

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ННГУ
протокол № 6 от 31.05.2023 г.

Рабочая программа дисциплины
Материалы и методы нанотехнологии

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Направление подготовки / специальность
28.03.01 - Нанотехнологии и микросистемная техника

Направленность образовательной программы
Материалы микро- и наносистемной техники

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2023 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.14 Материалы и методы нанотехнологии относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-3: Готовность применять знания о фундаментальных основах технологических процессов получения материалов нано- и микросистемной техники	<p>ПК-3.1: Знает фундаментальные основы технологических процессов получения материалов нано- и микросистемной техники.</p> <p>ПК-3.2: Умеет проводить экспериментальные работы по отработке и внедрению новых технологических процессов производства материалов нано- и микросистемной техники и использовать их в производстве</p> <p>ПК-3.3: Имеет опыт разработки методик экспериментальной проверки технологических процессов и исследования параметров наноструктурированных материалов</p>	<p>ПК-3.1:</p> <p>Знать фундаментальные основы технологических процессов получения материалов и компонентов нано- и микросистемной техники, в том числе физико-химические принципы и методы гетероэпитаксиального наращивания полупроводниковых слоев, основы зонной инженерии; принципы выбора оптимальных параметров проведения технологических процессов; предельные возможности технологий, применяемых при производстве электронной компонентной базы, материалов и компонентов нано- и микросистемной техники; современные методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем.</p> <p>ПК-3.2:</p> <p>Уметь объяснять сущность физических и химических явлений на всех этапах технологических процессов и обоснованно выбирать материалы для выращивания конкретных структур;</p>	<p>Допуск к лабораторной работе</p> <p>Отчет по лабораторным работам</p>	<p>Экзамен:</p> <p>Контрольные вопросы</p> <p>Зачёт:</p> <p>Контрольные вопросы</p>

		ПК-3.3: Владеть навыками проведения технологических процессов и контроля свойств материалов и систем		
--	--	--	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	6
Часов по учебному плану	216
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	58
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
- КСР	3
самостоятельная работа	87
Промежуточная аттестация	36 экзамен, зачёт

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/ лабора- торные работы), часы	Всего	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
Введение	3	2	0	2	1
Классификация и свойства наноматериалов	22	4	8	12	10
Полупроводниковые материалы	4	2	0	2	2
Твердые растворы. Свойства твердых растворов на основе АЗВ5 Основы зонной инженерии. Понятие гетероперехода	10	6	0	6	4
Понятие эпитаксии. Эпитаксиальные методы	34	6	12	18	16
Основные представления общей теории образования фаз	18	6	4	10	8
Механизмы эпитаксии.	20	2	8	10	10
Структуры на основе гетеропереходов. Технология двумерных гетероэпитаксиальных полупроводниковых систем	10	4	0	4	6
Самоорганизация квантовых точек, нитей и нанотрубок. Методы химической сборки.	22	10	0	10	12

Методы формирования тонких слоев: Ленгмюра-Блоджет, химической сборки	10	4	0	4	6
Нитевидные нанокристаллы. Механизм роста «пар-жидкость-кристалл - ПЖК»	4	2	0	2	2
Золь-гель технологии	4	2	0	2	2
Методы нанолитографии. Методы туннельно-зондовой нанотехнологии	12	6		6	6
Пористые материалы. Нелитографические методы создания периодических наноструктур	4	2		2	2
Аттестация	36				
КСР	3			3	
Итого	216	58	32	93	87

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

1. Изучение основ гетероэпитаксиального роста при молекулярно-лучевой эпитаксии.

Составители: Павлов Д.А., Планкина С.М. Практикум. Н.Новгород: Издательство ННГУ. 2014. - 27 с.

