

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.

Рабочая программа дисциплины

**«Твердотельная электроника,
радиоэлектронные компоненты,
микро- и нанoeлектроника, приборы на
квантовых эффектах
(кандидатский экзамен)»**

Уровень подготовки

аспирантура

Направление подготовки

11.06.01 ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА И СИСТЕМЫ СВЯЗИ

Направленность образовательной программы

05.27.01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и
нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах»

Квалификация

Исследователь, преподаватель-исследователь

Форма обучения

очная

Нижний Новгород

2021 год

1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах (кандидатский экзамен)» относится к вариативной части ОПОП, является обязательной дисциплиной и изучается на 4 году обучения в 7 семестре.

Целями освоения дисциплины являются:

Государственный экзамен проводится для оценки готовности выпускника аспирантуры к представлению научного доклада об основных результатах подготовленной научно-квалификационной работы (диссертации) и преподавательской деятельности в высшей школе. К государственному экзамену допускаются аспиранты, в полном объеме выполнившие индивидуальный учебный план. В ходе государственного экзамена должен быть выявлен уровень сформированности компетенций, определенных в основной профессиональной образовательной программе (ОПОП) по направлению подготовки 11.06.01 – «Электроника, радиотехника системы связи», направленности 05.27.01 – «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах».

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

Формируемые компетенции (код компетенции, этап формирования)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
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: современные научные достижения и новые идеи при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях. Уметь: критически анализировать и оценивать современные научные достижения при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях. Владеть: навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.
УК-2 способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в	Знать: технологии планирования в профессиональной деятельности в сфере научных исследований. Уметь: проектировать и осуществлять комплексные исследования в сфере научных исследований. Владеть: технологиями планирования в профессиональной деятельности и в сфере научных исследований

области истории и философии науки	
ОПК-1 владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности	<p>Знать: методологию теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности.</p> <p>Уметь: спланировать теоретические и экспериментальных исследования в области профессиональной деятельности.</p> <p>Владеть: методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности.</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>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 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>

3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 2 зачетных единиц, всего 72 часов, из которых 4 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (2 часа занятия лекционного типа, 2 часа - мероприятия промежуточной аттестации - экзамен), 68 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
	Очное					
1. Обзорная лекция		2			2	
2. Физика полупроводников и полупроводниковых приборов						12

3. Приборы твердотельной электроники и микроэлектроники						12
4. Технология микроэлектроники и твердотельных приборов						11
5. Проектирование и технология электронной компонентной базы						11
6. Радиационная стойкость изделий электроники и наноэлектроники						11
7. Физические эффекты в малоразмерных твердотельных структурах, специфические приборы наноэлектроники и методы их изготовления, основные принципы создания приборов на квантовых эффектах						11
ВСЕГО		2			2	68
Промежуточная аттестация – экзамен 2 часа						

Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведения занятия	Форма текущего контроля*
1	Обзорная лекция	Порядок проведения экзамена, на что надо обратить внимание, ответы на вопросы.	Лекция	
2	Физика полупроводников и полупроводниковых приборов	<p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>Рекомбинация носителей заряда. Рекомбинация «зона-зона» и рекомбинация через примеси и дефекты. Теория рекомбинации Шокли-Рида. Диффузионная длина и время жизни носителей. Поверхностная рекомбинация.</p> <p>Электропроводность полупроводников. Носители заряда в слабом электрическом поле. Взаимодействие с фононами, примесными атомами, дефектами. Подвижность электронов и дырок. Условие</p>	Самостоятельная работа	Экзамен

		<p>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.</p> <p>Уравнение для плотности электрического тока в полупроводниках. Уравнение непрерывности. Уравнение Пуассона.</p> <p>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.</p> <p>Транзисторный эффект. Зонная диаграмма полупроводниковой структуры с двумя близко расположенными $p-n$ переходами. Коэффициент инжекции. Коэффициент переноса носителей через базу. Коэффициент усиления транзистора.</p> <p>Контакт металл-полупроводник. Теория Шоттки. Вольт-амперная характеристика. Омический контакт. Сопоставление с $p-n$ переходом.</p> <p>Структура металл-диэлектрик-полупроводник. Зонная диаграмма и ее изменение при приложении напряжения. Роль поверхностных состояний, подвижных и неподвижных зарядов в диэлектрике.</p> <p>Гетероструктуры. Зонная диаграмма гетеро- $p-n$ перехода. Коэффициент инжекции. Суперинжекция. Одиарные и двойные гетероструктуры. Варизонные структуры.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>Лазерный эффект в полупроводниках. Индуцированное (стимулированное) излучение. Оптический резонатор, усиление и генерация света. Пороговый ток.</p> <p>Термоэлектрические явления. Термо- и гальваномагнитные эффекты. Эффект Холла. Электро-, магнито-, акустооптические эффекты. Поверхностные акустические волны. Акустоэлектронные волны.</p>		
--	--	---	--	--

