

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова» (КБГУ)

Институт информатики, электроники и робототехники

Кафедра физических основ микро- и нанoeлектроники

СОГЛАСОВАНО

Руководитель образовательной программы

_____ Шебзухов А.А.

« ____ » _____ 2020 г.

УТВЕРЖДАЮ

Директора института

_____ Черкесова Н.В.

« ____ » _____ 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Б1.Б.09 «НАНОЭЛЕКТРОНИКА»

Направление подготовки

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Профиль: **Современные информационные технологии в электронной технике**

Квалификация (степень) выпускника

Бакалавр

Форма обучения

Очная

НАЛЬЧИК 2020

Рабочая программа дисциплины (модуля) «**Нанoeлектроника**» /сост. А.А. Канаметов – Нальчик: КБГУ, 2020 г. 17 с.

Рабочая программа предназначена для студентов *очной* формы обучения по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, в 5 и 6 семестрах, 3 курса.

Рабочая программа составлена с учетом федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации «12» марта 2015 г. № 218.

Содержание

| | |
|--|----|
| Содержание | 3 |
| | |
| 1. Цели и задачи дисциплины (модуля) | 4 |
| | |
| 2. Место дисциплины(модуля) в структуре ОПОП ВО..... | 4 |
| 3. Требования к результатам освоения дисциплины(модуля) | 4 |
| | |
| 4. Содержание и структура дисциплины(модуля)..... | 5 |
| ... | |
| 4.1. Содержание разделов дисциплины(модуля) | 5 |
| | |
| 4.2. Структура дисциплины(модуля) | 7 |
| | |
| 4.3. Лекционные занятия..... | 8 |
| 4.4. Лабораторные занятия..... | 10 |
| 4.5. Самостоятельное изучение разделов дисциплины(модуля)..... | 10 |
| 5 Оценочные материалы для текущего и рубежного контроля успеваемости и промежуточной аттестации..... | 11 |
| 5.1. Задания для текущего контроля..... | 11 |
| 5.2. Промежуточная аттестация..... | 17 |
| 6. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности..... | 21 |
| | |
| 7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины (модуля) | 23 |
| | |
| 7.1. Основная литература..... | 23 |
| 7.2. Дополнительная литература..... | 23 |
| 7.3. Периодические издания..... | 24 |
| 7.4. Интернет-ресурсы..... | 24 |
| 7.5. Методические указания по проведению учебных занятий и | 24 |

| | | |
|----|---|----|
| | организации самостоятельной работы студентов..... | |
| 8. | Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля) | 28 |
| | Лист изменений (дополнений) в рабочей программе дисциплины(модуля) | 29 |

1. Цель и задачи дисциплины (модуля)

Предметом дисциплины являются физические принципы работы, основы технологии производства, а так же принципы конструирования элементов и приборов нанoeлектроники; теоретические и технологические пределы уменьшения размеров элементов и приборов нанoeлектроники.

Цель дисциплины состоит в изучении студентами сведений и приобретении практических навыков, необходимых для разработки элементов и приборов нанoeлектроники, а так же в изучении сведений и формировании навыков, необходимых для исследования принципов работы и функциональных возможностей элементов нанoeлектроники с использованием современных аппаратно-программных комплексов.

Задачи: формирование знаний о современном состоянии нанoeлектроники в России и за рубежом; формирование знаний о физических свойствах наноструктур, а так же элементов и приборов на их основе; формирование знаний о технологии их производства и методах исследования их свойств и параметров; формирование знаний о принципах работы элементов и приборов нанoeлектроники; формирование навыков компьютерного моделирования физических свойств и принципов работы устройств нанoeлектроники.

2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Дисциплина Б1.Б.09 относится к базовой части учебного плана по направлению подготовки ВО 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника профиль: Современные информационные технологии в электронной технике.

Дисциплина базируется на следующих дисциплинах: "Физика (общая)", "Материалы электронной техники", "Теоретические основы электротехники", "Физика наноструктур", "Компьютерное моделирование технологических процессов электроники и нанoeлектроники", "Физические основы электроники и нанoeлектроники".

Знания, полученные после освоения дисциплины, необходимы при выполнении бакалаврской выпускной квалификационной работы и изучении дисциплин: «Основы проектирования электронной компонентной базы», «Основы технологии электронной компонентной базы», «Проектирование и конструирование субмикронных элементов СБИС».

3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ОПОП ВО по данному направлению подготовки:

а) общекультурных (ОК):

- способность к самоорганизации и самообразованию (ОК-7);

б) профессиональных (ПК):

- способность аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения (ПК-2);

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

знать: физические основы работы устройств нанoeлектроники

- физическую структуру и принцип работы простейших устройств (базовых элементов) нанoeлектроники, их особенности, преимущества и недостатки, а так же основы их расчета
- современное состояние развития нанoeлектроники, основные проблемы на пути развития, перспективы применения и дальнейшего совершенствования приборов нанoeлектроники;

уметь: проводить простейший расчет базовых элементов нанoeлектроники, определять достоинства и недостатки конкретного устройства

- исходя из основных характеристик и возможностей прибора определять область его применения

владеть навыками: расчета основных характеристик и параметров приборов с помощью программ компьютерного моделирования

- конструирования базовых логических элементов двоичной логики на основе простейших устройств нанoeлектроники

приобрести опыт деятельности: в конструировании устройств нанoeлектроники и определения параметров и режимов их работы.

4. Содержание и структура дисциплины (модуля)

4.1. Содержание разделов дисциплины (модуля)

В таблице 1 приводится описание содержания дисциплины, структурированное по разделам, с указанием по каждому разделу формы текущего контроля: защита лабораторной работы (ЛР), коллоквиум (К), рубежный контроль (РК), тестирование (Т).

Таблица 1

| № | Наименование раздела (формируемые компетенции) | Содержание раздела | Форма текущего контроля |
|---|--|--|-------------------------|
| 1 | Основные тенденции и принципы современной электроники. (ОК-7, ПК-2) | Вводная часть. Современное состояние микроэлектроники и субмикронной электроники в России и за рубежом. Предпосылки перехода от микро- к нанoeлектронике. Классическая и неклассическая нанoeлектроника. Основные тенденции развития элементной базы нанoeлектроники в России и за рубежом. Принципы построения нанотранзисторов. Проблемы, связанные с проектированием и моделированием элементов и приборов на основе наноструктур. | (К), (РК), (Т), (ЛР) |
| 2 | Физические основы технологии производства наноструктур и элементов нанoeлектронных устройств. (ОК-7, ПК-2) | Технологии формирования наноструктур. Два подхода к формированию наноструктур. Кремний как основной материал классической нанoeлектроники. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Газофазная эпитаксия из металлоорганических соединений. Формирование структур на основе коллоидных растворов. Золь-гель технология. Атомно-слоевое осаждение. Технологии формирования гетеропленок и сверхтонких пленок различных материалов. Формирование одномерных и нульмерных полупроводниковых и металлических квантовых наноструктур. Нанопечатная литография. Контактная и бесконтактная нанопечать методами зондовой нанотехнологии. Метод локального анодного окисления. Метод создания наноструктур снизу-вверх. Химическая самосборка наноструктур. Другие методы создания наноструктур на основе самоорганизации. Технологии создания фотонных кристаллов. | (К), (РК), (Т), (ЛР) |

