



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГУ»)

АКТУАЛИЗИРОВАНО
решением ученого совета ИЭЭ
протокол №7 от 16.04.2024

УТВЕРЖДАЮ

Директор

Института электроэнергетики и
электроники

Р.В.Ахметова

«30» мая 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.ДЭ.02.02.05 Нанoeлектроника

Направление подготовки	<u>11.03.04 Электроника и нанoeлектроника</u>
Направленность (профиль)	<u>Материалы и технологии электроники</u> <u>Бакалавр</u>
Квалификация	

г. Казань, 2023

Программу разработал(и):

Наименование кафедры	Должность, уч.степень, уч.звание	ФИО разработчика
МВТМ	Доцент, к.т.н.	Бунтин А.Е.
МВТМ	Доцент, к.х.н.	Янова О.Ю.

Согласование	Наименование подразделения	Дата	№ протокола	Подпись
Одобрена	МВТМ	19.04.2023	9	_____ Зав.каф., д.х.н., доц. Давлетбаев Р. С.
Согласована	Учебно-методический совет ИЭЭ	30.05.2023	№7	_____ Директор, к.т.н., доц. Ахметова Р.В.
Одобрена	Ученый совет ИЭЭ	30.05.2023	№9	_____ Директор, к.т.н., доц. Ахметова Р.В.

1. Цель, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

Целью освоения дисциплины «Наноэлектроника» является формирование у обучающихся знаний о фундаментальных физических эффектах, имеющих место в наноструктурах; научной основы для использования полученных знаний при создании элементов, приборов и устройств микроэлектроники и наноэлектроники.

Задачами дисциплины являются:

- изучение принципов функционирования и характеристик наноэлектронных устройств на базе квантово-размерных структур;
- изучение законов физики низкоразмерных структур для последующего использования их при создании приборов наноэлектроники, твердотельной электроники и в технологии микро- и наноэлектроники.

Компетенции и индикаторы, формируемые у обучающихся:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора
ПК-1 – Способен использовать на практике знания о структуре, свойствах, назначении и технологиях получения материалов, наноструктур	ПК-1.1 – Применяет знания о структуре, физико-химических свойствах, технологиях материалов и наноструктур при исследовании их параметров и модификации
	ПК-1.2 – Осуществляет анализ, обобщение и систематизацию результатов исследований, технической документации, инноваций в области наноматериалов и наноструктур, методов и оборудования для измерений их параметров

2. Место дисциплины в структуре ОП

Предшествующие дисциплины (модули), практики, НИР, др. физика, химия, материаловедение, структура и свойства материалов электроники, наноматериалы и нанотехнологии

Последующие дисциплины (модули), практики, НИР, др. методы исследования наноструктур и наноматериалов, производственная практика (научно-исследовательская работа)

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Структура дисциплины

Для очной формы обучения

Вид учебной работы	Всего ЗЕ	Всего часов	Семестр(ы)
			6
ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ	5	180	180
КОНТАКТНАЯ РАБОТА*	-	67	67

АУДИТОРНАЯ РАБОТА	1,34	48	48
Лекции	0,67	24	24
Практические (семинарские) занятия	0,67	24	24
Лабораторные работы	-	-	-
САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ	3,66	132	132
Проработка учебного материала	2,66	96	96
Курсовой проект	-	-	-
Курсовая работа	-	-	-
Подготовка к промежуточной аттестации	1	36	36
Промежуточная аттестация:			Э

3.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и видам занятий

Разделы дисциплины	Всего часов	Распределение трудоемкости по видам учебной работы				Формы и вид контроля	Индексы индикаторов формируемых компетенций
		лекции	лаб. раб.	пр. зан.	сам. раб.		
Раздел 1	48	8		8	32	ТК1	ПК-1.1-3
Раздел 2	48	8		8	32	ТК2	ПК-1.1-3, У,Н ПК-1.2-3
Раздел 3	48	8		8	32	ТК3	ПК-1.1-3, У,Н ПК-1.2-3, У,Н
Экзамен	36				36	ОМ1	ПК-1.1-3, У,Н ПК-1.2-3, У,Н
ИТОГО	180	24		24	132		

3.3. Содержание дисциплины

Раздел 1. Физические основы наноэлектроники и элементы квантовой физики. Полупроводниковые структуры в электронике и наноэлектронике.

Тема 1.1. Наноэлектроника как область современной электроники. Этапы развития наноэлектроники. Понятие о наносистемной технике.

Тема 1.2. Связь электроники и квантовой физики. Основные представления квантовой механики. Квантовая модель атома. Понятие о потенциальных ямах и барьерах. Микрочастица в прямоугольной потенциальной яме. Туннельный эффект. Энергетический спектр кристалла. Собственная электропроводность полупроводников. Примесная электропроводность полупроводников

Тема 1.3. Эффект компенсации примесных уровней. Энергетические зоны на границе дырочного и электронного полупроводников. Понятие

эффективной массы электрона. Неравновесная электропроводность собственного полупроводника.

Тема 1.4. Полупроводниковые материалы в твердотельной электронике. Зависимость электропроводности полупроводников от температуры.

Тема 1.5. Роль полупроводниковых структур в микро- и оптоэлектронике. Электронно-дырочный переход и его свойства. Транзисторы. Элементы оптоэлектроники. Гетеропереходы. P-n-переход как схемный элемент ИМС.

Тема 1.6. Квантоворазмерные эффекты. Простейшие виды низкоразмерных объектов. Квантовые точки, квантовые ямы, квантовые нити. Энергетический спектр электронов и плотность электронных состояний в низкоразмерных областях. Резонансный туннельный эффект. Полупроводниковые сверхрешетки. Одноэлектронные устройства. Некоторые явления и устройства нанoeлектроники, устройства молекулярной электроники.

Раздел 2. Наноматериалы и нанотехнологии в электронике

Тема 2.1. Основные направления развития современной нанотехнологии. Основные подходы к изготовлению структур в нанотехнологиях.

