

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

11.03.04 - Электроника и микроэлектроника

Направленность образовательной программы

Радиофотоника и оптоэлектроника

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2021 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.16 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 и компонентов электроники и наноэлектроники в профессиональной деятельности	<p>ПК-3.1.: Знает фундаментальные основы технологических процессов получения материалов и компонентов электроники и наноэлектроники.</p> <p>ПК-3.2: Умеет проводить экспериментальные работы по отработке и внедрению новых технологических процессов производства изделий микроэлектроники</p> <p>ПК-3.3: Владеет опытом 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 электроники и наноэлектроники, в том числе физико-химические принципы и методы гетероэпитаксиального наращивания полупроводниковых слоев; принципы выбора оптимальных параметров проведения технологических процессов; предельные возможности технологий, применяемых при производстве электронной компонентной базы.</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>ПК-3.3:</p> <p>Иметь навыки проведения технологических процессов и контроля свойств материалов.</p>	Отчет по лабораторным работам	<p>Зачёт:</p> <p>Контрольные вопросы</p> <p>Экзамен:</p> <p>Контрольные вопросы</p>

--	--	--	--	--

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 Цели и задачи НТ. Основные понятия и определения. Физические и технологические проблемы и ограничения микроминиатюризации полупроводниковых устройств. Понятие мезоскопического размера. Физические эффекты, возникающие при уменьшении размеров до нанометровых. Технологические ограничения микроминиатюризации.	3	2		2	1
Классификация и свойства наноматериалов Классификация веществ и материалов по размеру частиц и размерности. Наноструктурные элементы вещества: атомы, молекулы, фуллерены, нанотрубки, кластеры. Квантовые точки – искусственные молекулы. Свойства наноматериалов: механические, теплофизические, физико-химические, электрофизические, оптические. Углеродные нанотрубки, технология изготовления и свойства. Перспективы использования. Полевой транзистор на нанотрубках.	20	2	8	10	10

