

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

**Направление подготовки/специальность: 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника**

**Наименование образовательной программы: Нанотехнология в электронике**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Нанoeлектроника**

**Москва  
2022**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель  
(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Мирошникова И.Н.
	Идентификатор	Rd1db27a5-MiroshnikovaIN-70caf86

И.Н.  
Мирошникова  
(расшифровка подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень,  
ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Холодный Д.С.
	Идентификатор	R0bac9dac-KholodnyDS-6393810f

Д.С.  
Холодный  
(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень,  
ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Славинский А.З.
	Идентификатор	R99b3b9ab-SlavinskyAZ-c08f5214

А.З.  
Славинский  
(расшифровка  
подписи)

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

- ПК-1 Способен участвовать в проектировании полупроводниковых приборов  
ИД-1 Демонстрирует знание принципов работы, физических и математических моделей основных полупроводниковых приборов

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Компьютерное задание

- Итоговое тестирование (Тестирование)

Форма реализации: Письменная работа

- Основные понятия наноэлектроники (Контрольная работа)

Форма реализации: Устная форма

- Атомно-силовой микроскоп (Лабораторная работа)
- Заточка зондов для сканирующих зондовых микроскопов (Лабораторная работа)
- Сканирующий туннельный микроскоп (Лабораторная работа)

## БРС дисциплины

7 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %					
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
	Срок КМ:	4	8	12	15	16
Основные понятия наноэлектроники						
Введение		+				
Подглядываем и создаем						
Хронология развития микроскопии			+	+	+	
Методы исследования наноструктур			+	+	+	
Нанотехнологии						
Методы получения наноструктур						+
Молекулярная элементная база наноэлектроники						

Квантово-механический взгляд на строение молекул					+
Физика наноструктур					
Квантовая механика – основа физики наноразмерных структур					+
Основные свойства полупроводников					+
Гетероструктура					+
Углерод – уникальный химический элемент					+
Динамика электронов в электромагнитном поле					
Эффект Холла					+
Применение квантово-размерных структур в приборах микро- и нанoeлектроники					
Оптические свойства квантоворазмерных структур					+
Баллистическая проводимость					+
Резонансное туннелирование					+
Униполярные транзисторы на «горячих» электронах					+
Молекулярная электроника					
Строение молекул органических материалов					+
Основы спинтроники					
Основы спинтроники.					+
Квантовые компьютеры					
Квантовые компьютеры					+
Эффект Джозефсона					+
Современные квантовые компьютеры					+
Вес КМ:	5	15	15	15	50

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### *I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций*

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ПК-1	ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Демонстрирует знание принципов работы, физических и математических моделей основных полупроводниковых приборов	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>современные тенденции развития нанoeлектроники</li> <li>эффективные методики экспериментального исследования параметров и характеристик наноструктур различного функционального назначения</li> <li>физические основы работы приборов нанoeлектроники</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик структур электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Основные понятия нанoeлектроники (Контрольная работа)</li> <li>Сканирующий туннельный микроскоп (Лабораторная работа)</li> <li>Атомно-силовой микроскоп (Лабораторная работа)</li> <li>Заточка зондов для сканирующих зондовых микроскопов (Лабораторная работа)</li> <li>Итоговое тестирование (Тестирование)</li> </ul>

## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

### КМ-1. Основные понятия нанoeлектроники

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 5

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенту выдаётся билет с перечнем вопросов, ответы на которые он пишет на бумажном листе. Время проведения контрольной работы - 2 ак. часа.

#### Краткое содержание задания:

Контрольная работа на знание лекционного материала по разделу "Основные понятия нанoeлектроники".

#### Контрольные вопросы/задания:

Знать: современные тенденции развития нанoeлектроники	<ol style="list-style-type: none"><li>1.Поясните, в чём заключаются законы Мура («первый» и «второй»). Каковы причины прекращения действия «первого» закона?</li><li>2.Поясните, в чём заключается особенность структуры «напряжённый кремний» по сравнению с обычным кремнием. Для чего эта структура была применена? Изобразите и поясните структуру МОП-транзистора, выполненного по данной технологии.</li><li>3.Поясните, в чём заключается технология FinFET («плавникоподобный» затвор)? Изобразите и поясните структуру МОП-транзистора, выполненного по данной технологии.</li><li>4.Поясните, что представляет собой технология «high-k»? Какие проблемы она помогает решить и почему?</li><li>5.Для чего была создана технология «кремний-на-изоляторе»? В чём она заключается? Изобразите и поясните структуру МОП-транзистора, выполненного по данной технологии.</li><li>6.Поясните, в чём заключается проблема эффекта короткого канала в МОП-транзисторе, какими технологиями можно решить эту проблему? В чём заключаются эти технологии?</li><li>7.Поясните, каковы основные проблемы миниатюризации МОП-транзисторов в интегральных схемах. Как эти проблемы проявляются?</li><li>8.Поясните, в чём заключается тенденция развития электроники.</li></ol>
---	--

#### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

## КМ-2. Сканирующий туннельный микроскоп

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Беседа по выполненной работе

### Краткое содержание задания:

Защита лабораторной работы по методу исследования нанообъектов: сканирующей туннельной микроскопии

### Контрольные вопросы/задания:

Знать: эффективные методики экспериментального исследования параметров и характеристик наноструктур различного функционального назначения	1.Поясните эффект туннелирования частицы через узкий потенциальный барьер 2.Расскажите о принципе работы сканирующего туннельного микроскопа 3.Поясните, как осуществляется подвод образца к зонду (или зонда к образцу) 4.Какие режимы получения изображения Вы знаете? Как они осуществляются? В чём их достоинства и недостатки 5.Какие факторы могут влиять на качество полученного на СТМ изображения
Уметь: аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик структур электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	1.<p>Продемонстрируйте решение следующего случая:</p><ol><li>При сканировании поверхности в различных местах меняется электропроводность участка, каков будет профиль рельефа?</li><li>При сканировании поверхности в различных местах меняется работа выхода электрона из участка, каков будет профиль рельефа?</li></ol>

### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

### КМ-3. Атомно-силовой микроскоп

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Беседа по выполненной лабораторной работе

#### Краткое содержание задания:

Защита лабораторной работы по методу исследования нанообъектов: атомно-силовой микроскопии

#### Контрольные вопросы/задания:

<p>Знать: эффективные методики экспериментального исследования параметров и характеристик наноструктур различного функционального назначения</p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1.Расскажите о силах межмолекулярного взаимодействия.</li><li>2.Расскажите принцип работы сканирующего атомно-силового микроскопа.</li><li>3.Какие методики получения изображения при помощи АСМ Вы знаете? Как происходит сканирование в каждой из этих методик?</li><li>4.Опишите механизм подвода зонда к образцу в приборе «NanoEducator II». Поясните параметры, определяющие силу взаимодействия зонда с образцом.</li><li>5.Объясните принцип сканирования и работы системы обратной связи. Расскажите о критериях выбора параметров сканирования.</li><li>6.Какие факторы могут влиять на качество получаемого на АСМ изображения?</li></ol>
<p>Уметь: аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик структур электроники и наноэлектроники различного функционального назначения</p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1.&lt;p&gt;Продемонстрируйте решение следующего случая:&lt;/p&gt;&lt;ol&gt;&lt;li&gt;При сканировании поверхности в различных местах меняется электропроводность участка, каков будет профиль рельефа?&lt;/li&gt;&lt;li&gt;При сканировании поверхности в различных местах меняется работа выхода электрона из участка, каков будет профиль рельефа?&lt;/li&gt;&lt;/ol&gt;</li></ol>

#### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60



*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

*Оценка:* 3

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 50

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

#### **КМ-4. Заточка зондов для сканирующих зондовых микроскопов**

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Беседа по проделанной лабораторной работе

**Краткое содержание задания:**

Защита лабораторной работы по изготовлению зондов для сканирующих зондовых микроскопов

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: эффективные методики экспериментального исследования параметров и характеристик наноструктур различного функционального назначения	1.Перечислите основные виды зондов, применяемых в СТМ. В чем их основные достоинства и недостатки? 2.Какие параметры зонда и как влияют на качество полученного изображения? 3.Объясните, почему вольфрамовые зонды не хранятся долго? 4.Объясните электрохимические процессы, происходящие во время травления зонда в растворе гидроксида калия / натрия.
Уметь: аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик структур электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	1.<p>Как по-вашему, что произойдет с формой зонда, если увеличить мольность раствора? ток в системе?</p>

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* 5

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 80

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка:* 4

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 60

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

*Оценка:* 3

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

### КМ-5. Итоговое тестирование

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 50

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Группа подключается к системе СДО "Прометей" для прохождения теста на компьютере.

