

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»

Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ:
декан _____ Малышев А.И.
« 30 » _____ августа 2021 г.

**ПРОГРАММА
ГОСУДАРСТВЕННОЙ ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ**

Уровень подготовки
Подготовка кадров высшей квалификации _

Направление/специальность подготовки
11.06.01 – Электроника, радиотехника и системы связи

Профиль подготовки/магистерская программа/специализация
**05.27.01 – «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты,
микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах»**

Квалификация (степень) выпускника
Исследователь. Преподаватель-исследователь

Нижний Новгород
2021 г.

1. МЕСТО ГОСУДАРСТВЕННОЙ ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ В СТРУКТУРЕ ООП

Государственная итоговая аттестация (ГИА), завершающая освоение основной образовательной программы, проводится государственной экзаменационной комиссией в целях определения соответствия результатов освоения обучающимися образовательной программы требованиям федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) / образовательного стандарта образовательной организации Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»).

Государственная итоговая аттестация выпускников по направлению подготовки **11.06.01 – Электроника, радиотехника системы связи** проводится в форме следующих государственных аттестационных испытаний:

- государственного государственного экзамена «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах».
- защиты выпускной квалификационной работы.

2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ образовательной программы

Выпускник, освоивший программу направлению подготовки 11.06.01 – Электроника, радиотехника системы связи, готов решать профессиональные задачи в соответствии с видами профессиональной деятельности: научно-исследовательская и преподавательская деятельность в области твердотельной электроники, радиоэлектронных компонент, микро- и нанoeлектроники, приборов на квантовых эффектах, на которые ориентирована программа подготовки кадров высшей квалификации по направлению подготовки **11.06.01 – Электроника, радиотехника и системы связи**, профиль/направленность **05.27.01 – «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах»**.

Результаты освоения образовательной программы

Код и содержание компетенции	Результаты освоения
УК-1 - способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;	Знать: основные методы научно-исследовательской деятельности. Уметь: выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах; критически оценивать любую поступающую информацию, вне зависимости от источника; избегать автоматического применения стандартных формул и приемов при решении задач. Владеть: навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования; навыками выбора методов и средств решения задач исследования.
УК-2 - способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки;	Знать: основные направления, проблемы, теории и методы философии, содержание современных философских дискуссий по проблемам общественного развития. Уметь: формировать и аргументированно отстаивать собственную позицию по различным проблемам философии; использовать положения и категории философии для оценивания и анализа различных социальных тенденций, фактов и явлений. Владеть: навыками восприятия и анализа текстов, имеющих философское содержание, приемами ведения дискуссии и полемики, навыками публичной речи и письменного аргументированного изложения собственной точки зрения.
УК-3 - готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов	Знать: методы критического анализа и оценки современных научных достижений, методы генерирования новых идей при решении исследовательских

по решению научных и научно-образовательных задач;	и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях, методы научно-исследовательской деятельности. Уметь: анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов. Владеть: навыками анализа основных мировоззренческих и методологических проблем, в т.ч. междисциплинарного характера возникающих в науке на современном этапе ее развития, владеть технологиями планирования профессиональной деятельности в сфере научных исследований.
УК-4 - готовность использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках;	Знать: виды и особенности письменных текстов и устных выступлений; понимать общее содержание сложных текстов на абстрактные и конкретные темы, в том числе на иностранном языке. Уметь: подбирать литературу по теме, составлять двуязычный словарь, переводить и реферировать специальную литературу, подготавливать научные доклады и презентации на базе прочитанной специальной литературы, объяснить свою точку зрения и рассказать о своих планах. Владеть: навыками обсуждения знакомой темы, делая важные замечания и отвечая на вопросы; создания простого связного текста по знакомым или интересующим его темам, адаптируя его для целевой аудитории.
УК-5 - способность следовать этическим нормам в профессиональной деятельности;	Знать: этические нормы в профессиональной деятельности. Уметь: следовать этическим нормам в профессиональной деятельности. Владеть: навыками соблюдения этических норм в профессиональной деятельности.
УК-6 - способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития.	Знать: возможные сферы и направления профессиональной самореализации; приемы и технологии целеполагания и целереализации; пути достижения более высоких уровней профессионального и личностного развития. Уметь: выявлять и формулировать проблемы собственного развития, исходя из этапов профессионального роста и требований рынка труда к специалисту; формулировать цели профессионального и личностного развития, оценивать свои возможности, реалистичность и адекватность намеченных способов и путей достижения планируемых целей. Владеть: приемами целеполагания, планирования, реализации необходимых видов деятельности, оценки и самооценки результатов деятельности по решению профессиональных задач; приемами выявления и осознания своих возможностей, личностных и профессионально-значимых качеств с целью их совершенствования.
ОПК-1 - владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности;	Знать: методологию теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности. Уметь: спланировать теоретические и экспериментальные исследования в области профессиональной деятельности. Владеть: методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности.
ОПК-2 - владение культурой научного исследования, в том числе с использованием	Знать: новейшие информационно-коммуникационные технологии.

<p>новейших информационно-коммуникационных технологий;</p>	<p>Уметь: проводить исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий.</p> <p>Владеть: культурой научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий.</p>
<p>ОПК-3 - способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной профессиональной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности;</p>	<p>Знать: новые методы исследования и их применению в самостоятельной профессиональной научно-исследовательской деятельности.</p> <p>Уметь: разрабатывать новые методы исследования и их применения в самостоятельной профессиональной научно-исследовательской деятельности.</p> <p>Владеть: навыками разработки новых методов исследования и их применения в самостоятельной профессиональной научно-исследовательской деятельности.</p>
<p>ОПК-4 - готовность организовать работу исследовательского коллектива в профессиональной деятельности;</p>	<p>Знать: особенности работы исследовательского коллектива в профессиональной деятельности.</p> <p>Уметь: организовать работу исследовательского коллектива в профессиональной деятельности.</p> <p>Владеть: навыками организации работы исследовательского коллектива в профессиональной деятельности.</p>
<p>ОПК-5 - готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования;</p>	<p>Знать: основы преподавательской деятельности и основные формы ее контроля; требования, предъявляемые к обобщенной трудовой функции «Реализация образовательного процесса по отдельным видам учебных занятий в рамках курируемой дисциплины» по программам высшего образования.</p> <p>Уметь: осуществлять выбор наиболее оптимальных форм преподавания и форм контроля знаний студентов.</p> <p>Владеть: технологией проектирования образовательного процесса на уровне среднего образования.</p>
<p>ПК-1 - способность понимать, критически оценивать, анализировать, применять базовую информацию, современную научную, техническую и патентную литературу и пополнять научные знания - в областях твердотельной электроники, радиокомпонентов, микро- и нанoeлектроники, приборов на квантовых эффектах;</p>	<p>Знать: фундаментальные основы науки о современном состоянии в областях твердотельной электроники, радиокомпонентов, микро- и нанoeлектроники, приборов на квантовых эффектах</p> <p>Уметь: критически оценивать, анализировать, применять базовую информацию, современную научную, техническую и патентную литературу и пополнять научные знания - в областях твердотельной электроники, радиокомпонентов, микро- и нанoeлектроники, приборов на квантовых эффектах.</p> <p>Владеть: основными навыками сбора и систематизации базовую информацию в областях твердотельной электроники, радиокомпонентов, микро- и нанoeлектроники, приборов на квантовых эффектах.</p>
<p>ПК-2 - способность осваивать новое технологическое, исследовательское, и контрольно-измерительное оборудование, а также соответствующие методики выращивания и исследования свойств твердотельных материалов и структур на их основе;</p>	<p>Знать: основные методики выращивания и исследования свойств твердотельных материалов и структур на их основе.</p> <p>Уметь: осваивать новое технологическое, исследовательское, и контрольно-измерительное оборудование.</p> <p>Владеть: осваивать новое технологическое, исследовательское, и контрольно-измерительное оборудование.</p>
<p>ПК-3 - готовность подготовить и провести физический эксперимент в области физики твердотельных материалов и физики наноструктур, осуществить обработку и анализ его результатов с ис-</p>	<p>Знать: как провести физический эксперимент в области физики твердотельных материалов и физики наноструктур</p> <p>Уметь: осуществить обработку и анализ его резуль-</p>

