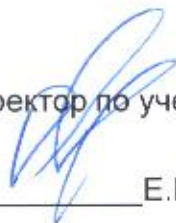


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

Первый проректор – проректор по учебной работе

Утверждаю

Е.Е. Чупандина

19.01.2024

Дополнительная образовательная программа
повышения квалификации
«Производственно-технологическая и аналитическая деятельность в
области наукоемких технологий получения современных изделий
микроэлектроники»

Категория обучающихся: лица, имеющие высшее образование (бакалавриат, специалитет, магистратура) в области физики и радиоэлектроники, сотрудники предприятий радиоэлектронного кластера
Объем программы: 82 (час.)
Форма обучения: очная с использованием электронного обучения и дистанционных образовательных технологий

1 Общая характеристика программы

1.1. Цели реализации программы

Целью реализации программы является формирование новых профессиональных компетенций, необходимых для профессиональной производственно-технологической и аналитической деятельности в области наукоемких технологий получения современных изделий микроэлектроники.

Приоритетной задачей обучения в рамках этой программы является совершенствованию теоретической и практической подготовки слушателей в области деятельности, которая относится к обеспечению качества изделий инновационной микроэлектроники. По окончании программы слушатели приобретут новые профессиональные компетенции, необходимые для выполнения следующих трудовых функций:

- контроль технологических процессов производства изделий микроэлектроники;
- разработка единичных технологических процессов и рекомендаций по устранению и предупреждению брака;
- разработка типовых технологических процессов;
- разработка групповых технологических процессов и модернизация производства.

1.2. Планируемые результаты обучения

В результате прохождения обучения по данной программе обучающийся должен приобрести знания, умения, навыки в рамках формируемых профессиональных компетенций, необходимых для обеспечения трудовых функций в соответствии с профессиональными стандартами:

40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»:

– А/01.5 «Осуществление проведения работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований»;

40.104 «Специалист по измерению параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур»:

– С/01.6 «Модернизация существующих и внедрение новых методов и оборудования для измерений параметров наноматериалов и наноструктур».

Планируемые результаты обучения, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (профессиональными компетенциями – ПК) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-1	Способен выполнять экспериментальные работы по отработке и внедрению новых материалов, технологических процессов и оборудования производства изделий микроэлектроники	Разрабатывает технические задания на проектирование технологических процессов производства материалов и изделий электронной техники	Знает основные параметры технологических процессов производства изделий микроэлектроники
			Умеет выбирать перспективные материалы, технологические процессы и оборудование с целью модернизации производства изделий микроэлектроник

			Владеет навыками анализа результатов проведения экспериментальных работ в области производства изделий микроэлектроники
ПК-2	Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и микроэлектроники различного функционального назначения	Применяет знания о назначении, устройстве и принципах действия оборудования для измерения параметров наноматериалов и наноструктур	Знает методики проведения исследований параметров и характеристик узлов, блоков
			Умеет проводить исследование характеристик электронных приборов
			Способен определять существенные для выпускаемых изделий параметры и характеристики перспективных материалов, технологических процессов и оборудования

2 Учебный план

	Наименование разделов и дисциплин	Всего, час.	В том числе			Форма контроля ¹
			лекции	практические и лабораторные занятия	самостоятельная работа	
1.	Контроль технологических процессов производства изделий микроэлектроники на основе АЗN/Si	40	10	25	5	Устный опрос и отчёт о выполнении лабораторных работ
1.1	Основы анализа и контроля соблюдения режимов технологических операций процессов производства изделий микроэлектроники на основе АЗN/Si структурно-спектроскопическими методами	8	2	5	1	
1.2	Исследование и анализ причин брака при изготовлении изделий	8	2	5	1	

	микроэлектроники на основе А3N/Si					
1.3	Способы контроля электрофизических параметров изделий микроэлектроники	8	2	5	1	
1.4	Исследование и анализ типовых и новых единичных технологических процессов получения планарных структур для изделий микроэлектроники на основе А3N/Si	8	2	5	1	
1.5	Исследование и анализ структур, получаемых в ходе типовых и новых групповых технологических процессов производства изделий микроэлектроники на основе А3N/Si	8	2	5	1	
2.	Технологические аспекты производства изделий микроэлектроники на основе А3N/Si	40	10	25	5	Устный опрос и отчёт о выполнении практических работ
2.1	Анализ и выбор перспективных технологических процессов и оборудования производства изделий микроэлектроники на основе А3N/Si	8	2	5	1	
2.2	Организация и проведение экспериментальных работ по отработке и внедрению новых материалов и технологических процессов	8	2	5	1	

