МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Радиофизический факультет
(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДАЮ:

Декан _____ Матросов В.В.

«____» _____ 2021 г.

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Конструирование полупроводниковых приборов
(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования
Аспирантура
(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность
03.06.01 «Физика и астрономия»
(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы
Радиофизика
(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)
Исследователь. Преподаватель-исследователь
(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения
Очная
(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2021 г.

1. **Место дисциплины в структуре основной образовательной программы (ООП)**

Дисциплина «**Конструирование полупроводниковых приборов**» относится к числу профессиональных дисциплин, является дисциплиной выбора и изучается на первом году обучения во втором семестре.

Освоение дисциплины обучающимися опирается на знания, умения, навыки и компетенции, которые должны иметь выпускники бакалавриата и магистратуры радиофизического факультета, получившие хорошую аттестацию на экзаменах по общим курсам физики, физики твердого тела, полупроводниковой электроники, классической электродинамики, математического анализа, дифференциальных уравнений.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ООП (компетенциями выпускников)

Таблица 1

Планируемые результаты обучения по дисциплине

Код формируемой компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
ПК-1 – Способность самостоятельно ставить научные задачи и формулировать новые идеи в области радиофизики (базовый этап)	З(ПК-1)-1 – знать методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях, знать о характерных пространственных масштабах в физике полупроводниковых структур, о границах раздела полупроводниковых гетероструктур и их зонных диаграммах. У(ПК-1)-1 – уметь определять наиболее актуальные направления исследований, уметь разбираться в физико-химических процессах в технологии микроэлектроники. У(ПК-1)-2 – уметь самостоятельно формулировать новые научные задачи в области радиофизики и предполагаемые методы их решения, исходя из тенденций развития науки в области радиофизики и этапов профессионального роста, уметь применять аналитические методы исследования тонких пленок и полупроводниковых структур. У(ПК-1)-3 – уметь при решении исследовательских и практических задач генерировать новые идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений, уметь использовать оптические методы диагностики полупроводниковых структур, в частности уметь применять метод эквивалентной схемы для расчета параметров полупроводниковых диодов, транзисторов и интегральных схем. В(ПК-1)-1 – владеть навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях, владеть навыками использования гидродинамического приближения для моделирования СВЧ и КВЧ полупроводниковых диодов и генераторов на их основе. В(ПК-1)-2 – владеть навыками технологиями планирования профессиональной деятельности в сфере научных исследований, в том числе в сфере конструирования полупроводниковых приборов. В(ПК-1)-3 – владеть навыками самостоятельной постановки, критического переосмысления и решения новых задач в области радиофизики; навыками использования современных средств вычислительной техники для расчетов, навыками для использования ме-

	тода Монте-Карло для анализа переноса электронов в полупроводниковых структурах диодов и транзисторов.
ПК-2 – Способность к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы и получению новых научных результатов с использованием современного оборудования и новейшего отечественного и зарубежного опыта (базовый этап)	З(ПК-2)-1 – знать современное состояние науки в области радиофизики, а также современную классификацию методов микроэлектроники (сплавные, диффузионные, ионно-лучевые и др.). З(ПК-2)-2 – знать современные подходы к моделированию различных явлений в области радиофизики и оценке полученных результатов и знать о методах моделирования технологических процессов изготовления полупроводниковых приборов. З(ПК-2)-3 – знать требования к содержанию и правила оформления рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях, в особенности рукописей по теме моделирования методом Монте-Карло для анализа переноса электронов и методах диагностики в полупроводниковых приборах. У(ПК-2)-1 – уметь представлять научные результаты по теме диссертационной работы в виде публикаций в рецензируемых научных изданиях, в том числе в публикациях по темам связанных с конструированием и методами исследования контроля параметров полупроводниковых приборов. У(ПК-2)-2 – уметь представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому и бизнес-сообществу, в том числе результаты НИР способные к коммерческому внедрению в технологии разработки специальных технологий для создания полупроводниковых структур с нужным набором параметров. В(ПК-2)-1 – владеть навыками моделирования различных явлений в области радиофизики и оценки полученных результатов, владеть навыками проводить моделирование параметров полупроводниковых приборов с учетом разброса технологических параметров и внешних факторов. В(ПК-2)-2 – владеть современными информационными и коммуникационными технологиями сбора теоретических и эмпирических данных, их анализа и представления полученных результатов исследования, владеть навыками проводить статистический анализ характеристик полупроводниковых приборов при различных концентрациях слоев, и проводить обобщение полученных результатов. В(ПК-2)-3 – владеть методами планирования, подготовки, проведения НИР, анализа полученных данных, формулировки выводов и рекомендаций по направленности **Радиофизика,** владеть методами составления программ - методик технологии создания полупроводниковых приборов.
ПК-3 – Способность к внедрению научных достижений и разработок в области радиофизики (базовый этап)	З(ПК-3)-1 – знать нормативные документы для составления заявок, грантов, проектов НИР и знать как их применять при составлении заявок, грантов, проектов НИР связанных с технологией изготовления и моделированием полупроводниковых приборов. З(ПК-3)-2 – знать требования к содержанию и правила оформления рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях, особенно по тематике изготовления полупроводниковых приборов. У(ПК-3)-1 – уметь самостоятельно интерпретировать результаты научного исследования, уметь проводить моделирование полупроводниковых приборов различными способами и проводить анализ полученных данных. У(ПК-3)-2 – уметь оценивать границы применимости полученных