Тема 2.2. Эпитаксиальные методы получения наноструктур. Нанолитография. Технологические процессы получения углеродных нанотрубок. Методы получения графена. Методы формирования сверхрешеток

Раздел 3. Современные методы исследования микро- и наноструктур

Тема 3.1. Зондовые нанотехнологии. Эффект туннелирования и его применение в приборах для исследования наноструктур. Туннельная микроскопия.

Тема 3.2. Физические основы, принцип действия, возможности. Атомно-силовая микроскопия. Техническая реализация. Физические основы и принцип действия.

3.4. Тематический план практических занятий

1. Квантово-размерные эффекты
2. Низкоразмерные структуры
3. Квантовые ямы и гетеропереходы
4. Проводимость низкоразмерных структур
5. Резонансное, дноэлектронное, спин-контролируемое туннелирование
6. Кинетические эффекты в двумерных системах
7. Устройство и принцип действия приборов на основе квантово-размерных эффектов
8. Наноматериалы в электронике
9. Нанотехнологии в электронике
10. Современные методы исследования микро- и наноструктур
11. Гигантское магнитосопротивление
12. Изучение свойств одномерных структур

3.5. Тематический план лабораторных работ

Данный вид работы не предусмотрен учебным планом.

3.6. Курсовой проект /курсовая работа

Данный вид работы не предусмотрен учебным планом.

4. Оценивание результатов обучения

Оценивание результатов обучения по дисциплине осуществляется в рамках текущего контроля и промежуточной аттестации, проводимых по балльно-рейтинговой системе (БРС).

Шкала оценки результатов обучения по дисциплине:

Код компетенции	Код индикатора компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Уровень сформированности индикатора компетенции			
			Высокий	Средний	Ниже среднего	Низкий
			от 85 до 100	от 70 до 84	от 55 до 69	от 0 до 54
			Шкала оценивания			
			отлично	хорошо	удовлетворительно	неудовлетворительно
			зачтено		не зачтено	
ПК-1	ПК-1.1	знать: структуру, физико-химические свойства, технологии наноструктур, включая процессы модификации их свойств				
		Знает в полном объеме структуру, физико-химические свойства, технологии наноструктур, включая процессы модификации их свойств	Знает с негрубыми ошибками структуру, физико-химические свойства, технологии наноструктур, включая процессы модификации их свойств	Знает не в полном объеме структуру, физико-химические свойства, технологии наноструктур, включая процессы модификации их свойств	Не знает структуру, физико-химические свойства, технологии наноструктур, включая процессы модификации их свойств	
		уметь: проводить измерения параметров наноматериалов и наноструктур				
		Продемонстрированы все основные умения проводить измерения параметров наноматериалов и наноструктур	С недочетами продемонстрированы все основные умения проводить измерения параметров наноматериалов и наноструктур	Продемонстрированы не в полном объеме умения проводить измерения параметров наноматериалов и наноструктур	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения проводить измерения параметров наноматериалов	

					лов и наноструктур
		владеть: навыками теоретического и экспериментального исследования параметров наноструктур			
		Без ошибок и недочетов продемонстрированы навыки теоретического и экспериментального исследования параметров наноструктур	С негрубыми ошибками и недочетами продемонстрированы навыки теоретического и экспериментального исследования параметров наноструктур	Имеется минимальный набор навыков теоретического и экспериментального исследования параметров наноструктур	При решении стандартных задач не продемонстрированы навыки теоретического и экспериментального исследования параметров наноструктур
ПК-1	ПК-1.2	знать: основные методы модификации и измерения свойств наноматериалов и наноструктур; назначение, устройство и принципы действия оборудования для измерения и модификации свойств наноматериалов и наноструктур			
		Знает в полном объеме основные методы модификации и измерения свойств наноматериалов и наноструктур; назначение, устройство и принципы действия оборудования для измерения и модификации свойств наноматериалов и наноструктур	Знает с негрубыми ошибками и недочетами основные методы модификации и измерения свойств наноматериалов и наноструктур; назначение, устройство и принципы действия оборудования для измерения и модификации свойств наноматериалов и наноструктур	Знает не в полном объеме основные методы модификации и измерения свойств наноматериалов и наноструктур; назначение, устройство и принципы действия оборудования для измерения и модификации свойств наноматериалов и наноструктур	Не знает основные методы модификации и измерения свойств наноматериалов и наноструктур; назначение, устройство и принципы действия оборудования для измерения и модификации свойств наноматериалов и наноструктур
		уметь: выполнять анализ, обобщение и систематизацию результатов исследований, технической документации, инноваций в области			

наноматериалов и наноструктур				
	Продемонстрированы все основные умения выполнять анализ, обобщение и систематизацию результатов исследований, технической документации, инноваций в области наноматериалов и наноструктур	С недочетами продемонстрированы все основные умения выполнять анализ, обобщение и систематизацию результатов исследований, технической документации, инноваций в области наноматериалов и наноструктур	Продемонстрированы не в полном объеме умения выполнять анализ, обобщение и систематизацию результатов исследований, технической документации, инноваций в области наноматериалов и наноструктур	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения выполнять анализ, обобщение и систематизацию результатов исследований, технической документации, инноваций в области наноматериалов и наноструктур
владеть: навыками проведения статистического анализа и составления протоколов измерений параметров наноматериалов и наноструктур				
	Без ошибок и недочетов продемонстрированы навыки проведения статистического анализа и составления протоколов измерений параметров наноматериалов и наноструктур	С негрубыми ошибками и недочетами продемонстрированы навыки проведения статистического анализа и составления протоколов измерений параметров наноматериалов и наноструктур	Имеется минимальный набор навыков проведения статистического анализа и составления протоколов измерений параметров наноматериалов и наноструктур	При решении стандартных задач не продемонстрированы навыки проведения статистического анализа и составления протоколов измерений параметров наноматериалов и наноструктур

Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации приведены в Приложении к рабочей программе дисциплины.

Полный комплект заданий и материалов, необходимых для оценивания результатов обучения по дисциплине, хранится на кафедре разработчика.

