

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Кафедра микроэлектроники и общей физики

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета



И.С.Огнев

« 23 » мая 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины
«Основы производства в области микро и нанoeлектроники»**

Направление подготовки

11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

Направленность (профиль)

«Интегральная электроника и нанoeлектроника»

Форма обучения

очная

Программа рассмотрена
на заседании кафедры
от «17» апреля 2023 года, протокол № 5

Программа одобрена НМК
физического факультета
протокол № 5, от «25» апреля 2023 года

Ярославль

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Основы производства в области микро и наноэлектроники» являются:

- изучение передовых достижений, основных направлений, тенденций, перспектив и проблем развития современной интегральной электроники с целью выработки навыков оценки новизны исследований и разработок, освоения новых методологических подходов к решению профессиональных задач в области электроники;
- формирования у магистрантов целостного представления о путях развития современной электроники и наноэлектроники;
- формирование способности развивать профессиональный уровень, с учетом современных достижений фундаментальной и прикладной науки и тенденций развития электроники и наноэлектроники.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Основы производства в области микро и наноэлектроники» относится к ФТД. Факультативные дисциплины Блока 2. Практика.

Данная дисциплина использует знания, полученные при изучении дисциплин «Электродинамика», «Оптика», «Наноэлектроника».

Дисциплина «Основы производства в области микро и наноэлектроники» создает предпосылки для более глубокого освоения последующих дисциплин: «Физическая кинетика полупроводников», «Компьютерное моделирование в физике» и подготовке к Государственной итоговой аттестации.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ОП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
Профессиональные компетенции		
ПК-1. Готов формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач..	ИД_ПК-1.1. Знает принципы построения и функционирования изделий микро- и нанoeлектроники.	Знать: - общие методы и уравнения, описывающие упорядоченные системы наночастиц и подобных модельных образований; - принципы построения и функционирования изделий микро- и нанoeлектроники.
	ИД_ПК-1.2. Осуществляет расчет предельно-допустимых и предельных режимов работы изделий микро- и нанoeлектроники.	Уметь: - сформулировать и решать задачу определения основных физических параметров; – пользоваться пакетами прикладных программ для расчета физических свойств наноматериалов. Владеть навыками: – расчета предельно-допустимых и предельных режимов работы изделий микро- и нанoeлектроники.
	ИД_ПК-1.3. Демонстрирует умение выбора теоретических и экспериментальных методов исследования изделий микро- и нанoeлектроники.	Знать: - теоретические и экспериментальные методы исследования. Уметь: - демонстрировать умение выбора теоретических и экспериментальных методов исследования изделий микро - и нанoeлектроники. Владеть навыками: - менеджмента в инновационных сферах деятельности, в частности в научно-исследовательской и проектно-технологической деятельности в области электроники и нанoeлектроники.

4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единиц, 72 акад. часов.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Контактная работа						
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания	самостоятельная работа	
1	Современное состояние, области применения и перспективы развития электроники в развитых странах мира	2	12			1		12	Реферат
2	Материаловедческие проблемы современной электроники	2	10			2		12	Реферат
3	Современные технологии и инструменты микро- и нанoeлектроники	2	10			1		10	Реферат
4	Аттестационные испытания						0,3	1,7	зачет
	Всего		32			4	0,3	35,7	

Содержание разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела
1.	Современное состояние, области применения и перспективы развития электроники в развитых странах мира	Введение. Состояние и перспективы развития мировой и российской электронной промышленности. Тенденции к объединению усилий по разработке новых технических направлений. Состояние электронной промышленности России: технология, специалисты, рынки сбыта. Отечественные производители электронных компонентов, оборудования и материалов Опыт электронной индустрии мира. Разделение мирового рынка полупроводников и его характеристики
2.	Материаловедческие проблемы современной электроники	Основные материалы полупроводникового производства: кремний, арсенид галлия, кварцевое стекло, графит, карбид кремния. Кремний – основной материал современной интегральной электроники. Фоторезисты, фотошаблоны,