| | | | |
|---|--|---|-------------------------|
| 3 | Пределы применения методов и технологий классической электроники (ОК-7, ПК-2) | Физические и технологические пределы уменьшения размеров элементов микроэлектроники. Физические ограничения в технологии производства электронных компонентов. Точность литографического процесса и воспроизводимость параметров. Ограничения, накладываемые механизмом работы компонентов. Ограничения электрофизических параметров. Ограничения межэлементных связей. Теплофизические ограничения. Масштабирование в микро- и нанoeлектронике. | (К), (РК), (Т), (ЛР) |
| 4 | Физические свойства наноструктур и элементов на их основе (ОК-7, ПК-2) | Наноструктуры. Физические свойства наноструктур. Полупроводниковые гетеропереходы, гетероструктуры. Полупроводниковые сверхрешетки. Принцип кулоновской блокады. Эффект одноэлектронного туннелирования. Углеродные наноматериалы. Фуллерены. Углеродные нанотрубки. Графен. Алмаз и другие аллотропные модификации углерода. Магнитные наноматериалы. Полупроводниковые пленки с магнитными свойствами. Спин-электронные слоистые структуры. Принцип спиновой фильтрации потока электронов. Полимерные проводящие и полупроводящие материалы. Свойства фотонных кристаллов. Пленки Ленгмюра-Блоджетт. | (К), (РК), (Т), (ЛР) |
| 5 | Элементы и приборы нанoeлектроники (ОК-7, ПК-2) | Нанотранзисторные структуры классической нанoeлектроники. Биполярные нанотранзисторы с плавным гетеропереходом. Транзисторы на основе структуры «кремний на изоляторе». Транзисторы на основе структуры «кремний-германий». Гетероструктурные нанотранзисторы с высокой подвижностью носителей. Транзисторы на квантовых точках. Устройства и структуры неклассической нанoeлектроники. Резонансно-туннельные диоды. Транзисторы с резонансным туннелированием. Нанотранзисторы на основе углеродных нанотрубок. Графеновые нанотранзисторы. Спиновые нанотранзисторы. Принципы построения и конструкции спиновых транзисторов. Интегральные логические элементы и элементы памяти на основе спиновых транзисторов. Нанотранзистор на основе нанoeлектромеханических систем. Конструкции одноэлектронного транзистора. Многоостровковые одноэлектронные структуры. Интегральные логические элементы и элементы памяти на основе одноэлектронных структур. Квантовые компьютеры. Транзисторы на основе эффектов Штарка и Ааронова-Бома. Квантовые интерферометры. Элемент Джозефсона. Интегральные логические элементы и элементы памяти на основе переходов Джозефсона. Молекулярные транзисторы. Интегральные | (К), (РК), (Т), (ЛР) |

| | | | |
|--|--|---|--|
| | | логические элементы и элементы памяти на основе молекулярных нанотранзисторов. Органические светодиоды. Органические нанотранзисторы. Устройства на основе фотонных кристаллов. Волоконные лазеры. Однофотонный транзистор. Мемристоры и элементы памяти на их основе. Функциональные элементы СБИС на основе наноразмерных структур. Проблемы построения интегральных устройств на основе нанoeлектронных транзисторов | |
|--|--|---|--|

4.2. Структура дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц (180 часов)

Таблица 2

| Вид работы | Всего |
|--|----------------|
| Общая трудоемкость (в часах) | 180 |
| Контактная работа (в часах): | 85 |
| <i>Лекции (Л)</i> | 34 |
| <i>Лабораторные работы (ЛР)</i> | 51 |
| Самостоятельная работа (в часах): | 59 |
| Самостоятельное изучение разделов | 68 |
| Подготовка и прохождение промежуточной аттестации | 36 |
| Вид промежуточной аттестации | Зачет, экзамен |

4.3. Лекционные занятия

Таблица 3

| № раздела | Тема |
|-----------|---|
| 5 семестр | |
| 1 | Микро- и нанoeлектроника сегодня: состояние, перспективы и проблемы дальнейшего развития. |
| 1 | От микро- к нанoeлектронике. Два направления развития субмикронной электроники: классическая и неклассическая нанoeлектроника. Кремний как основной материал классической нанoeлектроники. |
| 1 | Принципы и ограничения, связанные с проектированием и построением элементов и приборов на основе наноструктур. |
| 2 | Два подхода к формированию наноструктур: классические методы формирования интегральных структур (метод сверху-вниз), формирование наноструктур методами самоорганизации и самосборки(метод снизу-вверх) |
| 2 | Эпитаксиальные методы формирования наноструктур. |
| 2 | Атомно-слоевое осаждение |
| 2 | Формирование наноструктур на основе коллоидных растворов и золь-гель технология |
| 2 | Формирование наноструктур на основе ионного синтеза |
| 2 | Методы и технологии формирования сверхтонких гетероструктурных пленок (двумерных квантовых структур). |
| 2 | Формирование одномерных и нульмерных квантовых наноструктур |
| 2 | Формирование наноструктур методами зондовой нанотехнологии |
| 2 | Формирование наноструктур на основе процессов самоорганизации и самосборки. |
| 2 | Технологии создания фотонных кристаллов. Бестемплантный синтез фотонных кристаллов. Технология создания инвертированных фотонных кристаллов |
| 2 | Другие методы и технологии создания наноструктур. |
| 3 | Фундаментальные ограничения создания наноструктурных компонентов. Масштабирование в микро- и нанoeлектронике. |
| 3 | Физические и технологические ограничения производства нанoeлектронных компонентов. Точность технологических процессов и воспроизводимость параметров приборов на наномасштабах. |
| 3 | Физические и технологические ограничения производства нанoeлектронных компонентов. Ограничения, накладываемые механизмом работы компонентов. |

| № раздела | Тема |
|--------------|--|
| 6 семестр | |
| 4 | Наноструктуры с гетеропереходами. Физические свойства и применения. Гетероструктуры. |
| 4 | Полупроводниковые сверхрешетки. Физические свойства и применения в наноэлектронике |
| 4 | Аллотропные модификации углерода в наноэлектронике. Графен, алмазные пленки. Фуллерены, углеродные нанотрубки. Применения в наноэлектронике |
| 4 | Магнитные материалы с полупроводниковыми свойствами. Спин-электронные наноструктуры |
| 4 | Элементы политроники. Органические проводники и полупроводники. Физические свойства и применения. |
| 4 | Физические свойства и применения фотонных кристаллов |
| 4 | Пленки Ленгмюра-Блоджет. Физические свойства и применения. |
| 4 | Физические свойства и применения биологических наноструктур |
| 5 | Элементы и приборы классической наноэлектроники. Биполярные нанотранзисторы с плавным гетеропереходом. Гетероструктурные нанотранзисторы с высокой подвижностью носителей. |
| 5 | Элементы и приборы классической наноэлектроники. Транзисторы на основе структуры «кремний на изоляторе». |
| 5 | Элементы и приборы классической наноэлектроники. Транзисторы на основе структуры «кремний-германий». |
| 5 | Устройства и структуры неклассической наноэлектроники. Резонансно-туннельные диоды. Транзисторы с резонансным туннелированием. Транзисторы на горячих электронах. Транзисторы со статической индукцией |
| 5 | Углерод как перспективный материал наноэлектроники. Нанотранзисторы на основе углеродных нанотрубок. Графеновые нанотранзисторы. |
| 5 | Элементы спинтроники. Принципы построения и конструкции спиновых нанотранзисторов. Интегральные логические элементы и элементы памяти на основе спиновых транзисторов |
| 5 | Устройства на основе эффекта одноэлектронного туннелирования. Конструкции одноэлектронного транзистора. Многоостровковые одноэлектронные структуры. Интегральные логические элементы и элементы памяти на основе одноэлектронных структур. |
| 5 | Органические светодиоды. Органические нанотранзисторы. |
| 5 | Молектроника (молекулярная электроника). Молекулярные нанотранзисторы. Интегральные логические элементы и элементы памяти на основе молекулярных нанотранзисторов. |
| 5 | Элементы фотоники. Устройства на основе фотонных кристаллов. Однофотонный нанотранзистор. |
| 5 | Проблемы построения интегральных устройств на основе наноэлектронных транзисторов |

4.4. Лабораторные работы

Таблица 4

| № ЛР | Тема |
|-----------|--|
| 5 семестр | |
| 1 | Моделирование процесса формирования квантовых точек |
| 2 | Формирование наноструктур методами зондовой нанолитографии |
| 3 | Исследование наноструктуры запоминающих устройств методом СЗМ |
| 4 | Исследование квантовой системы со сложным потенциальным рельефом |
| 5 | Исследование квантовых дельта – легированных структур. |

| № ЛР | Тема |
|-----------|--|
| 6 семестр | |
| 1 | Моделирование баллистического транспорта носителей заряда в низкоразмерных структурах |
| 2 | Исследование режимов работы одноэлектронного транзистора |
| 3 | Исследование режимов работы резонансно-туннельного транзистора |
| 4 | Моделирование нанотранзистора на эффекте Ааронова-Бома |
| 5 | Моделирование работы логических элементов на основе полупроводниковых нанoeлектронных устройств. |
| 6 | Исследование светоизлучающих квантовых точек |