3	Приборы твердотельно й электроники и микроэлектро ники	<p>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.</p> <p>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).</p> <p>Тиристоры и их разновидности. Основные параметры.</p> <p>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.</p> <p>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)</p> <p>Многослойные (объемные) ИС. Интеграция на пластине. Микросистемы (общее представление).</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>Полупроводниковые лазеры (общее представление).</p> <p>Светодиоды, параметры и характеристики. Суперяркие светодиоды. ИК-излучатели. Светодиодные дисплеи. Полимерные светодиоды (общее представление).</p> <p>Оптроны и оптоэлектронные ИС.</p> <p>Оптические дисковые и голографические ЗУ. Волоконнооптические линии связи. Элементы оптической вычислительной техники. Интегральная оптика.</p>	Самостояте льная работа	Экзамен
---	--	---	-------------------------------	---------

		<p>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.</p> <p>Спинтроника, криоэлектроника, твердотельные датчики (общее представление).</p> <p>Краткий очерк истории твердотельных приборов и микроэлектроники. Даты важнейших открытий и изобретений. Ученые, внесшие вклад в развитие твердотельной микроэлектроники и примыкающих к ней областей.</p>		
4	Технология микроэлектроники и твердотельных приборов	<p>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.</p> <p>Изготовление полупроводниковых пластин. Определение кристаллографической ориентации монокристаллов полупроводников. Ориентированная резка, шлифовка, полировка пластин.</p> <p>Химическое травление и химическая полировка кремния и арсенида галлия. Химико-механическая полировка. Финишная очистка пластин. Методы контроля качества очистки.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>Диффузия в полупроводниках. Физические основы процесса диффузии. Основные уравнения. Граничные</p>	Самостоятельная работа	Экзамен

		<p>условия и расчетные формулы для наиболее важных случаев диффузии. Методы проведения диффузионных процессов. Структурные схемы диффузионных печей. Особенности диффузии в соединениях A^3B^5.</p> <p>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.</p> <p>Металлизация. Получение тонких пленок термическим испарением в вакууме. Ионно-плазменное распыление. Химическое осаждение из газовой фазы. Оборудование для получения тонких пленок. Материалы тонкопленочной технологии.</p> <p>Литография. Фотолитография. Основные типы оборудования для фотолитографии. Проекционная фотолитография, электроннолучевая литография и рентгенолитография. Фотошаблоны и их изготовление. Дефекты микросхем, связанные с фотолитографическими процессами.</p> <p>Структуры элементов полупроводниковых ИС. Методы изоляции элементов. Технология структур «кремний на изоляторе». Структура и свойства элементов ИС.</p> <p>Сборка полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Корпуса полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Методы герметизации. Бескорпусные приборы. Методы отвода тепла в мощных полупроводниковых приборах.</p>		
5	Проектирование и технология электронной компонентной базы	<p>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.</p> <p>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.</p> <p>Схемотехническое проектирование ЭКБ. Методы описания линейного четырехполюсника. Импульсная и амплитудно-частотная характеристики линейного</p>	Самостоятельная работа	Экзамен

		<p>четырёхполюсника. S-, Y-, Z-, H- и G-параметры четырёхполюсника. Особенности описания нелинейного четырёхполюсника. Эквивалентные схемы базовых полупроводниковых элементов: диода, биполярного транзистора, полевого транзистора.</p> <p>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.</p> <p>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 деградиационные (постепенные) отказы. Методы выявления потенциально ненадежных приборов и микросхем. Ускоренные испытания и имитационные методы испытаний.</p>		
6	Радиационная стойкость изделий электроники и наноэлектроники	<p>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.</p> <p>Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом. Виды ионизирующего излучения. Ионизационные потери ядерных частиц. Дефектообразование. Ядерные реакции.</p> <p>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.</p> <p>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.</p>	Самостоятельная работа	Экзамен
7	Физические эффекты в малоразмерных	Размерное квантование в гетероструктурах. Примеры структур с размерно-квантованным энергетическим спектром: квантовые ямы, квантовые нити и квантовые точки. Сверхрешетки. Туннелирование на одиночном	Самостоятельная работа	Экзамен