		мишени, жидкие и газообразные реактивы, технологические среды. Химическая чистота материалов. Производство монокристаллов кремния больших диаметров с минимальным количеством дефектов и монокристаллов арсенида галлия.
3	Современные технологии и инструменты микро- и нанoeлектроники	Микроэлектроника. Становление нанoeлектроники, новые решения и возможности. Развитие молекулярно-лучевой эпитаксии, ионной имплантации и синтеза, методов микролитографии (включая рентгеновскую, ионную, электронную литографию). Сканирующая туннельная микроскопия. Атомная силовая микроскопия. Реализация новых типов транзисторов и электронных функциональных устройств. Возможности нанотехнологий. Реализация новых типов приборов и электронных функциональных устройств. Молекулярно-лучевая эпитаксия: синтез гетеро-эпитаксиальных слоев полупроводниковых соединений. Технология ионных пучков –имплантация и FIB. Современные литографические методы (электронная, экстремального ультрафиолета (EUV, DUV), иммерсионная, рентгеновская, ионная). Современные методы диагностики и контроля в микро- и нанoeлектронике.

5. Образовательные технологии, в том числе технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

Вводная лекция – дает первое целостное представление о дисциплине и ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

Академическая лекция (или лекция общего курса) – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Требования к академической лекции: современный научный уровень и насыщенная информативность, убедительная аргументация, доступная и понятная речь, четкая структура и логика, наличие ярких примеров, научных доказательств, обоснований, фактов.

6. Перечень лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

для формирования материалов для текущего контроля успеваемости и проведения промежуточной аттестации, для формирования методических материалов по дисциплине:

- программа Wolfram Mathematica;
- программы Microsoft Office;
- издательская система LaTeX;
- Adobe Acrobat Reader..

7. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (при необходимости)

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT»
http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php

8. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (при необходимости)

а) основная литература

1. Камлюк, В. С. Технологическое оборудование для микроэлектроники : учеб. пособие / В. С. Камлюк, Д. В. Камлюк - Минск : РИПО, 2014. - 391 с. - ISBN 978-985-503-369-2.

<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9789855033692.html>

б) дополнительная литература

1. Ибрагимов, И. М. Основы компьютерного моделирования наносистем : учебное пособие / И. М. Ибрагимов, А. Н. Ковшов, Ю. Ф. Назаров. — Санкт-Петербург : Лань, 2010. — 384 с. — ISBN 978-5-8114-1032-3.

<https://e.lanbook.com/book/156>

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

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа;
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций;
- учебные аудитории для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы.

Специальные помещения укомплектованы средствами обучения, служащими для предоставления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде ЯрГУ.

Автор(ы) :

Старший преподаватель кафедры
микроэлектроники и общей физики _____ А.Н. Сергеев

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины
«Основы производства в области микро и нанoeлектроники»**

**Фонд оценочных средств
для проведения текущего контроля успеваемости
и промежуточной аттестации студентов
по дисциплине**

**1. Типовые контрольные задания или иные материалы,
используемые в процессе текущего контроля успеваемости**

**Контрольные задания и иные материалы,
используемые в процессе текущей аттестации**
(Проверка сформированности компетенции ПК-1 (индикаторы ИД_ПК-1.1, ИД_ПК-1.2))

При проведении лекций, практических занятий и подготовке к защите рефератов используются материалы из пособий основной и дополнительной литературы и ресурсы сети «Internet».

Список тем рефератов

1. Материалы электроники. Идеальные и реальные кристаллы и поверхности. Влияние внешних факторов на свойства поверхности.
2. Принципиальные ограничения для традиционного подхода к управлению свойствами полупроводникового материала в нанотехнологии.
3. Понятие атомного кластера Что является движущей силой в образовании кластера? Современные методы получения и исследования структур с атомными кластерами.
4. Полупроводниковая сверхрешетка. Возможности эпитаксии в формировании структур с минимальным рассогласованием по параметрам решетки. Механические напряжения в гетероструктурах и их применение в приборах современной электроники
5. Нанотехнологии. Понятие эффекта размерного квантования. Принцип квантования и условия наблюдения квантоворазмерных эффектов.
6. Структуры с двумерным электронным газом. Структуры с одномерным электронным газом. Структуры с нульмерным электронным газом. Плотность состояний.
7. Квантовое ограничение. Интерференционные эффекты. Туннелирование.
8. Низкоразмерные кремниевые среды. Актуальность использования низкоразмерного кремния в производстве изделий микро- и нанoeлектроники. Физические принципы создания низкоразмерного кремния.
9. Условия формирования каналов в кремнии *n*-типа проводимости. Условия формирования наноканалов в кремнии *p*-типа проводимости. Электрохимические реакции в системе «кремний – электролит».
10. Вольтамперные характеристики при формировании низкоразмерного кремния. Структурные модификации пористого кремния. Основные свойства и применения.
11. Технология тонких пленок и многослойных структур. Введение. Механизмы эпитаксиального роста тонких пленок. Жидкофазная эпитаксия.
12. Газофазная эпитаксия из металлоорганических соединений. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Установка МЛЭ.