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1. Учебно-методическое обеспечение

5.1.1. Основная литература

1. Филиппов, В. В. Физические основы наноэлектроники: учебное пособие / В. В. Филиппов. – Липецк : Липецкий ГПУ, 2018. – 160 с. – ISBN 978-5-88526-948-3. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/115011> – Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Лозовский, В. Н. Нанотехнологии в электронике. Введение в специальность: учебное пособие / В. Н. Лозовский, С. В. Лозовский. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 332 с. – ISBN 978-5-8114-3986-7. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/206276> – Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Игнатов, А. Н. Микросхемотехника и наноэлектроника: учебное пособие / А. Н. Игнатов. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 528 с. – ISBN 978-5-8114-1161-0. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/210695>. – Режим доступа: для авториз. пользователей.

5.1.2. Дополнительная литература

1. Дробот, П. Н. Наноэлектроника: учебное пособие / П. Н. Дробот. – Москва : ТУСУР, 2016. – 286 с. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/> – Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Смирнов, В. И. Физические основы нанотехнологий и наноматериалы: учебное пособие / В. И. Смирнов. – Ульяновск : УлГТУ, 2017. – 240 с. – ISBN 978-5-9795-1731-5. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/165058>. – Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Кирчанов, В. С. Наноматериалы и нанотехнологии: учебное пособие / В. С. Кирчанов. – Пермь : ПНИПУ, 2016. – 241 с. – ISBN 978-5-398-01617-8. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/160880> – Режим доступа: для авториз. пользователей.

5.2. Информационное обеспечение

5.2.1. Электронные и интернет-ресурсы

1	Процессы получения наночастиц и наноматериалов	https://openedu.ru/course/misis/NANOMAT/?session=spring_2023
2	Строение вещества: от атомов и молекул до материалов и наночастиц	https://openedu.ru/course/spbu/CHEM2/

3	Наноконпозиты для фотоники	https://openedu.ru/course/spbu/CHEM2/
4	Физика микроэлектронных структур	https://openedu.ru/course/mephi/mephi_fms/
5	Методы молекулярной динамики в многоуровневом моделировании	https://openedu.ru/course/mephi/mephi_mdmitmsm/?session=spring_

5.2.2. Профессиональные базы данных / Информационно-справочные системы

1	Nano	nano.nature.com
2	Платформа SpringerLink	www.link.springer.com
3	SpringerMaterials	www.materials.springer.com
4	КиберЛенинка	https://cyberleninka.ru/
5	База данных рефератов и цитирования Scopus издательства Elsevier	http://www.scopus.com
6	Универсальная реферативная база данных научных публикаций Web of Science компании Thomson Reuters	http://webofknowledge.com/
7	Полнотекстовый доступ к журналу Science (The American Association for the Advancement of Science (AAAS))	http://www.sciencemag.org/
8	eLIBRARY - научная электронная библиотека периодических изданий	http://www.elibrary.ru

5.2.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение дисциплины

№ п/п	Наименование программного обеспечения	Описание	Реквизиты подтверждающих документов
1	LMS Moodle	ПО для эффективного онлайн-взаимодействия преподавателя и студента	Свободная лицензия Неискл. право. Бессрочно
2	nanoHUB	Программа для моделирования геометрию, электронные свойства и явления электрического переноса в различных наноструктурах	Свободная лицензия
3	Nanotube	Модельер нанотрубок	Свободная лицензия
4	Ninithi (Нинити)	программное обеспечение для моделирования углеродных нанотрубок, графена и	Свободная лицензия

		фуллерена	
5	Materials Design MedeA, Materials Square	облачная веб-платформа для моделирования материалов	Свободная лицензия

6. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Наименование вида учебной работы	Наименование учебной аудитории, специализированной лаборатории	Перечень необходимого оборудования и технических средств обучения
Лекции	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа	Специализированная учебная мебель, технические средства обучения, служащие для представления учебной информации большой аудитории (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран), демонстрационное оборудование, учебно-наглядные пособия
Практические занятия	Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Специализированная учебная мебель, технические средства обучения (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран) и др.
	Компьютерный класс с выходом в Интернет В-600а	Специализированная учебная мебель на 30 посадочных мест, 30 компьютеров, технические средства обучения (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран), видеокамеры, программное обеспечение
Самостоятельная работа	Компьютерный класс с выходом в Интернет В-600а	Специализированная учебная мебель на 30 посадочных мест, 30 компьютеров, технические средства обучения (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран), видеокамеры, программное обеспечение
	Читальный зал библиотеки	Специализированная мебель, компьютерная техника с возможностью выхода в Интернет и обеспечением доступа в ЭИОС, экран, мультимедийный проектор, программное обеспечение

7. Особенности организации образовательной деятельности для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Лица с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) и инвалиды имеют возможность беспрепятственно перемещаться из одного учебно-лабораторного корпуса в другой, подняться на все этажи учебно-лабораторных корпусов, заниматься в учебных и иных помещениях с учетом особенностей психофизического развития и состояния здоровья.

Для обучения лиц с ОВЗ и инвалидов, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата, обеспечены условия беспрепятственного доступа во

все учебные помещения. Информация о специальных условиях, созданных для обучающихся с ОВЗ и инвалидов, размещена на сайте университета www//kgeu.ru. Имеется возможность оказания технической помощи ассистентом, а также услуг сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушенным слухом справочного, учебного материала по дисциплине обеспечиваются следующие условия:

- для лучшей ориентации в аудитории, применяются сигналы оповещения о начале и конце занятия (слово «звонок» пишется на доске);
- внимание слабослышащего обучающегося привлекается педагогом жестом (на плечо кладется рука, осуществляется нерезкое похлопывание);
- разговаривая с обучающимся, педагогический работник смотрит на него, говорит ясно, короткими предложениями, обеспечивая возможность чтения по губам.