пользованием современных методов документирования экспериментальных данных и методов численного моделирования физических и технологических процессов;	татов с использованием современных методов документирования экспериментальных данных. Владеть: методами численного моделирования физических и технологических процессов.
ПК-4 - способность разрабатывать новые модели физических процессов в области физики и электроники твердотельных материалов, которые могут быть положены в основу новых технологических процессов твердотельной электроники, микро- и нанoeлектроники, приборов на квантовых эффектах;	Знать: физические явления, на которых основана работа современных активных элементов твердотельной электроники. Уметь: делать количественные оценки важнейших параметров активных элементов твердотельной электроники. Владеть: методами определения параметров активных элементов твердотельной электроники.
ПК-5 - способность методически грамотно излагать материал учебных дисциплин (разделов электроники, радиотехника и системы связи) в соответствии с утвержденной учебно-методической документацией, строить план лекции (семинара, практического занятия), применять и разрабатывать современные образовательные комплексы, методики и технологии;	Знать: Как методически грамотно изложить физические явления, на которых основана работа элементов и приборов нанoeлектроники. Уметь: планировать изложение основных параметров элементов и приборов нанoeлектроники. Владеть: методиками представления основных параметров элементов и приборов нанoeлектроники на лекциях, семинарах.
ПК-6 - готовность реализовывать инновационные проекты в научных, образовательных организациях, учреждениях социальной сферы и в высокотехнологичных предприятиях.	Знать: основы организации инновационных проектов в научных, образовательных организациях, учреждениях социальной сферы и в высокотехнологичных предприятиях. Уметь: составить план реализации инновационного проекта в научных, образовательных организациях, учреждениях социальной сферы и в высокотехнологичных предприятиях. Владеть: представлениями о рисках реализации инновационного проекта в научных, образовательных организациях, учреждениях социальной сферы и в высокотехнологичных предприятиях.

3. ПРОГРАММА ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА

Государственный экзамен проводится устно по дисциплинам образовательной программы, результаты освоения которых, имеют определяющее значение для профессиональной деятельности выпускников. Государственный экзамен проводится по билетам с вопросами по разделам программы государственного экзамена. Полнота знаний на государственном экзамене оценивается по ответам на теоретические вопросы, владение опытом и выраженность личной готовности к профессиональному самосовершенствованию оценивается по ответам на дополнительные вопросы.

3.1. Карта компетенций к государственному экзамену

Код компетенции по ОПОП	Характеристика компетенции	Составляющие компетенции		
		знания	умения и навыки	владение опытом и личностная готовность к профессиональному совершенствованию
УК-6	способностью планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития	31 (УК-6) <i>Знать</i> содержание процесса целеполагания профессионального и личностного развития, его особенности и способы реализации при решении профессиональных задач, исходя из этапов карьерного роста и требований рынка труда.	У1 (ОК-1) <i>Уметь</i> формулировать цели личностного и профессионального развития и условия их достижения, исходя из тенденций развития области профессиональной деятельности, этапов профессионального роста, индивидуально-личностных особенностей. У2 (ОК-1) <i>Уметь</i> осуществлять личностный выбор в различных профессиональных и морально-ценностных ситуациях, оценивать последствия принятого решения и нести за него ответственность перед собой и обществом.	В1 (ОК-1) <i>Владеть</i> приемами и технологиями целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению профессиональных задач. В2 (ОК-1) <i>Владеть</i> способами выявления и оценки индивидуально-личностных, профессионально-значимых качеств и путями достижения более высокого уровня их развития.
УК-5	способностью следовать этическим нормам в профессиональной деятельности	31 (УК-5) <i>Знать</i> этические нормы в профессиональной деятельности.	У1 (УК-5) <i>Уметь</i> следовать этическим нормам в профессиональной деятельности.	В1 (УК-5) <i>Владеть</i> : навыками соблюдения этических норм в профессиональной деятельности.
ОПК-5	готовностью к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования	31 (ОПК-5) <i>Знать</i> нормативно-правовые основы преподавательской деятельности в системе высшего образования (ВО) 32 (ОПК-5) <i>Знать</i> требования к квалификационным работам бакалавров и магистров	У1 (ОПК-5) <i>Уметь</i> осуществлять отбор и использовать оптимальные методы преподавания. У2 (ОПК-5) <i>Уметь</i> курировать выполнение квалификационных работ бакалавров и магистров.	В1 (ОПК-5) <i>Владеть</i> технологиями проектирования образовательного процесса на уровне высшего образования
ПК-5	Способностью методически грамотно излагать материал учебных дисциплин (разделов электроники, радиотехника и системы связи) в соответствии с утвержденной учебно-методической документацией, строить план лекции (семинара, практического занятия), при-	31 (ПК-5) <i>Знать</i> как методически грамотно изложить физические явления, на которых основана работа элементов и приборов наноэлектроники.	У1 (ПК-5) <i>Уметь</i> планировать изложение основных параметров элементов и приборов наноэлектроники.	В1 (ПК-5) <i>Владеть</i> методиками представления основных параметров элементов и приборов наноэлектроники на лекциях, семинарах.

	менять и разрабатывать современные образовательные комплексы, методики и технологии			
--	---	--	--	--

3.2. Матрица компетенций, оценка которых вынесена на государственный междисциплинарный экзамен

№ вопроса	Содержание вопроса	УК-5	УК-6	ОПК-5	ПК-5
1.	Физика полупроводников и полупроводниковых приборов	+	+	+	+
2.	Приборы твердотельной электроники и микроэлектроники	+	+	+	+
3	Технология микроэлектроники и твердотельных приборов	+	+	+	+
4	Проектирование и технология электронной компонентной базы	+	+	+	+
5	Радиационная стойкость изделий электроники и наноэлектроники	+	+	+	+
6	Физические эффекты в малоразмерных твердотельных структурах, специфические приборы наноэлектроники и методы их изготовления, основные принципы создания приборов на квантовых эффектах	+	+	+	+

3.3. Фонд оценочных средств для государственного экзамена

Перечень вопросов, выносимых на государственный междисциплинарный экзамен

1. Физика полупроводников и полупроводниковых приборов

Общие свойства полупроводников. Природа химической связи. Структура кристаллов. Идеальные и реальные кристаллы. Дефекты в кристаллах. Свойства основных монокристаллических материалов микроэлектроники: Si, GaAs и др. Поликристаллические и аморфные полупроводники.

Зонная теория твердого тела. Энергетические спектры электронов в металлах, полупроводниках, диэлектриках. Зона проводимости и валентная зона. Электроны и дырки. Эффективная масса электрона. Экситоны. Собственные и примесные полупроводники. Донорные и акцепторные примеси.