	производства изделий микроэлектроники на основе A3N/Si					
2.3	Разработка единичных технологических процессов изготовления изделий микроэлектроники на основе A3N/Si	8	2	5	1	
2.4	Контроль соблюдения режимов технологических операций процессов производства изделий микроэлектроники на основе A3N/Si	8	2	5	1	
2.5	Постростовые технологии создания функциональных микро- и наноструктур	8	2	5	1	
3.	Промежуточная аттестация	2				Зачет, проводимый по контрольным измерительным материалам (вопросы) по разделам 1 и 2
4.	Итого	82	20	50	10	

Руководитель дополнительной образовательной программы



П.В. Середин

3. Рабочая программа учебного предмета, курса, дисциплины (модуля)

3.1. Цель:

Формирование у слушателей:

- целостного представления о материалах и методах технологических аспектов производства изделий инновационной микро и нанoeлектроники на основе A_3N/Si и методах их контроля;
- представлений о современных достижениях в области нанотехнологий и перспективах их практического использования, теоретических и технологических пределах уменьшения размеров элементов электронной компонентной базы;
- навыков практической работы с установкой электронно-лучевого и магнетронного напыления, а также структурно-спектроскопическими методиками исследования наноматериалов с заданными свойствами.

3.2. Задачи изучения учебного предмета, курса, дисциплины (модуля)

Сформировать знания об основных подходах к синтезу наноматериалов, гетерогенных процессах формирования нанобъектов, методах получения наночастиц из паровой фазы, методах получения упорядоченных наноструктур и методах их модификации (молекулярно-лучевая эпитаксия (метод физического осаждения), конденсация наночастиц в инертной среде; осаждения в условиях плазмы, магнетронного и ионно-лучевого распыления, пучковых методах нанолитографии.

Изучить методы исследования и диагностики наносистем, зондовые методы реализации контроля параметров топологии изделий микроэлектроники, методики атомно-силовой микроскопии, сопряжённой с оптической микроскопией ближнего поля, и Рамановской микроспектроскопией.

3.3. Планируемые результаты обучения

После прохождения программы повышения квалификации «Производственно-технологическая и аналитическая деятельность в области наукоемких технологий получения современных изделий микроэлектроники» слушатели смогут эффективно выполнять следующие виды работ:

- Разрабатывать технические задания на проектирование, изготовление и модернизацию технологических процессов производства изделий микроэлектроники
- Организовывать и проводить экспериментальные работы по разработке и адаптации технологических процессов производства
- Контролировать технологические операции и анализировать причины брака при изготовлении изделий микроэлектроники

3.4. Содержание учебного предмета, курса, дисциплины (модуля)

Раздел 1. Контроль технологических процессов производства изделий микроэлектроники на основе A_3N/Si (20 час.)

Тема 1.1. Основы анализа и контроля соблюдения режимов технологических операций процессов производства изделий микроэлектроники на основе A_3N/Si структурно-спектроскопическими методами (2 час.)

Содержание темы:

1.1.1. Основные теоретические понятия и физические процессы, задействованные в методах анализа и способах контроля технологических операций процессов производства изделий микроэлектроники на основе A_3N/Si

1.1.2 Принципы действия атомно-силового микроскопа и исследование микрокристаллической топологии изделий на основе AlN/Si методами АСМ

1.1.3 Совмещение методики атомно-силовой микроскопии со спектроскопией ближнего поля. Принципы реализации методик. Физические основы и техники различного исполнения.

1.1.4. Основы и принципы микроспектроскопии комбинационного рассеяния. Основные теоретические понятия и физические процессы, приводящие к возникновению Рамановского рассеяния. Основные компоненты и типы Раман спектрометров, совмещённых с АСМ микроскопами позволяющих проводить контроль изделий микроэлектроники.

1.1.5 Параметры и физико-химические величины, извлекаемые из одновременного анализа микрокристаллов с использованием многофункциональных АСМ-Раман спектрометров. Возможность использования получаемых характеристик в качестве контроля микрокристаллической топологии изделий на основе AlN/Si

Тема 1.2. Исследование и анализ причин брака при изготовлении изделий микроэлектроники на основе AlN/Si (2 час.)

Содержание темы:

1.2.1 Связь структурных параметров и свойств материалов изделий микроэлектроники на основе AlN/Si с параметрами технологических операций. Зависимость наблюдаемых микроспектроскопических характеристик изделий от качества исполненных материалов и выявления дефектов.

