

ИНСТИТУТ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, СПИНТРОНИКЕ И ФОТОНИКЕ

КАФЕДРА ФИЗИКИ МИКРО- И НАНОСИСТЕМ

ОДОБРЕНО НТС ИНТЭЛ

Протокол № 2

от 26.04.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**ВВЕДЕНИЕ В ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МИКРО- И НАНОТЕХНОЛОГИЙ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

| Семестр | Трудоемкость,<br>кред. | Общий объем<br>курса, час. | Лекции, час. | Практич.<br>занятия, час. | Лаборат. работы,<br>час. | В форме<br>практической<br>подготовки/ В | СРС, час. | КСР, час. | Форма(ы)<br>контроля,<br>экс./зач./КР/КП |
|---------|------------------------|----------------------------|--------------|---------------------------|--------------------------|--|-----------|-----------|--|
| 5       | 2                      | 72                         | 32           | 0                         | 16                       |  | 24        | 0         | 3  |
| Итого   | 2                      | 72                         | 32           | 0                         | 16                       | 0  | 24        | 0         |  |

## АННОТАЦИЯ

Учебная задача курса - дать основные понятия о наноструктурах, их систематизации, общих физических методах получения наноструктур, основных физических свойствах и применениях наноструктур.

Курс состоит из следующих основных частей: квантование энергетических уровней в одномерных потенциальных ямах, эффект размерного квантования, современные методы получения наноструктур, методы диагностики и характеристики наноструктур, применение наноструктур.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения учебной дисциплины является получение знаний, необходимых для успешной профессиональной деятельности в области исследований, разработок и технологий, направленных на понимание процессов, происходящих в области нанофотоники, физики нанообъектов и конденсированного состояния вещества и управление процессами на наноуровне.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Профессиональный модуль, дисциплина по выбору

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

| Код и наименование компетенции | Код и наименование индикатора достижения компетенции |
|--------------------------------|--|
|--------------------------------|--|

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

| Задача профессиональной деятельности (ЗПД)  | Объект или область знания  | Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)                            | Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции  |
|---|--|--|--|
| научно-исследовательский  |  |  |  |
| Участие в планировании и проведении экспериментов по заданной методике, обработка результатов с применением | Материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, | ПК-2 [1] - Способен к экспериментальной проверке выбранных технологических решений производства приборов и исследованию параметров | З-ПК-2[1] - Знания в области материаловедения наноструктурированных материалов.; У-ПК-2[1] - Умение экспериментально исследовать параметры |

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| <p>современных информационных технологий и технических средств</p>                                | <p>проектирования и конструирования. Технологические процессы производства, диагностическое и технологическое оборудование, математические модели, алгоритмы решения типовых задач в области электроники и нанoeлектроники. Современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и нанoeлектроники. Инновационные технические решения в сфере базовых постулатов проектирования, технологии изготовления и применения электронных приборов и устройств.</p> | <p>наноструктурных материалов в соответствии с утвержденной методикой, к разработке методик и техническому руководству экспериментальной проверкой технологических процессов и исследованием параметров наноструктурированных материалов</p> <p><i>Основание:</i><br/>Профессиональный стандарт: 40.011</p> | <p>наноструктурированных материалов;<br/>В-ПК-2[1] - Владение современными нанотехнологиями и методиками измерений в области микро- и нанoeлектроники.</p>   |
| <p>производственно-технологический</p>  |  |   |  |
| <p>Проведение технологических процессов производства материалов и изделий электронной техники</p> | <p>Материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования. Технологические процессы производства, диагностическое и</p>   | <p>ПК-8 [1] - Способен выполнять постановку и эксплуатацию определенного технологического процесса или блока технологических операций по производству материалов и изделий электронной техники</p> <p><i>Основание:</i><br/>Профессиональный</p>  | <p>З-ПК-8[1] - Знание технологий сверхбольших интегральных схем, планарных и иных технологий электроники и нанoeлектроники;<br/>У-ПК-8[1] - Умение выполнять постановку и эксплуатацию определенного технологического процесса или блока технологических</p> |