	результатов научного исследования в области радиофизики и возможности их внедрения, уметь применять полученные данные в технологии изготовления полупроводниковых приборов. У(ПК-3)-3 – уметь готовить заявки на получение научных грантов и заключения контрактов по НИР в области радиофизики, в особенности по темам связанным с технологией изготовления полупроводниковых приборов и их моделированием различными способами. У(ПК-3)-4 – уметь представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому и бизнес-сообществу, в том числе для работ связанных с конструированием полупроводниковых структур. В(ПК-3)-1 – владеть навыками составления и подачи конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика, в особенности для работ связанных с методами моделирования технологических процессов изготовления полупроводниковых приборов. В(ПК-3)-2 – владеть навыками представления научных результатов исследования в виде публикаций в рецензируемых научных изданиях и заявок на изобретения, в том числе для научных результатов по технологии изготовления полупроводниковых приборов и возможностях их применения.

3. Структура и содержание дисциплины «Конструирование полупроводниковых приборов»

Объем дисциплины составляет **2** зачетных единицы, всего **72** часа, из которых **36** часов составляют контактную работу обучающегося с преподавателем (35 часов занятия лекционного типа, 1 час мероприятия по аттестации) и **36** часов – самостоятельную работу аспиранта.

Таблица 2

Структура дисциплины

Наименование раздела дисциплины	Всего, часов	В том числе					
		Контактная работа, часов					Самостоятельная работа обучающегося, часов
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации	Всего	
1. Введение. Границы раздела полупроводниковых гетероструктур	**9**	**4**	**-**	**-**	**-**	**4**	**5**
2. Физико-химические процессы в технологии микроэлектроники. Вакуумные и газофазные методы эпитаксии полупроводниковых	**9**	**4**	**-**	**-**	**-**	**4**	**5**
3. Ионная имплантация, методы литографии. Контроль параметров полупроводниковых структур	**9**	**5**	**-**	**-**	**-**	**5**	**4**
4. Аналитические методы исследования тонких пленок и полупроводниковых структур	**9**	**5**	**-**	**-**	**-**	**5**	**4**
5. Оптические методы диагностики полупроводниковых структур. Метод эк-	**9**	**5**	**-**	**-**	**-**	**5**	**4**

вивалентной схемы и его применение для расчета параметров полупроводниковых диодов, транзисторов и интегральных схем.							
6. Фундаментальная система переноса электронов в полупроводниковых структурах и методы ее численного решения. Особенности использования гидродинамического приближения для моделирования СВЧ и КВЧ полупроводниковых диодов и генераторов на их основе.	**9**	**4**	**-**	**-**	**-**	**4**	**5**
7. Использование метода Монте-Карло для анализа переноса электронов в полупроводниковых структурах диодов и транзисторов	**9**	**4**	**-**	**-**	**-**	**4**	**5**
8. Методы моделирования технологических процессов изготовления полупроводниковых приборов	**8**	**4**	**-**	**-**	**-**	**4**	**4**
Аттестация по дисциплине - зачет	**1**	**1**	**-**	**-**	**-**	**1**	**-**
Итого	**72**	**36**	**-**	**-**	**-**	**36**	**36**

Таблица 3

Содержание дисциплины

№ п/п	**Наименование раздела дисциплины**	**Содержание раздела**	**Форма проведения занятия**	**Форма текущего контроля***
1	Введение. Границы раздела полупроводниковых гетероструктур	Характерные пространственные масштабы в физике полупроводниковых структур. Границы раздела полупроводниковых гетероструктур. Зонные диаграммы.	Лекции	-
2	Физико-химические процессы в технологии микроэлектроники. Вакуумные и газофазные методы эпитаксии полупроводниковых	Классификация методов микроэлектроники (сплавные, диффузионные, ионно-лучевые и др.). Эпитаксия полупроводников и способы её осуществления. Методы твердофазной, жидко- и газофазной эпитаксии. Характеристика газофазных методов эпитаксии. Вакуумные методы эпитаксии. Способы реализации. Основные представления о методе молекулярно-пучковой эпитаксии (МПЭ). Аппаратура МПЭ. Источники и молекулярные пучки. Модельные представления о росте в условиях МПЭ. Контроль пучков и скорости роста. Дифракция быстрых электронов (in situ).	Лекции	Выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставленного проверяющему по электронной почте
3	Ионная имплантация, методы литографии. Контроль параметров полупроводниковых структур	Физические процессы при внедрении быстрых ионов в полупроводниковые структуры. Методы ионной имплантации. Термический отжиг. Нанесение и химическая обработка фоторезиста. Оптическая, электронная и рентгеновская литография. Самосовмещение и «взрывная» литография. Определение толщины слоев и скорости роста. Измерение профиля распределения примеси	Лекции	Выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставленного проверяющему по электронной почте