1.2.2 Возможности анализа структурных параметров и свойств материалов изделий микроэлектроники на основе AlN/Si с использованием многофункциональных систем атомно-силовой микроскопии сопряжённой с Рамановским спектрометром.

1.2.3 Анализ причин брака при изготовлении изделий микроэлектроники с использованием АСМ-Раман многофункциональной систем. Частота и интенсивность линий в колебательных спектрах. Характеристические частоты. Статическое и динамическое расщепление частот колебаний. Интенсивности линий в Рамановских спектрах. Анализ интенсивностей в Рамановских спектрах нанокристаллов. Поляризация и ширина линий в спектрах.

1.2.4 Методы визуализации пространственных дефектов с использованием возможностей АСМ-Раман многофункциональной систем на основе анализа полос комбинационного рассеяния.

1.2.5 Интегральный анализ качества nano и гетероструктур AlN/Si

Тема 1.3. Способы контроля электрофизических параметров изделий микроэлектроники (2 час.)

Содержание темы

1.3.1 Принципы получения и особенности электрофизических параметров изделий регистрируемых с использованием методов зондовой микроскопии.

1.3.2 Способы измерения и техники регистрации характеристик получаемых в ходе использования магнитно-силовой, электростатической и емкостной микроскопии. Вольт-амперная характеристика контакта получаемая методами АСМ.

1.3.3 Кельвин-зондовая силовая микроскопия и её особенности при исследовании объектов с использованием многофункциональной АСМ-Раман систем.

1.3.4 Определение p-n-переходов и различных уровней легирования в слоях на различных этапах контроля качества полупроводникового производства

1.3.5 Интегральный анализ электрофизических параметров изделий nano и гетероструктур AlN/Si

Тема 1.4. Исследование и анализ типовых и новых единичных технологических процессов получения планарных структур для изделий микроэлектроники на основе AlN/Si (2 час.)

Содержание темы

1.4.1. Анализ материалов получаемых в ходе типовых и новых единичных технологических процессов при изготовлении полупроводниковых структур на основе A3N/Si

1.4.2 Исследование влияния применяемой технологии на создаваемые полупроводниковые структуры на примере магнетронного напыления. Влияние магнетронного напыления алюминиевой металлизации и отжига на структуру напыляемых пленок.

1.4.3 Исследования и анализ влияния технологии электронно-лучевого напыления металлов для формирования омических контактов на основе системы металлизации Ti/Al/Ni/Au на гетереструктурах A3N/Si

1.4.4 Установление возможных критичных факторов технологии типовых и новых единичных технологических процессов материалов

Тема 1.5. Исследование и анализ структур, получаемых в ходе типовых и новых групповых технологических процессов производства изделий микроэлектроники на основе A3N/Si (2 час.)

Содержание темы

1.5.1 Типовые и новые групповые технологические процессы получения полупроводниковых гетероструктур на основе A3N/Si, совмещение технологий пост процессов.

1.5.2. Анализ постростовых процессов создания контактов методами магнетронного и электронно-лучевого напыления.

1.5.3 Исследования контактных слоев, созданных при металлизации затвора методом электронно-лучевого напыления на основе системы металлизации Ti/Pt/Au на гетереструктурах A3N/Si. Анализ качества адгезии и равномерности краев получаемой системы металлизации

1.5.4 Полный физико-химический анализ поверхностных свойств структур на этапах разработок и исследований новых изделий на основе A3N/Si

Перечень лабораторных работ

Номер темы	Наименование лабораторной работы
1.1	Неразрушающие измерения полупроводниковых структур микроэлектроники на основе A3N/Si методом многофункциональной зондовой микроскопии сопряжённой с ближней оптической спектроскопией на примере АСМ-Раман системы. (5 час.)
1.2	Сканирование пространственных областей на предмет выявления дефектов полупроводниковых топологических структур на основе A3N/Si с использованием многофункциональной АСМ-Раман системы с использованием зондово-усиленной спектроскопии комбинационного рассеяния (2D TERS mapping) (5 час.)
1.3	Измерения изделий микроэлектроники на основе A3N/Si магнитно-силовой, электростатической и емкостной, Кельвин-зондовой силовой микроскопией с использованием многофункциональной АСМ-Раман системы (5 час.)
1.4	Применением сканирующей микроскопии ионной проводимости (СМИП/SICM) для анализа электрохимических реакций в техпроцессах при изготовления полупроводниковых структур на основе A3N/Si (5 час.)
1.5	Количественные наномеханические и объемносиловые из-

	мерения, исследование проводимости, теплопроводности и термоэлектрических свойств и электрофизических характеристик на всех топологических уровнях новых материалов A3N/Si (5 час.)
--	---

Раздел 2. Технологические аспекты производства изделий микроэлектроники на основе A3N/Si (20 часов)

Тема 2.1. Анализ и выбор перспективных технологических процессов и оборудования производства изделий микроэлектроники на основе A3N/Si (2 часа.)

