

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Луганский государственный университет имени Владимира Даля»**

**Институт технологий и инженерной механики
Кафедра микро- и наноэлектроники**

УТВЕРЖДАЮ

**Ректор
ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля»
В.Д. Рябичев
«*В.Д. Рябичев*» 2023 год**



ПРОГРАММА-МИНИМУМ

**кандидатского экзамена
по научной специальности**

**2.2.3. Технология и оборудование для производства материалов и
приборов электронной техники
(отрасль науки - технические науки)**

форма обучения:
очная

Луганск 2023

Составитель:

канд. техн. наук, зав. каф. микро- и нанoeлектроники Войтенко В.А.

Подпись  «14» 04 2023 года

Документ одобрен на заседании кафедры микро- и нанoeлектроники
от «14» 04 2023 года, протокол № 9

Документ утвержден на заседании Ученого совета университета
от «02» 06 2023 года, протокол № 9

Заведующий кафедрой
микро- и нанoeлектроники



В.А. Войтенко

СОГЛАСОВАНО:

Проректор по научной работе
и инновационной деятельности



В.А. Витренко

Заведующий отделом
аспирантуры и докторантуры



Ю.А. Артемова

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Согласно «Порядку подготовки и проведения кандидатских экзаменов по истории и философии науки, иностранному языку, специальной дисциплине» устанавливается порядок организации и регламент сдачи кандидатского экзамена по истории и философии науки основной образовательной программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования Луганской Народной Республики «Луганский государственный университет имени Владимира Даля».

Сдача кандидатского экзамена обязательна для присуждения ученой степени кандидата наук. Кандидатский экзамен по специальной дисциплине проводится до представления научно-квалификационной работы (диссертации) в совет по защите диссертаций.

Проведение кандидатского экзамена осуществляется с целью выявить уровень подготовленности аспиранта к самостоятельной научно-исследовательской работе и установить глубину профессиональных знаний соискателя ученой степени.

При прикреплении в качестве экстерна для прохождения промежуточной аттестации к сдаче кандидатского экзамена могут допускаться лица, имеющие высшее образование, подтвержденное дипломом специалиста или магистра.

Иностранные граждане, получающие образование в Университете, сдают кандидатский экзамен на общих основаниях.

Прием кандидатского экзамена у обучающихся с ограниченными возможностями здоровья осуществляется с учётом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких лиц и определяется порядком организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре Университета.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ «ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МАТЕРИАЛОВ И ПРИБОРОВ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ»

Целью кандидатского экзамена по специальной дисциплине «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники» является определение уровня специалиста высшей квалификации, способного к проведению самостоятельной научно-исследовательской работы по научной специальности 2.2.3. Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники.

Задачи:

– выявить степень готовности аспиранта к осуществлению научно-исследовательской деятельности в области технологии и оборудования для производства материалов и приборов электронной техники;

- определить уровень владения аспирантом теоретическими основами и экспериментальными данными по методам получения полупроводниковых материалов с заданными свойствами, оборудованию для выращивания монокристаллов, резки их на пластины, механической и химико-механической обработки;

– оценить умение аспиранта выбирать оптимальные условия для обработки материалов и методы контроля электрофизических свойств материалов электроники.

СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА

Тема 1. Физические и физико-химические основы электронной техники

Основы кристаллографии. Симметрия кристаллов и анизотропия их свойств. Атомные и ионные радиусы. Химическая связь. Соотношение ионных радиусов и структура кристаллов. Типы структур кристаллов. Структура и симметрия идеальных и реальных кристаллов; основные типы дефектов кристаллической структуры. Политипизм и полиморфизм. Термодинамика дефектов кристаллической решетки. Дефекты, вызванные инородными примесями. Влияние примесей на равновесие собственных дефектов.

Физико-химические основы процессов легирования. Изменение валентности примесных ионов. Механизмы диффузии. Элементы математического описания диффузионных процессов. Особенности, диффузии по вакансиям, дислокациям и по поверхности кристаллов. Дифракция в кристаллах и обратная решетка; упругие колебания в кристаллах, оптические и акустические фононы.