4.5. Самостоятельное изучение разделов дисциплины

Таблица 5

| № раздела | Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение |
|-----------|---|
| 5 семестр | |
| 2 | Технологии наноформообразования гетеропленок |
| 2 | Технологии создания проводящих и полупроводящих нановолокон и спиралевидных наноструктур |
| 2 | Технологии создания гофрированных наноструктур |
| 2 | Формирование наноструктур методами зондовой нанотехнологии. Межэлектродный массоперенос. |
| 2 | Формирование наноструктур методами зондовой нанотехнологии. Электрохимический массоперенос. |
| 2 | Сканирующая туннельная нанолитография |
| 2 | Технологии создания фотонных кристаллов с контролируемой шириной запрещенной зоны. |
| 2 | Технологии формирования графеновых наноструктур |
| 6 семестр | |
| 4 | Устройства на эффекте кулоновской блокады. Одноэлектронные транзисторы |
| 4 | Физические основы реализации элементов квантовых компьютеров Физические принципы построения квантового компьютера. |
| 5 | Элемент Джозефсона. Интегральные логические элементы и элементы памяти на основе переходов Джозефсона. |
| 5 | Нанотранзистор на основе нанoeлектромеханических систем. |
| 5 | Транзисторы на основе эффектов Штарка и Ааронова-Бома. Квантовые интерферометры |
| 5 | Элементы спинтроники. Принцип спиновой фильтрации потока электронов. |
| 5 | Лазерные наноструктуры. Волоконные лазеры. |
| 5 | Мемристоры и элементы памяти на их основе. |

| | |
|---|--|
| 5 | Функциональные элементы СБИС на основе наноразмерных структур. |
|---|--|

5. Оценочные материалы для текущего и рубежного контроля успеваемости и промежуточной аттестации

Текущий и рубежный контроль освоения студентом дисциплины, а так же промежуточная аттестация осуществляется в рамках балльно-рейтинговой системы. В соответствии с действующим Положением о балльно-рейтинговой системе оценка успеваемости студентов КБГУ используется следующая шкала дифференцирования баллов по пятибалльной системе:

- оценка «отлично» выставляется студенту, если набрано 91 – 100 баллов;
- оценка «хорошо» выставляется, если набрано 81 – 90 баллов
- оценка «удовлетворительно» выставляется, если набрано 61 – 80 баллов;
- оценка «неудовлетворительно» выставляется, если набрано 36-60 баллов.

Распределение баллов по контрольным точкам в соответствии с действующим Положением о балльно-рейтинговой системе оценки успеваемости студентов КБГУ приведено в таблице 7:

Таблица 6

| № рейтинг. точки | Коллоквиум | Лабораторн. занятия | Посещаемость | Тестирование | Итого |
|------------------|------------|---------------------|--------------|--------------|-------|
| 1 | 10 | 5 | 3 | 5 | 23 |
| 2 | 10 | 5 | 3 | 5 | 23 |
| 3 | 10 | 5 | 4 | 5 | 24 |

5.1. Задания для текущего контроля

Примерный перечень вопросов на коллоквиум по темам дисциплины (5 семестр)

Коллоквиум 1 (проверяемые компетенции: ОК-7, ПК-2)

1. Основные тенденции развития элементной базы нанoeлектроники в РФ и за рубежом.
2. Переход от микроэлектроники к нанoeлектронике. Предпосылки и возможные проблемы
3. Принципы построения нанотранзисторов в классической и неклассической нанoeлектронике.
4. Проблемы, связанные с проектированием и моделированием элементов и приборов на основе наноструктур.
5. Кремний. Материалы и технологии классической нанoeлектроники.
6. Углеродные материалы, как перспективные материалы неклассической нанoeлектроники
7. Эпитаксиальное формирование наноструктур из газовой фазы.
8. Формирование наноструктур методами молекулярно-лучевой эпитаксии.
9. Методы формирования наноструктур из коллоидных взвесей и растворов.
10. Принципы, преимущества и недостатки золь-гель технологии создания наноструктур
11. Формирование наноструктур методом атомно-слоевого осаждения
12. Технологии формирования металлических и диэлектрических сверхтонких слоев
13. Технологии формирования гетероструктурных пленок
14. Формирование металлических квазиодномерных и спиралевидных волокон
15. Формирование полупроводниковых квазиодномерных и спиралевидных волокон

Коллоквиум 2 (проверяемые компетенции: ОК-7, ПК-2)

1. Формирование гофрированных наноструктур
2. Технологии создания нульмерных объектов (квантовых точек)
3. Технологии нанолитографии. Нанопечать в создании наноструктур
4. Ионный синтез наноструктурированных материалов

5. Физические основы зондовых методов литографии
6. Формирование наноструктур методом наногравировки
7. Формирование наноструктур методом наночеканки
8. Сканирующая туннельная литография наноструктур
9. Метода локального анодного окисления в создании наноструктур
10. Создание наноструктур методом полевого испарения
11. Межэлектродный массоперенос в создании наноструктур
12. Электрохимический массоперенос в создании наноструктур
13. Контактные и бесконтактные методы формирования наноструктур
14. Химическая самосборка наноструктурированных материалов
15. Процессы самоорганизации при создании наноструктур

Коллоквиум 3 (проверяемые компетенции: ОК-7, ПК-2)

1. Технологии создания упорядоченных наноструктур
2. Методы создания инвертированных фотонных кристаллов
3. Технологии селективного травления при создании фотонных кристаллов
4. Технологии создания фотонных кристаллов с контролируемой шириной запрещенной зоны
5. Бестемпланный синтез фотонных кристаллов
6. Технологии формирования графеновых наноструктур
7. Физические пределы уменьшения размеров элементов микроэлектроники.
8. Технологические пределы уменьшения размеров элементов микроэлектроники
9. Физические ограничения в технологии производства электронных компонентов.
10. Точность литографического процесса и воспроизводимость параметров элементов микроэлектроники
11. Ограничения, накладываемые механизмом работы компонентов микроэлектронных приборов.
12. Ограничения электрофизических параметров микроэлектронных приборов.
13. Ограничения межэлементных связей микроэлектронных приборов.
14. . Теплофизические ограничения микроэлектронных приборов.
15. . Масштабирование в микро- и нанoeлектронике.

Примерный перечень вопросов на коллоквиум по темам дисциплины (6 семестр)

Коллоквиум 1 (проверяемые компетенции: ОК-7, ПК-2)

1. Физические свойства и применения полупроводниковых гетеропереходов
2. Физические свойства и применения гетероструктур
3. Полупроводниковые сверхрешетки. Физические свойства и применения
4. Алмазные пленки в нанoeлектронике. Физические свойства и применения
5. Графен, как перспективный материал нанoeлектроники. Физические свойства и возможные применения
6. Углеродные нанотрубки, как основной материал неклассической нанoeлектроники
7. Фуллерены. Физические свойства и применения в нанoeлектронике
8. Физические свойства и применения магнитных полупроводников
9. Структуры со спин-зависимым транспортом носителей заряда
10. Полимерные проводники и проводники. Физические свойства и применения
11. Фотонные кристаллы. Физические свойства и применения в нанoeлектронике
12. Лэнгмюровские пленки. Физические свойства и применения в нанoeлектронике
13. Биологические наноструктуры, как основа элементов и устройств бионанoeлектроники.
14. Квантовое ограничение в наноструктурах и его применение
15. Эффект кулоновской блокады и его применения в нанoeлектронике

16. Эффект одноэлектронного туннелирования и его применение
17. Эффект резонансного туннелирования и его применения в нанoeлектронике
18. Эффект Ааронова – Бома и его применение в нанoeлектронике

Коллоквиум 2 (проверяемые компетенции: ОК-7, ПК-2)

1. Явление квантовой интерференции и его применение в нанoeлектронике
2. Эффект Джозефсона и его применение в нанoeлектронике
3. Физические основы квантовых компьютеров
4. Баллистическая проводимость наноструктур и ее применения в нанoeлектронике
5. Эффект надбарьерного отражения квантовых частиц и его применение в нанoeлектронике
6. Квантовый эффект Холла и его применения
7. Модуляционно-легированные наноструктуры
8. Дельта-легированные наноструктуры
9. Транзисторы с изолированным затвором
10. Многозатворные транзисторы
11. КНИ-транзисторы
12. Кремний-германиевые транзисторы
13. Биполярные нанотранзисторы с плавным гетеропереходом.
14. Гетеропереходные полевые нанотранзисторы с высокой подвижностью носителей.
15. Транзисторы на горячих электронах.
16. Транзисторы на квантовых точках
17. Нанотранзисторы на основе графена
18. Нанотранзисторы на основе углеродных нанотрубок
19. Нанoeлектромеханический транзистор