Содержание темы:

2.1.1 Используемые технологические процессы и режимы производства изделий микроэлектроники

2.1.2 Размерные эффекты и их роль в процессах синтеза наноструктурированных материалов

2.1.3 Самоорганизация и взаимодействие в наноразмерных и наноструктурированных материалах

2.1.4 Осаждение слоев нанометровых толщин: поликристаллические плёнки, термическое, магнетронное и электронно-лучевое осаждение.

Газофазная эпитаксия.

2.1.5 Молекулярно-лучевая эпитаксия (метод физического осаждения), конденсация наночастиц в инертной среде; осаждения в условиях плазмы), пучковые методах нанолитографии.

2.1.6 Создание упорядоченных квантовых наноструктур. Квантовые точки и квантовые проволоки.

Тема 2.2. Организация и проведение экспериментальных работ по отработке и внедрению новых материалов и технологических процессов производства изделий микроэлектроники на основе A3N/Si (2 часа.)

Содержание темы:

2.2.1 Отечественный и зарубежный опыт производства изделий микроэлектроники

2.2.2 Новые материалы микроэлектроники и их основные свойства

2.2.3 Технические требования, предъявляемые к новым материалам микроэлектроники

2.2.4 Взаимосвязь параметров и режимов технологических операций с выходными параметрами изделий микроэлектроники на основе A3N/Si

2.2.5 Используемое технологическое оборудование и принципы его работы

2.2.6 Основы планирования эксперимента, правила производственной санитарии

Тема 2.3. Разработка единичных технологических процессов изготовления изделий микроэлектроники на основе A3N/Si (2 часа.)

Содержание темы:

2.3.1 Технические требования, предъявляемые к изготавливаемым изделиям микроэлектроники

2.3.2 Типовые технологические процессы производства изделий микро и нанoeлектроники

2.3.3 Правила выбора технологического процесса-аналога

2.3.4 Методика назначения технологических режимов технологических операций

2.3.5 Стандартное оборудование и его место в технологическом процессе производства изделий микро и нанoeлектроники

Тема 2.4. Контроль соблюдения режимов технологических операций процессов

производства изделий микроэлектроники на основе AlN/Si (2 часа.)

Содержание темы:

2.4.1 Основные параметры технологических процессов производства изделий микроэлектроники

2.4.2 Виды дефектов при изготовлении изделий микроэлектроники

2.4.3 Технологические факторы, вызывающие погрешности изготовления изделий микро и наноэлектроники

2.4.4 Методы уменьшения влияния технологических факторов, вызывающих погрешности изготовления изделий микроэлектроники

2.4.5 Основные средства контроля качества изготавливаемых изделий микро и наноэлектроники

2.4.6 Методы оценки пригодности и воспроизводимости технологических процессов производства изделий микроэлектроники

Тема 2.5. Постростовые технологии создания функциональных микро- и наноструктур (2 часа.)

Содержание темы:

2.5.1 Технологический маршрут создания полупроводниковых устройств

2.5.2 Оптическая литография

2.5.3 Литография пучками заряженных частиц

2.5.4 Химическое осаждение из газовой фазы

2.5.5 Релаксация напряжений при гетероэпитаксии

2.5.6 Моделирование процесса получения пленок поликристаллического осаждением из газовой фазы

2.5.7 Моделирование процесса оптимизации размера зерна и удельного сопротивления

2.5.8 Физико-технологические основы формирования контактов металл/полупроводник

2.5.9 Технологические операции для изготовления диодов Шоттки на основе контактов металл/полупроводник AlN/Si

Перечень практических занятий

Номер темы	Наименование практического занятия
2.1	Формирование омических контактов на гетереструктурах GaN/Si с использованием технологии электронно-лучевого напыления металлов (5 час.)
2.2	Формирование омических контактов на гетереструктурах GaN/Si с использованием технологии электронно-лучевого напыления металлов при ассистировании ионного источника (5 час.)
2.3	Формирование металлизации затвора методом электронно-лучевого напыления на гетереструктурах GaN/Si (5 час.)
2.4	Формирование металлизации затвора методом электронно-лучевого напыления на гетереструктурах GaN/Si при ассистировании ионного источника (5 час.)
2.5	Влияние процесса lift-off на качество адгезии и равномерность краев металлизации при формировании омических контактов и затвора на гетереструктурах GaN/Si (5 час.)