Диэлектрические и магнитные свойства твердых тел, оптические свойства, ферромагнетизм, сегнетоэлектричество, сверхпроводимость. Электрические свойства металлов, диэлектриков и полупроводников. Зонная теория идеальных и реальных полупроводников. Основные определения. Зонная структура энергетического спектра носителей заряда. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках. Поглощение и отражение света. Эффект Фарадея. Фотопроводимость. Фотоэффект. Эмиссия света из полупроводников. Полупроводники в сильном электрическом поле. Влияние сильного электрического поля на подвижность носителей заряда. Эффект Франца — Келдыша. Эффект Ганна. Поляризация диэлектриков и ее физическая сущность. неполярные и полярные диэлектрики. Проводимость диэлектриков и ее физическая природа. Диэлектрические потери и их природа.

Элементарные процессы зародышеобразования и роста кристаллов. Существующие теории роста на атомногладкой и атомношероховатой поверхности, теории нормального и непрерывного роста. Гетерогенные

равновесия. Условия стабильности и равновесия фаз. Типы диаграмм фазовых равновесий двух- и многокомпонентных систем. Понятие о фазах переменного состава. Отображение явлений нестехиометрии на диаграммах состояния. Р-Т-Х – диаграмма, как источник информации для получения кристаллов с заданным отклонением от стехиометрии.

Основные принципы термодинамики неравновесных процессов. Термодинамика неравновесных процессов технологии материалов электронной техники. Характеристика открытых и непрерывных систем. Основы физической химии высокодисперсных систем. Принципы создания наноконпозиционных материалов. Термодинамическая стабильность наноразмерных материалов. Фазовые и структурные переходы в сверхтонких (поверхностных) системах. Поверхность как особая область твердого тела. Идеальная и реальная поверхность твердого тела. Структурно-механические свойства поверхности: микро- и нанопероховатость, микро- и нанопористость, микротрещины, краевые и винтовые дислокации, точечные дефекты.

Физика процессов генерации плазмы в газовых разрядах: тлеющем, дуговом, высокочастотном (ВЧ) и сверхвысокочастотном (СВЧ). Электронная эмиссия. Основы электронной теории твердого тела, термоэлектронная, автоэлектронная, взрывная, вторично-электронная, фотоэлектронная эмиссия.

Тема 2. Материалы электронной техники и технологии их получения

Общая классификация материалов по составу, свойствам и техническому назначению. Физическая природа электропроводности металлов, сплавов, полупроводников, диэлектриков и композиционных материалов; сверхпроводящие металлы и сплавы; характеристика проводящих и резистивных материалов во взаимосвязи с их применением в электронной технике.

Элементарные полупроводники. Физико-химические, электрофизические и оптические свойства. Современные методы выращивания монокристаллов элементарных полупроводников. Полупроводниковые соединения АІІВV. Физико-химические, электрофизические и оптические свойства. Синтез и выращивание объемных монокристаллов соединений АІІВV в связи с Р-Т-Х диаграммами. Методы кристаллизации и легирования. Тройные диаграммы состояния АІІ ВV – примесь. Компенсация и получение полуизолирующих кристаллов. Специфика подготовки подложек различных соединений АІІВV. Применение соединений АІІВV в СВЧ-технике, оптоэлектронике, квантовой электронике.

Полупроводниковые соединения АІІВVІ и АІVВVІ. Физико-химические, электрофизические и оптические свойства. Синтез и выращивание монокристаллов соединений с двумя летучими компонентами. Методы выращивания монокристаллов из газовой фазы и из расплава. Эпитаксия соединений. Методы управления стехиометрическим составом. Аморфные полупроводники. Аморфный кремний и сплавы на его основе. Применение аморфного кремния в фотоэлектрических преобразователях. Физико-химические,

электрофизические и оптические свойства. Магнитные материалы. Металлы и сплавы, ферриты, магнитодиэлектрики, магнитные полупроводники, аморфные интерметаллические соединения. Магнитные пленки.

Материалы вакуумной электроники. Требования к чистоте материалов и их газосодержанию. Основные требования, предъявляемые к материалам для получения вакуумплотных соединений. Материалы оптоэлектроники. Излучательные свойства твердых тел. Излучение света в полупроводниках. Полупроводники с прямой и непрямой запрещенной зоной. Материалы акустоэлектроники. Пьезоэлектрики. Пьезоэлектрические свойства монокристаллов и текстурированных материалов. Сегнетоэлектрики.