2. Аллотропные состояния углерода: нанотрубки и графен. Составители: Планкина С.М., Павлов Д.А. Практикум. Н.Новгород: Издательство ННГУ. 2022. 22 с.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Допуск к лабораторной работе) для оценки сформированности компетенции ПК-3

Лабораторная работа «Изучение основ гетероэпитаксиального роста при молекулярно-лучевой эпитаксии»

Вопросы

1. Понятие эпитаксии. Виды эпитаксии. Условия гетероэпитаксиального роста. Причина высоких требований к вакууму при МЛЭ.
2. Что такое температура эпитаксии? Чем определяется выбор температуры роста. По каким причинам нежелательно ее увеличение?
3. Механизмы эпитаксии. Понятие псевдоморфного роста. Какова работа образования зародыша критического размера для каждого механизма эпитаксии? Для какого из них характерна разориентация соседних областей в слоях?
4. Характеристика гетероэпитаксиальной системы PbS/NaCl. Объяснить, почему возможно выращивание пленки PbS при испарении в вакууме бинарного соединения.
5. Методика выращивания слоев PbS на NaCl. Конструкция испарителя. Методика исследования слоев PbS.
6. Стадии образования гетероэпитаксиальных слоев. Понятие относительного пересыщения. Требования к величине пересыщения при росте тонких низкодефектных монокристаллических слоев.
7. Зависимость скорости образования зародышей от температуры роста.

8. Почему поверхность подложки является неоднородной в отношении образования зародышей. Роль дислокаций. Причины образования дислокаций.
9. Роль коалесценции в процессе формирования пленок. Структурные дефекты в гетероэпитаксиальных слоях PbS. Механизм возникновения дислокаций. Зависимость плотности дислокаций от толщины слоя.
10. Характеристика гетероэпитаксиальной системы «кремний на сапфире».
11. Принципиальная схема установки для эпитаксии кремния на сапфире.
12. Подготовка исходной поверхности подложки. Влияние состояния подложки на дефектность эпитаксиальных слоев.
13. Преимущества сублимационной МЛЭ. Описание ростового процесса.
14. Причины образования структурных дефектов при гомо- и гетероэпитаксии.
15. Назовите метод, используемый для определения реальной структуры эпитаксиальных слоев.

Лабораторная работа «Аллотропные состояния углерода: нанотрубки и графен»

Вопросы

1. Электронная структура углеродных материалов. Гибридизация атомных орбиталей, σ - и π -связи. Аллотропные модификации углерода.
2. Почему графит, как и графен, может быть аппроксимирован как 2D материал?
3. Структура однослойных нанотрубок. Физический смысл индексов хиральности. Структура многослойных нанотрубок.
4. Свойства углеродных нанотрубок. Основные параметры, определяющие электрические свойства нанотрубок. Общее правило для определения типа проводимости однослойной нанотрубки.
5. Локтевые соединения нанотрубок. Электронные свойства таких соединений.
6. Области применения углеродных нанотрубок.
7. Свойства графена.
8. Чем объясняется возможность получения однослойного графена в поверхностно-активной жидкости?
9. Чем объясняется анизотропия свойств графита, например, зависимость электропроводности от направления?

Лабораторная работа «Сканирующая зондовая литография»

Вопросы

1. Сканирующий зондовый микроскоп как инструмент для считывания и записи информации. Расскажите о физических основах зондовой нанотехнологии.
2. Что такое сканирующая зондовая литография? Расскажите об основных ее видах.
3. Расскажите об особенностях динамической силовой литографии на приборе NanoEducator.
4. Назовите критерии выбора образцов для проведения динамической силовой литографии.

Критерии оценивания (оценочное средство - Допуск к лабораторной работе)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Студент отвечает полностью на вопросы, приведенные в методическом пособии, показывая удовлетворительное знание основ курса и базовых понятий
не	Студент не готов отвечать на вопросы, приведенные в методическом пособии,

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий.

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам) для оценки сформированности компетенции ПК-3

Лабораторная работа «Изучение основ гетероэпитаксиального роста при молекулярно-лучевой эпитаксии»