Полупроводниковые материалы и структуры на их основе. Полупроводниковые материалы для нанотехнологий. Кремний и его модификации (кремний на изоляторе, пористый кремний). Сравнительный анализ Si, Ge, GaAs	4	2		2	2
Твердые растворы. Основы зонной инженерии Наиболее распространенные системы полупроводниковых материалов на основе твердых растворов A3B5. Трех- и четырехкомпонентные твердые растворы на основе полупроводников A3B5. Правило Вегарда. Основы зонной инженерии. Пример зонной инженерии для четырехкомпонентного твердого раствора InGaAsP. Нитриды и их характеристика. Проблема подложек и выращивание буферных слоев. Твердые растворы на основе нитридов.	8	4		4	4
Понятие эпитаксии. Эпитаксиальные методы Гомо- и гетероэпитаксия. Физическое осаждение из паровой фазы. Получение аморфных, поликристаллических и монокристаллических пленок. Молекулярно-лучевая эпитаксия элементарных полупроводников и полупроводников на основе соединений A3B5, осаждение пленок диэлектриков и металлов. Химическое осаждение из газовой фазы: основные закономерности и методика. Эпитаксия из металлоорганических соединений и летучих неорганических гидридов. Наиболее распространенные системы веществ - источников компонент полупроводниковых материалов и твердых растворов. МОС-гидридная эпитаксия полупроводников на основе соединений A3B5.	26	6	8	14	12
Основные представления общей теории образования фаз. Понятие критического зародыша. Термодинамическая теория зародышеобразования. Молекулярно-кинетическая теория зародышеобразования. Теория И. М. Лифшица – В. В. Слезова.	24	4	8	12	12
Механизмы эпитаксии Механизмы гетероэпитаксиального роста: Франк-ван-дер-Мерве, Фольмера-Вебера, Странского-Крастанова. Зависимость начальных механизмов эпитаксии от рассогласования решеток подложки и слоя	20	2	8	10	10
Гетеропереходы. Структуры на основе гетеропереходов Гетеропереходы и их классификация. Общие принципы создания гетеропереходов. Оценки разрывов зон. Структуры на основе гетеропереходов. Двойные гетероструктуры (ДГС). Понятие электронного и оптического ограничения. Понятие сверхинжекции.	12	6		6	6
Технология двумерных гетероэпитаксиальных полупроводниковых систем Гетероструктуры с квантовыми ямами (КЯ). Гетероструктуры с двумерным электронным газом: структуры с одиночным гетеропереходом. Квантово-размерные гетероструктуры для полупроводниковых лазеров. Сверхрешетки квантовых ям. Классификация сверхрешеток. Приборные применения полупроводниковых сверхрешеток и квантовых ям. Псевдоморфный рост. Упруго-напряженные и решеточно-согласованные КЯ. Принципы выбора полупроводниковых материалов. Модулированное и селективное (дельта-) легирование. Гетероструктуры с высокой плотностью двумерного электронного газа. Транзисторы с высокой подвижностью электронов (НЕМТ-транзисторы). Технология изготовления металлических и полупроводниковых наноточек, нанонитей литографическими методами	8	4		4	4
Самоорганизация квантовых точек, нитей и трехмерных структур, имеющих радиальную симметрию (нанотрубки) Типы наноструктур, выращиваемых с использованием эффектов самоорганизации. Упорядоченные массивы трехмерных когерентно-напряженных островков в гетероэпитаксиальных рассогласованных системах. Самоорганизованный рост по механизму Странского-Крастанова. Условия наблюдения квантовых размерных эффектов. Инжекционные лазеры на вертикально связанных квантовых точках. Структуры на микроскопически упорядоченных фасетированных поверхностях. Периодические структуры плоских доменов (например, островков монослойной высоты). Структуры с периодической модуляцией состава в эпитаксиальных пленках твердых растворов полупроводников. Преобразование планарных напряженных гетероструктур и сверхрешеток в трехмерные, имеющие радиальную симметрию (3D-наноструктуры, нанотрубки). Перспективы изготовления электронных приборов с применением нанотрубок.	24	12		12	12
Функциональные и конструкционные материалы Пленки поверхностно-активных веществ. Структура ПАВ на примере молекулы стеариновой кислоты. Пленки Ленгмюра-Блоджетт, метод получения и свойства.	4	2		2	2
Методы нанолитографии Уменьшение размеров элементов методами традиционной планарной технологии за счет разработки, создания и применения экстремальных ультрафиолетовых источников излучения со сверхкороткой длиной волны (13,5 нм) при процессах литографии. Источники экстремального ультрафиолета. Лазерное излучение: взаимодействие с поверхностью и применение в НТ. Лазерная абляция. Многослойные брэгговские зеркала. Резисты на основе неорганических материалов. ДВУФ-нанолитограф. Электронная, ионная и рентгеновская литографии. Применение «линзы Кумахова» для нанолитографии. Маски и резисты для разных типов литографии. Сравнительный анализ перспектив ультрафиолетовой, электронной, ионной и рентгеновской литографий. Новые литографические методы. Нанопечатная литография. Лазерная интерференционная литография. Иммерсионная литография.	12	6		6	6
Методы туннельно-зондовой нанотехнологии Физические основы зондовой нанотехнологии. Классификация методов зондовой нанотехнологии. Контактное формирование нанорельефа поверхности. Требования к зондам. Бесконтактное электростатическое формирование нанорельефа поверхности с помощью сканирующей туннельной	4	2		2	2

микроскопии. Локальная глубинная модификация полупроводниковых подложек. Условия локальной глубинной модификации полупроводниковых подложек. Оценка порогового напряжения, глубины залегания области модификации. Полевое испарение проводящих материалов с нанометровым разрешением. Оценка размытия проводящих дорожек. Основы управления массопереносом. Режим формирования острия зонда. Электрохимический массоперенос. Условия для электрохимического массопереноса. Массоперенос из газовой фазы. Локальное анодное окисление металлов и полупроводников. Основы теории локального анодного окисления металлов и полупроводников в слое адсорбата молекул воздуха. Влияние влажности воздуха.					
Нелитографические методы создания периодических наноструктур Самоорганизующиеся упорядоченные пористые материалы. Упорядоченные пористые материалы в технологии фотонных кристаллов. Использование темплатных методов.	4	2		2	2
Методы получения нанокompозитных материалов Золь-гель технологии; интеркаляция полимеров и наночастиц в слоистые структуры; сочетание процессов полимеризации и формирования наноразмерных частиц. Формирование структур на основе коллоидных растворов.	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 молекулярнолучевой эпитаксии.

Составители: Павлов Д.А., Планкина С.М.: Практикум – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2014. – 27 с.