3.5. Учебно-методическое обеспечение учебного предмета, курса, дисциплины (модуля)

В ходе реализации программы используется следующее оборудование:

1. Многофункциональная система для АСМ-Раман исследований с модулями атомно-силовой микроскопии, сканирующей микроскопии ионной проводимости (СМИП), рамановской микроскопии.

Система предназначена для проведения исследований полупроводниковых нано и гетероструктур на основе нитрида галлия и кремния методами оптической, атомно-силовой микроскопии, микроскопией ионной проводимости, электрохимической микроскопии и апертурной ближнепольной оптической микроскопии с высоким пространственным разрешением;

Изучение основ АСМ-Раман исследований позволит сформировать у слушателей компетенции в сфере:

- проведения неразрушающего анализа топологии, шероховатости и дефектов полупроводниковых нано и гетероструктур на основе нитрида галлия и кремния;
- единовременного полного физико-химического анализа поверхностных свойств образцов на этапах разработок и исследований новых материалов микро и наноэлектроники.
- проведения исследований поверхности полупроводниковых гетероструктур с характерными размерами в десятки нанометров и единиц нанометров;
- определения р-п-переходов и различных уровней легирования в слоях на различных этапах контроля качества полупроводникового производства.

2. Установка электронно-лучевого и магнетронного напыления

Используется в ДПО для отработки технологий нанесения покрытий, проведения научных исследований и мелкосерийного производства.

Магнетронное и электронно-лучевое напыление исторически наиболее распространены в электронной промышленности и применяются практически во всех процессах изготовления полупроводниковых схем, гибридных интегральных схем. Позволяют осуществлять такие технологические процессы, которые невозможно реализовать другими методами. Установка электронно-лучевого и магнетронного напыления будет использована в рамках формирования технологических компетенций во время практикума по изучению и практической реализации методов получения тонких пленок, а также методов определения их параметров.

Реализация дисциплины с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий осуществляется через образовательный портал «Электронный университет ВГУ – Moodle» (<https://edu.vsu.ru/>) для обеспечения возможности дистанционного освоения лекционного материала, материала для практических и лабораторных занятий и материала, предназначенного для самостоятельной работы слушателей.

Профильная литература:

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	Лебухов, В. И. Физико-химические методы исследования : учебник / В. И. Лебухов, А. И. Окара, Л. П. Павлюченкова. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 480 с. — ISBN 978-5-8114-1320-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/168467

2.	Физико-химические методы исследования материалов : учебно-методическое пособие / В. В. Виноградов, А. В. Виноградов, М. И. Морозов [и др.]. — Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2019. — 72 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/136419
3.	Бондаренко, Г. Г. Основы материаловедения : учебное пособие / Г. Г. Бондаренко, Т. А. Кабанова, В. В. Рыбалко. — 3-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 763 с. — ISBN 978-5-00101-755-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/151570
4.	Сергеев, А. Г. Нанометрология : монография / А. Г. Сергеев. — Москва : Логос, 2020. — 416 с. — ISBN 978-5-98704-494-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/163080
5.	Букатин, А. С. Постростовые технологии создания функциональных микро- и наноструктур : учебное пособие / А. С. Букатин, М. С. Мухин, И. С. Мухин. — Санкт-Петербург : СПбАН РАН им. Ж.И. Алфёрова, 2021. — 64 с. — ISBN 978-5-91155-110-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/250505
6.	Юрков, Н. К. Технология производства электронных средств : учебник / Н. К. Юрков. — 2-е изд., испр., доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 480 с. — ISBN 978-5-8114-1552-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/211457