|   |   |  |  |
|---|---|--|--|
|   | <p>технологическое оборудование, математические модели, алгоритмы решения типовых задач в области электроники и нанoeлектроники. Современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и нанoeлектроники. Инновационные технические решения в сфере базовых постулатов проектирования, технологии изготовления и применения электронных приборов и устройств.</p> | <p>стандарт: 40.011</p>  | <p>операций по производству СБИС, интегральных СВЧ-систем и других изделий электронной техники.; В-ПК-8[1] - Владение технологическими операциями по производству материалов и изделий электронной техники</p>   |
| <p>Организация метрологического обеспечения производства материалов и изделий электронной техники</p> | <p>Материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования. Технологические процессы производства, диагностическое и технологическое оборудование, математические модели, алгоритмы решения типовых задач в области</p>   | <p>ПК-9 [1] - Способен выполнять определенный тип измерительных или контрольных операций при исследовании параметров полупроводниковых приборов и устройств или в технологическом процессе по производству материалов и изделий электронной техники</p> <p><i>Основание:</i><br/>Профессиональный стандарт: 40.003</p> | <p>З-ПК-9[1] - Знание параметров полупроводниковых приборов аналоговой, цифровой, радиочастотной и СВЧ-электроники.; У-ПК-9[1] - Умение выполнять исследования параметров полупроводниковых приборов и устройств в микро- и нанoeлектронике; В-ПК-9[1] - Владение методами измерений в технологическом процессе по производству материалов и изделий электронной техники</p> |

|   |   |  |  |
|---|---|--|--|
|   | <p>электроники и наноэлектроники. Современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и наноэлектроники. Инновационные технические решения в сфере базовых постулатов проектирования, технологии изготовления и применения электронных приборов и устройств.</p>  |  |  |
| <p>Выполнение работ по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники</p> | <p>Материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования. Технологические процессы производства, диагностическое и технологическое оборудование, математические модели, алгоритмы решения типовых задач в области электроники и наноэлектроники. Современное программное и информационное обеспечение процессов</p> | <p>ПК-10 [1] - Способен к модернизации существующих и внедрению новых методов и оборудования для измерений параметров наноматериалов и наноструктур</p> <p><i>Основание:</i><br/>Профессиональный стандарт: 40.003</p> | <p>З-ПК-10[1] - Знание физических основ современных микро- и нанотехнологий, технологий гетероструктурной и СВЧ-электроники.; У-ПК-10[1] - Умение творчески применять современное оборудование для измерений параметров наноматериалов и наноструктур; В-ПК-10[1] - Владение методами измерений параметров наноматериалов и наноструктур</p> |

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
|  | <p>моделирования и проектирования изделий электроники и нанoeлектроники. Инновационные технические решения в сфере базовых постулатов проектирования, технологии изготовления и применения электронных приборов и устройств.</p> |  |  |
|--|--|--|--|

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

| Направления/цели воспитания            | Задачи воспитания (код)  | Воспитательный потенциал дисциплин  |
|--|--|---|
| Профессиональное и трудовое воспитание | Создание условий, обеспечивающих, формирование глубокого понимания социальной роли профессии, позитивной и активной установки на ценности избранной специальности, ответственного отношения к профессиональной деятельности, труду (В14) | 1.Использование воспитательного потенциала дисциплин естественнонаучного и общепрофессионального модуля для: - формирования позитивного отношения к профессии инженера (конструктора, технолога), понимания ее социальной значимости и роли в обществе, стремления следовать нормам профессиональной этики посредством контекстного обучения, решения практико-ориентированных ситуационных задач. - формирования устойчивого интереса к профессиональной деятельности, способности критически, самостоятельно мыслить, понимать значимость профессии посредством осознанного выбора тематики проектов, выполнения проектов с последующей публичной презентацией результатов, в том числе обоснованием их социальной и практической значимости; - формирования навыков командной работы, в том числе реализации различных |

|                             |  |  |
|-----------------------------|--|--|
|                             |  | <p>проектных ролей (лидер, исполнитель, аналитик и пр.) посредством выполнения совместных проектов.</p> <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплины «Экономика и управление в промышленности на основе инновационных подходов к управлению конкурентоспособностью», «Юридические основы профессиональной деятельности» для: - формирования навыков системного видения роли и значимости выбранной профессии в социально-экономических отношениях через контекстное обучение</p>   |
| Профессиональное воспитание | Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (B18) | Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.   |
| Профессиональное воспитание | Создание условий, обеспечивающих, формирование навыков коммуникации, командной работы и лидерства (B20)  | <p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР.</p> <p>2.Использование воспитательного</p> |