Задания

1. Изучите принцип действия, устройство и порядок работы с вакуумной установкой ВУП-4 для эпитаксиального наращивания PbS на NaCl. Изучите принципы и порядок контроля за температурным режимом процесса эпитаксии.
2. Осуществите эксперимент по выращиванию сплошного эпитаксиального слоя PbS на NaCl. Технологические параметры задает преподаватель.
3. Подготовьте полученные слои для изучения их в электронном микроскопе. Для этого расколите получившийся кристалл на несколько образцов. Затем поочередно опуская образцы в воду, растворите подложку. Убедившись, что NaCl полностью растворился, извлеките освобожденный от подложки слой PbS электролитической сеткой.
4. Получите электронограммы и электронные микрофотографии выращенного слоя (оптимальное увеличение выбирается опытным путем). По характеру электронограмм убедитесь, что растут монокристаллические слои PbS. Определите направление их роста.
5. Сделайте вывод относительно механизма роста слоев PbS на NaCl. Для этого проанализируйте полученные электронограммы, приведенные в описании микрофотографии и значения энергии диссоциации двухатомных молекул, данные в таблице 1.
6. Изучите принцип действия, устройство и порядок работы с вакуумной установкой ВУП-4, модифицированной для эпитаксиального наращивания кремния на сапфире.
7. Изучите принцип и порядок работы систем контроля за температурой испарителя и подложки.
8. Осуществите эксперимент по выращиванию эпитаксиального слоя кремния на сапфире.
9. Исследуйте выращенные КНС-структуры на электронографе ЭМР-102 в режиме «на отражение».
10. По полученным электронограммам сделайте вывод о кристаллической структуре выращенных слоев

Лабораторная работа «Аллотропные состояния углерода: нанотрубки и графен»

Задания

1. Подготовить содержащий углеродные нанотрубки или графеновые ленты (по выбору преподавателя) материал для исследования методом просвечивающей электронной микроскопии.
2. При исследовании углеродных нанотрубок:
3. Получить сфокусированное изображение нанотрубок при различных увеличениях. Оценить длину и диаметр нанотрубок, найти и описать возможные дефекты строения.
4. Получить дифракционные картины от нескольких нанотрубок. По электронограммам определить

межплоскостные расстояния. Сделать вывод о структуре нанотрубок.

5. При исследовании графеновых лент:
6. Получить сфокусированное изображение графеновых нанолент при различных увеличениях, определить межплоскостное расстояние. Найти и описать возможные дефекты.
7. Получить дифракционную картину, сделать вывод о структуре графеновых лент. Провести индексацию рефлексов, определить расстояние между различными семействами плоскостей. Сравнить с результатом, полученным при анализе ПЭМ-изображения. Изобразить на графитовой плоскости (с указанием межплоскостных расстояний) набор плоскостей, от которых были получены рефлексы на электронограмме.

Лабораторная работа «Сканирующая зондовая литография»

Задания

1. Выберите участок на поверхности образца для выполнения литографии. Получите СЗМ изображение рабочего участка поверхности образца. Сохраните полученные результаты. Выполните спектроскопию в точке текущего расположения зонда. Оцените расстояние между зондом и образцом.
2. Выполните литографию тестового изображения. Осуществите процесс литографии изображения panoworld.bmp на выбранный рабочий участок поверхности. Величину максимально возможной глубины воздействия зонда на образец Action установите больше величины шероховатости поверхности (глубины дорожек на поверхности компакт-диска) и на 10-50 % больше оцененного расстояния между зондом и образцом.
3. Получите изображения топографии участка поверхности, на котором была выполнена литография.
4. Проведите литографию авторского изображения с наиболее оптимальными подобранными в первой части работы параметрами.

Критерии оценивания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Выполнены все задания лабораторной работы. Отчеты оформлены правильно, полно и аккуратно. Представлены все необходимые рисунки, схемы и графики. Оформление графиков полностью соответствует общепринятым требованиям. Могут присутствовать незначительные недочёты, которые студент после замечания преподавателя способен исправить самостоятельно.
не зачтено	Не выполнены отчеты по лабораторным работам, одно или более заданий лабораторных работ. Отчеты выполнены с ошибками, не все рисунки и схемы представлены. Оформление графиков не соответствует общепринятым требованиям. Требования к оформлению отчетов не соблюдены.