		C-V методом. Холловская концентрация и подвижность носителей тока.		
4	Аналитические методы исследования тонких пленок и полупроводниковых структур	Электронная микроскопия. Рентгеноский микроанализ. Электронная Оже-спектроскопия. Масс-спектроскопия вторичных ионов. Сканирующая туннельная микроскопия. ([5,6,8]).	Лекции	Выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставленного проверяющему по электронной почте
5	Оптические методы диагностики полупроводниковых структур. Метод эквивалентной схемы и его применение для расчета параметров полупроводниковых диодов, транзисторов и интегральных схем.	Фотолюминесценция полупроводников и полупроводниковых структур с квантовыми ямами. Экситоны. Фотопроводимость. ([2,9,11]). Особенности эквивалентной схемы диодов и транзисторов для расчета их низкочастотных и высокочастотных параметров. Пример расчета эквивалентной схемы диода на основе p-n перехода. Пример расчета эквивалентной схемы транзистора с затвором Шоттки. Пример расчета высокочастотных характеристик усилителя на полевом транзисторе Шоттки.	Лекции	Выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставленного проверяющему по электронной почте
6	Фундаментальная система переноса электронов в полупроводниковых структурах и методы ее численного решения. Особенности использования гидродинамического приближения для моделирования СВЧ и КВЧ полупроводниковых диодов и генераторов на их основе.	Физический смысл уравнений и основные нелинейные зависимости параметров системы. Методы численного решения системы уравнений в локально-полевом и квазигидродинамическом приближении. Особенности граничных условий при моделировании процессов в полупроводниковых диодах и транзисторах. Пример расчета вольт-амперной характеристики гетерополевого транзистора (HEMT). Методы учета внешней схемы при проведении моделирования колебательных процессов в генераторных диодах. Особенности проведения расчета параметров СВЧ и КВЧ генераторов на основе диодов Ганна и ЛПД.	Лекции	Выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставленного проверяющему по электронной почте
7	Использование метода Монте-Карло для анализа переноса электронов в полупроводниковых структурах диодов и транзисторов	Особенности метода Монте-Карло при вычислении параметров полупроводниковых структур. Пример расчета эффекта всплеска скорости в GaAs полупроводниковых структурах с характерными длинами 50…200 нм.	Лекции	Выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставленного проверяющему по электронной почте
8	Методы моделирования технологических процессов изготовления полупроводнико-	Цели и задачи методов технологического моделирования. Подходы к проведению моделирования. Пример моделирования процесса ионной имплантации и определения основных параметров по-	Лекции	-

	вых приборов	лупроводниковой структуры.		

4. Образовательные технологии

Еженедельно **текст** прочитанной лекции и соответствующие вопросы для контроля текущей успеваемости из списка **5.4** рассылаются по электронной почте обучающимся для стимулирования самостоятельной внеаудиторной работы и создания личного **портфолио** по дисциплине «**Конструирование полупроводниковых приборов**».

5. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

1. Еженедельный контроль посещаемости аудиторных занятий.

2. Как оценочный способ контроля самостоятельной работы аспирантов и одновременно разновидность интерактивного обучения используется форма выборочной проверки (в соответствии со **списком вопросов 5.4**) состояния отдельных частей индивидуального **портфолио** обучающегося не менее двух раз в течение семестра.

3. Трансляции по электронной почте на адреса всех аспирантов, изучающих дисциплину «**Конструирование полупроводниковых приборов**», ответа преподавателя на индивидуальный вопрос (по программе дисциплины) одного из обучающихся.

4. **Список вопросов для контроля текущей успеваемости**

1. Каковы характерные пространственные масштабы в физике полупроводниковых структур?
2. Что такое зонная диаграмма?
3. Каковы методы эпитаксия полупроводников и способы её осуществления?
4. В чем отличие газофазных и вакуумных методов эпитаксии?
5. Что такое молекулярно-пучковая эпитаксия?
6. Как осуществляется контроль пучков и скорости роста в МПЭ?
7. Какие физические процессы протекают при внедрении быстрых ионов в полупроводниковые структуры?
8. Каковы методы ионной имплантации?
9. Что такое литография? Какие бывают типы литографии?
10. Каковы методы определения толщины слоев и их уровня легирования?
11. В чем отличие процесса анализа профиля распределения примеси C-V методом и с помощью эффекта Холла?
12. Какие бывают виды микроскопии?
13. В чем отличие электронного и рентгеновского микроанализа?
14. Что такое электронная Оже-спектроскопия и масс-спектроскопия вторичных ионов?
15. Что такое сканирующая туннельная микроскопия?
16. Особенности применения метода эквивалентной схемы для расчета параметров p-n перехода и транзистора Шоттки.
17. Физический смысл фундаментальной системы уравнений, описывающей перенос электронов в полупроводниковых структурах.
18. Особенности использования гидродинамического приближения для моделирования СВЧ и КВЧ полупроводниковых диодов и генераторов на их основе
19. Возможности метода Монте-Карло при проведении анализа процессов переноса электронов в полупроводниковых структурах диодов и транзисторов
20. Особенности моделирования физических процессов при ионной имплантации легирующей примеси в полупроводниковые материалы.

6. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине

6.1. ***Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования***

Дисциплина «**Конструирование полупроводниковых приборов**» вносит определённый **до-**

левой вклад в ***формирование компетенций*** выпускников Основной Образовательной Программы (**ПК–1; ПК–2** и **ПК–3**), ***которое*** предусмотрено **утверждённым рабочим *Учебным планом* подготовки аспирантов** по направлению 03.06.01 Физика и астрономия **и направленности 01.04.03 – «Радиофизика»** на 2020- 2021 учебный год**.** Содержание компетенций **ПК–1; ПК–2** и **ПК–3** с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, представлено в разделе **2** настоящей **РПД**. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования приведено в приложении 1.

6.2. *Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине. Описание шкал оценивания*

Оценка результатов обучения в соответствии с ***Учебным планом*** производится на основании анализа предоставленных обучающимся документов его личного **портфолио.** Оценивание компетенций обучающегося на всех стадиях их формирования осуществляется ***по пятибалльной шкале.*** Показатели и критерии оценивания компетенций, которые формируются у обучающихся в процессе изучения дисциплины, представлены в таблицах Приложения 1, являющегося неотъемлемой частью **РПД**.

6.3. Примеры типовых контрольных заданий или иных материалов, необходимых для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенций.

1. Каковы характерные пространственные масштабы в физике полупроводниковых структур?
2. Что такое зонная диаграмма?
3. Каковы методы эпитаксия полупроводников и способы её осуществления?
4. В чем отличие газофазных и вакуумных методов эпитаксии?
5. Что такое молекулярно-пучковая эпитаксия?
6. Как осуществляется контроль пучков и скорости роста в МПЭ?
7. Какие физические процессы протекают при внедрении быстрых ионов в полупроводниковые структуры?
8. Каковы методы ионной имплантации?
9. Что такое литография? Какие бывают типы литографии?
10. Каковы методы определения толщины слоев и их уровня легирования?
11. В чем отличие процесса анализа профиля распределения примеси C-V методом и с помощью эффекта Холла?
12. Какие бывают виды микроскопии?
13. В чем отличие электронного и рентгеновского микроанализа?
14. Что такое электронная Оже-спектроскопия и масс-спектроскопия вторичных ионов?
15. Что такое сканирующая туннельная микроскопия?
16. Особенности применения метода эквивалентной схемы для расчета параметров p-n перехода и транзистора Шоттки.
17. Физический смысл фундаментальной системы уравнений, описывающей перенос электронов в полупроводниковых структурах.
18. Особенности использования гидродинамического приближения для моделирования СВЧ и КВЧ полупроводниковых диодов и генераторов на их основе
19. Возможности метода Монте-Карло при проведении анализа процессов переноса электронов в полупроводниковых структурах диодов и транзисторов
20. Особенности моделирования физических процессов при ионной имплантации легирующей примеси в полупроводниковые материалы.

Для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенции (части компетенции) ***ПК-1***, используются следующие вопросы из вышеприведенного списка: 18-20.

Для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенции (части компетенции) ***ПК-2***, используются следующие вопросы из вышеприведенного списка: 1-19.

Для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенции (части

компетенции) ***ПК-3***, используются следующие вопросы из вышеприведенного списка: 5-9, 11-14, 18, 20.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Конструирование полупроводниковых приборов»

а) основная литература

1. Шалимова, К.В. Физика полупроводников [Электронный ресурс] : учеб. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2010. — 384 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/648. — Загл. с экрана.

2. Ковтонюк Н. Ф., Концевой Ю. А. - Измерения параметров полупроводниковых материалов. - М.: Металлургия, 1970. - 429 с.

3. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. М., Мир, 1984.

б) дополнительная литература

1. Смит Р. А. - Полупроводники. - М.: Мир, 1982. - 560 с.

2. Геда Н. Ф. - Измерения параметров приборов оптоэлектроники. - М.: Радио и связь, 1981. - 367 с.

3. Пасынков В. В., Чиркин Л. К. - Полупроводниковые приборы: [учеб. для вузов по специальности "Полупроводники и диэлектрики" и "Полупроводниковые и микроэлектронные приборы]. - М.: Высшая школа, 1987. - 478, [1] с.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Электронно-библиотечные системы (электронная библиотека):

http://e.lanbook.com/; http://www.biblioclub.ru.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для обучения дисциплине имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления информации большой аудитории, компьютерным оборудованием. Для проведения занятий лекционного типа предлагаются наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, обеспечивающие тематические иллюстрации, соответствующие программе дисциплины.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации).

Автор _____ С.В. Оболенский

Рецензент _____

Заведующий кафедрой квантовой радиофизики и электроники _____ С.А. Бельков

Программа рекомендована на заседании кафедры квантовой радиофизики и электроники от _____ года, протокол № ___.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от _____ 2021 года, протокол № _____.