Коллоквиум 3 (проверяемые компетенции: ОК-7, ПК-2)

1. Спиновый нанотранзистор
2. Резонансно-туннельные диоды.
3. Транзисторы с резонансным туннелированием.
4. Транзисторы на основе эффектов Штарка и Ааронова-Бома.
5. Квантовые интерферометры.
6. Конструкции одноэлектронного транзистора.
7. Многоостровковые одноэлектронные структуры.
8. Молекулярный транзистор
9. Память на основе молекулярных транзисторов
10. Логические элементы на основе молекулярных транзисторов
11. Органические транзисторы
12. Органические светодиоды
13. Фотонные транзисторы
14. Мемристор и его свойства
15. Функциональные элементы СБИС на основе наноразмерных структур.
16. Элемент Джозефсона. Интегральная логика на их основе.
17. Элементы памяти на основе переходов Джозефсона.

Методические рекомендации к подготовке к коллоквиуму

Подготовка к коллоквиуму проводится студентом самостоятельно по материалам лекций и лабораторных занятий. В качестве главного источника информации используется основная литература и материалы лекций. Коллоквиум представляет собой устный опрос с возможностью предварительной подготовкой и включает в себя два теоретических вопроса. Основная цель коллоквиума – выявить уровень владения

теоретическим материалом, основными, базовыми концепциями дисциплины.

Критерии оценивания коллоквиума

Коллоквиум представляет собой устный опрос по темам, пройденным в течение промежутка времени от последнего проведенного коллоквиума до текущей даты. При этом проверяются следующие показатели:

- ясность, четкость и доказательность изложения ответов на вопросы;
- владение специальными терминами, понятиями и принципами;
- системность знаний, умений и навыков по тематике

По трем контрольным точкам (трем коллоквиумам в течение семестра) студент может получить 0-30 баллов. По итогам устного опроса на текущем коллоквиуме студенту выставляется:

- 9-10 баллов**, если владеет в полном объеме программным материалом, вынесенным на коллоквиум, достаточно глубоко осмысливает тему (раздел), ясно и исчерпывающе отвечает на все вопросы, выделяет при этом самое существенное, умеет анализировать, сравнивает, классифицировать, обобщать, конкретизировать и систематизировать программный материал, четко формирует ответы;
- 7-8 баллов**, если владеет учебным материалом, вынесенным на коллоквиум почти в полном объеме (имеются пробелы в знаниях только в некоторых, особенно сложных вопросах); самостоятельно и отчасти при наводящих вопросах дает полноценные ответы на вопросы; не всегда выделяет наиболее существенное, не допускает серьезных ошибок в ответах.
- 5-6 баллов**, если владеет основным объемом знаний по темам коллоквиума, проявляет затруднения в самостоятельных ответах, допускает неточные формулировки, в процессе ответа допускает ошибки по существу вопроса.
- 1-4 баллов**, если не освоил обязательный минимум знаний предмета, не способен ответить на вопросы даже при дополнительных наводящих вопросах.

Образцы тестовых заданий (проверяемые компетенции: ОК-7, ПК-2)

Задание 1

В квантовой яме движение электрона ограничено:

- ☒ по одной координате
- ☐ по двум координатам
- ☐ по трем координатам

Задание 2

Структура C_{60} напоминает:

- ☒ футбольный мяч
- ☐ пирамиду
- ☐ куб

Задание 3

В рентгеновской литографии используют длину волны около:

- ☒ 1 нм
- ☐ 10 нм
- ☐ 100 нм

Задание 4

Углеродные нанотрубки - это:

- ☒ цилиндрические молекулы диаметром ~ 1 нм и длиной несколько микрометров
- ☐ правильные пятиугольники в графитовом листе, который можно свернуть в трубку
- ☐ это молекула углерода, состоящая из 60-ти атомов углерода

Задание 5

Одноэлектронное туннелирование имеет место:

- ☒ в квантово-размерных приборах
- ☐ в баллистических приборах

- ☐ в массивных приборах

Задание 6

Квант проводимости G определяется формулой:

- ☒ $2e^2/h$
☐ $2e/h$
☐ $2e^3/h$

Задание 7

Процесс «резонансного туннелирования» имеет место, когда энергетические уровни двух соседних потенциальных ям имеют:

- ☒ одинаковую энергию
☐ энергию больше чем тепловая энергия КТ
☐ энергию меньше КТ

Задание 8

Баллистический перенос электрона возможен, если длина свободного пробега электрона

- ☒ $L > d$ (d -длина проводника)
☐ $L < d$
☐ $L = d$

Задание 9

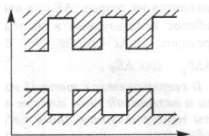
Эффект Ааронова - Боме - это:

- ☒ зависимость фазы электронной волны Φ от магнитной индукции B
☐ зависимость электропроводности от B
☐ зависимость амплитуды электронной волны A от B

Задание 10

На рисунке показан потенциальный профиль в композиционной сверхрешетке (КСР):

- ☒ СР типа I
☐ СР типа II
☐ политипная СР



Методические рекомендации к прохождению компьютерного тестирования

Компьютерное тестирование проводится строго по заранее составленному расписанию в рамках текущего контроля. Студент должен предварительно ознакомиться с системой тестирования и освоить простейшие навыки работы с ней. Тестовые задания включают теоретические вопросы с вариантами ответов или задания на простейшие вычисления. Время на работу в системе тестирования ограничено и предполагает предварительную самостоятельную проработку вопросов, выносимых на тесты, во внеучебное время.

Критерии оценивания тестовых заданий

По результатам каждого тестирования студент может получить до 5 баллов (всего 15 баллов в течение семестра). По итогам тестирования студенту выставляются:

- 5 баллов**, если студент правильно ответил на 86 - 100% тестовых заданий;
4 балла, если студент правильно ответил на 71 - 85% тестовых заданий;
3 балла, если студент правильно ответил на 51 - 70% тестовых заданий;
0 баллов, если студент правильно ответил на 0 - 50% тестовых заданий.

Задания лабораторных занятий

Пример типовой лабораторной работы: «Определение коэффициента прозрачности квантовой системы со сложным потенциальным рельефом».

Цель работы: Получение практических навыков расчета квантовых систем приближенных к реальным системам в составе нанoeлектронных устройств

Методические рекомендации к выполнению лабораторных работ

Лабораторный спецпрактикум является основным элементом обучения в рамках данного спецкурса, т.к. прививает навыки практической и самостоятельной работы на различном лабораторном оборудовании и умение пользоваться различными приборами и инструментами. Выполнение каждой лабораторной работы складывается из следующих этапов.

1. Самостоятельная подготовка студентов к работе. Перед началом работы студенты должны четко представлять себе цель работы, знать схему, метод измерения, физическую сущность ожидаемых результатов. Должен быть подготовлен протокол измерений, содержащий таблицы для записи результатов измерений и основные расчетные формулы. Студенты, не подготовившиеся к работе в соответствии с этими требованиями, к выполнению работы не допускаются.

2. Проведение эксперимента. Этот этап осуществляется в соответствии с методическими указаниями, которые содержатся в описании к каждой работе. Лабораторные измерения на стенде студент может начать только после собеседования с преподавателем и получения допуска к выполнению лабораторной работы. Любые изменения в схеме проводятся после отключения схемы от источника напряжения. Результаты измерения проверяются преподавателем.

3. Составление отчета о проделанной работе. К отчету о выполненной работе предъявляются следующие требования:

3.1. Отчет должен содержать исчерпывающие данные, как о цели работы, так и о результатах в следующей последовательности:

- а) Задание
- б) Схема установки и описание методики измерений
- в) Первичные экспериментальные результаты за подписью преподавателя
- г) Результаты обработки экспериментальных данных, включая графики, таблицы.
- д) Общие выводы о работе и заключение.