Нanomатериалы. Современные технологические методы формирования наноструктурированных материалов. Методы литографии высокого разрешения. Эпитаксиальные методы. Электрохимические методы. Золь-гель технология. Методы молекулярного наслаивания. Органические материалы в электронной технике. Органические полимерные диэлектрики. Методы получения полимеров реакциями полимеризации и поликонденсации. Радикальные и ионные процессы. Типы органических полимеров, их строение и свойства.

Неорганические стекловидные диэлектрики в электронной технике и в микроэлектронике. Сверхпроводящие материалы. Кристаллическая структура и изотипический эффект. Эффект Джозефсона. Высокотемпературные керамические сверхпроводники. Технология изготовления. Фоторезисты. Определение и классификация. Требования к фоторезистам. Разрешающая способность и химическая стойкость. Основные фототехнические характеристики фоторезистов. Позитивные и негативные фоторезисты. Фотохимические реакции в процессе фотолитографии. Исходные вещества, используемые для производства монокристаллов и пленок. Особо чистые элементы и материалы, их роль в современной технике.

Тема 3. Физические основы приборов электронной техники

Свойства p-n перехода. Кинетические явления в полупроводниках. Электро- и теплопроводность полупроводников. Рассеяние носителей заряда. Эффект Холла. Магнетосопротивление. Диффузия носителей и примесей. Невыпрямляющие контакты. Работа выхода. Эмиссия электронов. Термо-ЭДС. Эффект Пельтье. Физические основы работы основных типов полупроводниковых приборов: диодов, биполярных и полевых транзисторов, тиристоров, диодов Ганна.

Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях; траектория движения частиц в комбинированных полях. Источники излучения. Физические основы работы лазеров. Газовые и твердотельные лазеры. Оптические волноводы. Принципы каналирования излучения. Волоконные, планарные и канальные волноводы. Способы управления оптическим излучением. Электрооптические эффекты, фотоупругий эффект, магнитооптический эффект. Принципы нелинейной оптики. Преобразование частоты оптического излучения в

волноводных структурах.

Пьезоэффект. Основные принципы акустоэлектроники. Принцип работы пьезоэлектрических резонаторов и монолитных пьезоэлектрических фильтров. Приборы с зарядовой связью. Физика работы. Области применения. Фотоэлектронные приборы, фотоприемники и солнечные батареи. Полупроводниковые фотоприемники, полупроводниковые датчики, сенсорные устройства и преобразователи. Принципы действия и характеристики. Квантово-размерные эффекты в полупроводниковых и диэлектрических нанокристаллах, их влияние на оптические свойства (люминесценция, поглощение, фононные спектры, двулучепреломление). Оптоэлектронные приборы на основе наноструктурированных полупроводников (квантовые точки и нити). Фотонные кристаллы.

Элементы микросистемной техники. Микромеханические сенсоры. Механические конструкции: объемные, мембранные, балочные, струнные. Виды преобразователей: пьезоэлектрические, тензорезистивные, емкостные. Датчики на основе микромеханических преобразователей: давления, расхода, пульсаций, смещения, силы, ускорения, крена, микрогироскопы, микрофоны.

Тема 4. Технология получения структур микроэлектроники

Методы эпитаксии кремния из газовой фазы. Легирование и автолегирование. Особенности выращивания структур со скрытыми слоями. Газофазная эпитаксия. Хлоридный, хлоридно-гидридный и МОС-гидридный методы. Жидкостная эпитаксия и области ее применения.

Структуры для СВЧ-транзисторов, диодов Ганна и Шоттки. Особенности получения тонких слоев с заданной неоднородностью распределения примесей. Структуры со скрытыми слоями. Получение структур с диэлектрическими и поликристаллическими слоями. Получение структур «кремний на изоляторе» (КНИ). Методы формирования КНИ структур. Методы прямого и непрямого срачивания для формирования структур КНИ. Структуры полупроводник-диэлектрик. Методы получения и основные электрофизические свойства структур диэлектрик-германий. Структуры диэлектрик – антимоноид индия. Технология получения структур электрохимическим окислением. Электрофизические свойства структур. Структуры оптоэлектроники. Технология получения гетероструктур для лазеров и светодиодов.