13. Эффект размерного квантования и квантовые точки. Изготовление структур с квантовыми точками. Методы определения СКТ.
14. Лазеры на самоорганизованных квантовых точках.
15. Многослойные структуры и наноструктуры. Многослойное осаждение посредством магнетронного распыления.
16. Поверхностные наноструктуры и метод МЛЭ. Получение поверхностных структур МОС-гидридной технологией.
17. Химическая сборка поверхностных наноструктур. Углеродные нанотрубки.
18. Низкоразмерные структуры на основе кремния. Применение низкоразмерного кремния в технологии изготовления транзисторов и интегральных схем.

Список вопросов для проведения итоговой аттестации (зачет)

(Проверка сформированности компетенции ПК-1 (индикаторы ИД_ПК-1.2, ИД_ПК-1.3))

По дисциплине планируется итоговый зачет. Итоговая оценка формируется по итогам текущей работы в семестре а также выступления на практических занятий с представлением реферата выполненного в рамках самостоятельной работы.

1. Общая характеристика состояния современной электроники и нанoeлектроники и перспектив развития электронной техники.
2. Поверхность. Основные свойства поверхности. Поверхностный потенциал. Поверхностные состояния. Роль и влияние поверхности на процессы микро- и нанотехнологии.
3. Микрокластеры. Методы получения и применения структур с атомными кластерами. Влияние рассогласования параметров кристаллической решетки на свойства границы раздела. Напряженные полупроводниковые структуры, их свойства и применение.
4. Технологические возможности перспективных видов эпитаксии. Молекулярно-пучковая и газофазная эпитаксия из металлоорганических соединений. Атомно-слоевое осаждение.
5. Современные литографические методы и их применение производстве. Ультрафиолетовая литография. Иммерсионная литография. Электронно-лучевая и рентгеновская литография. Мировые лидеры в производстве литографического оборудования.
6. Безмасочные методы высокого разрешения и их использование в нанотехнологии. Использование электронного и ионного пучков в микротехнологии для формирования рисунка.
7. Квантовые основы наноинженерии. Размерное квантование и квантовые ограничения.
8. Интерференционные эффекты. Туннелирование. Устройства на основе квантовых эффектов.
9. Эффекты пониженной размерности в структурах на основе кремния и возможности их использования в изделиях микро и наноэлектроники. Методы формирования структур пониженной размерности на основе кремния.
10. Пористый кремний и его структурные модификации. Методы управления морфологией пористого кремния. Применение пористого кремния в микротехнологии.
11. Технология тонких пленок и эпитаксиальных структур. Механизмы эпитаксиального роста тонких пленок. Жидкофазная эпитаксия. Газофазная эпитаксия из металлоорганических соединений. Молекулярно-пучковая эпитаксия.