2. Планкина С.М., Павлов Д.А. Аллотропные состояния углерода: нанотрубки и графен. 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 - Отчет по лабораторным работам) для оценки сформированности компетенции ПК-3

1. Осуществите эксперимент по выращиванию сплошного эпитаксиального слоя PbS на NaCl. Технологические параметры задает преподаватель.
2. Подготовьте полученные слои для изучения их в электронном микроскопе.
3. 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.

Сделайте вывод относительно механизма роста слоев PbS на NaCl.

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

Оценка	Критерии оценивания
	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 (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<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	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы 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	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели	Имеется минимальный набор навыков для решения	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартны	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартны	Продемонстрированы навыки при решении нестандарт	Продемонстрирован творческий подход к решению

	вследствие отказа обучающегося от ответа	место грубые ошибки	стандартны х задач с некоторым и недочетами	х задач с некоторым и недочетами	х задач без ошибок и недочетов	ных задач без ошибок и недочетов	нестандартны х 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

Зачёт

Критерии оценивания (Контрольные вопросы - Зачёт)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Студент отвечает полностью на вопросы зачета, показывая удовлетворительное знание основ курса и базовых понятий. При ответе на дополнительные вопросы допускаются незначительные неточности.
не зачтено	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 и компонентов электроники и нанoeлектроники в профессиональной деятельности)

1. Физические и технологические проблемы и ограничения микроминиатюризации полупроводниковых устройств. Понятие мезоскопического размера.
2. Свойства нанообъектов и основные физические причины специфики наноматериалов.
3. Твердые растворы, их классификация. Закон Вегарда.
4. Физические основы зонной инженерии.
5. Структуры с КЯ. Зонные диаграммы, сравнение свойств.
6. Квантово-размерные гетероструктуры для полупроводниковых лазеров. Оптическое и электронное ограничение. Характеристика и назначение слоев в гетероструктуре.
7. Технология изготовления нанонитей и наноточек литографическими методами.
8. Модулированное легирование как способ увеличения подвижности. Транзисторы с высокой подвижностью электронов (НЕМТ-транзисторы).
9. Основные представления общей теории образования фаз. Понятие критического зародыша.
10. Гомогенное и гетерогенное зародышеобразование. Причины различия величины работы по образованию зародыша критического размера.
11. Термодинамическая теория зародышеобразования.
12. Молекулярно-кинетическая теория зародышеобразования.
13. Требования к технологии квантово-размерных структур. Критерии выбора материалов.
14. Понятие эпитаксии. Виды эпитаксии.
15. Механизмы эпитаксии и их характеристики.
16. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Принципиальные элементы установки МЛЭ.
17. Метод МОС-гидридной эпитаксии. Принципиальные элементы ростовой установки. Примеры реакций.
18. Решеточно-рассогласованные материалы. Псевдоморфный и метаморфный рост.

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.
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 хороший уровень знания вопросов билета и отвечает на некоторые дополнительные вопросы преподавателя (в рамках билета).

Оценка	Критерии оценивания
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 и компонентов электроники и нанoeлектроники в профессиональной деятельности)

1. Цели и задачи современной нанотехнологии. Физические и технологические проблемы и ограничения микроминиатюризации полупроводниковых устройств. Понятие мезоскопического размера.
2. Классификация веществ и материалов по размеру частиц и размерности. Свойства нанобъектов и методы получения наноразмерных материалов.
3. Углеродные нанотрубки, технология изготовления и свойства. Перспективы использования. Полевой транзистор на нанотрубках.
1. Пленки поверхностно-активных веществ. Структура ПАВ на примере молекулы стеариновой кислоты. Пленки Ленгмюра-Блоджетт, метод получения и свойства.
2. Полупроводниковые материалы для нанотехнологий. Кремний и его модификации (кремний на изоляторе, пористый кремний). Сравнительный анализ Si, Ge, A^3B^5 .
3. Наиболее распространенные системы полупроводниковых материалов на основе твердых растворов A^3B^5 . Трех- и четырехкомпонентные твердые растворы на основе полупроводников A^3B^5 . Правило Вегарда.
4. Зонная инженерия. Пример зонной инженерии для четырехкомпонентного твердого раствора InGaAsP.
5. Нитриды и их характеристика. Проблема подложек и выращивание буферных слоев. Твердые растворы на основе нитридов.
6. Гетеропереходы и их классификация. Общие принципы создания гетеропереходов. Оценки разрывов зон. Правило корреляции анионов.
7. Гетероструктуры с квантовыми ямами (КЯ). Псевдоморфный рост. Упруго-напряженные и решеточно-согласованные КЯ.
8. Квантово-размерные гетероструктуры для полупроводниковых лазеров. Характеристика и назначение слоев в гетероструктуре.
9. Классификация сверхрешеток. Критерии выбора материалов. Технология выращивания. Приборные применения полупроводниковых сверхрешеток и квантовых ям.
10. Технология изготовления металлических и полупроводниковых наноточек, нанонитей литографическими методами.
11. Модуляционное и селективное легирование полупроводниковых материалов. Подвижность носителей в системах с селективным легированием. Транзисторы с высокой подвижностью электронов (НЕМТ-транзисторы).
12. Основные представления общей теории образования фаз. Понятие критического