Компенсация затруднений речевого и интеллектуального развития слабослышащих обучающихся проводится путем:

- использования схем, диаграмм, рисунков, компьютерных презентаций с гиперссылками, комментирующими отдельные компоненты изображения;
- регулярного применения упражнений на графическое выделение существенных признаков предметов и явлений;
- обеспечения возможности для обучающегося получить адресную консультацию по электронной почте по мере необходимости.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушениями зрения справочного, учебного, просветительского материала, предусмотренного образовательной программой по выбранному направлению подготовки, обеспечиваются следующие условия:

- ведется адаптация официального сайта в сети Интернет с учетом особых потребностей инвалидов по зрению, обеспечивается наличие крупношрифтовой справочной информации о расписании учебных занятий;
- педагогический работник, его собеседник (при необходимости), присутствующие на занятии, представляются обучающимся, при этом каждый раз называется тот, к кому педагогический работник обращается;
- действия, жесты, перемещения педагогического работника коротко и ясно комментируются;
- печатная информация предоставляется крупным шрифтом (от 18 пунктов), тотально озвучивается;
- обеспечивается необходимый уровень освещенности помещений;
- предоставляется возможность использовать компьютеры во время занятий и право записи объяснений на диктофон (по желанию обучающихся).

Форма проведения текущей и промежуточной аттестации для обучающихся с ОВЗ и инвалидов определяется педагогическим работником в соответствии с учебным планом. При необходимости обучающемуся с ОВЗ, инвалиду с учетом их индивидуальных психофизических особенностей дается возможность пройти промежуточную аттестацию устно, письменно на бумаге, письменно на компьютере, в форме тестирования и т.п., либо

предоставляется дополнительное время для подготовки ответа.

8. Методические рекомендации для преподавателей по организации воспитательной работы с обучающимися.

Методическое обеспечение процесса воспитания обучающихся выступает одним из определяющих факторов высокого качества образования. Преподаватель вуза, демонстрируя высокий профессионализм, эрудицию, четкую гражданскую позицию, самодисциплину, творческий подход в решении профессиональных задач, в ходе образовательного процесса способствует формированию гармоничной личности.

При реализации дисциплины преподаватель может использовать следующие методы воспитательной работы:

- методы формирования сознания личности (беседа, диспут, внушение, инструктаж, контроль, объяснение, пример, самоконтроль, рассказ, совет, убеждение и др.);

- методы организации деятельности и формирования опыта поведения (задание, общественное мнение, педагогическое требование, поручение, приучение, создание воспитывающих ситуаций, тренинг, упражнение, и др.);

- методы мотивации деятельности и поведения (одобрение, поощрение социальной активности, порицание, создание ситуаций успеха, создание ситуаций для эмоционально-нравственных переживаний, соревнование и др.)

При реализации дисциплины преподаватель должен учитывать следующие направления воспитательной деятельности:

Гражданское и патриотическое воспитание:

- формирование у обучающихся целостного мировоззрения, российской идентичности, уважения к своей семье, обществу, государству, принятым в семье и обществе духовно-нравственным и социокультурным ценностям, к национальному, культурному и историческому наследию, формирование стремления к его сохранению и развитию;

- формирование у обучающихся активной гражданской позиции, основанной на традиционных культурных, духовных и нравственных ценностях российского общества, для повышения способности ответственно реализовывать свои конституционные права и обязанности;

- развитие правовой и политической культуры обучающихся, расширение конструктивного участия в принятии решений, затрагивающих их права и интересы, в том числе в различных формах самоорганизации, самоуправления, общественно-значимой деятельности;

- формирование мотивов, нравственных и смысловых установок личности, позволяющих противостоять экстремизму, ксенофобии, дискриминации по социальным, религиозным, расовым, национальным признакам, межэтнической и межконфессиональной нетерпимости, другим негативным социальным явлениям.

Духовно-нравственное воспитание:

- воспитание чувства достоинства, чести и честности, совестливости, уважения к родителям, учителям, людям старшего поколения;

- формирование принципов коллективизма и солидарности, духа милосердия и сострадания, привычки заботиться о людях, находящихся в трудной жизненной ситуации;

- формирование солидарности и чувства социальной ответственности по отношению к людям с ограниченными возможностями здоровья, преодоление психологических барьеров по отношению к людям с ограниченными возможностями;

- формирование эмоционально насыщенного и духовно возвышенного отношения к миру, способности и умения передавать другим свой эстетический опыт.

Культурно-просветительское воспитание:

- формирование эстетической картины мира;

- формирование уважения к культурным ценностям родного города, края, страны;

- повышение познавательной активности обучающихся.

Научно-образовательное воспитание:

- формирование у обучающихся научного мировоззрения;

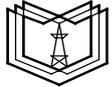
- формирование умения получать знания;

- формирование навыков анализа и синтеза информации, в том числе в профессиональной области.

Вносимые изменения и утверждения на новый учебный год

№ п/п	№ раздела внесения изменений	Дата внесения изменений	Содержание изменений	«Согласовано» Зав. каф. реализующей дисциплину	«Согласовано» председатель УМК института (факультета), в состав которого входит выпускающая
1	2	3	4	5	6
1					
2					
3					

*Приложение к рабочей
программе дисциплины*



КГЭУ

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)**

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
по дисциплине**

Б1.В.ДЭ.02.02.05 Нанoeлектроника

г. Казань, 2023

			Шкала оценивания			
			отлично	хорошо	удовлетворительно	неудовлетворительно
			зачтено			не зачтено
ПК-1	ПК-1.1	знать: структуру, физико-химические свойства, технологии наноструктур, включая процессы модификации их свойств				
			Знает в полном объеме структуру, физико-химические свойства, технологии наноструктур, включая процессы модификации их свойств	Знает с негрубыми ошибками структуру, физико-химические свойства, технологии наноструктур, включая процессы модификации их свойств	Знает не в полном объеме структуру, физико-химические свойства, технологии наноструктур, включая процессы модификации их свойств	Не знает структуру, физико-химические свойства, технологии наноструктур, включая процессы модификации их свойств
		уметь: проводить измерения параметров наноматериалов и наноструктур				
			Продемонстрированы все основные умения проводить измерения параметров наноматериалов и наноструктур	С недочетами продемонстрированы все основные умения проводить измерения параметров наноматериалов и наноструктур	Продемонстрированы не в полном объеме умения проводить измерения параметров наноматериалов и наноструктур	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения проводить измерения параметров наноматериалов и наноструктур
		владеть: навыками теоретического и экспериментального исследования параметров наноструктур				
			Без ошибок и недочетов продемонстрированы навыки теоретического и экспериментального исследования параметров наноструктур	С негрубыми ошибками и недочетами продемонстрированы навыки теоретического и экспериментального исследования параметров наноструктур	Имеется минимальный набор навыков теоретического и экспериментального исследования параметров наноструктур	При решении стандартных задач не продемонстрированы навыки теоретического и экспериментального исследования параметров наноструктур