Основы статистической физики. Функция распределения Ферми-Дирака. Концентрация электронов и дырок в зонах и их температурные зависимости. Распределение Максвелла-Больцмана. Критерий вырождения электронного газа. Вырожденные и невырожденные полупроводники.

Рекомбинация носителей заряда. Рекомбинация «зона-зона» и рекомбинация через примеси и дефекты. Теория рекомбинации Шокли-Рида. Диффузионная длина и время жизни носителей. Поверхностная рекомбинация.

Электропроводность полупроводников. Носители заряда в слабом электрическом поле. Взаимодействие с фононами, примесными атомами, дефектами. Подвижность электронов и дырок. Условие электронейтральности. Диффузия и дрейф носителей заряда. Соотношение Эйнштейна. Носители заряда в сильном электрическом поле. Горячие электроны. Лавинное умножение в полупроводниках. Электрические домены и токовые шнуры. Эффект Ганна.

Уравнение для плотности электрического тока в полупроводниках. Уравнение непрерывности. Уравнение Пуассона.

Электронно-дырочный (p - n) переход. Инжекция и экстракция неосновных носителей заряда. Вольт-амперная характеристика p - n перехода. Токи носителей заряда в p - n переходе, квазиуровни Ферми. Генерация и рекомбинация носителей в p - n переходе. Барьерная и диффузионная емкость. Частотные и импульсные свойства. Пробой p - n перехода: тепловой, лавинный, туннельный.

Транзисторный эффект. Зонная диаграмма полупроводниковой структуры с двумя близко расположенными p - n переходами. Коэффициент инжекции. Коэффициент переноса носителей через базу. Коэффициент усиления транзистора.

Контакт металл-полупроводник. Теория Шоттки. Вольт-амперная характеристика. Омический контакт. Сопоставление с p - n переходом.

Структура металл-диэлектрик-полупроводник. Зонная диаграмма и ее изменение при приложении напряжения. Роль поверхностных состояний, подвижных и неподвижных зарядов в диэлектрике.

Гетероструктуры. Зонная диаграмма гетеро- p - n перехода. Коэффициент инжекции. Суперинжекция. Одинарные и двойные гетероструктуры. Варизонные структуры.

Фотоэлектрические явления в полупроводниках. Поглощение излучения: собственное и примесное, экситонное и на свободных носителях. Закон Бугера. Красная граница поглощения. Фотопроводимость. Спектральная характеристика. Фотовольтаический эффект в p - n переходе. Эффекты, вызываемые поглощением высокоэнергетического ядерного излучения в полупроводниках.

Излучение полупроводников. Прямые и не прямые переходы носителей заряда. Виды люминесценции: инжекционная, катодо-, фото- люминесценция. Спектры излучения. Правило Стокса, антистоксова люминесценция. Квантовый выход. Вывод излучения из полупроводников.

Лазерный эффект в полупроводниках. Индуцированное (стимулированное) излучение. Оптический резонатор, усиление и генерация света. Пороговый ток.

Термоэлектрические явления. Термо- и гальваномагнитные эффекты. Эффект Холла. Электро-, магнито-, акустооптические эффекты. Поверхностные акустические волны. Акустоэлектронные волны.

2. Приборы твердотельной электроники и микроэлектроники

Полупроводниковые диоды. Устройство и основные параметры. Выпрямительные и импульсные диоды. Варикапы. Стабилитроны и защитные диоды. Туннельные диоды. Диоды СВЧ: детекторные и смесительные, диоды Шоттки, pin – диоды, умножительные и параметрические, лавинно-пролетные, диоды Ганна. Полупроводниковые датчики ядерных излучений.

Биполярные транзисторы. Принцип действия, основные параметры, их зависимость от температуры. Частотные и импульсные характеристики. Диффузионно-дрейфовые транзисторы. Мощные транзисторы, в том числе СВЧ. Транзисторы с изолированным затвором (IGBT).

Тиристоры и их разновидности. Основные параметры.

Полевые транзисторы, принцип действия, основные параметры. Полевые транзисторы с p - n переходом, с барьером Шоттки. МДП-транзисторы с индуцированным и встроенным каналами p - и n - типов.

Полупроводниковые интегральные схемы. Транзисторы, диоды и другие элементы в интегральном исполнении. Межэлементная изоляция. ИС, БИС, СБИС. Классификация микросхем по конструктивно-технологическому принципу: МОП- и КМОП-ИС, биполярные (ТТЛ-, ЭСЛ-, И²Л-ИС); Би-КМОП; «кремний-на-изоляторе» («кремний-на-сапфире»)-ИС; GaAs-ИС на полевых транзисторах с барьером Шоттки (ПТШ)

Многослойные (объемные) ИС. Интеграция на пластине. Микросистемы (общее представление).

Микросхемотехника. Цифровые и аналоговые ИС. Базовые логические элементы: ТТЛ, ЭСЛ, МОП, КМОП, ПТШ. Микропроцессоры. Полупроводниковые ЗУ. Программируемые логические матрицы. Базовые матричные кристаллы. ЦАП – АЦП. Сигнальные микропроцессоры. ВИП и стабилизаторы напряжения. Операционные усилители. Специфика интегральных СВЧ-устройств.

Фотоприемники: фото- резисторы, -диоды, -транзисторы, -матрицы. Основные параметры и характеристики. Фотоприемники ИК-диапазона, тепловизоры. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью. Солнечные батареи: на монокристаллическом и аморфном кремнии, на поликристаллических пленках, с гетероструктурами.

Полупроводниковые лазеры (общее представление).

Светодиоды, параметры и характеристики. Суперяркие светодиоды. ИК-излучатели. Светодиодные дисплеи. Полимерные светодиоды (общее представление).

Оптроны и оптоэлектронные ИС.

Оптические дисковые и голографические ЗУ. Волоконнооптические линии связи. Элементы оптической вычислительной техники. Интегральная оптика.

Акустоэлектроника и акустооптика. Физические основы взаимодействия акустической волны с электронами твердого тела и взаимодействия оптических и акустических волн в твердых телах и жидкостях. Основные материалы акустоэлектроники и акустооптики и устройства на их основе для обработки аналоговых сигналов.

Спинтроника, криоэлектроника, твердотельные датчики (общее представление).

Краткий очерк истории твердотельных приборов и микроэлектроники. Даты важнейших открытий и изобретений. Ученые, внесшие вклад в развитие твердотельной микроэлектроники и примыкающих к ней областей.

3. Технология микроэлектроники и твердотельных приборов

Планарная технология – общая схема техпроцесса. Групповая обработка. Минимальный топологический размер (МТР) – основной показатель уровня технологии. Степень интеграции ИС. Динамика МТР и степени интеграции, закон Мура. Перспективы развития планарной технологии. Гибридная технология. Микросборки и БИС на подложках.

Изготовление полупроводниковых пластин. Определение кристаллографической ориентации монокристаллов полупроводников. Ориентированная резка, шлифовка, полировка пластин.

Химическое травление и химическая полировка кремния и арсенида галлия. Химико-механическая полировка. Финишная очистка пластин. Методы контроля качества очистки.

Эпитаксия. Методы эпитаксиального выращивания кремния. Методы контроля качества эпитаксиальных слоев. Распределение примесей в эпитаксиальных слоях. Дефекты эпитаксиальных пленок. Получение эпитаксиальных гетеропереходов. Выращивание эпитаксиальных пленок A^3B^5 . Оборудование для эпитаксиального выращивания пленок. Сравнение газотранспортной, жидкофазной, МОС-гидридной и молекулярной эпитаксии.