Приложение 1

Карты компетенций, в формировании которых участвует дисциплина

Дисциплина «**Конструирование полупроводниковых приборов**» вносит **долевой** вклад в ***формирование профессиональных компетенций*** **ПК–1; ПК–2** и **ПК–3** выпускников Основной Образовательной Программы аспирантуры по направлению 03.06.01 Физика и астрономия и **направленности 01.04.03 – «Радиофизика».** В настоящем Приложении 1 представлены **шифры планируемых результатов обучения** (см раздел 2 РПД) **и критерии оценивания результатов обучения.**

ПК-1 Способность самостоятельно ставить научные задачи и формулировать новые идеи в области радиофизики

Шифры планир. результатов	**Критерии оценивания результатов обучения**				
	1	2	3	4	5
З(ПК-1)-1	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, знания о характерных пространственных масштабах в физике полупроводниковых структур, о границах раздела полупроводниковых гетероструктур и их зонных диаграммах	Общие, но не структурированные знания методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, знания о характерных пространственных масштабах в физике полупроводниковых структур, о границах раздела полупроводниковых гетероструктур и их зонных диаграммах	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания основных методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, знания о характерных пространственных масштабах в физике полупроводниковых структур, о границах раздела полупроводниковых гетероструктур и их зонных диаграммах	Сформированные системные знания методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе междисциплинарных, знания о характерных пространственных масштабах в физике полупроводниковых структур, о границах раздела полупроводниковых гетероструктур и их зонных диаграммах
У(ПК-1)-1	Отсутствие умений	Частично освоенное умение определять наиболее актуальные направления исследований и умение разбираться в физико-химических процессах в технологии микроэлектроники	В целом успешное, но не систематическое использование умения определять наиболее актуальные направления исследований и умение разбираться в физико-химических процессах в технологии микроэлектроники	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы использование умения определять наиболее актуальные направления исследований и умения разбираться в физико-химических процессах в технологии микроэлектроники	Сформированное умение определять наиболее актуальные направления исследований и умение разбираться в физико-химических процессах в технологии микроэлектроники

У(ПК-1)-2	Не умеет и не готов формулировать новые научные задачи в области радиофизики и предполагаемые методы их решения, исходя из тенденций развития науки и этапов профессионального роста также не умеет применять аналитические методы исследования тонких пленок и полупроводниковых структур	Имея базовые представления о тенденциях развития науки в области радиофизики и этапах профессионального роста, не способен сформулировать новые научные задачи в области радиофизики и предполагаемые методы их решения, частично умеет применять аналитические методы исследования тонких пленок и полупроводниковых структур.	При формулировке новых научных задач в области радиофизики не учитывает тенденции развития науки в области радиофизики и индивидуально-личностные особенности. В целом успешно, но не систематически умеет применять аналитические методы исследования тонких пленок и полупроводниковых структур.	Формулирует новые научные задачи в области радиофизики, исходя из тенденций развития науки в области радиофизики и индивидуально-личностных особенностей, но не полностью учитывает возможные этапы профессиональной деятельности. В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять аналитические методы исследования тонких пленок и полупроводниковых структур.	Готов и умеет формулировать новые научные задачи в области радиофизики и предполагаемые методы их решения, исходя из тенденций развития науки в области радиофизики, этапов профессионального роста, индивидуально-личностных особенностей и умеет применять аналитические методы исследования тонких пленок и полупроводниковых структур.
У(ПК-1)-3	Отсутствие умений	Частично освоенное умение при решении исследовательских и практических задач генерировать идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений, в частности умение применять метод эквивалентной схемы для расчета параметров полупроводниковых диодов, транзисторов и интегральных схем	В целом успешное, но не систематически осуществляемое умение при решении исследовательских и практических задач генерировать идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений, в частности умение применять метод эквивалентной схемы для расчета параметров полупроводниковых диодов, транзисторов и интегральных схем	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение при решении исследовательских и практических задач генерировать идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений, в частности умение применять метод эквивалентной схемы для расчета параметров полупроводниковых диодов, транзисторов и интегральных схем	Сформированное умение при решении исследовательских и практических задач генерировать идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений, в частности умение применять метод эквивалентной схемы для расчета параметров полупроводниковых диодов, транзисторов и интегральных схем
В(ПК-1)-1	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение технологий критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, частичное владение навыками использования гидродинамического приближения для моделирования СВЧ и КВЧ полупроводниковых диодов и генераторов на их основе	В целом успешное, но не систематическое применение технологий критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач и владение навыками использования гидродинамического приближения для моделирования СВЧ и КВЧ полупроводниковых диодов и генераторов на их основе	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение технологий критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач и владение навыками использования гидродинамического приближения для моделирования СВЧ и КВЧ полупроводниковых диодов и генераторов на их основе	Успешное и систематическое применение технологий критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач а также успешное владение навыками использования гидродинамического приближения для моделирования СВЧ и КВЧ полупроводниковых диодов и генераторов на их основе