Процессы толсто пленочной технологии. Приготовление порошков и паст для проводников и резисторов на основе палладия, серебра, золота, рутения, иридия, кадмия. Процесс ионного распыления материалов. Особенности распыления металлов и диэлектриков. Зависимость коэффициентов распыления различных факторов. Применение ионно-плазменных распылительных систем для нанесения и травления материалов. Методы нанесения тонких пленок в вакууме: вакуум-термический, термоионный, электронно-лучевой, ионно-плазменный (с использованием разрядов на постоянном токе (ПТ), а также ВЧ и СВЧ разрядов), с помощью автономных ионных источников. Магнетронные распылительные

системы. Активные индикаторы. Электронно-лучевые трубки, светоизлучающие диоды, электролюминесцентные, газоразрядные индикаторы. Нанотехнология. Современные технологические методы формирования наноструктур.

Тема 5. Методы исследования материалов и элементов электронной техники

Методы измерения электрических параметров полупроводников. Измерение подвижности, удельного сопротивления, концентрации носителей, доноров и акцепторов. Методы исследования реальной структуры кристаллов, определения фазового состава, прецизионного измерения параметров решетки. Методы изучения объемных дефектов. Дифракция медленных электронов. Обратное рассеяние ионов. Исследование строения поверхностных слоев монокристаллов. Метод Берга-Барретта. Оценка совершенства кристаллов с помощью двухкристального спектрометра. Оптические методы металлографических исследований. Наблюдение объектов в поляризованном свете. Топография поверхности. Наблюдение микродефектов поверхности эпитаксиальных слоев. Принципы двухлучевой и многолучевой интерферометрии их применение.

Методы определения химического состава. Химические методы анализа: экстракция, хроматография, полярография, потенциометрия. Объемный анализ. Гравиметрия. Спектральный анализ. Атомно-адсорбционный анализ. Люминисцентный метод. Молекулярная спектроскопия. Методы определения деформаций в структурах микроэлектроники. Определение тензора деформаций с помощью двухкристальной рентгеновской дифрактометрии. Методы исследования наноструктур. Электронная микроскопия. Оптика ближнего поля. Туннельная и атомно-силовая микроскопия.

6. Технология и оборудование производства изделий электронной техники

Современные тенденции развития технологии СБИС и УБИС. Нанотехнология. Основные требования технологии к разрабатываемому технологическому оборудованию (ТО), направления развития ТО. Особенности проектирования многомодульного (кластерного) оборудования. Системы контроля и управления процессами обработки в технологическом оборудовании нанесения и травления материалов.

Проектирование транспортного и манипуляционного оборудования по критериям минимальной привносимой дефектности. Микромеханика и мехатроника в составе прецизионного оборудования электронной техники. Проблемы комплексной автоматизации производства на современном уровне. Технико-экономический анализ технологического и производственного процесса. Системный подход к организации современного полупроводникового производства и разработке ТО. Математическое моделирование и системы автоматизации проектирования (САПР) как основа создания высокоэффективных технических систем.

Методология проектирования технических систем. Основные компоненты и процедурная модель проектирования. Формализация основных процедур проектирования. Обеспечение и поддержание в чистых помещениях среды с заданными параметрами. Проблема привносимой дефектности при производстве СБИС. Экологические аспекты субмикронной и нанотехнологии. Модели выхода годных СБИС. Образование и распространение аэрозольных частиц в технологических объемах микроэлектроники. Механизм разрушения трущихся поверхностей и интенсивность генерации загрязняющих частиц узлами технологического оборудования.

Способы формирования электронных потоков различной интенсивности (электронные пушки и прожекторы), транспортировка электронного потока и способы ограничения его поперечных размеров. Системы регулирования параметров пучка. Преобразование энергии электронного потока в другие виды энергии: способы, основанные на взаимодействии с внешними электромагнитными полями, энергетический эффект взаимодействия; способы, основанные на взаимодействии с твердыми телами и структурами, эффекты взаимодействия (катодолюминисценция, катодоусиление, рентгеновское излучение, нагрев).

Методы очистки исходных материалов и структур; оборудование, применяемое для очистки. Технология и оборудование для выращивания монокристаллов. Особенности конструктивного выполнения ТО, его основных узлов и систем. Особенности выращивания из расплава элементарных полупроводников. Оптимизация равномерного распределения легирующих примесей в монокристаллах. Технология и оборудование получения полупроводникового кремния и германия.