Создание диэлектрических покрытий на кремнии. Термодинамика процесса окисления кремния. Физическая модель процесса окисления кремния. Кинетика активного и пассивного окисления полупроводников. Структура окисла на кремнии. Перераспределение примеси при термическом окислении кремния. Формирование диэлектрических пленок методами осаждения из металлоорганических соединений.

Зарядовое состояние системы полупроводник—диэлектрик; факторы, влияющие на величину и знак заряда в системе. Связь параметров полупроводниковых приборов и ИС с зарядовым состоянием системы кремний—окисел.

Диффузия в полупроводниках. Физические основы процесса диффузии. Основные уравнения. Граничные условия и расчетные формулы для наиболее важных случаев диффузии. Методы проведения диффузионных процессов. Структурные схемы диффузионных печей. Особенности диффузии в соединениях A^3B^5 .

Электронно-ионная технология. Методы получения электронных и ионных пучков. Ионное легирование. Имплантация ионов. Плазмохимические и ионно-плазменные методы обработки полупроводниковых, диэлектрических и металлических слоев. Дефекты, вносимые электронно-ионной обработкой, их устранение. Конструктивные схемы ионных имплантеров и оборудования для электронно-ионной и ионно-химической обработки.

Металлизация. Получение тонких пленок термическим испарением в вакууме. Ионно-плазменное распыление. Химическое осаждение из газовой фазы. Оборудование для получения тонких пленок. Материалы тонкопленочной технологии.

Литография. Фотолитография. Основные типы оборудования для фотолитографии. Проекционная фотолитография, электроннолучевая литография и рентгенолитография. Фотошаблоны и их изготовление. Дефекты микросхем, связанные с фотолитографическими процессами.

Структуры элементов полупроводниковых ИС. Методы изоляции элементов. Технология структур «кремний на изоляторе». Структура и свойства элементов ИС.

Сборка полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Корпуса полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Методы герметизации. Бескорпусные приборы. Методы отвода тепла в мощных полупроводниковых приборах.

4. Проектирование и технология электронной компонентной базы

Иерархия моделирования и проектирования микро- и наноструктур изделий электронной компонентной базы. Понятие сквозного проектирования изделий микроэлектроники на примере САПР «TCAD Sentaurus». Взаимосвязи процессов развития технологии и проектирования изделий микроэлектроники. Закон Мура. Физические и технологические ограничения технологии производства изделий микроэлектроники.

Физико-технологическое проектирование ЭКБ. Моделирование основных этапов технологического процесса изготовления изделий микроэлектроники. Реализация моделирования технологических процессов в САПР «TCAD Sentaurus» (эпитаксия, ионная имплантация, диффузия, окисление). Моделирование процесса ионного легирования. Алгоритм TRIM/TRIS. Взаимодействие ионов с аморфной и кристаллической мишенью. Понятие диэлектрического формализма. Особенности моделирования диффузионных процессов, процессов эпитаксии и окисления.

Схемотехническое проектирование ЭКБ. Методы описания линейного четырехполюсника. Импульсная и амплитудно-частотная характеристики линейного четырехполюсника. S-, Y-, Z-, H- и G-параметры четырехполюсника. Особенности описания нелинейного четырехполюсника. Эквивалентные схемы базовых полупроводниковых элементов: диода, биполярного транзистора, полевого транзистора.

Функционально-логическое проектирование ЭКБ. Макромоделирование аналоговых интегральных схем. Проектирование СВЧ монолитных интегральных схем в программе Microwave Office. Комбинаторная логика. Базовые логические элементы: И, ИЛИ, НЕ. Последовательная логика. Триггеры, счетчики, ячейка статической памяти. Основы архитектуры микропроцессора.

Основные положения, понятия и определения современной теории надежности. Статистические методы оценки и прогнозирования показателей надежности и долговечности. Физика причин отказов полупроводниковых приборов и микросхем. Катастрофические (внезапные) и деградационные (постепенные) отказы. Методы выявления потенциально ненадежных приборов и микросхем. Ускоренные испытания и имитационные методы испытаний.

5. Радиационная стойкость изделий электроники и наноэлектроники

Введение. Применимость радиационно-стойких изделий микроэлектроники, основные понятия и термины. Внешние воздействующие факторы (ВВФ). Классификация ВВФ. Условия эксплуатации изделий электронной техники. Предъявление требований к изделиям электронной техники в части воздействия ВВФ.

Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом. Виды ионизирующего излучения. Ионизационные потери ядерных частиц. Дефектообразование. Ядерные реакции.

Электронная аппаратура космического применения. Внешние воздействующие факторы космического пространства. Радиационные условия космического пространства. Основные радиационные эффекты в ЭКБ при воздействии факторов КП. Методы прогнозирования отказов и сбоев ЭКБ при воздействии радиации космического пространства.

Методы испытаний на стойкость к воздействию радиационных факторов и импульсную электрическую прочность. Цели и задачи испытаний. Методы испытаний ЭКБ на стойкость к импульсным РВ по объемным ионизационным (мощности дозы) эффектам, по ионизационным (дозовым) эффектам. Методы испытаний микросхем на РС по эффектам структурных повреждений, по локальным радиационным эффектам. Испытания микросхем на импульсную электрическую прочность.

6. Физические эффекты в малоразмерных твердотельных структурах, специфические приборы наноэлектроники и методы их изготовления, основные принципы создания приборов на квантовых эффектах

Размерное квантование в гетероструктурах. Примеры структур с размерно-квантованным энергетическим спектром: квантовые ямы, квантовые нити и квантовые точки. Сверхрешетки. Туннелирование на одиночном барьере. Двухбарьерная структура. Резонансно-туннельные диод и транзистор. Эффект Джозефсона.

Транспортные явления в малоразмерных полупроводниковых структурах. Селективное легирование. Полевые транзисторы с высокой подвижностью электронов (НЕМТ). Гетеропереходный биполярный транзистор.

Квантовый эффект Холла. Энергетический спектр носителей заряда в магнитном поле. Квантование холловского сопротивления двумерного электронного газа в магнитном поле. Дробный квантовый эффект Холла.

Одноэлектроника. Квантование кулоновской энергии в мезоскопических системах. Явление кулоновской блокады при туннелировании через переходы с малой емкостью. Одноэлектронные транзисторы и схемы на их основе.

Представления об элементной базе квантовых компьютерах – кубитах. Свойства кубита. Управление эволюцией кубита. Элементарные одно-кубитовые и двухкубитовые операции как основа квантовых вычислений. Представление о принципах квантовой связи на одиночных фотонах.