|                                    |   |  |
|------------------------------------|---|--|
|                                    |   | <p>потенциала дисциплин профессионального модуля для: - формирования производственного коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепление рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.</p>  |
| <p>Профессиональное воспитание</p> | <p>Создание условий, обеспечивающих, формирование творческого инженерного/профессионального мышления, навыков организации коллективной проектной деятельности (В22)</p> | <p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР.</p> <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для: - формирования производственного коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепление рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при</p> |



|                                    |  |  |
|------------------------------------|--|--|
|                                    |  | <p>распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.</p>  |
| <p>Профессиональное воспитание</p> | <p>Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности и аккуратности в работе с опасными веществами и при требованиях к нормам высокого класса чистоты (В35)</p> | <p>1.Использование воспитательного потенциала профильных дисциплин «Введение в специальность», «Введение в технику физического эксперимента», «Измерения в микро- и нанoeлектронике», «Информационные технологии в физических исследованиях», «Экспериментальная учебно-исследовательская работа» для: - формирования навыков безусловного выполнения всех норм безопасности на рабочем месте, соблюдении мер предосторожности при выполнении исследовательских и производственных задач с опасными веществами и на оборудовании полупроводниковой промышленности, а также в помещениях с высоким классом чистоты посредством привлечения действующих специалистов полупроводниковой промышленности к реализации учебных дисциплин и сопровождению проводимых у студентов практических работ в этих организациях, через выполнение студентами практических и лабораторных работ, в том числе с использованием современных САПРов для моделирования компонентной базы электроники, измерительного и технологического оборудования на кафедрах, лабораториях и центрах ИНТЭЛ;</p> <p>2.Использование воспитательного потенциала профильных дисциплин «Спецпрактикум по физике наносистем», «Спецпрактикум по нанотехнологиям»,</p> |

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  | <p>«Специальный практикум по физике наносистем»,<br/> «Современные проблемы физики конденсированных сред (спецсеминар)»,<br/> «Экспериментальные методы исследования наноструктур (спецсеминар)», для: - формирования профессиональной коммуникации в научной среде; - формирования разностороннего мышления и тренировки готовности к работе в профессиональной и социальной средах полупроводниковой промышленности - формирования умений осуществлять самоанализ, осмысливать собственные профессиональные и личностные возможности для саморазвития и самообразования, в целях постоянного соответствия требованиям к эффективным и прогрессивным специалистам для разработок новых материалов и устройств по направлениям, связанным с СВЧ электроникой, микро- и нанопроцессорами, оптическими модуляторами и применением новых материалов в нанoeлектронных компонентах через организацию практикумов в организациях по разработке и производству полупроводниковых изделий, использование методов коллективных форм познавательной деятельности, ролевых заданий, командного выполнения учебных заданий и защиту их результатов.</p> |
|--|--|--|

## 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

| № п.п | Наименование раздела учебной дисциплины     | Недели | Лекции/ Практи. (семинары )/ Лабораторные работы, час. | Обязат. текущий контроль (форма*, неделя) | Максимальный балл за раздел** | Аттестация раздела (форма*, неделя) | Индикаторы освоения компетенции  |
|-------|---|--------|--|---|-------------------------------|-------------------------------------|--|
|       | <i>5 Семестр</i>                            |        |  |   |                               |                                     |  |
| 1     | Первый раздел                               | 1-8    | 16/0/8   |   | 25                            | КИ-8                                | 3-ПК-10,<br>У-ПК-10,<br>В-ПК-10  |
| 2     | Второй раздел                               | 9-15   | 16/0/8   |   | 25                            | КИ-15                               | 3-ПК-2,<br>У-ПК-2,<br>В-ПК-2   |
|       | <i>Итого за 5 Семестр</i>                   |        | 32/0/16  |   | 50                            |                                     |  |
|       | <b>Контрольные мероприятия за 5 Семестр</b> |        |  |   | 50                            | 3                                   | 3-ПК-2,<br>У-ПК-2,<br>В-ПК-2,<br>3-ПК-8,<br>У-ПК-8,<br>В-ПК-8,<br>3-ПК-9,<br>У-ПК-9,<br>В-ПК-9,<br>3-ПК-10,<br>У-ПК-10,<br>В-ПК-10 |