3.2. Текст отчета должен быть написан аккуратно и разборчиво от руки или представлен в виде распечатки, после компьютерной верстки. В обоих случаях текст должен представлять собой логическое изложение сущности вопроса. Недопустимо приведение формул, таблиц без разъяснений всех обозначений и сокращений. Отчет должен быть понятен для каждого читающего без каких-либо дополнительных вопросов к составителю отчета.

3.3. Полученные зависимости должны сопровождаться теоретическим обоснованным объяснением причин влияющих на их ход, для чего в процессе составления отчета студент обязан по литературным источникам ознакомиться с материалом, который был объектом его исследования в лаборатории. Без такого ознакомления студент не будет в состоянии дать правильный анализ процессов, происходящих в материале при эксперименте.

4. Защита лабораторной работы с представлением отчета. При сдаче отчета студенты должны показать понимание сущности физических явлений в исследованных материалах, объяснить полученные результаты и сделать выводы. При работе в лаборатории необходимо строго выполнять все правила техники безопасности и указания преподавателя.

Критерии оценивания лабораторных работ

Практическая часть контактной работы со студентом, реализованная в виде лабораторных занятий предполагает выполнение всего перечня лабораторных работ, запланированных в рабочей программе дисциплины. По результатам одной контрольной точки студент может получить до 5 баллов (всего 15 баллов за семестр). При выставлении баллов за лабораторные занятия оценивается следующее:

- понимание цели и задач работы
- знание теоретических основ метода измерения и принципов работы установки
- правильность проведения измерений и корректность процедуры обработки результатов
- наличие правильно оформленного отчета по лабораторной работе с самостоятельно сформулированными выводами по результатам лабораторной работы
- правильный и исчерпывающий устный ответ на контрольные вопросы к лабораторным работам

5.2. Промежуточная аттестация

Изучение дисциплины «Нанoeлектроника» заканчивается зачетом (5 семестр) и экзаменом (6 семестр).

Примерный перечень вопросов (проверяемые компетенции: ОК-7, ПК-2) к зачету:

1. Предмет нанoeлектроники. Основные исторические этапы в развитии электроники.
2. Эволюция полупроводниковой электроники. Основные тенденции развития элементной базы нанoeлектроники в РФ и за рубежом.
3. Переход от микроэлектроники к нанoeлектронике. Предпосылки и возможные проблемы
4. Принципы построения нанотранзисторов в классической и неклассической нанoeлектронике.
5. Проблемы, связанные с проектированием и моделированием элементов и приборов на основе наноструктур.
6. Кремний. Материалы и технологии классической нанoeлектроники.
7. Углеродные материалы, как перспективные материалы неклассической нанoeлектроники
8. Эпитаксиальное формирование наноструктур из газовой фазы.
9. Формирование наноструктур методами молекулярно-лучевой эпитаксии.
10. Методы формирования наноструктур из коллоидных взвесей и растворов.
11. Принципы, преимущества и недостатки золь-гель технологии создания наноструктур
12. Формирование наноструктур методом атомно-слоевого осаждения
13. Технологии формирования металлических и диэлектрических сверхтонких слоев
14. Технологии формирования гетероструктурных пленок
15. Формирование металлических квазиодномерных и спиралевидных волокон
16. Формирование полупроводниковых квазиодномерных и спиралевидных волокон
16. Формирование гофрированных наноструктур
17. Технологии создания нульмерных объектов (квантовых точек)
18. Технологии нанолитографии. Нанопечать в создании наноструктур
19. Ионный синтез наноструктурированных материалов
20. Физические основы зондовых методов литографии
21. Формирование наноструктур методом наногравировки
22. Формирование наноструктур методом наночеканки
23. Сканирующая туннельная литография наноструктур
24. Метода локального анодного окисления в создании наноструктур
25. Создание наноструктур методом полевого испарения
26. Межэлектродный массоперенос в создании наноструктур
27. Электрохимический массоперенос в создании наноструктур
28. Контактные и бесконтактные методы формирования наноструктур
29. Химическая самосборка наноструктурированных материалов
30. Процессы самоорганизации при создании наноструктур

31. Технологии создания упорядоченных наноструктур
32. Методы создания инвертированных фотонных кристаллов
33. Технологии селективного травления при создании фотонных кристаллов
34. Технологии создания фотонных кристаллов с контролируемой шириной запрещенной зоны
35. Бестемпланный синтез фотонных кристаллов
36. Технологии формирования графеновых наноструктур
37. Физические пределы уменьшения размеров элементов микроэлектроники.
38. Технологические пределы уменьшения размеров элементов микроэлектроники
39. Физические ограничения в технологии производства электронных компонентов.
40. Точность литографического процесса и воспроизводимость параметров элементов микроэлектроники
41. Ограничения, накладываемые механизмом работы компонентов микроэлектронных приборов.
42. Ограничения электрофизических параметров микроэлектронных приборов.
43. Ограничения межэлементных связей микроэлектронных приборов.
44. . Теплофизические ограничения микроэлектронных приборов.
45. . Масштабирование в микро- и нанoeлектронике.

Примерный перечень вопросов (проверяемые компетенции: ОК-7, ПК-2) к экзамену:

1. Физические свойства и применения полупроводниковых гетеропереходов
2. Физические свойства и применения гетероструктур
3. Полупроводниковые сверхрешетки. Физические свойства и применения
4. Алмазные пленки в нанoeлектронике. Физические свойства и применения
5. Графен, как перспективный материал нанoeлектроники. Физические свойства и возможные применения
6. Углеродные нанотрубки, как основной материал неклассической нанoeлектроники
7. Фуллерены. Физические свойства и применения в нанoeлектронике
8. Физические свойства и применения магнитных полупроводников
9. Структуры со спин-зависимым транспортом носителей заряда
10. Полимерные проводники и полупроводники. Физические свойства и применения
11. Фотонные кристаллы. Физические свойства и применения в нанoeлектронике
12. Лэнгмюровские пленки. Физические свойства и применения в нанoeлектронике
13. Биологические наноструктуры, как основа элементов и устройств бионанoeлектроники. Жидкостные транзисторы
14. Квантовое ограничение в наноструктурах и его применение
15. Эффект кулоновской блокады и его применения в нанoeлектронике
16. Эффект одноэлектронного туннелирования и его применение
17. Эффект резонансного туннелирования и его применения в нанoeлектронике
18. Эффект Ааронова – Бома и его применение в нанoeлектронике
20. Явление квантовой интерференции и его применение в нанoeлектронике
21. Эффект Джозефсона и его применение в нанoeлектронике
22. Физические основы квантовых компьютеров
23. Баллистическая проводимость наноструктур и ее применения в нанoeлектронике
24. Эффект надбарьерного отражения квантовых частиц и его применение в нанoeлектронике
25. Квантовый эффект Холла и его применения
26. Модуляционно-легированные наноструктуры
27. Дельта-легированные наноструктуры
28. Транзисторы с изолированным затвором
29. Многозатворные транзисторы

30. КНИ-транзисторы
31. Кремний-германиевые транзисторы
32. Биполярные нанотранзисторы с плавным гетеропереходом.
33. Гетеропереходные полевые нанотранзисторы с высокой подвижностью носителей.
34. Транзисторы на горячих электронах, резонансно-туннельные диоды и транзисторы
35. Транзисторы со статической индукцией.
36. Транзисторы на квантовых точках
37. Графеновая наноэлектроника. Нанотранзисторы на основе графена
38. Нанотранзисторы и диоды на основе углеродных нанотрубок
39. Наноэлектромеханический транзистор
40. Спинтронные приборы. Спин-вентильный транзистор.
41. Транзисторы на основе эффектов Штарка и Ааронова-Бома.
42. Квантовые интерферометры. Элементы памяти на основе переходов Джозефсона.
43. Приборы на эффекте одноэлектронного туннелирования. Многоостровковые одноэлектронные структуры.
44. Молекулярный транзистор
45. Память на основе молекулярных транзисторов
46. Логические элементы на основе молекулярных транзисторов
47. Органические транзисторы
48. Органические светодиоды
49. Фотоприемники на квантовых ямах. Лазеры на квантовых точках и ямах.
50. Фотонные транзисторы
51. Мемристор и его свойства
52. Функциональные элементы СБИС на основе наноразмерных структур.
53. Элемент Джозефсона. Интегральная логика на их основе.