					р
ПК-1	ПК-1.2	<p>знать: основные методы модификации и измерения свойств наноматериалов и наноструктур; назначение, устройство и принципы действия оборудования для измерения и модификации свойств наноматериалов и наноструктур</p>			
		<p>Знает в полном объеме основные методы модификации и измерения свойств наноматериалов и наноструктур; назначение, устройство и принципы действия оборудования для измерения и модификации свойств наноматериалов и наноструктур</p>	<p>Знает с неточностями и недочетами основные методы модификации и измерения свойств наноматериалов и наноструктур; назначение, устройство и принципы действия оборудования для измерения и модификации свойств наноматериалов и наноструктур</p>	<p>Знает не в полном объеме основные методы модификации и измерения свойств наноматериалов и наноструктур; назначение, устройство и принципы действия оборудования для измерения и модификации свойств наноматериалов и наноструктур</p>	<p>Не знает основные методы модификации и измерения свойств наноматериалов и наноструктур; назначение, устройство и принципы действия оборудования для измерения и модификации свойств наноматериалов и наноструктур</p>
		<p>уметь: выполнять анализ, обобщение и систематизацию результатов исследований, технической документации, инноваций в области наноматериалов и наноструктур</p>			
		<p>Продемонстрированы все основные умения выполнять анализ, обобщение и систематизацию результатов исследований, технической документации, инноваций в области наноматериалов и наноструктур</p>	<p>С недочетами продемонстрированы все основные умения выполнять анализ, обобщение и систематизацию результатов исследований, технической документации, инноваций в области наноматериалов и наноструктур</p>	<p>Продемонстрированы не в полном объеме умения выполнять анализ, обобщение и систематизацию результатов исследований, технической документации, инноваций в области наноматериалов и наноструктур</p>	<p>При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения выполнять анализ, обобщение и систематизацию результатов исследований, технической документации, инноваций в области наноматериалов и наноструктур</p>

					лов и наноструктур	наноматериалов и наноструктур
владеть: навыками проведения статистического анализа и составления протоколов измерений параметров наноматериалов и наноструктур						
			Без ошибок и недочетов продемонстрированы навыки проведения статистического анализа и составления протоколов измерений параметров наноматериалов и наноструктур	С негрубыми ошибками и недочетами продемонстрированы навыки проведения статистического анализа и составления протоколов измерений параметров наноматериалов и наноструктур	Имеется минимальный набор навыков проведения статистического анализа и составления протоколов измерений параметров наноматериалов и наноструктур	При решении стандартных задач не продемонстрированы навыки проведения статистического анализа и составления протоколов измерений параметров наноматериалов и наноструктур

Оценка **«отлично»** выставляется за выполнение тестовых заданий; ответы на вопросы тем практических и лекционных занятий (разделов), выполнение реферативной работы в полном объеме и ответы на вопросы экзаменационного билета. При ответе на вопрос билета должно быть продемонстрировано прочное знание основных процессов изучаемой предметной области, глубина и полнота раскрытия темы (вопроса), владение терминологическим аппаратом, умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа;

Оценка **«хорошо»** выставляется за выполнение тестовых заданий; ответы на вопросы тем практических и лекционных занятий (разделов), выполнение реферативной работы и ответы на вопросы экзаменационного билета. Оценивается ответ, обнаруживающий прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа. Допускается неточности в ответе на вопросы билета и при выполнении заданий текущего контроля.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется за выполнение не в полном объёме тестовых заданий; ответы на вопросы тем практических и лекционных занятий (разделов), выполнение реферативной работы и ответы на вопросы экзаменационного билета. Оценивается ответ, свидетельствующий, в основном, о знании процессов изучаемой предметной области, отличающийся недостаточной глубиной и полнотой раскрытия темы; знанием основных вопросов теории; слабо сформированными навыками анализа явлений, процессов, недостаточным умением давать аргументированные ответы и приводить примеры; недостаточно свободным владением монологической речью, логичностью и последовательностью ответа. Допускается несколько ошибок в содержании ответа.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется за слабое и неполное выполнение тестовых заданий; практических заданий; контрольной работы; защиту лабораторных в устно-письменной форме и ответы на вопросы экзаменационного билета.

3. Перечень оценочных средств

Краткая характеристика оценочных средств, используемых при текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающегося по дисциплине:

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Описание оценочного средства
Тест (Тест)	Система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося	Комплект тестовых заданий
Опрос по разделам (темам)	Знание основных понятий темы/раздела/дисциплины	Перечень определений основных понятий темы/дисциплины
Реферат (Рфр)	Продукт самостоятельной работы студента, представляющий собой краткое изложение в письменном виде полученных результатов теоретического анализа определенной научной (учебно-исследовательской) темы	Темы рефератов
Собеседование (Сбс)	Средство контроля, организованное как специальная беседа преподавателя с обучающимся на темы, свя-занные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по определённому разделу, теме, проблеме и т.п.	Вопросы по разделам дисциплины

4. Перечень контрольных заданий или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков, характеризующих

этапы формирования компетенций в процессе освоения дисциплины

Пример задания

Для текущего контроля ТК1 :