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

| Обозначение | Полное наименование |
|-------------|---------------------|
| КИ          | Контроль по итогам  |
| З           | Зачет               |

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

| Неделя     | Темы занятий / Содержание  | Лек., час.             | Пр./сем., час. | Лаб., час. |
|------------|--|------------------------|----------------|------------|
|            | <i>5 Семестр</i>   | 32                     | 0              | 16         |
| <b>1-8</b> | <b>Первый раздел</b>   | 16                     | 0              | 8          |
| 1          | <b>Тема 1</b><br>Понятие наносистемы. Примеры современных микро- и наносистем. Роль микро- и наносистем на современном этапе развития науки и техники.   | Всего аудиторных часов |                |            |
|            |  | 2                      | 0              | 0          |
|            |  | Онлайн                 |                |            |
|            |  | 0                      | 0              | 0          |
| 2          | <b>Тема 2</b><br>Понятие о 3D, 2D, 1D – наносистемах. Эффект размерного квантования. Частица в одномерной потенциальной яме. Решение уравнения Шредингера. Энергетические уровни, плотность состояний. | Всего аудиторных часов |                |            |
|            |  | 2                      | 0              | 2          |
|            |  | Онлайн                 |                |            |
|            |  | 0                      | 0              | 0          |
| 3          | <b>Тема 3</b><br>Сферическая потенциальная яма. Уравнение Шредингера, момент количества движения. Разделение переменных, уравнения для координатной и угловой части волновой функции.                  | Всего аудиторных часов |                |            |
|            |  | 2                      | 0              | 0          |
|            |  | Онлайн                 |                |            |
|            |  | 0                      | 0              | 0          |
| 4          | <b>Тема 4</b><br>Туннельный эффект. Вероятность туннелирования. Автоэмиссия электронов в постоянном электрическом поле.  | Всего аудиторных часов |                |            |
|            |  | 2                      | 0              | 2          |
|            |  | Онлайн                 |                |            |
|            |  | 0                      | 0              | 0          |
| 5          | <b>Тема 5</b><br>Понятие радиационного перехода. Дипольное приближение, понятие о правилах отбора.   | Всего аудиторных часов |                |            |
|            |  | 2                      | 0              | 2          |
|            |  | Онлайн                 |                |            |
|            |  | 0                      | 0              | 0          |
| 6          | <b>Тема 6</b><br>Современные методы и технологии получения наносистем. Понятие о термическом и лазерном вакуумном напылении.   | Всего аудиторных часов |                |            |
|            |  | 2                      | 0              | 0          |
|            |  | Онлайн                 |                |            |
|            |  | 0                      | 0              | 0          |
| 7          | <b>Тема 7</b><br>Понятие о физико-химических методах получения наносистем. Методы коллоидной химии и обратных мицелл.  | Всего аудиторных часов |                |            |
|            |  | 2                      | 0              | 0          |
|            |  | Онлайн                 |                |            |
|            |  | 0                      | 0              | 0          |
| 8          | <b>Тема 8</b><br>Обзор основных методов и физических принципов диагностики характеристик наносистем – нанокристаллов,  | Всего аудиторных часов |                |            |
|            |  | 2                      | 0              | 2          |
|            |  | Онлайн                 |                |            |