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
7.	Спектроскопические методы анализа (молекулярная спектроскопия) : учебное пособие / Г. И. Берестова, И. Н. Коновалова, Н. В. Долгопятова, Н. М. Путинцев. — Мурманск : МГТУ, 2014. — 192 с. — ISBN 978-5-86185-784-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/142672
8.	Раман-спектроскопия в неорганической химии и минералогии : [монография] / Б. А. Колесов ; Российская акад. наук, Сибирское отд-ние, Ин-т неорганической химии. - Новосибирск : Изд-во Сибирского отд-ния Российской акад. наук, 2009. - 186, [2] с. : ил., табл.; 22 см.; ISBN 978-5-7692-1070-9
9.	Бёккер, Ю. Спектроскопия : руководство / Ю. Бёккер. — Москва : Техносфера, 2009. — 528 с. — ISBN 978-5-94836-220-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/73013
10.	Пентин, Ю. А. Физические методы исследования в химии / Ю. А. Пентин, Л.В. Вилков. ? 2012. -683 с.
11.	Литвин, Ф.Ф. Молекулярная спектроскопия: основы теории и практика: Учебное пособие / Ф.Ф. Литвин, В.Т. Дубровский, Р. А. Хатыпов, К. В. Неверов; Под ред. Ф.Ф.Литвина - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 263 с. http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=444657
12.	Купцов А.Х. Фурье-КР и Фурье-ИК спектры полимеров / А.Х. Купцов, Г.Н. Жижин. - [2-е рус. изд.]. — М.: Техносфера, 2013. — 695 с.
13.	«Рабинович, О. И. Физико-химические основы процессов микро- и нанотехнологий : учебно-методическое пособие / О. И. Рабинович. — Москва : МИСИС, 2015. — 88 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/116640 (дата обращения: 10.11.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.» (Рабинович, О. И. Физико-химические основы процессов микро- и нанотехнологий : учебно-методическое пособие / О. И. Рабинович. — Москва : МИСИС, 2015. — 88 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/116640
14.	«Дорохин, М. В. Диод Шоттки на основе GaAs: технология получения и диагностика : учебно-методическое пособие / М. В. Дорохин, А. В. Здравейщев. — Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2013. — 75 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/153364 (дата обращения: 10.11.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.» (Дорохин, М. В. Диод Шоттки на основе GaAs: технология получения и диагностика : учебно-методическое пособие / М. В. Дорохин, А. В. Здравейщев. — Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2013. — 75 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/153364

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)*:

№ п/п	Ресурс
15.	http://www.lib.vsu.ru – Зональная научная библиотека ВГУ
16.	http://www.moodle.vsu.ru
17.	https://e.lanbook.com – ЭБС «Лань»
18.	https://biblioclub.ru – ЭБС «Университетская библиотека онлайн»
19.	www.iprbookshop.ru – ЭБС «IPRbooks»
20.	https://elibrary.ru – Научная электронная библиотека

г) Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
21.	Литвин, Ф.Ф. Молекулярная спектроскопия: основы теории и практика: Учебное пособие / Ф.Ф. Литвин, В.Т. Дубровский, Р. А. Хатыпов, К. В. Неверов; Под ред. Ф.Ф.Литвина - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 263 с. http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=444657
22.	Басалаев, Ю. М. Методы исследования динамики решётки : учебное пособие / Ю. М. Басалаев. — Кемерово : КемГУ, 2019. — 189 с. — ISBN 978-5-8353-2586-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/141568
23.	Филимонов, В. Е. Фурье-анализ : учебное пособие / В. Е. Филимонов, А. В. Мороз. — Йошкар-Ола : ПГТУ, 2020. — 78 с. — ISBN 978-5-8158-2155-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/157472

3.6. Оценочные материалы и критерии оценки текущей и промежуточной аттестации по учебному предмету, курсу, дисциплине (модулю)

Для текущего контроля успеваемости используется устный опрос и отчеты о ходе выполнения лабораторных/практических работ, на основе которых выставляется предварительная оценка *Зачтено/не зачтено*.

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Оценочные средства
1.	Контроль технологических процессов производства изделий микроэлектроники на основе АЗN/Si	ПК-1, ПК-2	Лабораторные работы 1 - 5
2.	Технологические аспекты производства изделий микроэлектроники на основе АЗN/Si	ПК-1, ПК-2	Практические работы 1 – 5
Итоговая аттестация форма контроля – зачет			Перечень вопросов

Защита лабораторных/практических работ:

Оценка “Зачтено” выставляется, если слушатель выполнил в полном объеме все лабораторные работы, правильно изложил и аргументировал свой ответ на вопросы преподавателя, свободно ориентируется в материале, может объяснить полученные результаты. Отчет выполнен аккуратно и в соответствии с предъявляемыми требованиями.

Оценка “Не зачтено” выставляется, если слушатель не выполнил все работы и не может объяснить полученные результаты.