В(ПК-1)-2	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение технологий планирования профессиональной деятельности, в том числе в сфере конструирования полупроводниковых приборов	В целом успешное, но не систематическое применение технологий планирования профессиональной деятельности, в том числе в сфере конструирования полупроводниковых приборов	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение технологий планирования профессиональной деятельности, в том числе в сфере конструирования полупроводниковых приборов	Успешное и систематическое применение технологий планирования профессиональной деятельности, в том числе в сфере конструирования полупроводниковых приборов
В(ПК-1)-3	Отсутствие навыков	Фрагментарное владение отдельными навыками анализа радиофизических задач, отдельными навыками использования современных средств вычислительной техники для расчетов, навыками для использования метода Монте-Карло для анализа переноса электронов в полупроводниковых структурах диодов и транзисторов	В целом успешное, но не систематическое владение основными навыками самостоятельной постановки, критического переосмысления и решения новых задач в области радиофизики; основными навыками использования современных средств вычислительной техники для расчетов, навыками для использования метода Монте-Карло для анализа переноса электронов в полупроводниковых структурах диодов и транзисторов	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение основными навыками самостоятельной постановки, критического переосмысления и решения новых задач в области радиофизики; основными навыками использования современных средств вычислительной техники для расчетов, навыками для использования метода Монте-Карло для анализа переноса электронов в полупроводниковых структурах диодов и транзисторов	Успешное и систематическое владение навыками самостоятельной постановки, критического переосмысления и решения новых задач в области радиофизики; навыками использования современных средств вычислительной техники для расчетов, навыками для использования метода Монте-Карло для анализа переноса электронов в полупроводниковых структурах диодов и транзисторов

ПК-2 Способность к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы и получению новых научных результатов с использованием современного оборудования и новейшего отечественного и зарубежного опыта

Шифры планир. результатов	**Критерии оценивания результатов обучения**				
	1	2	3	4	5
З(ПК-2)-1	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о современном состоянии науки в области радиофизики, а также о современной классификации методов микроэлектроники (сплавные, диффузионные, ионно-лучевые и др.)	Неполные представления о современном состоянии науки в области радиофизики, а также о современной классификации методов микроэлектроники (сплавные, диффузионные, ионно-лучевые и др.)	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы, представления о современном состоянии науки в области радиофизики, а также о современной классификации методов микроэлектроники (сплавные, диффузионные, ионно-лучевые и др.)	Сформированные систематические представления о современном состоянии науки в области радиофизики, а также о современной классификации методов микроэлектроники (сплавные, диффузионные, ионно-лучевые и др.)

З(ПК-2)-2	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о современных подходах к моделированию различных явлений в области радиофизики и оценке полученных результатов и о методах моделирования технологических процессов изготовления полупроводниковых приборов	В целом успешные, но несистемные представления о современных подходах к моделированию различных явлений в области радиофизики и оценке полученных результатов и о методах моделирования технологических процессов изготовления полупроводниковых приборов	В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы, представления о современных подходах к моделированию различных явлений в области радиофизики и оценке полученных результатов и о методах моделирования технологических процессов изготовления полупроводниковых приборов	Сформированные систематические представления о современных подходах к моделированию различных явлений в области радиофизики и оценке полученных результатов и о методах моделирования технологических процессов изготовления полупроводниковых приборов
З(ПК-2)-3	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о требованиях к содержанию и правилах оформления рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях, в особенности рукописей по теме моделирования методом Монте-Карло для анализа переноса электронов и методах диагностики в полупроводниковых приборах	Общие представления о требованиях к содержанию и правилах оформления рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях, в особенности рукописей по теме моделирования методом Монте-Карло для анализа переноса электронов и методах диагностики в полупроводниковых приборах	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы представления о требованиях к содержанию и правилах оформления рукописей, наличие однократного опыта публикаций в рецензируемых научных изданиях, в особенности рукописей по теме моделирования методом Монте-Карло для анализа переноса электронов и методах диагностики в полупроводниковых приборах	Сформированные представления о требованиях к содержанию и правилах оформления рукописей, наличие неоднократного опыта публикаций в рецензируемых научных изданиях, в особенности рукописей по теме моделирования методом Монте-Карло для анализа переноса электронов и методах диагностики в полупроводниковых приборах
У(ПК-2)-1	Отсутствие умений	Фрагментарное использование методов подготовки научных результатов к публикации в рецензируемых научных изданиях, в том числе в публикациях по темам связанных с конструированием и методами исследования контроля параметров полупроводниковых приборов	В целом успешное, но не систематическое использование методов подготовки научных результатов к публикации в рецензируемых научных изданиях, в том числе в публикациях по темам связанных с конструированием и методами исследования контроля параметров полупроводниковых приборов	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы использование методов подготовки научных результатов к публикации в рецензируемых научных изданиях, в том числе в публикациях по темам связанных с конструированием и методами исследования контроля параметров полупроводниковых приборов	Сформированное умение использовать методов подготовки научных результатов к публикации в рецензируемых научных изданиях, в том числе в публикациях по темам связанных с конструированием и методами исследования контроля параметров полупроводниковых приборов
У(ПК-2)-2	Отсутствие умений	Умение представлять результаты НИР узкому кругу специалистов, в том числе результаты НИР способные к коммерческому внедрению в технологии разработки специальных технологий для создания полупроводниковых структур с нужным набором параметров	В целом успешное умение представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому сообществу, в том числе результаты НИР способные к коммерческому внедрению в технологии разработки специальных технологий для создания полупроводниковых структур с нужным набором параметров	Успешное умение представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому и бизнес-сообществу, в том числе результаты НИР способные к коммерческому внедрению в технологии разработки специальных технологий для создания полупроводниковых структур с нужным набором параметров	Сформированное умение представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому и бизнес-сообществу; определять целевые группы и форматы продвижения результатов собственной научной деятельности, в том числе результаты НИР способные к коммерческому внедрению в технологии разработки специальных технологий для создания полупроводниковых структур с нужным набором параметров