|             |  |                        |   |   |
|-------------|--|------------------------|---|---|
|             | квантовых точек, нанонитей ( нанороудсов), тонких пленок.  | 0                      | 0 | 0 |
| <b>9-15</b> | <b>Второй раздел</b>   | 16                     | 0 | 8 |
| 9           | <b>Тема 9</b><br>Интерферометрия для определения толщин тонких пленок. Основные типы интерферометров, понятие аппаратной функции интерферометра. Интерферометрический микроскоп.   | Всего аудиторных часов |   |   |
|             |  | 3                      | 0 | 0 |
|             |  | Онлайн                 |   |   |
|             |  | 0                      | 0 | 0 |
| 10          | <b>Тема 10</b><br>Рассеяние электромагнитного излучения на нано- и микрочастицах. Понятие о рассеянии Рэля и Ми. Рассеяние оптического излучения, как метод определения размера микро- и наночастиц. Приборы для определения размеров наночастиц, работающие на основе рассеяния | Всего аудиторных часов |   |   |
|             |  | 3                      | 0 | 2 |
|             |  | Онлайн                 |   |   |
|             |  | 0                      | 0 | 0 |
| 11          | <b>Тема 11</b><br>Современные приборы для определения размеров наночастиц, работающие на основе рассеяния оптического излучения.   | Всего аудиторных часов |   |   |
|             |  | 2                      | 0 | 2 |
|             |  | Онлайн                 |   |   |
|             |  | 0                      | 0 | 0 |
| 12          | <b>Тема 12</b><br>Интерферометр Фабри-Перо. Понятие о модах интерферометра. Микрорезонаторы.   | Всего аудиторных часов |   |   |
|             |  | 2                      | 0 | 2 |
|             |  | Онлайн                 |   |   |
|             |  | 0                      | 0 | 0 |
| 13          | <b>Тема 13</b><br>Понятие о фотонных кристаллах, природные фотонные кристаллы Методы получения фотонных кристаллов. Примеры их использования в науке и технике.  | Всего аудиторных часов |   |   |
|             |  | 2                      | 0 | 2 |
|             |  | Онлайн                 |   |   |
|             |  | 0                      | 0 | 0 |
| 14          | <b>Тема 14</b><br>Основные представления о плазме. Распространение электромагнитного излучения в плазменных средах. Колебания плазмы, плазменная частота   | Всего аудиторных часов |   |   |
|             |  | 2                      | 0 | 0 |
|             |  | Онлайн                 |   |   |
|             |  | 0                      | 0 | 0 |
| 15          | <b>Тема 15</b><br>Понятие о плазмонах. Продольные и поперечные плазмоны. Примеры наночастиц со свойствами плазмонных резонансов. Понятие о сенсорах на основе плазмонных резонансов.   | Всего аудиторных часов |   |   |
|             |  | 2                      | 0 | 0 |
|             |  | Онлайн                 |   |   |
|             |  | 0                      | 0 | 0 |

Сокращенные наименования онлайн опций:

| Обозначение | Полное наименование              |
|-------------|----------------------------------|
| ЭК          | Электронный курс                 |
| ПМ          | Полнотекстовый материал          |
| ПЛ          | Полнотекстовые лекции            |
| ВМ          | Видео-материалы                  |
| АМ          | Аудио-материалы                  |
| Прз         | Презентации                      |
| Т           | Тесты                            |
| ЭСМ         | Электронные справочные материалы |
| ИС          | Интерактивный сайт               |

ТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

| <b>Недели</b> | <b>Темы занятий / Содержание</b>   |
|---------------|--|
|               | <i>5 Семестр</i>   |
|               | <b>Тема 1</b><br>Эффект размерного квантования. Частица в одномерной потенциальной яме. Решение уравнения Шредингера. Энергетические уровни, плотность состояний.  |
|               | <b>Тема 2</b><br>Туннельный эффект. Вероятность туннелирования. Автоэмиссия электронов в постоянном электрическом поле.  |
|               | <b>Тема 3</b><br>Понятие радиационного перехода. Дипольное приближение, понятие о правилах отбора.   |
|               | <b>Тема 4</b><br>Обзор основных методов и физических принципов диагностики характеристик наносистем – нанокристаллов, квантовых точек, нанонитей ( нанорудсов), тонких пленок.   |
|               | <b>Тема 5</b><br>Рассеяние электромагнитного излучения на нано- и микрочастицах. Понятие о рассеянии Рэлея и Ми. Рассеяние оптического излучения, как метод определения размера микро- и наночастиц. Приборы для определения размеров наночастиц, работающие на основе рассеяния |
|               | <b>Тема 6</b><br>Современные приборы для определения размеров наночастиц, работающие на основе рассеяния оптического излучения.  |
|               | <b>Тема 7</b><br>Интерферометр Фабри-Перо. Понятие о модах интерферометра. Микрорезонаторы.  |
|               | <b>Тема 8</b><br>Понятие о фотонных кристаллах, природные фотонные кристаллы Методы получения фотонных кристаллов.   |

## **6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

В процессе обучения используются современные предметно-ориентированные и лично-ориентированные образовательные технологии. При проведении лекций используются наглядные формы демонстрации учебного материала в виде презентаций, а также выступление приглашенных преподавателей соответствующих кафедр высшего учебного заведения, занимающихся исследованиями в области электроники и наноэлектроники.