3.4. Критерии оценивания ответа на государственном экзамене

Тема (раздел)	Код компетенции	Показатели оценивания	Критерии оценивания	оценка
---------------	-----------------	-----------------------	---------------------	--------

1. Физика полупроводников и полупроводниковых приборов. 2. Приборы твердотельной электроники и микроэлектроники. 3. Технология микроэлектроники и твердотельных приборов. 4. Проектирование и технология электронной компонентной базы. 5. Радиационная стойкость изделий электроники и нанoeлектроники. 6. Физические эффекты в малоразмерных твердотельных структурах, специфические приборы нанoeлектроники и методы их изготовления, основные принципы создания приборов на квантовых эффектах.	УК-5 УК-6 ОПК-5 ПК-5	Нулевой уровень-компетенции не сформированы	Отсутствие знаний у студента в рамках вопросов материала или отказ от ответа. Студент показал фрагментарные знания, знания отдельных литературных источников, рекомендованных учебной программой, а также неумение использовать научную терминологию, наличие в ответе грубых стилистических и логических ошибок.	неудовлетворительно
		Низкий уровень	Недостаточно полный объем знаний; знание части основной литературы; использование научной терминологии, изложение ответа на вопросы с существенными лингвистическими и логическими ошибками; слабое владение инструментарием дисциплины, некомпетентность в решении стандартных (типовых) задач; неумение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях	удовлетворительно
		Средний уровень	Полные и систематизированные знания; использование необходимой научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы; владение инструментарием дисциплины, умение его использовать в решении профессиональных задач; способность самостоятельно применять типовые решения; освоение основной литературы, рекомендованной учебными; умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях	хорошо
		Высокий уровень знаний	Студент показал систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам экзаменационного материала для проведения экзамена; точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы; владение инструментарием учебных дисциплин, входящих в вопросы экзаменационного материала, умение его эффективно использовать в постановке и решении учебных и профессиональных задач; способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации в рамках учебных программ дисциплин экзаменационного материала; полное освоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебными программами дисциплин, входящими в вопросы экзаменационного материала; умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изученным дисциплинам и давать им критическую оценку	отлично

3.5. Методические рекомендации по подготовке к государственному экзамену

Самостоятельная подготовка к государственному итоговому экзамену включает в себя как повторение на более высоком уровне изученных в процессе профессиональной подготовки блоков и разделов государственной образовательной программы, вынесенных на экзамен, так и углубление, закрепление и самопроверку приобретенных и имеющихся знаний. На итоговом этапе подготовки к государственному экзамену студенту рекомендуется: внимательно ознакомиться с перечнем вопросов и рекомендуемой литературой; повторить изученный теоретический материал с использованием базовой литературы и конспектов лекций по учебной дисциплине, к которой отнесен конкретный вопрос, осмыслить его с учетом приобретенного опыта профессиональной деятельности; выявить все неясные вопросы отдельных тем и получить разъяснения у преподавателей на консультации перед государственным экзаменом. В процессе подготовки к экзамену следует реализовать комплексный подход в подготовке различных вопросов, т.е. выявлять их взаимосвязь и взаимообусловленность.

3.6. Учебно-методическое и информационное обеспечение подготовки к государственному экзамену

Основная литература

1. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.: Наука, 1977. **9**
2. Шалимова К.В. Физика полупроводников. М.: Энергия, 1976. **14**
3. Епифанов Г.И., Мома Ю.А. Твердотельная электроника. М.: Высш. шк., 1986. **3**
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=319676&DB=1>
4. Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов. В 2 кн. М.: Мир, 1984.
<http://www.lib.unn.ru/php/catalog.php?Index=0&IdField=135407373&DB=1>
http://phys.unn.ru/library_dl.asp?fn=Sze_2.djvu
<http://www.ph4s.ru/books/poluprov/zi-fizikapolupr.rar>
5. Викулин И.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов. М.: Радио и связь, 1990.
<http://www.lib.unn.ru/php/catalog.php?Index=0&IdField=138302237&DB=1>
6. Блихер А. Физика силовых биполярных и полевых транзисторов. Л.: Энергоатомиздат, 1986. **3**
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=319143&DB=1>
7. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. М.: Радио и связь, 1998.
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=47011&DB=1>
8. Тилл У., Лаксон Дж. Интегральные схемы, материалы, приборы и их изготовление. М.: Мир, 1985.
<http://www.lib.unn.ru/php/catalog.php?Index=0&IdField=138391891&DB=1>
9. Носов Ю.Р. Оптоэлектроника. М.: Радио и связь, 1989. **3**
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=319986&DB=1>
10. Фотоприемники видимого и ИК диапазонов / Под ред. В.И. Стафеева. М.: Радио и связь, 1985.
11. Носов Ю.Р., Шилин В.А. Основы физики приборов с зарядовой связью. М.: Наука, 1986 **3**
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=318417&DB=1>
12. Трищенко М.А. Фотоприемные устройства и ПЗС. М.: Радио и связь, 1992.
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=300889&DB=1>
13. Технология СБИС. В 2 кн. / Под ред. С. Зи. М.: Мир, 1986.
<http://www.lib.unn.ru/php/searchext.php?Type=2&Action=1>
<http://www.twirpx.com/file/71292/>
<http://www.twirpx.com/file/71306/>
http://phys.unn.ru/library_dl.asp?fn=VLSI_Technology_1.pdf
14. Березин А.С., Мочалкина О.Р. Технология и конструирование интегральных микросхем. М.: Радио и связь, 1983. **3** <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=318756&DB=1>
15. Черняев В.Н. Технология производства интегральных микросхем и микропроцессоров. М.: Радио и связь, 1987. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=320100&DB=1>
16. Коледов Л.А. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок. М.: Радио и связь, 1989. **5** <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=318778&DB=1>
17. Валиев К.А. Физические основы субмикронной фотолитографии. М.: Наука, 1990. **3**
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=318851&DB=1>
18. Броудай И., Мерей Дж. Физические основы микротехнологии. М.: Мир, 1985. **3**
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=318842&DB=1>
19. Моделирование полупроводниковых приборов и технологических процессов / Под ред. Д. Миллера. М.: Радио и связь, 1989. **3** <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=319547&DB=1>
20. Бубенников А.Н. Моделирование интегральных микротехнологий, приборов и схем. М.: Высшая школа, 1989. **2** <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=318761&DB=1>
21. Соклоф С. Аналоговые интегральные схемы. М.: Мир, 1988. **2**
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=319050&DB=1>

22. Базовые матричные кристаллы и матричные БИС / В.Г. Домрачев, П.П. Мальцев, И.В. Новаченко, С.Н. Пономарев. М.: Энергоатомиздат, 1992.
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=13203&DB=1>
23. Рычина Т.А., Зеленский А.В. Устройства функциональной электроники и электрорадиоэлементы. М.: Радио и связь, 1989. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=326688&DB=1>
24. Валиев К.А., Кокин А.А. Квантовые компьютеры: надежды и реальность. М.: РХД, 2001.
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=37226&DB=1>
25. Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы нанoeлектроники. Новосибирск: НГТУ, 2000. <http://www.lib.unn.ru/php/catalog.php?Index=0&IdField=135533257&DB=1>
<https://biblio-online.ru/viewer/72F450AA-7472-41DF-89F3-06FC66EFB254#page/1>
<https://biblio-online.ru/viewer/0491672E-6A76-4D5A-853E-15CAA2DC1631#page/1>
http://phys.unn.ru/library_dl.asp?fn=Dragunov.pdf
26. Арсенид галлия в микроэлектронике / Под ред. В.Н. Мордковича. М.: Мир, 1988. 2
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=318829&DB=1>
27. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы. СПб: «Лань», 2002.
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=60157&DB=1>
28. Пичугин И.Г., Таиров Ю.М. Технология полупроводниковых приборов. М.: Высш. шк., 1984. 3
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=319423&DB=1>
29. Рикетс Л.У., Бриджес Дж. Э., Майлетта Дж. Электромагнитный импульс и методы защиты/ Пер. с англ. – М.: Атомиздат, 1979. 2 <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=346796&DB=1>
30. Агаханян Т.М., Аствацатурьян Е.Р., Скоробогатов П.К. Радиационные эффекты в интегральных микросхемах / Под ред. Т.М. Агаханяна. – М.: Энергоатомиздат, 1989. 2
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=318818&DB=1>