Методические рекомендации по подготовке и процедуре осуществления контроля выполнения

В соответствии балльно-рейтинговой системой аттестации студентов, которая действует в КБГУ оценка успешности освоения программ по дисциплинам осуществляется в ходе текущего (в том числе рубежного) контроля, а также промежуточной (сессионной) аттестации. В ходе текущей аттестации (выполнение индивидуальных контрольных заданий, тестирование, коллоквиумы и др.) проводится контроль усвоения программного материала по темам, разделам и совокупности вопросов по дисциплине. Во время такой аттестации преподаватель оценивает в какой мере обучающийся изучил запланированную к проверке часть программы по дисциплине и насколько детально знает постановку задачи (вопроса), намеченный план решения этой задачи, вывод основных соотношений (формул, уравнений) и может проводить их анализ.

На зачете или экзамене проверяется сформированность знаний интегрального характера по дисциплине в целом, включая весь теоретический материал, вопросы, вынесенные на самостоятельное изучение, и практические знания, полученные в ходе практических и лабораторных занятий. В этой связи, студенту рекомендуется заранее ознакомиться с перечнем вопросов к зачету или экзамену (не менее чем за две недели до его проведения) и посетить все консультационные мероприятия, в соответствии с учебным расписанием. Подготовка обучающегося к зачету или экзамену включает три этапа:

- самостоятельная работа в течение семестра;
- непосредственная подготовка в дни, предшествующие зачету или экзамену по

темам курса;

- подготовка к ответу на вопросы во время экзамена или зачета.

При подготовке обучающимся целесообразно использовать материалы лекций, учебно-методические комплексы, нормативные документы, основную и дополнительную литературу.

На экзамен или зачет выносятся материал в объеме, предусмотренном рабочей программой учебной дисциплины за семестр. Экзамен или зачет проводятся в устной форме.

Перед проведением аттестации ведущий преподаватель составляет экзаменационные билеты. Формулировка теоретических вопросов в билетах совпадает с формулировкой перечня вопросов, доведенных до сведения обучающихся накануне аттестации. Содержание вопросов одного билета относится к различным разделам программы с тем, чтобы более полно охватить материал учебной дисциплины.

В аудитории, где проводится устный опрос, должно одновременно находиться не более шести студентов на одного преподавателя, принимающего зачет или экзамен. На подготовку ответа на билет на отводится 40 минут.

На промежуточную аттестацию в форме экзамена в КБГУ отводится 30 баллов из 100 возможных баллов по дисциплине в семестре. Основой для определения оценки служит уровень усвоения обучающимися материала, предусмотренного данной рабочей программой. К экзамену или зачету допускаются студенты, набравшие 36 и более баллов по итогам текущего контроля. На экзамене студент может набрать от 15 до 30 баллов.

Если промежуточная аттестация реализованы в виде зачета, то студент набравший более 61 балла в ходе текущего контроля считается аттестованным без прохождения процедуры аттестации (без сдачи зачета). В противном случае (если количество набранных баллов по результатам текущего контроля находится между 36 и 61) студент обязан пройти процедуру аттестации. При этом:

«Зачтено» выставляется обучающемуся, продемонстрировавшему полное, всестороннее, осознанное правильное знание программного материала и изложившему ответ логично, грамотно, убедительно, готового к дальнейшему профессиональному совершенствованию. При ответе обучающийся может допустить некоторые неточности, негрубые ошибки, затрудняться в самостоятельном изложении материала, но правильно отвечать на задаваемые ему вопросы, в результате наводящих вопросов с помощью преподавателя исправлять допущенные ошибки и неточности.

«Не зачтено» может быть выставлено обучающемуся, обнаружившему неполное, неосознанное знание учебно-программного материала, допускающему грубые ошибки, неспособному самостоятельно изложить ответ на вопрос, отвечающему неправильно или не дающему ответ на заданные вопросы. Демонстрируемый уровень знаний не может быть признан достаточным для профессиональной деятельности.

Результат экзамена выражается оценками:

«Отлично» – от 91 до 100 баллов – теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы. Все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному. На экзамене студент демонстрирует глубокие знания предусмотренного программой материала, умеет четко, лаконично и логически последовательно отвечать на поставленные вопросы.

«Хорошо» – от 81 до 90 баллов – теоретическое содержание курса освоено, необходимые практические навыки работы сформированы, выполненные учебные задания содержат незначительные ошибки. На экзамене студент демонстрирует твердое знание основного (программного) материала, умеет четко, грамотно, без существенных неточностей отвечать на поставленные вопросы.

«Удовлетворительно» – от 61 до 80 баллов – теоретическое содержание курса освоено не полностью, необходимые практические навыки работы сформированы

частично, выполненные учебные задания содержат грубые ошибки. На экзамене студент демонстрирует знание только основного материала, ответы содержат неточности, слабо аргументированы, нарушена последовательность изложения материала

«Неудовлетворительно» – от 36 до 60 баллов – теоретическое содержание курса не освоено, необходимые практические навыки работы не сформированы, выполненные учебные задания содержат грубые ошибки, дополнительная самостоятельная работа над материалом курса не приведет к существенному повышению качества выполнения учебных заданий. На экзамене студент демонстрирует незнание значительной части программного материала, существенные ошибки в ответах на вопросы, неумение ориентироваться в материале, незнание основных понятий дисциплины.

6. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Формы текущего и промежуточного контроля знаний студентов по дисциплине определяются в соответствии с учебным планом образовательной программы и в соответствии с действующим Положением о балльно-рейтинговой системе оценки успеваемости студентов КБГУ.

От обучающихся требуется посещение занятий и знакомство с рекомендованной литературой.

При аттестации обучающихся оценивается качество работы на занятиях (умение вести дискуссию, способность четко и ёмко формулировать свои мысли), уровень подготовки к самостоятельной деятельности, качество выполнения заданий (презентаций, докладов, выполнение практических работ и др.).

Результаты освоения учебной дисциплины, подлежащие проверке

Таблица 8

| Компете | Формулировка компетенции из ФГОС ВО | Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций) | Вид оценочного материала |
|------------------|--|--|--|
| Общекультурные | способность к самоорганизации и самообразованию (ОК-7); | <p><u>Знать:</u> основные правовые и этические нормы при оценке последствий своей профессиональной деятельности;</p> <p><u>Уметь:</u> планировать и реализовывать план работы; самостоятельно осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных по свойствам, технологии получения применению материалов электронной техники, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий;</p> <p><u>Владеть:</u> методами и способами самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, связанных с технологической подготовкой производства материалов и структур электронной техники;</p> | Вопросы к коллоквиуму, банк тестовых заданий, задания и вопросы к практическим занятиям, вопросы к зачету; |
| Профессиональные | способность аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения (ПК-2) | <p><u>Знать:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - основы метрологии и стандартизации, основные методы измерения физических величин, номенклатуру метрологических характеристик и принцип действия различных типов средств измерений; - основы системного анализа и синтеза применительно к устройствам промышленной электроники <p><u>Уметь:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - правильно выбирать средства измерений, разрабатывать методики выполнения измерений, осуществлять контроль за состоянием и применением контрольно-измерительного оборудования, проводить калибровку средств измерений; - исследовать нанообъекты; - работать с современной электронной измерительной техникой; обосновывать выбор элементов электронных устройств; - анализировать данные при выборе технических решений; - выбирать эффективную методику экспериментального исследования; - реализовывать на практике методику экспериментального исследования <p><u>Владеть:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - методами обработки и оценки погрешности результатов измерений; - методами расчета основных видов преобразователей электрической энергии, усилителей и генераторов электрических сигналов; - методами проверки работоспособности электронных устройств; | Вопросы к коллоквиуму, банк тестовых заданий, задания и вопросы к практическим занятиям, вопросы к зачету; |

7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины (модуля)

7.1. Основная литература

1. Шишкин Г.Г., Агеев И.М. М.: Нанoeлектроника. Элементы, приборы, устройства. Учебное пособие/ БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015.— 409 с.— ЭБС «IPRbooks»
2. В.Е. Борисенко [и др.]. Нанoeлектроника. Теория и практика. Учебник/ М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013.— 367 с.— ЭБС «IPRbooks»
3. Драгунов В.П. Остертак Д.И.. Микро- и нанoeлектроника Учебное пособие. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2012.— 38 с.— ЭБС «IPRbooks»
4. Орлова М.Н. Борзых И.В. Нанoeлектроника Курс лекций. М.: Издательский Дом МИСиС, 2013.— 50 с.— ЭБС «IPRbooks»
5. Шука А.А. Нанoeлектроника. Учебное пособие. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. 342 с.— ЭБС «IPRbooks»