- зародыша. Термодинамическая теория зародышеобразования.
13. Основные представления общей теории образования фаз. Молекулярно-кинетическая теория зародышеобразования.
 14. Понятие эпитаксии. Механизмы эпитаксии и их характеристики. Основы теории самоорганизованного роста квантовых точек (механизм Странского-Крастанова).
 15. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Принципиальные элементы установки МЛЭ. Модель роста соединений A^3B^5 .
 16. Метод МОС-гидридной эпитаксии. Схема и составляющие ростовой установки. Источники компонент полупроводниковых материалов и твердых растворов.
 17. Типы наноструктур, выращиваемых с использованием эффектов самоорганизации: упорядоченные массивы трехмерных когерентно напряженных островков в гетероэпитаксиальных рассогласованных системах.
 18. Трехмерные массивы когерентно-напряженных островков. Условия наблюдения квантовых размерных эффектов. Инжекционные лазеры на вертикально связанных квантовых точках.
 19. Типы наноструктур, выращиваемых с использованием эффектов самоорганизации: структуры на микроскопически упорядоченных фасетированных поверхностях.
 20. Типы наноструктур, выращиваемых с использованием эффектов самоорганизации: периодические структуры плоских доменов (например, островков монослойной высоты).
 21. Типы наноструктур, выращиваемых с использованием эффектов самоорганизации: структуры с периодической модуляцией состава в эпитаксиальных пленках твердых растворов полупроводников.
 22. Преобразование планарных напряженных гетероструктур и сверхрешеток в трехмерные, имеющие радиальную симметрию (3D-наноструктуры, нанотрубки).
 23. Метод молекулярного наслаивания и атомно-слоевой эпитаксии.
 24. Формирование коллоидных структур на основе коллоидных растворов. Золь-гель технология.
 25. Ионно-лучевой метод формирования полупроводниковых нановключений в диэлектриках.
 26. Литографические методы формирования наноструктур. Сравнительный анализ перспектив электронной, ионной, ультрафиолетовой и рентгеновской литографий.
 27. Литография с использованием крайнего ультрафиолета. Многослойная брэгговская оптика. ДВУФ-нанолитограф.
 28. Рентгеновская литография. Оптика Кумахова.
 29. Ионная и электронно-лучевая литография.
 30. Лазерная интерференционная литография. Интерференционная иммерсионная литография. Нанопечатная литография.
 31. Физические основы зондовой нанотехнологии. Классификация методов зондовой нанотехнологии.
 32. Контактное формирование нанорельефа поверхности. Требования к зондам. Бесконтактное электростатическое формирование нанорельефа поверхности с помощью сканирующей туннельной микроскопии.
 33. Локальная глубинная модификация полупроводниковых подложек. Условия локальной глубинной модификации полупроводниковых подложек. Оценка порогового напряжения, глубины залегания области модификации.
 34. Локальное анодное окисление металлов и полупроводников. Основы теории локального анодного окисления металлов и полупроводников в слое адсорбата молекул воздуха. Влияние влажности воздуха.

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 - 25). - ISBN 5-94836-098-9 : 186.60., 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. 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. 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>.
2. 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, 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

Электроннографическая лаборатория: Электроннограф ЭМР – 102
Лаборатория электронной микроскопии: Просвечивающие электронные микроскопы ЭМВ – 100ЛМ

и лаборатории Научно-образовательного центра "Физика твердотельных наноструктур" и соответствующее оборудование:

Лаборатория электронной микроскопии: Высокорастворяющий 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 11.03.04 - Электроника и наноэлектроника.

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.