12. Размерное квантование. Квантовые точки. Изготовление гетероструктур с квантовыми точками. Лазеры на квантовых точках. Сверхрешетки.
13. Многослойные наноструктуры и методы их формирования. Магнетронное распыление. Электролитическое осаждение. Поверхностные наноструктуры и эпитаксиальные методы их формирования.
14. Химическая сборка поверхностных наноструктур. Низкоразмерные структуры на основе пористого кремния. Низкоразмерные структуры на основе углерода. Графен и графеноподобные материалы, свойства и перспективы применения в электронике
15. Современная оптоэлектроника и перспективы ее развития. Полупроводниковые лазеры. Нанолазеры. Светоизлучающие диоды. Оптоволоконные кабели.
16. Приборы ночного видения. Материалы, технология, конструкции.
17. Температурная и радиационная стойкость изделий микроэлектроники. Механизмы теплопередачи и способы теплоотвода. Кривоэлектроника. Влияние радиации на параметры электронных устройств.
18. Модификация поверхности микрочастиц методом спонтанных реакций водорода и кислорода в нанопузырях и перспективы использования.
19. Структуры «кремний-на-изоляторе» и их преимущества. Технологии изготовления структур КНИ. Структуры КНС, их преимущества и перспективы применения. Преимущества и перспективы карбидокремниевой электроники.
20. Карбид кремния - материал для экстремальной электроники. Возможности углерода в решении задач экстремальной электроники. Структуры и приборы экстремальной электроники
21. Современная оптоэлектроника. Оптоэлектронные приборы на основе органических (полимерных) материалов: светодиоды (OLED), фоточувствительные приборы и солнечные элементы. «Гибкая» электроника.
22. Достижения и перспективы солнечной энергетики.
23. Современное микроэлектронное производство. Особенности современных аналитических методов и методов контроля в микроэлектронике. Физико-химические исследования и функциональный контроль. Проблема метрологии в современной нанотехнологии.

2. Описание процедуры выставления оценки

По итогам зачёта выставляется одна из оценок: «зачет» или «незачет».

Оценка «зачет» выставляется студенту, который знает основные математические приложения и физические законы, явления и процессы, на которых основаны принципы действия объектов профессиональной деятельности, умеет использовать для решения прикладных задач соответствующий физико-математический аппарат, владеет навыками физико-математического анализа для решения естественнонаучных заданий, решения типовых задач в рамках профессиональной деятельности.

Оценка «незачтено» выставляется студенту, который не знает основные математические приложения и физические законы, явления и процессы, на которых основаны принципы действия объектов профессиональной деятельности, не умеет использовать для решения прикладных задач соответствующий физико-математический аппарат, не владеет навыками физико-математического анализа для решения естественнонаучных заданий, решения типовых задач в рамках профессиональной деятельности.

Приложение №2 к рабочей программе дисциплины «Основы производства в области микро и нанoeлектроники»

Методические указания для студентов по освоению дисциплины

Основной формой изложения учебного материала по дисциплине «Основы производства в области микро и нанoeлектроники» являются лекции. Это связано с тем, что в основе раздела лежит специфический математический аппарат, с помощью которого решаются довольно сложные и громоздкие задачи. По ряду тем предусмотрены практические занятия, на которых происходит закрепление лекционного материала путем применения его к конкретным физическим задачам и отработка навыков работы с математическим аппаратом, используемым в данном разделе.

Для успешного освоения дисциплины очень важно разбор определенного количества задач, как в аудитории, так и самостоятельно в качестве домашних заданий. Примеры решения задач разбираются на лекциях и практических занятиях, при необходимости по наиболее трудным темам проводятся дополнительные консультации. Основная цель решения задач – помочь усвоить фундаментальные понятия и основы раздела «Основы производства в области микро и нанoeлектроники» и уметь рассчитывать предельно-допустимые и предельные режимы работы изделий микро- и нанoeлектроники.

Для решения задач необходимо знать и понимать лекционный материал. Поэтому в процессе изучения дисциплины рекомендуется регулярное повторение пройденного лекционного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо дома еще раз прорабатывать и при необходимости дополнять информацией, полученной на консультациях, практических занятиях или из учебной литературы.

Большое внимание должно быть уделено выполнению самостоятельной домашней работе. В качестве заданий для самостоятельной работы дома студентам предлагаются задачи, аналогичные разобранным на лекциях и практических занятиях.

Для проверки и контроля усвоения теоретического материала, приобретенных практических навыков работы студентам предлагается выбрать тему рефератов и защитить ее, выступив с докладом на занятии. Также проводятся консультации (при необходимости) по разбору заданий для самостоятельной работы, которые вызвали затруднения.

Освоить вопросы, излагаемые в процессе изучения дисциплины «Основы производства в области микро и нанoeлектроники» самостоятельно студенту крайне сложно. Это связано со сложностью изучаемого материала. Поэтому посещение всех аудиторных занятий является совершенно необходимым. Без упорных и регулярных занятий в течение семестра сдать зачет по итогам изучения дисциплины студенту практически невозможно.