7.2 Дополнительная литература

1. Борисенко В.Е., Воробьев А.И., Уткина Е.А.. Нанoeлектроника. М. Изд. Бином, 2012, 340 с., ЭБС «Лань».
2. В.П. Драгунов, И.Г. Неизвестный, В.А. Гридчин. Основы нанoeлектроники –М.: Логос. 2006. -496 с., ЭБС «BookFinder».
3. Г.П. Берман и др. Введение в квантовые компьютеры. Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2004.— 188 с.— ЭБС «IPRbooks»
4. Рит М. Наноконструирование в науке и технике. Введение в мир нанорасчета Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2005. 160 с.— ЭБС «IPRbooks»
5. Зебрев Г.И. Физические основы кремниевой нанoeлектроники учебное пособие для вузов. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. — 241 с.— ЭБС «IPRbooks»
6. Нанотехнологии в полупроводниковой электронике/ Отв. Редактор А.Л. Асеев. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. – 368 с.
7. Абрамов И.И., Новик Е.Г. Численное моделирование металлических одноэлектронных транзисторов. – Мн.: Бестпринт, 2000. – 164 с.
8. Бауместер Д., Экерт А., Цайлингер А. Физика квантовой информации. – М.: Постмаркет, 2002. – 376 с.
9. Уайтсайдс Дж., Эйглер Д., Андерс Р. и др. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направления исследований./ Под ред. М.К.Роко, Р.С.Уильямса и П.Аливисатоса. Пер. с англ. – М.: Мир, 2002. – 292 с.
10. Справочно-информационная система «Консультант-плюс»
11. Справочно-информационная система «Гарант»

В том числе современные профессиональные базы данных

| № п/п | Наименование электронного ресурса | Краткая характеристика | Адрес сайта | Условия доступа |
|-------|-----------------------------------|---|---|--|
| 1 | ЭБД РГБ | Электронные версии 885898 полных текстов диссертаций и авторефератов из фонда Российской государственной библиотеки | http://www.diss.rsl.ru | Авторизованный доступ из библиотеки (к. 112-113) |
| 2 | «Web of Science» (WOS) | Авторитетная политематическая реферативно-библиографическая и наукометрическая база данных, в которой | http://www.isiknowledge.com/ | Доступ по IP-адресам КБГУ |

| | | | | |
|---|--|--|---|--|
| | | индексируются около 12,5 тыс. журналов | | |
| 3 | Sciverse Scopus издательства «Эльзевир. Наука и технологии» | Реферативная и аналитическая база данных, содержащая 21.000 рецензируемых журналов; 100.000 книг; 370 книжный серий (продолжающихся изданий); 6,8 млн. докладов из трудов конференций | http:// www.scopus.c om | Доступ по IP-адресам КБГУ |
| 4 | Научная электронная библиотека (НЭБ РФФИ) | Электронная библиотека научных публикаций - полнотекстовые версии около 4000 иностранных и 3900 отечественных научных журналов, рефераты публикаций 20 тысяч журналов, а также описания 1,5 млн. зарубежных и российских диссертаций. 2800 российских журналов на безвозмездной основе | http:// elibrary.ru | Полный доступ |
| 5 | База данных Science Index (РИНЦ) | Национальная информационно-аналитическая система, аккумулирующая более 6 миллионов публикаций российских авторов, а также информацию об их цитировании из более 4500 российских журналов. | http:// elibrary.ru | Авторизованный доступ. Позволяет дополнять и уточнять сведения о публикациях ученых КБГУ, имеющих в РИНЦ |
| 6 | Национальна я электронная библиотека РГБ | Объединенный электронный каталог фондов российских библиотек, содержащий 4 331 542 электронных документов образовательного и научного характера по различным отраслям знаний | https://нэб.рф | Доступ с электронного читального зала библиотеки КБГУ |

7.3. Периодические издания

1. Нано- и микросистемная техника (журнал)
2. Микроэлектроника (журнал)
3. Физика и технология полупроводников (журнал)
4. Физика твердого тела (журнал)
5. Поверхность (журнал)
6. Журнал экспериментальной и теоретической физики (журнал)

7.4 Интернет-ресурсы

1. <http://archive.neicon.ru> – полнотекстовые архивы зарубежных журналов
2. <http://window.edu.ru/window> - информационная система
3. <http://techlibrary.ru/> - техническая библиотека
4. <http://www.en.edu.ru/catalogue/> - образовательный портал
5. <http://www.nanonewsnet.ru> – материалы по нанотехнологиям
6. <http://www.frbr.ru> - материалы по нанотехнологиям
7. <http://www.russianelectronics.ru> – портал «Время электроники»
8. <http://www.platan.ru> – каталог электронных компонентов

7.5. Методические указания по проведению учебных занятий и организации самостоятельной работы студента.

Методические рекомендации к чтению лекций.

Методические рекомендации общего характера по проведению учебных занятий и организации самостоятельной работы студентов достаточно хорошо разработаны многими отечественными и зарубежными авторами, в том числе с учетом компетентностного подхода при организации образовательного процесса, основанного на деятельностной модели подготовки выпускника вуза. Характерной особенностью реализации деятельностной парадигмы образования является уменьшение трудоемкости аудиторной

работы и соответствующее повышения трудоемкости самостоятельной работы. Рабочий учебный план для бакалавров по направлению подготовки «Электроника и наноэлектроника» в КБГУ, предусматривает объем контактной работы примерно 47% от общей трудоемкости дисциплинарной подготовки. По дисциплине «Наноэлектроника», которая включена в указанной выше учебный план, выдерживается этот показатель. В таких условиях имеет место повышение роли, значимости и объемов самостоятельной работы студентов, при изучении данной дисциплины. В то же время учебная (контактная) работа, по-прежнему, должна, безусловно, выполнять системообразующую роль, обеспечивая регулярность и целевую направленность образовательной деятельности по данной дисциплине.

Основными формами организации учебных (аудиторных) занятий по дисциплине «Наноэлектроника» являются лекции и лабораторные занятия.

При подготовке лекционных занятий преподаватель должен определить цели и задачи лекции, разработать план проведения лекции, осуществить подбор литературы (ознакомление с периодическими изданиями по теме лекций), отбор необходимого и достаточного по содержанию учебного материала. Лектор определяет методы, приемы и средства поддержания интереса, внимания, стимулирования творческого мышления студентов.

Лекция должна включать в качестве этапов формулировку темы лекций, перечень вопросов, изложение вводной части, основной части, краткие выводы по каждому рассмотренному вопросу и рекомендации литературных источников по излагаемым вопросам. Если очередное занятие является продолжением предыдущей лекции, целесообразно кратко сформулировать полученные ранее результаты, необходимые для понимания и усвоения изучаемых вопросов. В заключительной части лекции желательно обобщить наиболее важные и существенные моменты лекции, сделать выводы, а также сформулировать задачи для самостоятельной работы студентов и указать рекомендуемую литературу. Целесообразно также выделить время для ответа на вопросы студентам и возможную дискуссию по изложенному материалу на лекции.

Содержание лекции по данной дисциплине должно соответствовать дидактическим принципам, которые обеспечивают соответствие излагаемого материала научно-методическим основам педагогической деятельности. Основными из них являются целостность, научность, доступность, систематичность и наглядность.

Эффективность лекции может быть повышена за счет рационального использования технических средств. Комплекты технических средств необходимо готовить к каждой лекции заблаговременно, не перегружая ими аудиторию.

Существует классификация лекций по типам и методам их проведения (вводная, установочная, программная, обзорная, итоговая и др.). При изложении программного материала по данной дисциплине на лекциях рекомендуется широкое использование средств информационно-коммуникационных технологии (ИКТ) и аудио-видеотехники. Подготовка видео – лекции состоит в перекодировании, переконструировании учебной информации по теме в визуальную форму для предъявления студентам через технические средства обучения или схемы, рисунки, чертежи.