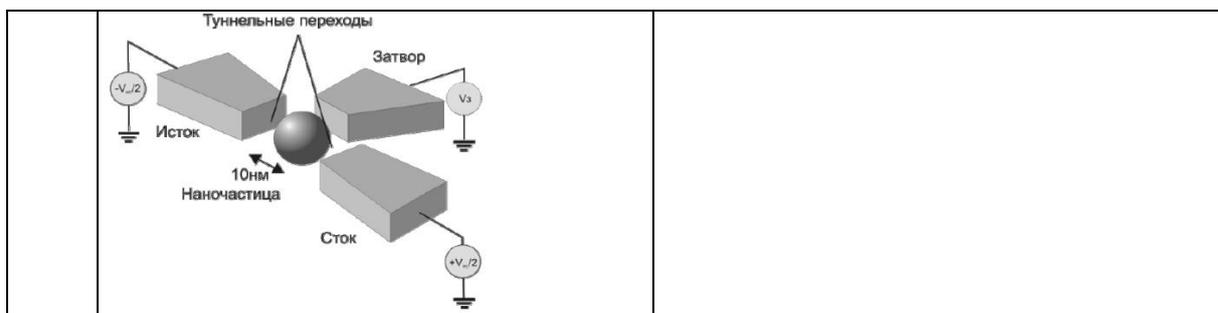
Проверяемая компетенция: ПК-1 – Способен использовать на практике знания о структуре, свойствах, назначении и технологиях получения материалов, наноструктур. ПК-1.1 – Применяет знания о структуре, физико-химических свойствах, технологиях материалов и наноструктур при исследовании их параметров и модификации

Тест

Примеры тестовых заданий

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	1 нм равен...	1. 10^{-9} м 2. 10 мкм 3. 10^{-10} м 4. 10^3 м
2	Степень интеграции микросхемы – это ...	1. число электронных компонентов, расположенных на одном кристалле. 2. расстояния между элементами на кристалле. 3. это взаимосвязь проектирования и технологии производства интегральных схем. 4. характеристика производственного процесса
3	Дефектами кристаллов являются ...	1. вакансии, атомы в междоузлиях кристаллической решетки. 2. кристаллическая решетка 3. атомы в узлах кристаллической решетки 4. все вышеперечисленное.
4.	Подвижность носителей заряда характеризует...	1. амплитуду колебаний ионов в узлах кристаллической решетки. 2. интенсивность движения носителей. 3. энергию электронов. 4. среднюю скорость движения носителей под действием электрического поля единичной напряженности.
5	Что такое квантовая точка?	1. квант, находящийся в электромагнитном поле 2. нанобъект одного материала, находящийся на матрице из другого материала 3. элементарная структура квантового излучения 4. наноразмерный разрыв в электромагнитном излучении

6	Почему квантовые точки называют искусственными атомами?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Квантовая точка, как и атом, имеет ядро 2. Квантовая точка может вступать в химические реакции подобно атомам 3. Квантовая точка имеет размеры атома 4. В квантовой точке движение ограничено в трёх направлениях и энергетический спектр полностью дискретный, как в атоме
7	Обращаются ли в нуль волновые функции на границе квантовой ямы?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Да 2. Нет 3. Вопрос поставлен некорректно 4. Ответ зависит от ширины квантовой ямы
8	Одноэлектронное туннелирование в условиях кулоновской блокады было впервые рассмотрено....	<ol style="list-style-type: none"> 1. А.Геймом и Л.Новоселовым 2. Д.Авериным и К. Лихаревым 3. Ж.Алферовым 4. У. Томсоном
9	Блокирование прохождения электронов через квантовую точку (включенную между двумя туннельными контактами), обусловленное отталкиванием электронов в контактах от электрона на квантовой точке, а также дополнительным кулоновским потенциальным барьером, который создает электрон, закрепившийся на точке – это...	<ol style="list-style-type: none"> 1. туннельный эффект 2. эффект блокирования электрона 3. эффект Кулоновской блокады 4. эффект Мейснера
10	Квантовым ограничением называют ...	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ограничение движения электронов (дырок) в низкоразмерной структуре, приводящее (вследствие их квантово-волновой природы) к ненулевому минимальному значению их энергии и к дискретности энергий разрешенных состояний 2. Квантово-механическое явление преодоления частицей потенциального барьера в случае, когда ее энергия меньше высоты потенциального барьера 3. это квантовые структуры, где движение носителей ограничено не в одном, а в двух направлениях 4. это квантовые структуры, где движение носителей ограничено в трех направлениях
11	Схема устройства какого прибора представлена на рисунке?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Биполярного транзистора 2. Туннельного диода 3. Одноэлектронного транзистора 4. Генератора



Вопросы для опроса по разделам (темам)

Перечень вопросов:

1. Почему нанoeлектроника является областью современной электроники?
2. Какая область линейных размеров объектов нанoeлектроники?
3. В чем заключается основная задача нанoeлектроники?
4. Каковы пределы применимости физических принципов и возможностей технологии, на которых основана классическая микроэлектроника?
5. Технологии нанoeлектроники
6. Что такое квантово-размерный эффект?
7. Перечислить основные виды квантово-размерных эффектов
8. Причины возникновения дискретного спектра электронов в ограниченном пространстве?
9. При каком условии возможно наблюдение квантово-размерного эффекта?
10. Что такое квантовое ограничение?
11. Каким образом формируются квантовые ямы в полупроводниковых структурах на основе арсенида галлия?

Для текущего контроля ТК2 :

Проверяемая компетенция: ПК-1 – Способен использовать на практике знания о структуре, свойствах, назначении и технологиях получения материалов, наноструктур. ПК-1.1 – Применяет знания о структуре, физико-химических свойствах, технологиях материалов и наноструктур при исследовании их параметров и модификации; ПК-1.2 – Осуществляет анализ, обобщение и систематизацию результатов исследований, технической документации, инноваций в области наноматериалов и наноструктур, методов и оборудования для измерений их параметров

Вопросы для опроса по разделам (темам)

Перечень вопросов:

1. Какие существенные трудности возникают при создании транзисторов на основе нанотрубок?
2. Что представляет собой явление баллистического транспорта электронов?
3. Чем определяется быстродействие транзистора?
4. Почему графеновые транзисторы и баллистические транзисторы

могут работать при частотах в несколько десятков ТГц?