## **7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

| Компетенция | Индикаторы освоения | Аттестационное мероприятие (КП 1) |
|-------------|---------------------|-----------------------------------|
| ПК-10       | З-ПК-10             | З, КИ-8                           |
|             | У-ПК-10             | З, КИ-8                           |
|             | В-ПК-10             | З, КИ-8                           |
| ПК-2        | З-ПК-2              | З, КИ-15                          |
|             | У-ПК-2              | З, КИ-15                          |
|             | В-ПК-2              | З, КИ-15                          |
| ПК-8        | З-ПК-8              | З                                 |
|             | У-ПК-8              | З                                 |
|             | В-ПК-8              | З                                 |
| ПК-9        | З-ПК-9              | З                                 |
|             | У-ПК-9              | З                                 |
|             | В-ПК-9              | З                                 |

### Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

| Сумма баллов | Оценка по 4-ех балльной шкале | Оценка ECTS | Требования к уровню освоению учебной дисциплины   |
|--------------|-------------------------------|-------------|---|
| 90-100       | 5 – «отлично»                 | A           | Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы. |
| 85-89        | 4 – «хорошо»                  | B           | Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.   |
| 75-84        |                               | C           |   |
| 70-74        |                               | D           |   |
| 65-69        | 3 – «удовлетворительно»       | E           | Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.    |
| 60-64        |                               |             |   |
| Ниже 60      | 2 –                           | F           | Оценка «неудовлетворительно»  |

|  |                       |  |  |
|--|-----------------------|--|--|
|  | «неудовлетворительно» |  | выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине. |
|--|-----------------------|--|--|

## **8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Д26 Введение в физику и моделирование фотонных кристаллов : учебное пособие для вузов, Москва: НИЯУ МИФИ, 2012
2. ЭИ Д 13 Элементарное введение в теорию наносистем : , Санкт-Петербург: Лань, 2022
3. ЭИ З-15 Задачи по физике наноструктур для научно-исследовательской работы студентов : учебно-методическое пособие, И. Ю. Катеев [и др.], Москва: МИФИ, 2007
4. ЭИ М31 Введение в физику наноструктур : учебное пособие для вузов, М. М. Маслов, Л. А. Опенев, Москва: НИЯУ МИФИ, 2011

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

## **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

1. Образцы пористого кремния (Э-205)
2. Демонстрационный проектор

## **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**



При изучении курса студент должен твердо усвоить понятие наноструктур, их систематизацию, общие физические методы получения наноструктур и их характеристики, основные физические свойства и применения наноструктур.

При изучении первого раздела необходимо учитывать, что основные принципы квантовой механики студентами 3-го курса усваиваются обычно достаточно формально. Поэтому необходимо повторить основные принципы квантовой механики: операторы физических величин, принцип неопределенности, уравнение Шредингера и др. Основное внимание нужно уделить физическим выводам из решения квантовомеханических уравнений. При этом важным является вопрос: при каких размерах наноструктур и температурах экспериментально проявляется эффект размерного квантования. Для усвоения этих вопросов необходимо решить задачи, предложенные преподавателем по этой теме. Особое внимание нужно уделить сферической потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Это – модель полупроводниковой сферической квантовой точки. Полномерное решение уравнения Шредингера для этого случая на 3-м курсе невозможно, поскольку студенты не знакомы со специальными функциями. Решение возможно лишь для частного случая. Однако студент должен познакомиться с поведением частицы в центральном поле, где сохраняется момент количества движения, с уравнением для квадрата момента, повторить закон квантования момента и его проекции на произвольную ось.

Второй раздел посвящен изложению современных методов получения наноструктур. Студент должен познакомиться с методами коллоидной химии, молекулярно-лучевой эпитаксии и др. Однако, с методической точки зрения особое место занимает метод термического напыления. Для успешного повторения этого раздела студент должен повторить молекулярно-кинетическую теорию газов и элементы вакуумной техники. Знания по молекулярной физике в объеме курса общей физики позволят студентам решать задачи, которые достаточно глубоко проясняют сущность метода и позволяют провести практически важные оценки и расчеты. Отдельного рассмотрения требуют методы получения наночастиц со свойствами плазмонного резонанса. Для успешного усвоения темы требуется в качестве самостоятельной работы повторить в рамках курса общей физики элементарную теорию дисперсии для газов, твердых тел и плазмы и решать задачи, предложенные преподавателем по этой теме.