**Краткое содержание задания:**

Ответьте на вопросы теста

#### Контрольные вопросы/задания:

Знать: физические основы работы приборов наноэлектроники

1. В квантово-размерных лазерах наблюдается тип квантовых состояний для...

1. трехмерного случая 2. двумерного случая 3. одномерного случая 4. нульмерного случая

2. Квантово-каскадный лазер следует отнести к квантово-размерной структуре типа...

1. гетеропереходов 2. пири-структур 3. квантовых нитей 4. квантовые точек 5. сверхрешеток

3. ВАХ реального НЕМТ-транзистора изображена на рисунке...

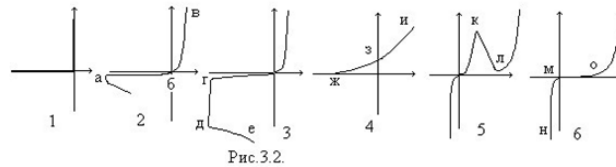


Рис. 3.2.

Figure 1 Вольт-амперные характеристики полупроводниковых приборов

1 2 3 4 5 6

4. ВАХ резонансно-туннельного диода изображена на рисунке...

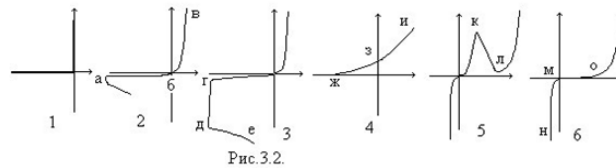


Рис. 3.2.

Figure 2 ВАХ резонансно-туннельного диода изображена на рисунке...

1 2 3 4 5 6

5. Баллистический транспорт реализуется в структурах...

- с размером меньше длины свободного пробега носителя заряда;
- с размером больше длины свободного пробега носителя заряда

6. Структура и вольт-амперная характеристика на рисунке относится к... @@image06.png

- одноэлектронному транзистору;
- резонансно-туннельному диоду;
- лазеру на квантовых ямах;
-

	<p>фоторезистору на квантовых точках</p> <p>7.В основе работы одноэлектронного транзистора лежит явление...</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. кулоновской блокады; 2. квантового эффекта Холла</li> </ol> <p>8.Вольт-амперная характеристика резонансно-туннельного диода представлена на рисунке... @@image05.jpg 1 2 3 4 5 6</p> <p>9.Квантовая яма поглощает излучение в...</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ИК-области спектра; 2. УФ-области спектра; 3. видимой области спектра</li> </ol> <p>10.Фотоприёмные устройства на основе квантовых ям позволяют изменять красную границу фотоэффекта, изменяя...</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. размер квантовой ямы; 2. химический состав квантовой ямы; 3. не позволяют управлять красной границей фотоэффекта</li> </ol> <p>11.В квантово-каскадном лазере генерация излучения происходит благодаря...</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. межзонным переходам; 2. межподзонным переходам</li> </ol> <p>12.С увеличением ширины квантовой ямы в структуре лазера, сконструированного на квантовых ямах, длина волны генерируемого излучения...</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. сдвигается в область длинных волн</li> <li>2. сдвигается в область коротких волн</li> <li>3. не меняется</li> </ol> <p>13.По сравнению с лазерами на классической трёхмерной активной области, лазеры, сконструированные на основе гетероструктуры...</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. позволяют осуществлять перестройку длины волны генерируемого излучения</li> <li>2. не позволяют осуществлять перестройку длины волны генерируемого излучения</li> </ol> <p>14.Для лазеров на основе гетероструктуры условия создания инверсной населённости в двумерном случае по сравнению с трёхмерным...</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. более благоприятны</li> <li>2. менее благоприятны</li> <li>3. не зависят от размерности структуры</li> </ol> <p>15.Край полосы собственного поглощения для квантовой ямы сдвигается в область ...</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. более высоких частот (меньших длин волн)</li> <li>2. более низких частот (больших длин волн)</li> <li>3. не меняется</li> </ol> <p>16.Квантово-каскадный лазер следует отнести к квантово-размерной структуре...</p>
--	--

1. гетеропереходов
2. пірі-структур
3. квантовых нитей
4. квантовых точек
5. сверхрешёток

17. В квантово-размерных лазерах наблюдается тип квантовых состояний...

1. трёхмерный случай
2. двумерный случай
3. одномерный случай
4. нульмерный случай

18. НЕМТ-транзисторы и резонансно-туннельные диоды позволяют перейти в область...

1. повышенных частот работы (терагерцовый диапазон)
2. пониженных частот работы (килогерцовый диапазон)

19. Наличие магнитного поля приводит к тому, что энергия электронного газа...