5. Какие предъявляются требования к материалам при формировании структуры баллистического транзистора?

6. Что такое двумерный электронный газ?

7. Какое явление лежит в основе принципа действия баллистического транзистора с отклоняющим полем?

8. Что представляет собой структура графена?

9. Каким образом на примере графена реализуется связь строение - свойства?

10. Что представляют собой носители заряда в графене?

11. Чем обусловлена исключительно высокая подвижность носителей заряда?

12. По какой причине графен является материалом с исключительно высокой подвижностью носителей заряда?

13. Благодаря каким свойствам графен имеет перспективы применения в электронике?

Реферат

Перечень тем рефератов:

- классификация низкоразмерных структур и наноматериалов;
- свойства наночастиц и материалов с наночастицами;
- основные положения квантовой механики, используемые в наноэлектронике;
- элементы зонной теории и транспортные явления в наноразмерных структурах;
- сверхрешетки;
- плотность энергетических состояний в низкоразмерных объектах;
- одноэлектроника;
- физические основы спинтроники.
- основные методы нанотехнологии;
- гетеропленки;
- формирование полупроводниковых и металлических нановолокон и спиралей;
- наногофрированные структуры;
- технология создания квантовых точек;
- нанопечатная лирография;
- ионный синтез наноструктур;
- полимерные наноматериалы, органические проводники и полупроводники.
- технология сверхтонких пленок металлов и диэлектриков;
- методы зондовой нанотехнологии;
- технология самоорганизации наноструктур;
- технология фотонных кристаллов;
- свойства и математические модели двумерных структур;
- свойства и математические модели одномерных структур и

материалов;

- свойства углеродных наноструктур;
- момент импульса и спин;
- магнитный резонанс;
- тунельный переход через потенциальный барьер;
- квантовые потенциальные ямы.
- интерференционные эффекты в наноструктурах;
- молекулярно-лучевая эпитаксия;
- газофазная эпитаксия из металлоорганических соединений;
- формирование структур на основе коллоидных растворов;
- золь-гель технология;
- атомно-слоевое осаждение;
- нанормообразование;
- кремневые транзисторы с изолированным затвором;
- гетеротранзисторы;
- КНИ-транзисторы;
- транзисторы на структурах SiGe;
- многозатворные транзисторы;
- гетероструктурный транзистор на квантовых точках;
- нанотранзисторы на основе углеродных нанотрубок;
- нанотранзисторы на основе графена;
- спиновый нанотранзистор;
- молекулярно-лучевая эпитаксия;
- газофазная эпитаксия из металлоорганических соединений;
- формирование структур на основе коллоидных растворов;
- золь-гель технология;
- атомно-слоевое осаждение;
- нанормообразование;
- основные тенденции исследования физические свойства

наноструктур;

- основные технологические направления развития и наноструктурированных материалов;

- гетерогенные процессы и их роль в технологических процессах формирования наноструктур и развития наноэлектронной базы;

- тенденции развития технологий полупроводниковых материалов в наноэлектронике;

- тенденции развития углеродных наноматериалов в наноэлектронике;

- технологии нанормообразования и их роль в развитии наноэлектроники;

- перспективные наноэлектронные приборы и устройства;

- тенденции развития зондовой нанотехнологии ее применение в наноэлектронике;

- использование достижений технологии самоорганизации структур в развитии наноэлектроники;

- значение технологии фотонных кристаллов для современных

тенденций развития нанoeлектроники;

- значение технологии полимерных материалов в совершенствовании нанoeлектронных приборов и устройств;

- пленочные технологии поверхностно-активных веществ в нанoeлектронике;

- тенденции развития нанотранзисторных структур на традиционных материалах;

- нанотранзисторные структуры на новых технологиях;

- тенденции развития нанoeлектроники и обеспечивающих технологий;

- спинтроника, потенциальные возможности и тенденции развития;

- перспективы создания квантовых компьютеров;

- перспективы молекулярных технологий в нанoeлектронике.

Для текущего контроля ТКЗ :

Проверяемая компетенция: ПК-1 – Способен использовать на практике знания о структуре, свойствах, назначении и технологиях получения материалов, наноструктур. ПК-1.1 – Применяет знания о структуре, физико-химических свойствах, технологиях материалов и наноструктур при исследовании их параметров и модификации; ПК-1.2 – Осуществляет анализ, обобщение и систематизацию результатов исследований, технической документации, инноваций в области наноматериалов и наноструктур, методов и оборудования для измерений их параметров

Вопросы для опроса по разделам (темам)

Перечень вопросов:

1. Какие преимущества дает технология атомной сборки ячеек для элементов памяти?

2. Что такое мемристор и каково его назначение?

3. Какие преимущества разрабатываемых в настоящее время ячеек памяти перед существующими чипами флэш-памяти?

4. Для каких целей необходима модернизация существующих систем хранения информации?

5. Какие существуют принципы построения логических элементов?

6. Какие существуют недостатки и ограничения при применении метода атомной сборки ячеек для элементов памяти?

7. Перечислите современные методы исследования микро- и наноструктур

8. Как объяснить, что физико-химический анализ является методом научного исследования и обеспечения качества и эффективности производства электронных средств?

9. На каком явлении основан метод туннельной микроскопии?

10. Какими методами можно исследовать поверхность и тонкие пленки на поверхности кристаллов?

11. Какие методы относятся к методам исследования поверхности?

12. Какую информацию позволяет получить сканирующий туннельный

микроскоп?