	<p>твердотельных структурах, специфические приборы нанoeлектроники и методы их изготовления, основные принципы создания приборов на квантовых эффектах</p>	<p>барьер. Двухбарьерная структура. Резонансно-туннельные диод и транзистор. Эффект Джозефсона. Транспортные явления в малоразмерных полупроводниковых структурах. Селективное легирование. Полевые транзисторы с высокой подвижностью электронов (HEMT). Гетеропереходный биполярный транзистор.</p> <p>Квантовый эффект Холла. Энергетический спектр носителей заряда в магнитном поле. Квантование холловского сопротивления двумерного электронного газа в магнитном поле. Дробный квантовый эффект Холла.</p> <p>Одноэлектроника. Квантование кулоновской энергии в мезоскопических системах. Явление кулоновской блокады при туннелировании через переходы с малой емкостью. Одноэлектронные транзисторы и схемы на их основе.</p> <p>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.</p>		
--	--	---	--	--

1. Образовательные технологии

Занятия по дисциплине проводят в лекционной форме и самостоятельной работе. На обзорной лекции объясняется порядок проведения экзамена, на что надо обратить внимание, ответы на вопросы.

Осуществляется подготовка к экзамену по вопросам в разделе 3. Содержание дисциплины.

2. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа аспирантов выполняется в следующих видах: в читальном зале библиотеки, в учебных лабораториях, компьютерных классах и в домашних условиях, с доступом к базам данных, к ресурсам Интернет.

Самостоятельная работа аспирантов обеспечивается учебно-методическими пособиями, учебной и научной литературой.

3. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

включающий:

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

Описание показателей и критериев оценивания компетенций приведены в приложении 1.

б. Критерии оценок экзамена:

Оценка *отлично* – исчерпывающее владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, твердое знание основных положений дисциплины, умение применять концептуальный аппарат при анализе актуальных проблем. Логически последовательные, содержательные, конкретные ответы на все

вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, свободное владение источниками.

Оценка *хорошо* – достаточно полные знания программного материала, правильное понимание сути вопросов, знание определений, умение формулировать тезисы и аргументы. Ответы последовательные и в целом правильные, хотя допускаются неточности, поверхностное знакомство с отдельными теориями и фактами, достаточно формальное отношение к рекомендованным для подготовки материалам.

Оценка *удовлетворительно* – фрагментарные знания, расплывчатые представления о предмете. Ответ содержит как правильные утверждения, так и ошибки, возможно, грубые. Испытуемый плохо ориентируется в учебном материале, не может устранить неточности в своем ответе даже после наводящих вопросов.

Оценка *неудовлетворительно* – отсутствие ответа хотя бы на один из основных вопросов, либо грубые ошибки в ответах, полное непонимание смысла проблем, не достаточно полное владение терминологией.

с. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций.

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- индивидуальное собеседование,
- письменные ответы на вопросы.

Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии:

- практические контрольные задания (далее – ПКЗ), включающих одну или несколько задач (вопросов) в виде краткой формулировки действий (комплекса действий), которые следует выполнить, или описание результата, который нужно получить.

По сложности ПКЗ разделяются на простые и комплексные задания.

Простые ПКЗ предполагают решение в одно или два действия. К ним можно отнести: простые ситуационные задачи с коротким ответом или простым действием; несложные задания по выполнению конкретных действий. Простые задания применяются для оценки умений. Комплексные задания требуют многоходовых решений как в типичной, так и в нестандартной ситуациях. Это задания в открытой форме, требующие поэтапного решения и развернутого ответа, в т.ч. задания на индивидуальное или коллективное выполнение проектов, на выполнение практических действий или лабораторных работ. Комплексные практические задания применяются для оценки владений.

Типы практических контрольных заданий:

- задания на установление правильной последовательности, взаимосвязанности действий, выяснения влияния различных факторов на результаты выполнения задания;

d. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций.