1. начинает квантоваться по другим направлениям (например, двумерный электронный газ переходит в одномерный)
2. перестаёт квантоваться по одному из направлениям (например, двумерный электронный газ переходит в трёхмерный)

20. Квантовый эффект Холла наблюдается...

1. в слабых магнитных полях и низких температурах
2. в сильных магнитных полях и низких температурах
3. в слабых магнитных полях и высоких температурах
4. в сильных магнитных полях и высоких температурах

21. Зависимость плотности квантовых состояний от энергии для квантовой ямы представлена на рисунке...

1. @@image01.png
2. @@image02.png
3. @@image03.png
4. @@image04.png

22. Ширина запрещённой зоны квантовой точки с увеличением размера точки...

1. уменьшается
2. возрастает
3. не зависит от размера точки

23. В квантовой яме движение электрона ограничено...

1. в одном направлении
2. в двух направлениях
3. в трёх направлениях
4. нет ограничения

	<p>24. В квантовой нити движение электрона ограничено...</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. в одном направлении</li> <li>2. в двух направлениях</li> <li>3. в трёх направлениях</li> <li>4. нет ограничения</li> </ol> <p>25. В квантовой точке движение электрона ограничено...</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. в одном направлении</li> <li>2. в двух направлениях</li> <li>3. в трёх направлениях</li> <li>4. нет ограничения</li> </ol> <p>26. Расположите следующие типы наноструктур в порядке возрастания размерности (нульмерные -&gt; одномерные -&gt; двумерные)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Квантовая точка</li> <li>2. Квантовая нить</li> <li>3. Квантовая яма</li> </ol> <p>27. Гетеропереходом называют контакт двух полупроводников, имеющих...</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. разное значение ширины запрещённой зоны</li> <li>2. разное значение работы выхода</li> <li>3. разный тип проводимости</li> </ol> <p>28. Для формирования гетероструктуры необходимо, чтобы параметры кристаллической решётки обоих полупроводниковых материалов...</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. были как можно ближе</li> <li>2. имели как можно большую разницу</li> <li>3. требования к параметру кристаллической решётки не предъявляются</li> </ol> <p>29. Квантово-размерные эффекты проявляются, когда характерный размер структуры сравним с...</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. длиной волны де Бройля</li> <li>2. размером электрона</li> <li>3. размером атома</li> </ol> <p>30. Основной характеристикой квантовой структуры является...</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. волновая функция</li> <li>2. концентрация носителей заряда</li> <li>3. энергия квантового состояния</li> </ol> <p>31. В НЕМТ-транзисторах увеличение подвижности носителей заряда в канале обеспечивается...</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ограничением движения носителей заряда по одному из направлений (2D-газ)</li> <li>2. особенностью легирования полупроводникового материала подложки</li> </ol>
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания:*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:*

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 7 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Зачет с оценкой

### Процедура проведения

Студенту выдаётся билет с перечнем вопросов, ответы на которые он пишет на бумажном листе. Время проведения контрольной работы - 2 ак. часа.

### *1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины*

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1пк-1 Демонстрирует знание принципов работы, физических и математических моделей основных полупроводниковых приборов

### Вопросы, задания

1. Нанoeлектроника. Законы Мура. Нарушение выполнения законов Мура
2. Резонансно-туннельный диод: зонная диаграмма, принцип работы, применение
3. Кулоновская блокада. Одноэлектронный транзистор: структура, вольтамперные характеристики, принцип работы
4. Лавинный фотодиод на квантовых ямах: зонная диаграмма, принцип работы
5. Фоторезистор (ФР) на квантовой яме: зонная диаграмма, спектр поглощения, принцип работы, отличие от собственного и примесного ФР
6. Квантово-каскадный лазер: зонная диаграмма, принцип работы
7. Лазер на двойной гетероструктуре: зонная диаграмма, принцип работы
8. Экситоны в органических полупроводниках, их отличие от диполей. Органические светодиоды: структура, принцип работы, сравнение с неорганическими светодиодами
9. НЕМТ-транзистор: структура, зонная диаграмма, принцип работы, применение
10. Туннельный эффект. Коэффициент прозрачности. Резонансное туннелирование
11. Баллистическая проводимость. Приборы на основе баллистического транспорта
12. Квантовый эффект Холла. Целочисленный и дробный эффекты. Эталоны единиц измерения
13. Технологии изготовления и применение квантовых точек
14.  $n$ -сверхрешётки: зонная диаграмма, технология изготовления, основные свойства и примеры применения
15. Квантовая яма. Двумерный электронный газ. Энергетический спектр электрона. Сверхрешётки (множественные квантовые ямы)
16. Квантовая точка (КТ). Нульмерный электронный газ. Энергетический спектр электрона. Плотность квантовых состояний. Зависимость ширины запрещённой зоны КТ от её размера
17. Квантовая нить. Одномерный электронный газ. Энергетический спектр электрона. Плотность квантовых состояний
18. Гетеропереход. Треугольная потенциальная яма. Двумерный электронный газ. Энергетический спектр электрона
19. Гетероструктуры. Квантовые ямы. Двумерный электронный газ. Распределение плотности состояний
20. Гибридизация электронных орбиталей атома углерода. Фуллерены. Графен и графан. Полевой транзистор на графене
21. Молекулярная электроника. Связывающая и разрыхляющая молекулярные орбитали,  $\sigma$ - и  $\pi$ -орбитали. Понятие HOMO и LUMO. Перенос заряда в органических полупроводниках

