления, травление некоторых материалов и структур, оборудование.

Контрольные вопросы и задания по разделам программы курса

Перечень задач и вопросов для самостоятельного решения (задание) по курсу «Физические основы нанотехнологии для аспирантов»:

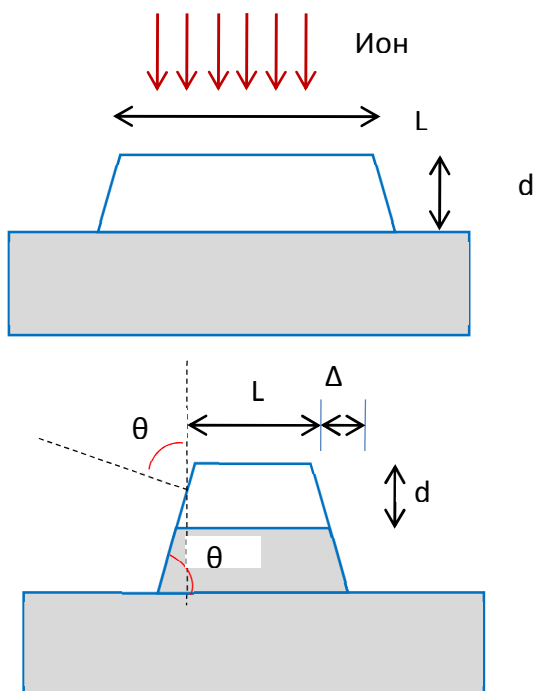
1. Оценить силы тяжести для нанообъекта и сопоставить гравитационное и электромагнитное взаимодействие.
2. Оценить отношение силы тяжести и поверхностного натяжения для нано- и

макрообъектов.

3. Нарисовать качественно структуру ближнего порядка молекул воды. Какой тип связи ответственен за ближний порядок в воде.
4. Оцените длину свободного пробега молекулярного пучка из эффузионной ячейки в условиях сверхвысокого вакуума.
5. Каков физический механизм улучшения адгезии при стимулированном плазмой осаждении пленок из газовой фазы. Движущие силы проявления этого механизма.
6. На поверхность полупроводника с ямками прямоугольной формы проводится осаждение пленки какого-либо материала. При каких физических параметрах системы осаждаемая пленка будет следовать рельефу поверхности по толщине.
7. Нарисовать качественно схемы устройств, обеспечивающих повышение разрешения оптической литографии: смещение фазы, иммерсионная литография. Проблемы иммерсионной литографии
8. Нарисовать качественно схему источника экстремального ультрафиолета.
9. Характерный размер пространственного распределения энергии в резисте при электронной литографии с обычно используемыми энергиями электронов (десятки кэВ) составляет порядка десяти микрон. Как в таких условиях достичь разрешения на уровне 10 нм?
10. В чем заключается природа внутреннего и внешнего эффектов близости при оптической литографии. Сравнить с ионной литографией.
11. Сравнить вклады скоростей физического и химического травления материала при реактивном ионном травлении.
12. В чем заключается физический механизм управления скоростью травления при реактивном ионном травлении.
13. Показать, что разрешение при ионно-лучевом травлении описывается формулой:

$$\frac{L - L'}{2} = \Delta L = (d - d') \left[\frac{S(\theta_m) / (S(0) - 1)}{\operatorname{tg} \theta_m} \right]$$

где L и d длина и толщина маски в исходном состоянии и после ионного травления (L' , d'), S - коэффициент физического распыления материала маски при нормальном падении пучка ионов и при угле θ_m , соответствующем максимальному коэффициенту распыления маски (см. рис.).



14. Оценить предел разрешения при использовании в литографических процессах пучков синхротронного излучения.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.