Дополнительная литература

1. Шкелев Е.И. Электронные цифровые системы и микропроцессоры. – Нижний Новгород: Издательство ННГУ, 2004. – 153 с. 9 <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=455792&DB=1>
2. ГОСТ 15150-69. Группа Г08. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды//Machines, instruments and other industrial articles. Applications for different climatic regions. Categories, operating, storage and transportation conditions as to environment climatic factors influence. – Введ. 01.01.1971. – Изд.офиц. – М.: Изд-во стандартов, 2008.
3. Группен К. Детекторы элементарных частиц: Справочное издание/ Пер. с англ. – Новосибирск: "Сибирский хронограф", 1999. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=40249&DB=1>
4. Физические процессы в облученных полупроводниках / Под ред. Л.С.Смирнова. – Новосибирск: Наука, 1977. 6 <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=74150&DB=1>
5. Барашенков В.С. Сечения взаимодействия частиц и ядер с ядрами. – Дубна: ОИЯИ. 1993. 2
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=85969&DB=1>
6. Кузнецов Н.В., Соловьев Г.Г. Радиационная стойкость кремния. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=74143&DB=1>
7. Ionizing radiation affects in MOS devices and circuits / Ed. by T.P. Ma, P.V.Dressendorfer. – N.Y.: John Wiley and Sons, 1989.
8. ГОСТ 16504-81. Группа Т00. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения // The state system of testing products. Product test and quality inspection. General terms and definitions. – Введ. 01.01.1982. – Изд.офиц. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2000.
9. РД В 319.03.52-2004. Микросхемы интегральные и полупроводниковые приборы. Методы контроля радиационной стойкости на этапах разработки, производства и поставки. Общая методика лазерных имитационных испытаний в широком диапазоне уровней и длительностей импульсов специальных факторов, а также температуры среды. - М.: МО РФ, 2004.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы

<http://www.lib.unn.ru/> - Фундаментальная библиотека ННГУ

<https://e.lanbook.com/> - Электронно-библиотечная система изд. «Лань»

<http://phys.unn.ru/library.asp> - Электронная библиотека ФзФ ННГУ

<http://www.studmed.ru> - Учебно-методическая литература для студентов

<http://www.twirpx.com> - Общедоступный сайт www.twirpx.com

4. ПРОГРАММА ЗАЩИТЫ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Выпускная квалификационная работа (ВКР) представляет собой выполненную обучающимся работу, демонстрирующую уровень подготовленности выпускника к самостоятельному решению профессиональных задач. Оценка сформированности компетенций на защите ВКР осуществляется на основе содержания ВКР, доклада выпускника на защите, ответов на дополнительные вопросы с учетом предварительных оценок, выставленных в отзыве научным руководителем и рецензентом.

4.1. Карта компетенций к защите выпускной квалификационной работы

Код компетенции по ОПОП	Характеристика компетенции	Составляющие компетенции		
		знания	умения и навыки	владение опытом и личностная готовность к профессиональному совершенствованию
УК-1	способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;	<i>З1 (УК-1) Знать</i> основные методы научно-исследовательской деятельности.	<i>У1 (УК-1) Уметь</i> выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах; критически оценивать любую поступающую информацию, вне зависимости от источника; избегать автоматического применения стандартных формул и приемов при решении задач.	<i>В1 (УК-1) Владеть</i> навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования; навыками выбора методов и средств решения задач исследования.
УК-2	способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки;	<i>З1 (УК-2) Знать</i> основные направления, проблемы, теории и методы философии, содержание современных философских дискуссий по проблемам общественного развития.	<i>У1 (УК-2) Уметь</i> формировать и аргументированно отстаивать собственную позицию по различным проблемам философии; использовать положения и категории философии для оценивания и анализа различных социальных тенденций, фактов и явлений.	<i>В1 (УК-2) Владеть</i> навыками восприятия и анализа текстов, имеющих философское содержание, приемами ведения дискуссии и полемики, навыками публичной речи и письменного аргументированного изложения собственной точки зрения.
УК-3	готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач;	<i>З1 (УК-3) Знать</i> методы критического анализа и оценки современных научных достижений, методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях, методы научно-исследовательской деятельности.	<i>У1 (УК-3) Уметь</i> анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов.	<i>В1 (УК-3) Владеть</i> навыками анализа основных мировоззренческих и методологических проблем, в т.ч. междисциплинарного характера возникающих в науке на современном этапе ее развития, владеть технологиями планирования профессиональной деятельности в сфере научных исследований.
УК-4	готовность использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном	<i>З1 (УК-4) Знать</i> виды и особенности письменных текстов и уст-	<i>У1 (УК-4) Уметь</i> подбирать литературу по теме, составлять двуязычный словарь, переводить и реферировать	<i>В1 (УК-4) Владеть</i> навыками обсуждения знакомой темы, делая важные

	и иностранном языках;	ных выступлений; понимать общее содержание сложных текстов на абстрактные и конкретные темы, в том числе на иностранном языке.	специальную литературу, подготавливать научные доклады и презентации на базе прочитанной специальной литературы, объяснить свою точку зрения и рассказать о своих планах.	замечания и отвечая на вопросы; создания простого связного текста по знакомым или интересующим его темам, адаптируя его для целевой аудитории.
ОПК-1	владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности;	<i>З1 (ОПК-1) Знать</i> методологию теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности.	<i>У1 (ОПК-1) Уметь</i> спланировать теоретические и экспериментальных исследования в области профессиональной деятельности.	<i>В1 (ОПК-1) Владеть</i> методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности.
ОПК-2	владение культурой научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий;	<i>З1 (ОПК-2) Знать</i> новейшие информационно-коммуникационные технологии.	<i>У1 (ОПК-2) Уметь</i> проводить исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий.	<i>В1 (ОПК-2) Владеть</i> культурой научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий.
ОПК-3	способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной профессиональной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности;	<i>З1 (ОПК-3) Знать</i> новые методы исследования и их применению в самостоятельной профессиональной научно-исследовательской деятельности.	<i>У1 (ОПК-3) Уметь</i> разрабатывать новые методы исследования и их применения в самостоятельной профессиональной научно-исследовательской деятельности.	<i>В1 (ОПК-3) Владеть</i> навыками разработки новых методов исследования и их применения в самостоятельной профессиональной научно-исследовательской деятельности.
ОПК-4	готовность организовать работу исследовательского коллектива в профессиональной деятельности;	<i>З1 (ОПК-4) Знать</i> особенности работы исследовательского коллектива в профессиональной деятельности.	<i>У1 (ОПК-4) Уметь</i> организовать работу исследовательского коллектива в профессиональной деятельности.	<i>В1 (ОПК-4) Владеть</i> навыками организации работы исследовательского коллектива в профессиональной деятельности.
ПК-1	способность понимать, критически оценивать, анализировать, применять базовую информацию, современную научную, техническую и патентную литературу и пополнять научные знания - в областях твердотельной электроники, радиокомпонентов, микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах;	<i>З1 (ПК-1) Знать</i> фундаментальные основы науки о современном состоянии в областях твердотельной электроники, радиокомпонентов, микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах.	<i>У1 (ПК-1) Уметь</i> критически оценивать, анализировать, применять базовую информацию, современную научную, техническую и патентную литературу и пополнять научные знания - в областях твердотельной электроники, радиокомпонентов, микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах.	<i>В1 (ПК-1) Владеть</i> основными навыками сбора и систематизации базовую информацию в областях твердотельной электроники, радиокомпонентов, микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах.
ПК-2	способность осваивать новое технологическое, исследовательское, и контрольно-измерительное оборудование, а также соответствующие	<i>З1 (ПК-2) Знать</i> основные методики выращивания и исследования свойств твердотельных материалов и структур на их основе.	<i>У1 (ПК-2) Уметь</i> осваивать новое технологическое, исследовательское, и контрольно-измерительное оборудование.	<i>В1 (ПК-2) Владеть</i> навыками осваивать новое технологическое, исследовательское, и контрольно-измерительное оборудование.