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатор)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено			зачтено			

атор дости ения комп ет енций)							
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»

	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации

5.3.1 Типовые задания, выносимые на промежуточную аттестацию:

Оценочное средство - Контрольные вопросы

Экзамен

Критерии оценивания (Контрольные вопросы - Экзамен)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Отличная подготовка. Студент отвечает полностью на вопросы билета и дополнительные вопросы (задания), выходящие за рамки изученного объема курса и изученных алгоритмов и подходов, проявляя инициативу и творческое мышление. Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
отлично	Отличная подготовка. Студент отвечает полностью на вопросы билета в рамках изученных алгоритмов и подходов. При ответе на дополнительные вопросы допускаются незначительные неточности.
очень хорошо	Хорошая подготовка. Студент показывает хороший уровень знания вопросов билета и отвечает с небольшими неточностями.
хорошо	Хорошая подготовка. Студент показывает средний уровень знания вопросов билета и отвечает на некоторые дополнительные вопросы преподавателя (в рамках билета).
удовлетворительно	Удовлетворительная подготовка. Студент показывает удовлетворительное знание вопросов билета и знание базовых понятий отвечая с наводящими вопросами преподавателя.
неудовлетворительно	Студент показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания.
плохо	Подготовка совершенно недостаточна. Последующая пересдача возможна только с комиссией.

Типовые задания (Контрольные вопросы - Экзамен) для оценки сформированности компетенции ПК-3 (Готовность применять знания о фундаментальных основах технологических процессов получения материалов нано- и микросистемной техники)

1. Цели и задачи современной нанотехнологии. Физические и технологические проблемы и ограничения миниатюризации полупроводниковых устройств. Понятие мезоскопического размера.
2. Классификация наноматериалов. Понятие кластера. Роль размерных эффектов в физико-химических свойствах наноматериалов.
3. Углеродные нанотрубки, технология изготовления и свойства. Перспективы использования. Полевой транзистор на нанотрубках.
4. Пленки поверхностно-активных веществ. Структура ПАВ на примере молекулы стеариновой кислоты. Пленки Ленгмюра-Блоджетт, метод получения и свойства.
5. Полупроводниковые материалы для нанотехнологий. Сравнительный анализ Si, Ge, AlGaAs. Технология получения пористого кремния.
6. Твердые растворы, их классификация. Трех- и четырехкомпонентные твердые растворы на основе полупроводников AlGaAs. Правило Вегарда.
7. Зонная инженерия. Пример зонной инженерии для четырехкомпонентного твердого раствора InGaAsP.
8. Гетеропереходы и их классификация. Технология изготовления полупроводникового инжекционного лазера на двойной гетероструктуре. Характеристика и назначение слоев.
9. Технологии создания структур с квантовыми ямами (КЯ). Гетероструктуры с КЯ. Псевдоморфный рост. Упруго-напряженные и решеточно-согласованные КЯ.
10. Квантово-размерные гетероструктуры для полупроводниковых лазеров. Характеристика и назначение слоев.
11. Классификация сверхрешеток. Критерии выбора материалов. Технология выращивания. Приборные применения полупроводниковых сверхрешеток и квантовых ям.
12. Технологии изготовления квантовых точек и квантовых нитей литографическими методами.
13. Модулированное легирование. Подвижность носителей в системах с модулированным легированием. Транзисторы с высокой подвижностью электронов (НЕМТ-транзисторы).
14. Основные представления общей теории образования фаз. Гомогенное образование центров новой фазы. Классическое представление Гиббса - Томпсона. Понятие критического зародыша.
15. Гетерогенное образование центров новой фазы. Термодинамическая теория.
16. Гетерогенное образование центров новой фазы. Молекулярно-кинетическая теория.
17. Скорость гомогенного и гетерогенного образования центров новой фазы при конденсации и кристаллизации.
18. Молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ). Принципиальные элементы установки МЛЭ. Элементарные процессы МЛЭ.
19. Метод МОС-гидридной эпитаксии. Схема и составляющие ростовой установки. Пример выращивания твердых растворов на основе AlGaAs.
20. Понятие эпитаксии. Механизмы эпитаксии и их характеристики.
21. Основы теории самоорганизованного роста квантовых точек (механизм Странского-Крастанова).