Экзаменационные билеты

Нижегородский государственный университет им. Н.И.Лобачевского

Кафедра _____

Дисциплина: Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

1. 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..
2. 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.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 2

1. 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.
2. 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).

е. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания приведены в фонде оценочных средств.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Вербицкий А.А., Ларионова О.Г. Личностный и компетентностный подходы в образовании. Проблемы интеграции М.: Логос, 2009. – Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=468261>.
2. Кравцова Е.Е. Психология и педагогика. Краткий курс: учебное пособие. Москва: Проспект, 2016. – Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=164706>.
3. Кравцова Е.Д. Логика и методология научных исследований [Электронный ресурс] : учеб.пособие / Е.Д. Кравцова, А.Н. Городищева. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. 168 с. - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=507377>.
4. Швец И.М. Дидактика высшей школы: учебно-методическое пособие. [Электронный ресурс] / И.М. Швец. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2014. 149 с. – Режим доступа: <http://www.unn.ru/books/resources.html> (фонд электронных публикаций ННГУ) – рег.87.14.01 от 10.11.14).

б) дополнительная литература:

1. Равен Дж. Компетентность в современном обществе: выявление, развитие и реализация /Пер. с англ. – М.: Когито-Центр, 2002.

2. Порядок издания учебной литературы в Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского – Н.Новгород: ННГУ, 2008. (http://phys.unn.ru/docs/poryadok_izdaniya.doc).
3. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования подготовки кадров высшей квалификации по направлению 11.06.01 – «Электроника, радиотехника системы связи», направленности 05.27.01 – «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах» (Приказ Минобрнауки РФ от 12 марта 2015 г. N 218, зарегистрировано в Минюсте РФ 7 апреля 2015 г. N 36765).
4. Приказ ректора ННГУ №411-ОД от 19.09.2016 г. «О порядке проведения государственной итоговой аттестации по программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре ННГУ» (<http://www.phd.unn.ru/files/2016/09/O-Poryadke-provedeniya-gosudarstvennoj-itogovoj-attestatsii-114-OD-ot-19-09-16.pdf>).

4. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения для проведения занятий: лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.06.01 ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА И СИСТЕМЫ СВЯЗИ (уровень подготовки кадров высшей квалификации).

Автор:

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

_____ Е.С. Демидов

Рецензент:

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

_____ В. А. Бурдов

Заведующий кафедрой физики полупроводников, электроники
и нанoeлектроники, д.ф.-м.н. профессор

_____ Д.А. Павлов

Программа рекомендована на заседании кафедры физики полупроводников, электроники
и нанoeлектроники от _____ года, протокол № _____

Программа одобрена на заседании методической комиссии физического факультета от
_____ года, протокол № _____

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

Планируемые результаты обучения*(показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
Знать: современные научные достижения и новые идеи при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.	Отсутствие знаний	Фрагментарное знание современных научных достижений и новые идеи при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.	В целом успешное знание современных научных достижений и новые идеи при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание современных научных достижений и новые идеи при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.	Успешное и систематическое знание современных научных достижений и новые идеи при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.
Уметь: критически анализировать и оценивать современные научные достижения при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.	Отсутствие умений	Частично освоенное умение критически анализировать и оценивать современные научные достижения при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.	В целом успешное, но не систематически осуществляемое умение критически анализировать и оценивать современные научные достижения при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение критически анализировать и оценивать современные научные достижения при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.	Сформированное умение критически анализировать и оценивать современные научные достижения при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.

Владеть: навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.	В целом успешное, но не систематическое применение навыков критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.	Успешное и систематическое применение навыков критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.
---	--------------------	---	---	---	--