Технология и оборудование для получения тонких пленок в вакууме: вакуум-термическое испарение, электронно-лучевое испарения, высокочастотное распыление диэлектриков, ПТ и ВЧ магнетронное распыление, реактивное ионное распыление, осаждение пленок в плазме из парогазовых смесей. Особенности проектирования, расчета и моделирования узлов и систем технологического оборудования нанесения пленок. Методы и оборудование осаждения пленок сложного состава, реактивное распыление материалов. Технология и оборудование для получения эпитаксиальных слоев. Принципиальные схемы проведения эпитаксиальных процессов. Промышленные методы эпитаксиального наращивания и виды применяемого оборудования.

Технология и оборудование для создания р-п переходов. Методы получения р-п переходов, гетеропереходов и переходов металл-полупроводник. Диффузионные методы легирования. Ионное легирование (имплантация). Оборудование для процессов ионной имплантации. Основы технологии контактной, дуговой, холодной сварки и пайки. Методы получения вакуумноплотных соединений. Клеевые соединения. Методы контроля герметичности. Оборудование для создания межсоединений и герметизации готовых приборов. Методы и технология откачки и газозаполнения

электровакуумных и газоразрядных приборов. Откачка удалением и связыванием. Криогенная откачка. Вакуумное технологическое оборудование для формирования остаточной вакуумной среды в электронных приборах.

Термохимическое оборудование в производстве электровакуумных и полупроводниковых приборов. Принципы расчета и проектирования. Электротермические устройства и системы. Принципы расчета и проектирования. Оборудование для получения диффузионных и диэлектрических слоев в термопечах. Требования процессов диффузии, окисления и осаждения из парогазовых смесей к ТО. Методы и оборудование травления микроструктур: ионное, реактивное ионное и плазмохимическое с использованием постоянного тока, ВЧ и СВЧ разрядов. Технология и оборудование электрофизических и электрохимических методов обработки. Прецизионное электроэрозионное оборудование для обработки деталей электронных приборов.

Основы проектирования и расчета элементов газовых систем. Элементы, используемые в газовых системах термических установок и их гидродинамические характеристики. Контрольно-измерительное и испытательное оборудование. Современные принципы автоматизации технологических процессов измерения и контроля в процессе многооперационной обработки. Современное аналитическое вакуумное оборудование. Методы получения высокого вакуума. Вторично-ионные масс-спектрометры, Оже-спектрометры, оборудование, использующее рентгеновское и лазерное излучение.

Литографические процессы в производстве полупроводниковых приборов. Анализ точности литографического процесса и определение требований к ТО. Оборудование оптической литографии (генераторы изображений, фотоповторители, установки совмещения и экспонирования и др.). Влияние дифракции и aberrаций оптических систем на качество изображения. Электронная литография. Классификация и принципиальные схемы электронно-лучевых и проекционных установок электронной литографии. Влияние различных факторов на качество изображения: aberrаций, рассеяния электронов, эффектов близости и т.д. Основные проблемы создания и внедрения рентгеновского литографического оборудования.

Ионно-лучевая литография (ИЛЛ). Направления развития ТО ИЛЛ и особенности создания систем экспонирования коллимированным ионным пучком (ИП), острое/фокусированным ИП и систем модульной ионной проекции изображения. Основные требования технологических процессов сварки и пайки к ТО сборки монтажа микросхем. Конструктивное выполнение установок, основных узлов и систем. Автоматизация монтажно-сборочного оборудования микроэлектроники. Адаптивные основы управления. Системы автоматической ориентации. Автоматизация проволоочного монтажа. Основные виды контрольно-измерительных операций на различных стадиях изготовления полупроводниковых приборов и шаблонов. Контролируемые параметры, методы и приборы неразрушающего контроля. Технологические микросистемы. Компоненты технологических микро-систем: микроклапаны, микронасосы, микродозаторы,

микросмесители, мик-росепараторы, микротранспортеры, микрореакторы.

ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ К КАНДИДАТСКОМУ ЭКЗАМЕНУ

1. Основы кристаллографии. Симметрия кристаллов и анизотропия их свойств.
2. Структура и симметрия идеальных и реальных кристаллов; основные типы дефектов кристаллической структуры.
3. Дефекты, вызванные инородными примесями. Влияние примесей на равновесие собственных дефектов.
4. Механизмы диффузии. Элементы математического описания диффузионных процессов.
5. Диэлектрические и магнитные свойства твердых тел, оптические свойства, ферромагнетизм, сегнетоэлектричество, сверхпроводимость.
6. Электрические свойства металлов, диэлектриков и полупроводников.
7. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках.
8. Поляризация диэлектриков и ее физическая сущность.
9. Элементарные процессы зародышеобразования и роста кристаллов.
10. Гетерогенные равновесия. Условия стабильности и равновесия фаз.
11. Понятие о фазах переменного состава. Отображение явлений нестехиометрии на диаграммах состояния.
12. Основные принципы термодинамики неравновесных процессов.
13. Основы физической химии высокодисперсных систем.
14. Поверхность как особая область твердого тела.
15. Основы кинетической теории газов.
16. Физика процессов генерации плазмы в газовых разрядах: тлеющем, дуговом, высокочастотном (ВЧ) и сверхвысокочастотном (СВЧ).
17. Электронная эмиссия.
18. Общая классификация материалов по составу, свойствам и техническому назначению.
19. Элементарные полупроводники.
20. Полупроводниковые соединения.
21. Получение широкозонных материалов.
22. Аморфные полупроводники.
23. Магнитные материалы.
24. Материалы вакуумной электроники.
25. Материалы оптоэлектроники.
26. Материалы акустоэлектроники.
27. Современные технологические методы формирования наноструктурированных материалов.
28. Органические материалы в электронной технике.
29. Неорганические стекловидные диэлектрики в электронной технике и в микроэлектронике.
30. Сверхпроводящие материалы.

31. Фоторезисты.
32. Исходные вещества, используемые для производства монокристаллов и пленок.
33. Свойства р-п перехода.
34. Источники излучения. Физические основы работы лазеров.
35. Оптические волноводы.
36. Способы управления оптическим излучением.
37. Пьезоэффект. Основные принципы акустоэлектроники.
38. Приборы с зарядовой связью.
39. Фотоэлектронные приборы, фотоприемники и солнечные батареи.
40. Квантово-размерные эффекты в полупроводниковых и диэлектрических нанокристаллах, их влияние на оптические свойства.
41. Элементы микросистемной техники.
42. Методы эпитаксии кремния из газовой фазы. Легирование и автолегирование.
43. Структуры для СВЧ-транзисторов, диодов Ганна и Шоттки.
44. Структуры со скрытыми слоями.
45. Получение структур «кремний на изоляторе» (КНИ).
46. Структуры полупроводник-диэлектрик.
47. Структуры оптоэлектроники.
48. Процессы толстопленочной технологии.
49. Процесс ионного распыления материалов.
50. Применение ионно-плазменных распылительных систем для нанесения и травления материалов.
51. Методы нанесения тонких пленок в вакууме.
52. Активные индикаторы.
53. Методы измерения электрических параметров полупроводников.
54. Методы исследования реальной структуры кристаллов, определения фазового состава, прецизионного измерения параметров решетки.
55. Исследование строения поверхностных слоев монокристаллов.
56. Оптические методы металлографических исследований.
57. Методы определения химического состава.
58. Методы определения деформаций в структурах микроэлектроники.
59. Методы исследования наноструктур.
60. Современные тенденции развития технологии СБИС и УБИС.
61. Особенности проектирования многомодульного (кластерного) оборудования.
62. Проектирование транспортного и манипуляционного оборудования по критериям минимальной привносимой дефектности.
63. Проблемы комплексной автоматизации производства на современном уровне.
64. Системный подход к организации современного полупроводникового производства и разработке ТО.
65. Методология проектирования технических систем.
66. Обеспечение и поддержание в чистых помещениях среды с заданными параметрами.