22. Типы наноструктур, выращиваемых с использованием эффектов самоорганизации: упорядоченные массивы трехмерных когерентно напряженных островков в гетероэпитаксиальных рассогласованных системах.
23. Типы наноструктур, выращиваемых с использованием эффектов самоорганизации: структуры на микроскопически упорядоченных фасетированных поверхностях.
24. Типы наноструктур, выращиваемых с использованием эффектов самоорганизации: периодические структуры плоских доменов (например, островков монослойной высоты).
25. Типы наноструктур, выращиваемых с использованием эффектов самоорганизации: структуры с периодической модуляцией состава в эпитаксиальных пленках твердых растворов полупроводников.
26. Типы наноструктур, выращиваемых с использованием эффектов самоорганизации: преобразование планарных напряженных гетероструктур и сверхрешеток в трехмерные, имеющие радиальную симметрию (3D-наноструктуры, нанотрубки).
27. Синтез одномерных полупроводниковых наноструктур методом кристаллизации из пара через слой жидкой фазы (ПЖК).
28. Метод молекулярного наслаивания и атомно-слоевой эпитаксии.
29. Ионно-лучевой метод формирования полупроводниковых нановключений в диэлектриках.
30. Литографические методы формирования наноструктур. Сравнительный анализ перспектив электронной, ионной, ультрафиолетовой и рентгеновской литографий.
31. Литография с использованием дальнего вакуумного ультрафиолета (ДВУФ). Многослойная брэгговская оптика. ДВУФ-нанолитограф.
32. Лазерная интерференционная, иммерсионная и нанопечатная литографии.
33. Физические основы зондовой нанотехнологии. Классификация методов зондовой нанотехнологии. Физико-химические основы метода локального зондового окисления.
34. Локальная глубинная модификация полупроводниковых подложек. Условия глубинной модификации, оценка порогового напряжения и глубины залегания области модификации

Зачёт

Критерии оценивания (Контрольные вопросы - Зачёт)

Оценк а	Критерии оценивания
зачтено	Выполнены все задания лабораторной работы. Отчеты оформлены правильно, полно и аккуратно. Представлены все необходимые рисунки, схемы и графики. Оформление графиков полностью соответствует общепринятым требованиям. Могут присутствовать незначительные недочёты, которые студент после замечания преподавателя способен исправить самостоятельно. Студент отвечает полностью на вопросы зачета, показывая удовлетворительное знание основ курса и базовых понятий. При ответе на дополнительные вопросы допускаются незначительные неточности.
не зачтено	Не выполнены отчеты по лабораторным работам, одно или более заданий лабораторных работ. Отчеты выполнены с ошибками, не все рисунки и схемы представлены. Оформление графиков не соответствует общепринятым требованиям. Требования к оформлению отчетов не соблюдены. Студент показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий.

Типовые задания (Контрольные вопросы - Зачёт) для оценки сформированности компетенции ПК-3 (Готовность применять знания о фундаментальных основах технологических процессов получения материалов нано- и микросистемной техники)

Вопросы к зачету по дисциплине «Материалы и методы нанотехнологий»

1. Физические и технологические проблемы и ограничения микроминиатюризации полупроводниковых устройств. Понятие мезоскопического размера.
2. Классификация веществ и материалов по размеру частиц и размерности. Свойства нанобъектов.
3. Полупроводниковые материалы для нанотехнологий. Кремний и его модификации (пористый кремний).
4. Механические смеси, соединения, твердые растворы. Параметр решетки твердого раствора. Правило Вегарда.
5. Гетеропереходы и их классификация. Оценки разрывов зон.
6. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Принципиальные элементы установки МЛЭ.
7. Метод МОС-гидридной эпитаксии. Схема и составляющие ростовой установки. Основные химические реакции.
8. Основные представления общей теории образования фаз. Понятие критического зародыша. Гомогенное и гетерогенное зародышеобразование.
9. Термодинамическая теория зародышеобразования.
10. Молекулярно-кинетическая теория зародышеобразования.
11. Понятие эпитаксии. Температура эпитаксии. Механизмы эпитаксии и их характеристики.
12. Структуры с квантовыми ямами (КЯ).
13. Квантово-размерные гетероструктуры для полупроводниковых лазеров. Электронное и оптическое ограничение.
14. Классификация сверхрешеток. Критерии выбора материалов. Технология выращивания.
15. Технология изготовления квантовых точек и квантовых нитей с применением литографии.
16. Модулированное легирование. Транзисторы с высокой подвижностью электронов (НЕМТ-транзисторы).
17. Типы наноструктур, выращиваемых с использованием эффектов самоорганизации.
18. Технологические особенности выращивания классических гетероструктур, гетероструктур с квантовыми ямами и наноструктур, выращиваемых с использованием эффектов самоорганизации.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Физика низкоразмерных систем : учеб. пособие / под общ. ред. В. И. Ильина и А. Я. Шика. - СПб. : Наука, 2001. - 160 с. : ил. - (Новые разделы физики полупроводников). - Федер. целевая программа "Гос. поддержка интеграции высш. образования и фундам. науки". - ISBN 5-02-024966-1 : 20.00., 5 экз.