3.7. Авторы учебного предмета, курса, дисциплины (модуля)

Середин Павел Владимирович, доктор физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой физики твердого тела и наноструктур
Голощапов Дмитрий Леонидович, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры физики твердого тела и наноструктур
Буйлов Никита Александрович, кандидат физико-математических наук, старший преподаватель кафедры физики твердого тела и наноструктур

4. Итоговая аттестация

Итоговая аттестация по программе осуществляется в форме зачета с помощью следующих оценочных средств.

Перечень вопросов для проведения итоговой аттестации

Вопросы по Разделу №1:

1. Физические процессы, задействованные в методах анализа и способах контроля технологических операций процессов производства изделий микроэлектроники.
2. Физические основы метода атомно-силовой микроскопии и основные АСМ методики, применяемые для исследования микрокристалльной топологии изделий на основе на основе $A3N/Si$.
3. Принципы микроспектроскопии комбинационного рассеяния. Основные теоретические понятия и физические процессы, приводящие к возникновению Рамановского рассеяния. Основные компоненты и типы Раман спектрометров, совмещённых с АСМ микроскопами.
4. Параметры и физико-химические величины, извлекаемые из единовременного анализа микрокристаллов с использованием многофункциональных АСМ-Раман систем.
5. Принципы анализа структурных параметров материалов изделий микроэлектроники на основе $A3N/Si$ на предмет контроля технологических операций.
6. Принципы регистрации и особенности измерения электрофизических параметров изделий микроэлектроники получаемых с использованием методов зондовой микроскопии.
7. Способы анализа материалов, получаемых в ходе типовых и новых единичных технологических процессов при изготовлении полупроводниковых структур на основе $A3N/Si$
8. Методы контроля полупроводниковые структур, получаемых с использованием магнетронного напыления, на примере использования магнетронного напыления для процессов алюминиевой металлизации.
9. Методы анализа технологии электронно-лучевого напыления металлов для формирования омических контактов на основе системы металлизации $Ti/Al/Ni/Au$ на гетереструктурах $A3N/Si$
10. Способы анализа характеристик контактных слоев, созданных при металлизации затвора методом электронно-лучевого напыления на основе системы металлизации $Ti/Pt/Au$ на гетереструктурах $A3N/Si$ с использованием многофункциональных АСМ-Раман систем

Вопросы к аттестации по Разделу №2:

1. Какова роль размерных эффектов в процессах синтеза наноструктурированных материалов?
2. Влияние процессов самоорганизации на свойства наноразмерных и наноструктурированных материалах?
3. Основные принципы организация и проведение экспериментальных работ по отработке и внедрению новых материалов в микроэлектронике?

4. Влияние режимов технологических операций на выходные параметры изделий микроэлектроники на основе AlN/Si?
5. Основы разработки единичных технологических процессов изготовления изделий микроэлектроники на основе AlN/Si?
6. Какие технологические процессы являются типовыми на производстве изделий микро и нанозлектроники?
7. Основные методы контроля соблюдения режимов технологических операций процессов производства изделий микроэлектроники на основе AlN/Si?
8. Виды дефектов при изготовлении изделий микроэлектроники?
9. Каковы технологические факторы, вызывающие погрешности изготовления изделий микро и нанозлектроники и методы уменьшения их влияния?
10. Основные постростовые технологические операции создания функциональных микро- и наноструктур?

Перечень дополнительных вопросов:

1. Основные положения и принципы микроэлектроники.
2. Классификация изделий микроэлектроники. Современные направления развития микроэлектроники
3. Интегральные схемы (чипы): полупроводниковые, гибридные и пленочные.
4. Основные тенденции развития микроэлектроники.
5. Контактные свойства полупроводниковых структур.
6. Физические явления и процессы в пленочных структурах.
7. Качество интегральных микросхем
8. Наноматериалы в электронике, энергетике, фотонике, сенсорике, микро- и наносистемной технике, катализе.
9. Подходы к измерению механических, тепловых, электронных, магнитных и оптических свойств материалов при критическом изменении линейных размеров.
10. Методы диагностики полупроводниковых наноматериалов.

Задания для самостоятельной работы с использованием информационных электронно-образовательных ресурсов (официальные ресурсы интернет, п. 3.5).