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

Планируемые результаты обучения*(показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
Знать: технологии планирования в профессиональной деятельности в сфере научных исследований.	Отсутствие знаний	Фрагментарное знание технологии планирования в профессиональной деятельности в сфере научных исследований.	В целом успешное знание технологии планирования в профессиональной деятельности в сфере научных исследований.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание технологии планирования в профессиональной деятельности в сфере научных исследований.	Успешное и систематическое знание технологии планирования в профессиональной деятельности в сфере научных исследований.
Уметь: проектировать и осуществлять комплексные исследования в сфере научных исследований.	Отсутствие умений	Частично освоенное умение проектировать и осуществлять комплексные исследования в сфере научных исследований.	В целом успешное, но не систематически осуществляемое умение проектировать и осуществлять комплексные исследования в сфере научных исследований.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение проектировать и осуществлять комплексные исследования в сфере научных исследований.	Сформированное умение проектировать и осуществлять комплексные исследования в сфере научных исследований.
Владеть: технологиями планирования профессиональной деятельности и в сфере научных исследований	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение планирования в профессиональной деятельности и в сфере научных исследований	В целом успешное, но не систематическое применение планирования в профессиональной деятельности и в сфере научных исследований	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение планирования в профессиональной деятельности и в сфере научных исследований	Успешное и систематическое применение технологий планирования в профессиональной деятельности и в сфере научных исследований

		исследований	научных исследований	исследований	исследований
--	--	--------------	----------------------	--------------	--------------

ОПК-1 владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности

Планируемые результаты обучения*(показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
Знать: методологию теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности.	Отсутствия знаний	Фрагментарное знание методологии теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности.	В целом успешное знание методологии теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание методологии теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности.	Успешное и систематическое знание методологии теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности.
Уметь: спланировать теоретические и экспериментальные исследования в области профессиональной деятельности.	Отсутствия умений	Частично освоенное умение спланировать теоретические и экспериментальные исследования в области профессиональной деятельности.	В целом успешное, но не систематически осуществляемое умение спланировать теоретические и экспериментальные исследования в области профессиональной деятельности.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение спланировать теоретические и экспериментальные исследования в области профессиональной деятельности.	Сформированное умение спланировать теоретические и экспериментальные исследования в области профессиональной деятельности.
Владеть: методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности.	Отсутствия навыков	Фрагментарное применение методологии теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности.	В целом успешное, но не систематическое применение методологии теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение методологии теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности.	Успешное и систематическое применение методологии теоретических и экспериментальных исследований в области 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 нанoeлектроники, приборов на квантовых эффектах

Планируемые результаты обучения* (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
Знать: фундаментальные основы науки о современном состоянии в областях твердотельной электроники, радиокомпонентов, микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах.	Отсутстви е знаний	Фрагментарное знание фундаментальн ых основ науки о современном состоянии в областях твердотельной электроники, радиокомпонен тов, микро- и наноэлектрони ки, приборов на квантовых эффектах.	В целом успешное знание фундаментальны х основ науки о современном состоянии в областях твердотельной электроники, радиокомпонент ов, микро- и наноэлектроник и, приборов на квантовых эффектах.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание фундаментальных основ науки о современном состоянии в областях твердотельной электроники, радиокомпонентов, микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах.	Успешное и систематическое знание фундаментальных основ науки о современном состоянии в областях твердотельной электроники, радиокомпонент ов, микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах.
Уметь: 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.	Отсутстви е умений	Частично освоенное умение критически оценивать, анализировать, применять базовую информацию, современную научную, техническую и патентную литературу и пополнять научные знания в областях твердотельной электроники, радиокомпонен тов, микро- и наноэлектрони ки, приборов на квантовых эффектах.	В целом успешное, но не систематически осуществляемое умение критически оценивать, анализировать, применять базовую информацию, современную научную, техническую и патентную литературу и пополнять научные знания в областях твердотельной электроники, радиокомпонент ов, микро- и наноэлектроник и, приборов на квантовых эффектах.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение 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.	Сформированное умение критически оценивать, анализировать, применять базовую информацию, современную научную, техническую и патентную литературу и пополнять научные знания в областях твердотельной электроники, радиокомпонент ов, микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах.

<p>Владеть: основными навыками 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>	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение основных навыков 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.	В целом успешное, но не систематическое применение основных навыков критически оценивать, анализировать, применять базовую информацию, современную научную, техническую и патентную литературу и пополнять научные знания в областях твердотельной электроники, радиокомпонентов, микро- и нанoeлектроник и, приборов на квантовых эффектах.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение основных навыков критически оценивать, анализировать, применять базовую информацию, современную научную, техническую и патентную литературу и пополнять научные знания в областях твердотельной электроники, микро- и нанoeлектроники, приборов на квантовых эффектах.	Успешное и систематическое применение основных навыков 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.
---	--------------------	---	--	---	--