	методики выращивания и исследования свойств твердотельных материалов и структур на их основе;			
ПК-3	готовность подготовить и провести физический эксперимент в области физики твердотельных материалов и физики наноструктур, осуществить обработку и анализ его результатов с использованием современных методов документирования экспериментальных данных и методов численного моделирования физических и технологических процессов;	31 (ПК-3) Знать как провести физический эксперимент в области физики твердотельных материалов и физики наноструктур	У1 (ПК-3) Уметь: осуществить обработку и анализ его результатов с использованием современных методов документирования экспериментальных данных.	В1 (ПК-3) Владеть методами численного моделирования физических и технологических процессов.
ПК-4	способность разрабатывать новые модели физических процессов в области физики и электроники твердотельных материалов, которые могут быть положены в основу новых технологических процессов твердотельной электроники, микро- и нанoeлектроники, приборов на квантовых эффектах;	31 (ПК-4) Знать физические явления, на которых основана работа современных активных элементов твердотельной электроники.	У1 (ПК-4) Уметь делать количественные оценки важнейших параметров активных элементов твердотельной электроники.	В1 (ПК-4) Владеть методами определения параметров активных элементов твердотельной электроники.
ПК-6	готовность реализовывать инновационные проекты в научных, образовательных организациях, учреждениях социальной сферы и в высокотехнологичных предприятиях.	31 (ПК-6) Знать основы организации инновационных проектов в научных, образовательных организациях, учреждениях социальной сферы и в высокотехнологичных предприятиях.	У1 (ПК-6) Уметь составить план реализации инновационного проекта в научных, образовательных организациях, учреждениях социальной сферы и в высокотехнологичных предприятиях.	В1 (ПК-6) Владеть представлениями о рисках реализации инновационного проекта в научных, образовательных организациях, учреждениях социальной сферы и в высокотехнологичных предприятиях.

4.2. Матрица компетенций, оценка которых вынесена на защиту выпускной квалификационной работы

Квалификационное задание	УК-1	УК-2	УК-3	УК-4	ОПК-1	ОПК-2	ОПК-3	ОПК-4	ПК-1	ПК-2	ПК-3	ПК-4	ПК-6
1. Обоснованность и актуальность выбранной темы исследования	+	+		+	+				+				

2. Качество и глубина обзора источников по теме исследований. Наличие в списке цитируемой литературы публикаций на английском языке	+				+	+			+				
3. Выбор технологий и методов исследования, освоение методики эксперимента	+				+		+		+	+			+
4. Проведение эксперимента, использование современной приборной базы, технологий обработки экспериментальных данных		+	+		+	+	+	+		+	+		
5. Полнота и глубина анализа полученных результатов, формулировка выводов, понимание дальнейших перспектив развития представленной научной работы		+	+		+		+	+	+		+	+	+
6. Качество представления результатов работы в виде научного доклада, степень полноты ответа на вопросы ГАКа	+	+	+	+		+		+	+			+	+
7. Оценка авторского вклада студента				+				+	+				

4.3. Фонд оценочных средств для подготовки и защиты выпускной квалификационной работы

4.3.1. Перечень квалификационных заданий, предусмотренных при выполнении выпускной квалификационной работы

1. Выполнить анализ, систематизацию и обобщение научно-технической информации по теме исследований. Написать литературный обзор по теме выпускной квалификационной работы.
2. Аргументировать актуальность темы выпускной квалификационной работы.
3. Определить цель, задачи, объект и предмет научного исследования в рамках выпускной квалификационной работы.
4. Составить план научного исследования.
5. Провести научные исследования (расчетные, технологические, экспериментальные) работы в соответствии с планом.
6. Провести анализ достоверности полученных результатов, сравнение результатов исследования с литературными данными, проанализировать имеющиеся расхождения и обсудить их причины.
7. Сформулировать выводы и предложения о проведении дальнейших исследований в области темы выпускной квалификационной работы.
8. Написать выпускную квалификационную работу.
9. Подготовить доклад и презентацию.

4.3.2. Примерный перечень вопросов, задаваемых при процедуре защиты выпускной квалификационной работы

1. Обосновать новизну и актуальность темы.
2. Перечислить задачи, решаемые с помощью освоенного метода. Объяснить физический принцип, лежащий в основе метода.
3. Объяснить выбор технологии, методов исследования, расчета.
4. Объяснить методику обработки экспериментальных данных/методику теоретического расчета.
5. Проанализировать представленные результаты.
6. Сопоставить экспериментальные данные и теоретическую (математическую) модель исследуемого физического явления.
7. Пояснить практическая значимость и применимость результатов на практике.
8. Рассказать о личном вкладе в приведенное исследование.
9. Рассказать о мерах безопасности при работе с оборудованием.

4.3.3. Примерные темы выпускных квалификационных работ

Конкретное содержание **выпускной квалификационной работы**, её структура, место проведения определяется видом профессиональной деятельности (научно-исследовательская деятельность), к которому преимущественно готовится аспирант, и выбранной тематикой научных исследований. Как правило, тема научных исследований, а следовательно и выпускных квалификационных работ, индивидуальна.

4.3.5. Критерии оценивания выпускной квалификационной работы

Уровень оценивания	Критерий оценивания	оценка
Нулевой уровень- компетенции не сформированы	Отсутствие знаний, умений, навыков у студента в рамках содержания выпускной квалификационной работы. Студент показал фрагментарные знания в рамках содержания выпускной квалификационной работы; неумение использовать научную терминологию, наличие в работе грубых структурных ошибок и несоответствующее требованиям оформление. Невыполнение квалификационных заданий в рамках соответствующих компетенций, отсутствие ответов на вопросы комиссии. Сформированность компетенций не соответствует требованиям ФГОС ВО; выпускник не готов решать профессиональные задачи в соответствии с таким видом профессиональной деятельности, как научно-исследовательская деятельность.	неудовлетворительно
Низкий уровень	Студент показал недостаточно полный объем знаний в рамках содержания выпускной квалификационной работы; работа с существенными ошибками; слабое владение инструментарием эмпирической части работы, некомпетентность в проведении исследования; неумение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях проблемы, рассмотренной в выпускной квалификационной работе. К выпускной работе имеются замечания по содержанию, по глубине проведенного исследования, работа оформлена неаккуратно, работа доложена неубедительно, не на все предложенные вопросы даны удовлетворительные ответы. Квалификационные задания в рамках соответствующих компетенций выполнены частично. Сформированность компетенций соответствует требованиям компетентностной модели; выпускник способен решать определенные профессиональные задачи в соответствии с таким видом профессиональной деятельности, как научно-исследовательская деятельность.	удовлетворительно
Средний уровень	Студент показал достаточно полные и систематизированные знания в рамках содержания выпускной квалификационной работы; грамотное использование необходимой научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение текста, умение делать обоснованные выводы; владение инструментарием выпускной квалификационной работы, умение его использовать в решении профессиональных задач; умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях проблемы рассмотренной в выпускной квалификационной работе. Квалификационные задания в рамках соответствующих компетенций выполнены на достаточном уровне. Сформированность компетенций соответствует требованиям компетентностной модели; выпускник готов самостоятельно решать стандартные профессиональные задачи в соответствии с таким видом профессиональной деятельности, как научно-исследовательская деятельность.	хорошо
Высокий уровень	Студент показал систематизированные, глубокие и полные знания по всей проблеме рассмотренной в выпускной квалификационной работе; точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение работы; владение инструментарием эмпирического исследования. Работа глубоко и полно освещает заявленную тему, т.е. в работе представлены все исследования по проблематике, приведены обоснования выбранных технологий и методов исследования, проведенный анализ полученных результатов в докладе изложен четко и последовательно, сделанные выводы обоснованы, продемонстрировано понимание дальнейших перспектив развития представленной научной работы, практическая значимость научного исследования. Квалификационные задания в рамках соответствующих компетенций выполнены в полном объеме на высоком уровне. Содержание выпускной работы доложено в краткой форме, последовательно и логично, даны четкие ответы на вопросы, поставленные членами ГАК (Государственной аттестационной комиссии). Сформированность компетенций соответствует требованиям компетентностной модели; выпускник готов самостоятельно решать стандартные и нестандартные профессиональные задачи в соответствии с таким видом профессиональной деятельности, как научно-исследовательская деятельность.	отлично