67. Образование и распространение аэрозольных частиц в технологических объемах микроэлектроники.
68. Преобразование энергии электронного потока в другие виды энергии.
69. Технология и оборудование для выращивания монокристаллов.
70. Технология и оборудование для получения эпитаксиальных слоев.
71. Технология и оборудование для создания р-п переходов.
72. Основы технологии контактной, дуговой, холодной сварки и пайки.
73. Электротермические устройства и системы.
74. Методы и оборудование травления микроструктур.
75. Технология и оборудование электрофизических и электрохимических методов обработки.
76. Основы проектирования и расчета элементов газовых систем.
77. Контрольно-измерительное и испытательное оборудование.
78. Современное аналитическое вакуумное оборудование.
79. Литографические процессы в производстве полупроводниковых приборов.
80. Оборудование оптической литографии.
81. Электронная литография.
82. Основные проблемы создания и внедрения рентгеновского литографического оборудования.
83. Ионно-лучевая литография.
84. Основные виды контрольно-измерительных операций на различных стадиях изготовления полупроводниковых приборов и шаблонов.
85. Технологические микросистемы.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА

Кандидатский экзамен по специальной дисциплине «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники» проводится в период экзаменационной сессии во время промежуточной аттестации аспирантов. Дата и место проведения кандидатского экзамена доводится до сведения аспиранта отделом аспирантуры не позднее, чем за две недели.

Кандидатский экзамен по специальной дисциплине может быть принят вне сроков проведения промежуточной аттестации у аспиранта, подготовившего научно-квалификационную работу (диссертацию) для ее представления в совет по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, по ходатайству профильной кафедры по решению ректора на основании личного заявления аспиранта/экстерна.

Решение экзаменационной комиссии оформляется протоколом, в котором указываются: наименование и дата проведения кандидатского экзамена, номер и дата приказа которым утвержден состав экзаменационной комиссии, код и наименование направления, направленности подготовки по которым сдавался кандидатский экзамен, направление, профиль, шифр и

наименование научной специальности, по которой подготавливается диссертация, оценка уровня знаний экзаменуемого по каждому вопросу билета и кандидатскому экзамену в целом, фамилия, имя, отчество (последнее – при наличии), ученая степень, ученое звание и должность каждого члена экзаменационной комиссии, вопросы (задания), которые получил экзаменуемый во время экзамена.

Протокол заседания экзаменационной комиссии оформляется на каждого экзаменуемого, подписывается присутствующими на экзамене членами комиссии и утверждается председателем экзаменационной комиссии. Протокол заседания экзаменационной комиссии в день приема экзамена сдается в отдел аспирантуры для хранения.

Список экзаменуемых оформляется в экзаменационных ведомостях и предоставляется вместе с протоколами в отдел аспирантуры.

Решение экзаменационной комиссии оглашается в день проведения кандидатского экзамена.

Уровень знаний аспиранта при сдаче кандидатских экзаменов оценивается на "отлично", "хорошо", "удовлетворительно", "неудовлетворительно".

Решение по оценке уровня знаний экзаменуемого принимается на закрытом заседании экзаменационной комиссии открытым голосованием большинством присутствующих членов экзаменационной комиссии. При равенстве голосов решающим является голос председателя экзаменационной комиссии.

Повторная сдача кандидатского экзамена в течение одной сессии не допускается.

В случае неявки экзаменуемого на кандидатский экзамен по уважительной причине, он может быть допущен к сдаче экзамена в период текущей промежуточной аттестации по согласованию с проректором по научной работе и инновационной деятельности университета.

Пересдача экзамена осуществляется при существенном изменении профиля подготовленной научно-квалификационной работы (диссертации).

Сдача кандидатского экзамена подтверждается выдаваемой на основании решения экзаменационной комиссии справкой об обучении или периоде обучения, срок действия которой неограничен.

Сданный по специальной дисциплине кандидатский экзамен действителен только в том случае, если специальность не изменила свое название согласно номенклатуре специальностей научных работников.

Ранее сданные кандидатские экзамены по научной специальности, название которой изменилось, не засчитываются.

Подготовка и проведение кандидатского экзамена регламентируется «Порядком подготовки и проведения кандидатских экзаменов по истории и философии науки, иностранному языку, специальной дисциплине».

Кандидатский экзамен по специальной дисциплине проводится в два

этапа. Первый этап экзамена – подготовка ответов на три вопроса экзаменационного билета. Время подготовки - 60 минут.

Второй этап – устный ответ на вопросы экзаменационного билета и беседа с экзаменаторами по вопросам, связанным с научной специальностью и научной работой.

В экзаменационную ведомость и зачетную книжку выставляются оценки по шкале, приведенной в таблице.