В(ПК-2)-1	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков моделирования различных явлений в области радиофизики и оценки полученных результатов и применение навыков проводить моделирование параметров полупроводниковых приборов с учетом разброса технологических параметров и внешних факторов	В целом успешное, но не систематическое применение навыков моделирования различных явлений в области радиофизики и оценки полученных результатов и применение навыков проводить моделирование параметров полупроводниковых приборов с учетом разброса технологических параметров и внешних факторов	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков моделирования различных явлений в области радиофизики и оценки полученных результатов и применение навыков проводить моделирование параметров полупроводниковых приборов с учетом разброса технологических параметров и внешних факторов	Успешное и систематическое применение навыков моделирования различных явлений в области радиофизики и оценки полученных результатов и применение навыков проводить моделирование параметров полупроводниковых приборов с учетом разброса технологических параметров и внешних факторов
В(ПК-2)-2	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение современных информационных и коммуникационных технологий сбора теоретических и эмпирических данных, их анализа и представления полученных результатов исследования и применение статистического анализа характеристик полупроводниковых приборов при различных концентрациях слоев, и проведение обобщения полученных результатов	В целом успешное, но не систематическое применение современных информационных и коммуникационных технологий сбора теоретических и эмпирических данных, их анализа и представления полученных результатов исследования и применение статистического анализа характеристик полупроводниковых приборов при различных концентрациях слоев, и проведение обобщения полученных результатов	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение современных информационных и коммуникационных технологий сбора теоретических и эмпирических данных, их анализа и представления полученных результатов исследования и применение статистического анализа характеристик полупроводниковых приборов при различных концентрациях слоев, и проведение обобщения полученных результатов	Успешное и систематическое применение современных информационных и коммуникационных технологий сбора теоретических и эмпирических данных, их анализа и представления полученных результатов исследования и применение статистического анализа характеристик полупроводниковых приборов при различных концентрациях слоев, и проведение обобщения полученных результатов
В(ПК-2)-3	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение методов планирования, подготовки и проведения НИР, анализа и обсуждения полученных данных, владение методами составления программ - методик технологии создания полупроводниковых приборов	В целом успешное, но не систематическое применение методов планирования, подготовки, проведения НИР, анализа полученных данных, владение методами составления программ - методик технологии создания полупроводниковых приборов	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение методов планирования, подготовки, проведения НИР, анализа полученных данных, формулировка выводов по результатам НИР, владение методами составления программ - методик технологии создания полупроводниковых приборов	Успешное и систематическое применение методов планирования, подготовки и проведения НИР и анализа и обсуждения полученных результатов; формулировка выводов и рекомендаций по результатам НИР, владение методами составления программ - методик технологии создания полупроводниковых приборов

ПК-3 Способность к внедрению научных достижений и разработок в области радиофизики

Шифры планир. результатов	**Критерии оценивания результатов обучения**				
	1	2	3	4	5