4.4. Методические рекомендации по подготовке выпускной квалификационной работы и ее защите

Выпускная квалификационная работа (ВКР) аспиранта по направлению подготовки **11.06.01 – Электроника, радиотехника и системы связи**, профилю подготовки **05.27.01 – «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах»** должна быть представлена в форме рукописи на русском языке, оформленном в соответствии с требованиями ГОСТ 7.32-2001 (за исключением титульного листа, образец оформления которого приведен в приложении).

ВКР исследователь., преподаватель-исследователь по направлению **11.06.01 – Электроника, радиотехника и системы связи**, профилю подготовки **05.27.01 – «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах»** представляет собой законченную квалификационную работу, в которой содержится реферативная часть, отражающая общую профессиональную эрудицию автора, а также самостоятельная исследовательская часть, выполненная индивидуально или в составе творческого коллектива по материалам, собранным или полученным самостоятельно студентом в период прохождения производственной практики, выполнения научно-исследовательской работы и выпускной квалификационной работы. Самостоятельная часть должна быть законченным исследованием, свидетельствующим об уровне профессиональной подготовки автора.

Тематика и содержание должны соответствовать уровню знаний, полученных выпускником в объеме дисциплин, предусмотренных учебным планом. Тематика ВКР должна соответствовать направлению **11.06.01 – Электроника, радиотехника системы связи**, профилю подготовки **05.27.01 – «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах»** либо иметь смежный характер (в области физики и технологии твердотельных наноструктур). Темы ВКР формируются руководством кафедры физики полупроводников, электроники и нанoeлектроники. Возможно предложение тем ВКР со стороны потенциальных работодателей выпускников при условии, что научным руководителем темы ВКР будет являться научно-педагогический сотрудник ННГУ.

Аспиранту может предоставляться право выбора темы ВКР вплоть до предложения своей темы с необходимым обоснованием целесообразности её разработки. Для принятия решения о выборе или уточнении темы студент может предварительно проконсультироваться с потенциальным руководителем.

Руководитель ОПОП имеет право исключить из предложенного списка темы, не соответствующие уровню, направлению подготовки студентов, а также темы, выполнение которых приведет к нарушению требований ФГОС ВО по направлению подготовки **11.06.01 – Электроника, радиотехника системы связи**, профилю подготовки **05.27.01 – «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах»**. Утверждение перечня тем ВКР осуществляется внутренними нормативными документами структурного подразделения ННГУ (физического факультета, кафедры физики полупроводников, электроники и нанoeлектроники и оформляется в виде выписки из протокола заседания кафедры, реализующей настоящую ОПОП.

Требования к содержанию, объему и структуре выпускной работы определяются высшим учебным заведением на основании Положения об итоговой государственной аттестации выпускников высших учебных заведений, утвержденного Министерством образования России, государственного образовательного стандарта бакалавра электроники и нанoeлектроники и методических рекомендаций УМО.

После завершения подготовки обучающимся ВКР научный руководитель представляет письменный отзыв о научной работе обучающегося (в процессе подготовки ВКР).

Для проведения рецензирования ВКР указанная работа направляется рецензенту из числа лиц, не являющихся преподавателями факультета и сотрудниками той же лаборатории/сектора профильной организации, в которой выполнена ВКР. Рецензент проводит анализ ВКР и представляет в деканат письменную рецензию на указанную работу.

Перед защитой ВКР указанная работа, оформленная в соответствии с правилами установленными факультетом, отзыв научного руководителя и рецензента передается в ГЭК.

Защита выпускной квалификационной работы проводится в соответствии с утвержденным графиком проведения государственных аттестационных испытаний на заседании экзаменационной комиссии по направлению подготовки 11.06.01 – Электроника, радиотехника и системы связи, профилю подготовки 05.27.01 – «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах».

Защита начинается с доклада аспиранта по теме выпускной квалификационной работы. Рекомендуемая продолжительность доклада - до 15 минут. По обоснованному решению аттестационной комиссии время доклада может быть изменено как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения длительности.

Аспирант должен излагать основное содержание своей ВКР свободно, не читая письменного текста. В процессе доклада может использоваться компьютерная презентация работы, подготовленный наглядный графический (таблицы, схемы) или иной материал, иллюстрирующий основные положения работы.

После завершения доклада члены экзаменационной комиссии задают студенту вопросы, как непосредственно связанные с темой ВКР, так и близко к ней относящиеся. При ответах на вопросы студент имеет право пользоваться своей работой.

При принятии экзаменационной комиссией решения об итоговой оценке принимаются во внимание оценка научного руководителя за качество работы, оценка рецензента, степень ее соответствия требованиям, предъявляемым к выпускной квалификационной работе.

Защита ВКР оформляется протоколом, который подписывается членами экзаменационной комиссии, утверждается председателем ГЭК или его заместителем, формируются в отдельное дело и передаются в деканат часть факультета. Защищенные ВКР в электронной и бумажной версиях (со всеми подписями и утверждающими визами) хранятся на соответствующей кафедре в течение 5 лет.

5. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ

Материально-техническое обеспечение проведения госэкзамена обусловлено наличием учебных аудиторий для проведения занятий, оборудованных специализированной мебелью. Материально-техническое обеспечение проведения защиты ВКР обусловлено наличием учебных аудиторий лекционного типа, оборудованных компьютером, проектором и экраном (или телевизором).

Для самостоятельной работы студенты имеют возможность работать в компьютерном классе с соответствующим лицензионным программным обеспечением, выходом в Интернет и доступом в электронную информационно-образовательную среду организации.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО 3+ по направлению подготовки 11.06.01 – Электроника, радиотехника и системы связи, профилю подготовки 05.27.01 – «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах».

Автор:

профессор кафедры физики полупроводников, электроники
и наноэлектроники, д.ф.-м.н. профессор

_____ Е.С. Демидов

Рецензент:

заведующий кафедрой теоретической физики,
д.ф.-м.н., профессор

_____ В. А. Бурдов

Программа одобрена на заседании методической комиссии физического факультета, протокол № ____ от « ____ » _____ 20_ г.