Шкала оценивания	Характеристика знания предмета и ответов
отлично (5)	Обучающийся глубоко и в полном объёме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично излагает его в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач.
хорошо (4)	Обучающийся знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач.
удовлетворительно (3)	Обучающийся знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно чёткие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет умениями и навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30 % ошибок в излагаемых ответах.
неудовлетворительно (2)	Обучающийся не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки в доказательствах, в трактовке понятий и категорий, проявляет низкую культуру знаний, не владеет основными умениями и навыками при выполнении практических задач. Обучающийся отказывается от ответов на дополнительные вопросы

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ «ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МАТЕРИАЛОВ И ПРИБОРОВ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ»

Основная литература:

1. Акчурина Р.Х. МОС-гидридная эпитаксия в технологии материалов фотоники и электроники [Электронный ресурс] / Акчурина Р.Х., Мармалюк А.А. - М.: Техносфера, 2018. - 488 с. - ISBN 978-5-94836-521-3 - Текст: электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. - Режим доступа:

<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785948365213.html>

2. Достанко А.П. Технологические комплексы интегрированных процессов производства изделий электроники [Электронный ресурс]: монография / А.П. Достанко [и др.]. - Минск: Беларуская навука, 2016. - 252 с. - ISBN 978-985-08-1993-2. - Текст: электронный. - URL:

<https://new.znaniy.com/catalog/product/1066905>

3. Зевайль А. Трехмерная электронная микроскопия в реальном времени [Электронный ресурс]: Учебное пособие / А. Зевайль, Д. Томас; Пер. с англ. А.В. Сухова. - Долгопрудный: Интеллект, 2013. - 328 с.: ил.; 60x90 1/16. (обложка) ISBN 978-5-91559-102-7 - Режим доступа: <http://znaniy.com/catalog/product/438915>

4. Дементьев, А. Н. Метаматериалы в радиоэлектронике : от исследований к разработкам / А. Н. Дементьев, А. О. Жуков, В. К. Ильков, В. Р. Скрынский. - Москва : Техносфера, 2023. - 248 с. - ISBN 978-5-94836-674-6. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785948366746.html>

Дополнительная литература:

1. Каменская А.В. Основы технологии материалов микроэлектроники [Электронный ресурс] /Каменская А.В. - Новосиб.: НГТУ, 2010. - 96 с.: ISBN 978-5-7782-1420-0. - Режим доступа:

<http://znaniy.com/bookread2.php?book=546218&spec=1>

2. Космическая электроника. В 2-х книгах. Книга 1. [Электронный ресурс] / А. И. Белоус, В. А. Солодуха, С. В. Шведов. - Москва : Техносфера, 2021. Режим доступа: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785948365763.html>

3. Келсалл Р. Научные основы нанотехнологий и новые приборы [Электронный ресурс]: Учебник-монография / Под ред. Келсалл Р. - Долгопрудный: Интеллект, 2011. - 528 с. ISBN 978-5-91559-048-8 - Режим доступа: <http://znaniy.com/catalog/product/319358>

4. Мишина Е.Д. Методы получения и исследования наноматериалов и наноструктур. Лабораторный практикум по нанотехнологиям [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Мишина Е.Д., - 5-е изд., (эл.) - М.: Лаборатория знаний, 2017. - 187 с.: ISBN 978-5-00101-473-7 - Режим доступа: <http://znaniy.com/catalog/product/502584>

Интернет-ресурсы:

1. Министерство образования и науки Российской Федерации – <http://минобрнауки.рф/>

2. Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации – <http://www.mnr.gov.ru/>

3. Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки – <http://obrnadzor.gov.ru/>

4. Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования – <http://fgosvo.ru>

5. Федеральный портал «Российское образование» – <http://www.edu.ru/>

6. Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» – <http://window.edu.ru/>

7. Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов – <http://fcior.edu.ru/>

Электронные библиотечные системы и ресурсы:

1. Электронно-библиотечная система «Консультант студента» – <http://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>

2. Электронно-библиотечная система «StudMed.ru» – <https://www.studmed.ru>

Информационный ресурс библиотеки образовательной организации

1. Научная библиотека имени А. Н. Коняева – <http://biblio.dahluniver.ru/>

Лист изменений и дополнений

№ п/п	Виды дополнений и изменений	Дата и номер протокола заседания кафедры (кафедр), на котором были рассмотрены и одобренны изменения и дополнения	Подпись (с расшифровкой) заведующего кафедрой (заведующих кафедрами)