Методические рекомендации по проведению лабораторных занятий.

Лабораторные занятия должны обеспечивать формирование, прежде всего, компонентов «уметь» и «владеть» заданных дисциплинарных компетенций. Лабораторные занятия по дисциплине должны быть ориентированы, как правило, на решение практических задач, в будущей профессиональной деятельности с использованием средств, методов, методик, подходов, алгоритмов и моделей, изложенных на лекциях и вынесенных на самостоятельную работу.

По дисциплине «Нанoeлектроника» одной из главных целей лабораторных занятий является углубление, закрепление и наиболее полное усвоение того материала, который был освещен на лекции или задан для самостоятельного изучения.

В ходе проведения лабораторных занятий преподаватель помогает студентам овладеть техническими средствами, применять их на практике при анализе и изучении принципов работы и физических основ приборов и устройств в нанoeлектронике.

Успех лабораторных занятий по дисциплине зависит от качества подготовки к нему преподавателя и студентов. На лабораторных занятиях преподаватель должен создавать творческую, рабочую атмосферу в лаборатории, направленную на стимулирование практической деятельности, а так же поисковой, исследовательской и аналитической деятельности по тематике занятий. Необходимо развивать и поощрять самостоятельность обучающихся в формировании выводов, следующих из результатов измерений и их обработки, добиваться их внимательного и критического отношения к полученным результатам.

Одним из показателей хорошей организации лабораторных занятий является активная работа студентов. При этом очень важен подлинно научный анализ результатов практических работ, связанных с областью и видами профессиональной деятельности выпускников по направлению подготовки «Электроника и нанoeлектроника»

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы

Самостоятельная работа обучающихся - способ активного, целенаправленного приобретения студентом новых для него знаний и умений без непосредственного участия в этом процесса преподавателей. Повышение роли самостоятельной работы обучающихся при проведении различных видов учебных занятий предполагает:

- оптимизацию методов обучения, внедрение в учебный процесс новых технологий обучения, повышающих производительность труда преподавателя, активное использование информационных технологий, позволяющих обучающемуся в удобное для него время осваивать учебный материал;
- широкое внедрение компьютеризированного тестирования;
- совершенствование методики проведения практик и научно-исследовательской работы обучающихся, поскольку именно эти виды учебной работы в первую очередь готовят обучающихся к самостоятельному выполнению профессиональных задач;
- модернизацию системы курсового и дипломного проектирования, которая должна повышать роль студента в подборе материала, поиске путей решения задач.

Самостоятельная работа приводит студента к получению нового знания, упорядочению и углублению имеющихся знаний, формированию у него профессиональных навыков и умений. Самостоятельная работа выполняет ряд функций:

- развивающую;
- информационно-обучающую;
- ориентирующую и стимулирующую;
- воспитывающую;
- исследовательскую.

В рамках курса выполняются следующие виды самостоятельной работы:

1. Проработка учебного материала по конспектам, учебной и научной литературе, методическим рекомендациям (для подготовки к лабораторным занятиям, тестам, коллоквиумам и промежуточной аттестации);
2. Регулярное самотестирование и самопроверка по вопросам на экзамен (зачет);
3. Самостоятельная поисково-исследовательская работа по изучаемой дисциплине с использованием любых видов источников информации (в том числе и новых информационных технологий).

Студентам рекомендуется с самого начала освоения курса работать с учебным материалом и вопросами к промежуточной аттестации в форме подготовки к очередному

лабораторному занятию и коллоквиуму. При этом актуализируются имеющиеся знания, а также создается база для усвоения нового материала, возникают вопросы, ответы на которые студент получает на занятиях.

При освоении курса студент может пользоваться библиотекой вуза, которая в полной мере обеспечена соответствующей литературой. Значительную помощь в подготовке к очередному занятию может оказать краткий конспект лекций. Он же может использоваться и для закрепления нового материала. Самостоятельная работа студентов предусмотрена учебным планом и выполняется в обязательном порядке. По необходимости студент может обращаться за консультацией к преподавателю.

Для успешной организации самостоятельной работы все активнее применяются разнообразные образовательные ресурсы в сети Интернет: системы тестирования по различным областям, виртуальные лекции, лаборатории, при этом пользователю достаточно иметь компьютер и подключение к Интернету для того, чтобы связаться с преподавателем, решать вычислительные задачи и получать знания. Использование сетей усиливает роль самостоятельной работы студента и позволяет кардинальным образом изменить методику преподавания. Студент может получать все задания и методические указания через сервер, что дает ему возможность привести в соответствие личные возможности с необходимыми для выполнения работ трудозатратами. Студент имеет возможность выполнять работу дома или в аудитории.

Большое воспитательное и образовательное значение в самостоятельном учебном труде студента имеет самоконтроль. Самоконтроль возбуждает и поддерживает внимание и интерес, повышает активность памяти и мышления, позволяет студенту своевременно обнаружить и устранить допущенные ошибки и недостатки, объективно определить уровень своих знаний, практических умений.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

За институтом и кафедрой закреплены специально оборудованные аудитории для чтения лекций и проведения лабораторных занятий с использованием средств современных информационных технологий (ауд. № 146, №418, №417). Студентам обеспечивается доступ к ресурсам глобальной сети Интернет. В компьютерных классах (№319, №320), закрепленных за факультетом и кафедрой, а также в 40 компьютерных классах вуза и библиотеки КБГУ, студенты могут самостоятельно в порядке подготовки к бально-рейтинговым контрольным мероприятиям изучить соответствующие разделы дисциплин, осуществить самоподготовку и пройти компьютерное тестирование.

Студенты, изучающие данную дисциплину, под руководством преподавателя посещают научно-исследовательские лаборатории кафедры, института и вуза (лаборатория электронной спектроскопии, лаборатория сканирующей зондовой микроскопии, центр коллективного пользования КБГУ и др.). Проводятся встречи студентов с научными сотрудниками и инженерно-техническим персоналом указанных научно-исследовательских лабораторий. Студенты для приобщения к исследовательской работе в области нанонауки и нанотехнологии могут обращаться в научно-исследовательскую лабораторию кафедры (№212), которые оснащены следующим оборудованием:

1. Сканирующие зондовые микроскопы Nanoeducator I и II
2. Сканирующие зондовые микроскопы СММ 2000
4. Персональные рабочие станции со специализированным программным обеспечением, используемым для проведения измерений, обработки результатов и визуализации результатов измерений, полученных на сканирующих зондовых микроскопах.
5. Программное обеспечение:
 - Специализированный пакет для обработки и визуализации результатов измерений Scan Viewer, Nanoeducator, SMM2000 Analysis Program, SMM2000 Scanning Programs
 - Пакет прикладных программ Microsoft Office, архиватор WinRAR, программа для работы с pdf-документами Adobe Reader.

Лабораторный практикум проводится в учебно-научных лабораториях оснащенных персональными компьютерами (лаб. № 212, №422). При выполнении лабораторного практикума студенты проводят модельные эксперименты и обработку экспериментальных данных с применением программных сред Microsoft Excel, MathCad.

Для студентов с ограниченными возможностями здоровья созданы специальные условия для получения образования. В целях доступности получения высшего образования по образовательным программам инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья университетом обеспечивается: 1) альтернативная версия официального сайта в сети «Интернет» для слабовидящих; 2) присутствие ассистента, оказывающего обучающемуся необходимую помощь; 3) для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по слуху - дублирование вслух справочной информации о расписании учебных занятий; обеспечение надлежащими звуковыми средствами воспроизведения информации. Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата, созданы материально-технические условия обеспечивающие возможность беспрепятственного доступа обучающихся в учебные помещения, объекту питания, туалетные и другие помещения университета, а также пребывания в указанных помещениях (наличие расширенных дверных проемов, поручней и других приспособлений).

**Лист изменений (дополнений) в рабочей программе дисциплины
«Нанoeлектроника»**

по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

на 2020 – 2021 учебный год

| № п/п | Элемент (пункт) РПД | Перечень вносимых изменений | Примечание |
|--------------|----------------------------|--|-------------------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Обсуждена и рекомендована на заседании кафедры

физических основ микро- и нанoeлектроники,

протокол № _____ от « ____ » _____ 2020 г.

Заведующий кафедрой _____ /А.А. Шебзухов _____/ _____