Подготовить краткие сообщения (5 минут) по следующим темам (по выбору преподавателя):

1. Эпитаксия, нанесение металлов и диэлектриков. Ионная имплантация.
2. Методы молекулярно-лучевой эпитаксии и газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений
3. Размерные зависимости свойств материалов.
4. Микролитография
5. Электронная литография
6. Рентгеновская литография
7. Ионно-лучевая литография
8. Получение полупроводниковых структур с квантовыми нитями и квантовыми точками.
9. Фронт нанотехнологических исследований: естественные границы развития существующей микроэлектроники.

Пример контрольно-измерительного материала:

Билет 1.

Вопрос 1. Дайте определение и перечислите физические процессы, задействованные в методах анализа и способах контроля технологических операций процессов производства изделий микроэлектроники.

Вопрос 2. Опишите влияние процессов самоорганизации на свойства наноразмерных и наноструктурированных материалов.

Билет 2.

Вопрос 1. Дайте определение основным физическим процессам, приводящим к возникновению Рамановского рассеяния.

Вопрос 2. Факторы технологических операций, влияющие на выходные параметры изделий микроэлектроники на основе AlN/Si.

Билет 3.

Вопрос 1. Опишите принципы микроспектроскопии комбинационного рассеяния.

Вопрос 2. Типовые процессы на производстве изделий микро- и нанoeлектроники.

Оценка уровня освоения программы «Производственно-технологическая и аналитическая деятельность в области наукоемких технологий получения современных изделий микроэлектроники» осуществляется по следующим показателям:

- качество и своевременность выполнения лабораторных работ;
- полнота ответов на вопросы контрольно-измерительного материала;
- полнота ответов на дополнительные вопросы.

Критерии оценки освоения программы «Производственно-технологическая и аналитическая деятельность в области наукоемких технологий получения современных изделий микроэлектроники»:

– оценка *Зачтено* выставляется при полном соответствии работы слушателя всем вышеуказанным показателям. Компетенции сформированы полностью, проявляются и используются систематически, в полном объеме.

– оценка *Не зачтено* выставляется в случае несоответствия работы слушателя хотя бы одному из вышеуказанных показателей, его неорганизованности, безответственности и низкого качества работы при выполнении лабораторных/практических работ, ответов на вопросы КИМа и дополнительные вопросы.

Факт невыполнения требований, предъявляемых к слушателю при освоении программы «Производственно-технологическая и аналитическая деятельность в области наукоемких технологий получения современных изделий микроэлектроники» и отраженных в вышеперечисленных критериях, фиксируется в ведомости оценкой *Не зачтено*.

Доктор физико-математических наук, доцент,
заведующий кафедрой
физики твердого тела и наноструктур



подпись

П.В. Середин


4. Кадровое обеспечение

№ п/п	Дисциплины (модули)	Характеристика педагогических работников							
		фамилия, имя, отчество, должность по штатному расписанию	образовательное учреждение, направление подготовки / (специальность), которое окончил педагогический работник	ученая степень, ученое (почетное) звание, квалификационная категория	стаж педагогический (научно-педагогической) работы			основное место работы, должность	условия привлечения к педагогической деятельности
					всего	в т.ч. педагогической работы			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Раздел 1. Тема 1.1	Середин Павел	Воронежский государственный	доктор физико-	17	17	17	Воронежский	Внутреннее совместитель-

	Раздел 2. Тема 2.1	Владимирович, заведующий кафедрой физики твёрдого тела и наноструктур	Воронежский государственный университет, физика	математических наук, доцент				государственный университет, заведующий кафедрой физики твёрдого тела и наноструктур	ство
2	Раздел 1. Тема 1.2 - 1.5 ; Лабораторные работы по темам 1.1 - 1.5	Голощاپов Дмитрий Леонидович, доцент кафедры физики твёрдого тела и наноструктур	Воронежский государственный университет, физика	кандидат физико-математических наук, доцент	8	8	8	Воронежский государственный университет, доцент кафедры физики твёрдого тела и наноструктур	Внутреннее совместительство
3	Раздел 2. Тема 2.2 - 2.5 ; Практические работы по темам 2.1 - 2.5	Буйлов Никита Сергеевич, старший преподаватель кафедры физики твёрдого тела и наноструктур	Воронежский государственный университет, физика	кандидат физико-математических наук, б/з	5	5	5	Воронежский государственный университет, старший преподаватель кафедры физики твёрдого тела и наноструктур	Внутреннее совместительство

5. Руководитель программы

доктор физико-математических наук, доцент,
заведующий кафедрой
физики твёрдого тела и наноструктур



подпись

П.В. Середин