З(ПК-3)-1	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о нормативных документах для составления заявок, грантов, проектов НИР и знаниях как их применять при составлении заявок, грантов, проектов НИР связанных с технологией изготовления и моделированием полупроводниковых приборов	Неполные представления о нормативных документах для составления заявок, грантов, проектов НИР и знаниях как их применять при составлении заявок, грантов, проектов НИР связанных с технологией изготовления и моделированием полупроводниковых приборов	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания нормативных документов для составления заявок, грантов, проектов НИР и знания как их применять при составлении заявок, грантов, проектов НИР связанных с технологией изготовления и моделированием полупроводниковых приборов	Сформированные систематические знания нормативных документов для составления заявок, грантов, проектов НИР и знания как их применять при составлении заявок, грантов, проектов НИР связанных с технологией изготовления и моделированием полупроводниковых приборов
З(ПК-3)-2	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о требованиях к содержанию и правилах оформления рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях, особенно по тематике изготовления полупроводниковых приборов	Общие представления о требованиях к содержанию и правилах оформления рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях, особенно по тематике изготовления полупроводниковых приборов	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы представления о требованиях к содержанию и правилах оформления рукописей, наличие однократного опыта публикаций в рецензируемых научных изданиях, особенно по тематике изготовления полупроводниковых приборов	Сформированные представления о требованиях к содержанию и правилах оформления рукописей, наличие неоднократного опыта публикаций в рецензируемых научных изданиях, особенно по тематике изготовления полупроводниковых приборов
У(ПК-3)-1	Отсутствие умений	Фрагментарное использование умения самостоятельно интерпретировать результаты научного исследования и умения проводить моделирование полупроводниковых приборов различными способами и проводить анализ полученных данных	В целом успешное, но не систематическое использование умения самостоятельно интерпретировать результаты научного исследования и умения проводить моделирование полупроводниковых приборов различными способами и проводить анализ полученных данных	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы использование умения самостоятельно интерпретировать результаты научного исследования и умения проводить моделирование полупроводниковых приборов различными способами и проводить анализ полученных данных	Сформированное умение самостоятельно интерпретировать результаты научного исследования и умение проводить моделирование полупроводниковых приборов различными способами и проводить анализ полученных данных
У(ПК-3)-2	Отсутствие умений	Фрагментарное использование умения оценивать границы применимости полученных результатов научного исследования в области радиофизики и возможности их внедрения и умения применять полученные данные в технологии изготовления полупроводниковых приборов	В целом успешное, но не систематическое использование умения оценивать границы применимости полученных результатов научного исследования в области радиофизики и возможности их внедрения и умения применять полученные данные в технологии изготовления полупроводниковых приборов	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы использование умения оценивать границы применимости полученных результатов научного исследования в области радиофизики и возможности их внедрения и умения применять полученные данные в технологии изготовления полупроводниковых приборов	Сформированное умение оценивать границы применимости полученных результатов научного исследования в области радиофизики и возможности их внедрения и умение применять полученные данные в технологии изготовления полупроводниковых приборов

(ПК-3)-3	Отсутствие умений	Умение готовить отдельные материалы для заявки на получение научных грантов по поручению научного руководителя, в особенности по темам связанным с технологией изготовления полупроводниковых приборов и их моделированием различными способами	В целом успешное, но не систематическое использование умения готовить заявки на получение научных грантов и заключения контрактов по НИР, в особенности по темам связанным с технологией изготовления полупроводниковых приборов и их моделированием различными способами	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение готовить предложения по тематике и плану реализации исследовательских проектов, а также оформлять проект согласно установленным требованиям, в особенности по темам связанным с технологией изготовления полупроводниковых приборов и их моделированием различными способами	Сформированное умение готовить предложения по тематике и плану реализации исследовательских проектов; обосновывать предложения с точки зрения реалистичности сроков, трудозатрат и ресурсной обеспеченности; оформлять проект согласно установленным требованиям, в особенности по темам связанным с технологией изготовления полупроводниковых приборов и их моделированием различными способами
(ПК-3)-4	Отсутствие умений	Умение представлять результаты НИР узкому кругу специалистов, в том числе для работ связанных с конструированием полупроводниковых структур	В целом успешное, умение представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому сообществу, в том числе для работ связанных с конструированием полупроводниковых структур	Успешное умение представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому и бизнес-сообществу, в том числе для работ связанных с конструированием полупроводниковых структур	Сформированное умение представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому и бизнес-сообществу; определять целевые группы и форматы продвижения результатов собственной научной деятельности, в том числе для работ связанных с конструированием полупроводниковых структур
В(ПК-3) -1	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков составления и подачи конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика, в особенности для работ связанных с методами моделирования технологических процессов изготовления полупроводниковых приборов	В целом успешное, но не систематическое применение навыков составления и подачи конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика, в особенности для работ связанных с методами моделирования технологических процессов изготовления полупроводниковых приборов	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков составления и подачи конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика, в особенности для работ связанных с методами моделирования технологических процессов изготовления полупроводниковых приборов	Успешное и систематическое применение навыков составления и подачи конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика, в особенности для работ связанных с методами моделирования технологических процессов изготовления полупроводниковых приборов
В(ПК-3)-2	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков представления научных результатов исследования в виде публикаций в рецензируемых научных изданиях и заявок на изобретения, в том числе для научных результатов по технологии изготовления полупроводниковых приборов и возможностях их применения	В целом успешное, но не систематическое применение навыков представления научных результатов исследования в виде публикаций в рецензируемых научных изданиях и заявок на изобретения, в том числе для научных результатов по технологии изготовления полупроводниковых приборов и возможностях их применения	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков представления научных результатов исследования в виде публикаций в рецензируемых научных изданиях и заявок на изобретения, в том числе для научных результатов по технологии изготовления полупроводниковых приборов и возможностях их применения	Сформированное владение навыками представления научных результатов исследования в виде публикаций в рецензируемых научных изданиях и заявок на изобретения, в том числе для научных результатов по технологии изготовления полупроводниковых приборов и возможностях их применения