Собеседование (Сбс)

Перечень вопросов к собеседованию:

1. В чём выражаются компромиссы миниатюризации?
2. Основная идея скейлинга.
3. Чем диктуются пределы скейлинга?
4. При миниатюризации каких областей возрастает роль межсоединений?
5. К чему приводит миниатюризация линии межсоединения?
6. Какие переменные входят в качестве аргументов в волновую функцию электрона, находящегося в потенциальной яме?
7. Перечислите квантовые числа, определяющие состояние электрона в атоме, и укажите их физический смысл.
8. Как математически определяется возможность одновременного измерения параметров квантового объекта с произвольной точностью?
9. Что представляет собой эффект размерного квантования?
10. Поясните причину возникновения дискретных уровней энергии электрона в квантовой яме, исходя из представления о волновой природе электрона.
11. В чём состоит отличие микрочастиц от макрочастиц?
12. Как образуются наноразмерные объекты с пониженной размерностью?
13. Что понимают под квантовой ямой, квантовой нитью, квантовой точкой?
14. Какая гетероструктура является типичным примером эффекта размерного квантования?
15. Какими параметрами определяется электрическая проводимость нанонитей при баллистическом движении электронов?
16. Почему тонкие плёнки являются примером структуры с двумерным электронным газом?
17. Что представляют собой искусственные периодические структуры и почему их называют сверхрешётками?
18. Изобразите энергетические диаграммы сверхрешеток различного типа.
19. Что понимают под композиционной сверхрешёткой?
20. Что понимают под легированной сверхрешёткой?
21. Качественно изобразите волновую функцию электрона при туннельном переходе через потенциальный барьер.
22. В чём состоит физическая причина образования энергетических минизон в сверхрешетках?
23. Опишите процесс кулоновской блокады.
24. В чём состоит эффект гигантского магнетосопротивления?
25. Какова возможная структура, в которой наблюдается эффект гигантского магнетосопротивления?
26. Что такое резонансное туннелирование?

27. Каким условиям должны удовлетворять полупроводниковые слои для образования туннельно-резонансной структуры?

28. Нарисуйте вольт-амперную характеристику (ВАХ) туннельно-резонансной структуры и

поясните физические причины ее характерных особенностей.

29. Каковы практические применения процесса туннелирования электрона?

30. Каково применение эффекта резонансного туннелирования в двухбарьерной квантовой структуре?

31. Какова структура и основные свойства ДБКС?

32. Как реализуется резонансное туннелирование в РТД?

33. Каковы особенности ПТ с резонансным туннелированием?

34. Каков механизм одноэлектронного туннелирования?

35. Что такое кулоновская блокада и каков ее механизм?

36. Каковы свойства двухбарьерных одноэлектронных структур?

37. Какова структура и каков принцип функционирования одноэлектронного транзистора?

38. Какие физические явления объясняют ВАХ одноэлектронного транзистора?

39. Каковы устройство и принцип работы кремниевого одноэлектронного транзистора с двумя затворами на одиночной КТ?

40. Объяснить ВАХ кремниевого одноэлектронного транзистора с двумя затворами.

41. Объяснить работу инверторов на одноэлектронных транзисторах в логических интегральных схемах.

42. Что представляют собой углеродные нанотрубки и каковы идеи создания на их основе электронных устройств?_

Вопросы к экзамену

Примерный перечень вопросов/заданий к экзамену

1. Что необходимо понимать под «структурами со сверхмалыми размерами»?
2. Какое основное содержание закона Мура?
3. Что такое степень интеграции электронных элементов на чипе?
4. Какая существует связь между размерами элементов интегральных схем и физическими принципами их функционирования?

5. Каковы пределы применимости физических принципов и возможностей технологии, на которых основана классическая микроэлектроника?
6. Что такое квантово-размерный эффект?
8. Что собой представляет сверхрешетка?
7. В какой квантовой структуре движение электронов ограничено во всех трех направлениях?
9. Какие существуют методы получения квантовых нитей и квантовых точек?
10. Какие существуют перспективы и возможности использования квантовых точек?
11. Какую роль играют рассеивающие дефекты в структуре баллистического транзистора?
12. Какой вид имеет вольт-амперная характеристика одноэлектронного транзистора?
13. Принцип действия каких транзисторов основан на квантово-размерном эффекте с образованием квантовых ям?
14. В чем заключается явление одноэлектронного туннелирования?
15. Что такое эффект кулоновской блокады?
16. При каких условиях электрон приобретает возможность туннелировать через диэлектрик в системе, состоящей из двух проводников и тонкого слоя диэлектрика между ними?
17. Конструктивно что представляют собой электронные приборы, использующие эффект одноэлектронного туннелирования?
18. Каковы перспективы производства и применения графеновых транзисторов?
19. Какое значение имеет подвижность носителей заряда в графене?
20. Как использовать необычайно высокую подвижность носителей заряда графена в нанoeлектронике?
21. Что такое нанотрубки?
22. Какими методами можно получить углеродные нанотрубки?
23. Возможно ли получение графена со свойствами полупроводника или диэлектрика?
24. Какие особые свойства углеродных нанотрубок позволяют использовать их в качестве проводников между элементами интегральной схемы?
25. Как технологически решаются проблемы разделения наносвязок или пучков нанотрубок на отдельные элементы?
26. Что такое туннельный микроскоп?
27. Что такое атомно-силовой микроскоп?
28. Какая существует связь между современными технологическими процессами и методами исследования материалов?
29. Какой современный подход к обеспечению высокого качества изделий электронной техники?
30. Каковы перспективы применения туннельного микроскопа как технологического инструмента?

Примерные варианты экзаменационных билетов

Билет № 1

1. Элементарные низкоразмерные структуры, их энергетические диаграммы и плотности состояний в сравнении с трехмерной структурой.
2. Туннелирование носителей заряда через потенциальные барьеры. Резонансное туннелирование.
3. Получить оценку предельной ширины полупроводниковой квантовой ямы, при которой возможно наблюдение квантово-размерных явлений для электронов с эффективной массой $m=0,1m_0$ и подвижностью $\mu=10^3 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$.

Билет №2

1. Квантовые числа, определяющие состояние электрона в атоме, и их физический смысл.
2. Понятие эффекта размерного квантования.
3. Является ли оправданным приближение бесконечно глубокой ямы в случае квантовой ямы шириной 10^{-8} м , образованной в структуре AlGaAs–GaAs–AlGaAs, если $U_0=0,3 \text{ эВ}$, $m=0,067m_0$?