2. Шука Александр Александрович. Нанoeлектроника : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки "Прикладные математика и физика" / под общ. ред. Ю. В. Гуляева. - М. : Физматкнига, 2007. - 464 с. - (Электроника / МФТИ). - ISBN 978-5-89155-163-3 : 203.20., 12 экз.
3. Неволин Владимир Кириллович. Зондовые нанотехнологии в электронике : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальностям 210601 "Нанотехнология в электронике" и 210602 "Наноматериалы" направления подготовки 210600 "Нанотехнология" и по специальностям 210104 "Микроэлектроника и твердотельная электроника" и 210108 "Микросистемная техника" направления подготовки 210100 "Электроника и микроэлектроника". - Изд. 2-е, испр. и доп. - М. : Техносфера, 2006. - 160 с. - (Мир электроники ; 7 -, 3 экз.
4. Драгунов В. П. Нанoeлектроника в 2 ч. Часть 1 / Драгунов В. П., Неизвестный И. Г., Гридчин В. А. - 3-е изд. ; испр. и доп. - Москва : Юрайт, 2022. - 285 с. - (Высшее образование). - URL: <https://urait.ru/bcode/489938> (дата обращения: 05.01.2022). - ISBN 978-5-534-05170-4 : 909.00. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт"., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=786115&idb=0>.
5. Наноматериалы и нанотехнологии / Пряхин Е. И., Воложанина С. А., Петкова А. П., Ганзуленко О. Ю. - 2-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 372 с. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции Лань - Инженерно-технические науки. - ISBN 978-5-8114-9299-2., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=782740&idb=0>.
6. Смирнов В. И. Физические основы нанотехнологий и наноматериалы : учебное пособие / Смирнов В. И. - Ульяновск : УлГТУ, 2017. - 240 с. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции УлГТУ - Нанотехнологии. - ISBN 978-5-9795-1731-5., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=750989&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Лозовский В. Н. Нанотехнологии в электронике. Введение в специальность : учебное пособие / Лозовский В. Н., Лозовский С. В. - 2-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 332 с. - Книга из коллекции Лань - Инженерно-технические науки. - ISBN 978-5-8114-3986-7., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=798743&idb=0>.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

1. Научная электронная библиотека (электронная библиотека периодических изданий - доступ через компьютеры, подключенные к сети ННГУ): <https://elibrary.ru/defaultx.asp>.
2. Электронная база данных по свойствам полупроводниковых материалов: <http://www.matprop.ru>.
3. Электронная база данных по физическим, химическим и структурным свойствам веществ и соединений (доступ через компьютеры, подключенные к сети ННГУ): <http://www.springermaterials.com>.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: При выполнении

лабораторных работ используются лаборатории кафедры физики полупроводников, электроники и наноэлектроники и соответствующее оборудование: Технологическая лаборатория: Вакуумные установки для эпитаксиального наращивания марки ВУП-4 Электронографическая лаборатория: Электронограф ЭМР – 102 Лаборатория электронной микроскопии: Просвечивающие электронные микроскопы ЭМВ – 100ЛМ

и лаборатории Научно-образовательного центра "Физика твердотельных наноструктур" и соответствующее оборудование: Лаборатория электронной микроскопии: Высокоразрешающий просвечивающий электронный микроскоп JEM-2100F Лаборатория Сканирующей зондовой микроскопии Сканирующий зондовый микроскоп NanoEducator.

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

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению 28.03.01 - Нанотехнологии и микросистемная техника.

Автор(ы): Планкина Светлана Михайловна, кандидат физико-математических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Павлов Дмитрий Алексеевич, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 20.05.2023, протокол № 6/н.