Для выполнения лабораторных работ студенты разбиваются на бригады по два (в порядке исключения по три) человека.

На первом занятии происходит инструктаж по технике безопасности, ознакомление с перечнем работ, которые необходимо выполнить в течение семестра, и ознакомление с порядком допуска, выполнения и сдачи работ. На первом же занятии происходит распределение студентов по бригадами (подгруппам), составляется график.

Допуск к выполнению работы предусматривает собеседование со всеми студентами, образующими бригаду, и определяет степень готовности каждого из них к выполнению работы. Собеседование проводится в пределах программы того курса, по которому выполняются работы. Для ориентации направления собеседования в описании к каждой лабораторной работе содержится перечень контрольных вопросов и список рекомендованной литературы. Во время допуска к работе студентам разрешается пользоваться только своим рабочим журналом. Для собеседования по допуску к работам отводятся первые два часа начала занятий. В том случае, если отвечающие студенты не проявили удовлетворительного понимания темы лабораторной работы, они к выполнению работы не допускаются. (В оставшееся до конца занятия время они могут изучить необходимую литературу и в конце занятия повторно пройти собеседование.) В

начале выполнения лабораторной работы студенты совместно с преподавателем подробно изучают установку и затем проводят предусмотренные заданием измерения. Полученные результаты заносятся в лабораторный журнал. Перед тем как выключить установку после проведения всех измерений необходимо результаты показать преподавателю.

Для получения зачета по работе студенты обязаны предъявить отчет, один на всю бригаду. В отчете должны быть представлены: схема установки, таблицы измеренных величин, необходимые расчеты, графики полученных зависимостей, ошибки измерений, заключение по работе, содержащее объяснение полученных результатов и сопоставление этих результатов с теоретическими закономерностями.

Зачет по работе проставляется после заключительного собеседования, на котором уточняются детали теоретического собеседования, выясняется понимание проводимых исследований и полученных результатов, определяется знание характеристик и возможностей лабораторной установки. Прием зачета производится в конце занятия.

Студенты выполнившие, но не сдавшие более одной лабораторной работы к дальнейшим работам не допускаются. Отчеты по лабораторным работам хранятся на кафедре до конца семестра

## **11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

При изложении первого раздела необходимо учитывать, что основные принципы квантовой механики студентами 3-го курса усваиваются обычно достаточно формально. Поэтому необходимо повторение в общих чертах принципов квантовой механики: операторов физических величин, принципа неопределенности, уравнения Шредингера. С методами решения уравнения Шредингера для одномерных потенциальных ям студенты знакомы достаточно хорошо. Поэтому этот раздел можно дать для самостоятельной проработки или в форме задач. Основное внимание нужно уделить физическим выводам из решения квантовомеханических уравнений. При этом важным является вопрос: при каких размерах наноструктур и температурах экспериментально проявляется эффект размерного квантования. Этот вопрос можно оформить в виде задачи, но нужно помнить, что ее решение возможно только с помощью преподавателя. Часть занятия интересно посвятить сферической потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Это – модель полупроводниковой сферической квантовой точки. Полномерное решение уравнения Шредингера для этого случая на 3-м курсе – невозможно, поскольку студенты не знакомы со специальными функциями. Решение возможно лишь для частного случая. Однако полезно познакомить студента с поведением частицы в центральном поле, где сохраняется момент количества движения, рассмотреть уравнения для квадрата момента, закон квантования момента и его проекции на произвольную ось.

Второй раздел посвящен изложению современных методов получения наноструктур. Здесь необходимо рассмотреть методы коллоидной химии, молекулярно-лучевой эпитаксии и др. Однако, с методической точки зрения особое место занимает метод термического напыления. Действительно, изложение этого метода позволяет вспомнить и существенно дополнить знания студента по вакуумной технике. Знания по молекулярной физике в объеме курса общей физики позволяет студентам решать задачи, которые достаточно глубоко проясняют сущность метода и позволяют провести практически важные оценки и расчеты. Здесь уместно познакомить студентов с методом лазерного напыления, который активно развивается в современной науке. Отдельного рассмотрения требуют методы получения

наночастиц со свойствами плазмонного резонанса. Эффекты плазмонного резонанса можно изложить на основании элементарной теории дисперсии для плазмы

Автор(ы):

Чистяков Александр Александрович, д.ф.-м.н., с.н.с.