22. Углеродная нанотрубка: хиральность, зависимость свойств трубки от её структуры, применение. Металлические и полупроводниковые УНТ. Методы получения УНТ
23. Типы литографии. Негативные и позитивные фоторезисты. Эффект близости
24. Технология получения наноструктур. Молекулярно-лучевая и газо-фазная эпитаксии. Технология атомно-слоевого осаждения (ALD)
25. Методы исследования морфологии и химического состава поверхности наноматериалов: разновидности, получаемая информация
26. Проблемы физики при переходе от микро- к нанометровым размерам
27. Технология «напряжённый кремний»: структура, свойства, причины появления, преследуемые задачи
28. «Tri-gate» МОП-транзисторы, «high-k» технология МОП-транзисторов: структура, свойства, причины появления, преследуемые задачи
29. Квантовый компьютер. Квантовая неопределённость. Принцип суперпозиции. Кубит
30. Спинтроника. Спиновые эффекты

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. В квантово-размерных лазерах наблюдается тип квантовых состояний для...

Ответы:

1. трехмерного случая 2. двумерного случая 3. одномерного случая 4. нульмерного случая

Верный ответ: 2

2. Квантово-каскадный лазер следует отнести к квантово-размерной структуре типа...

Ответы:

1. гетеропереходов 2. пири-структур 3. квантовых нитей 4. квантовые точек 5. сверхрешеток

Верный ответ: 5

3. ВАХ реального НЕМТ-транзистора изображена на рисунке...

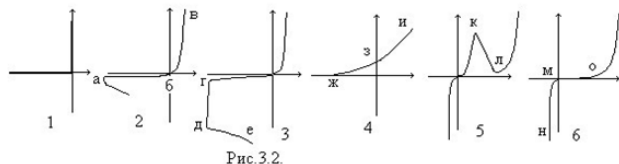


Рис. 3.2.

Ответы:

1 2 3 4 5 6

Верный ответ: 5

4. ВАХ резонансно-туннельного диода изображена на рисунке...

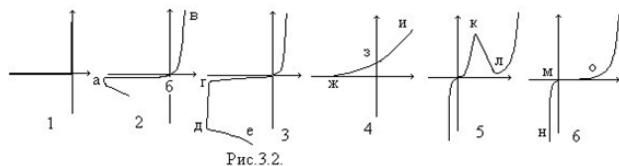


Рис. 3.2.

Ответы:

1 2 3 4 5 6

Верный ответ: 5

5. Баллистический транспорт реализуется в структурах...

Ответы:

1. с размером меньше длины свободного пробега носителя заряда; 2. с размером больше длины свободного пробега носителя заряда

Верный ответ: с размером меньше длины свободного пробега носителя заряда

6. Структура и вольт-амперная характеристика на рисунке относится к... @@image06.png

Ответы:



1. одноэлектронному транзистору; 2. резонансно-туннельному диоду; 3. лазеру на квантовых ямах;
4. фоторезистору на квантовых точках

Верный ответ: одноэлектронному транзистору

7. В основе работы одноэлектронного транзистора лежит явление...

Ответы:

1. кулоновской блокады; 2. квантового эффекта Холла

Верный ответ: кулоновской блокады

8. Вольт-амперная характеристика резонансно-туннельного диода представлена на рисунке... @image05.jpg

Ответы:

1 2 3 4 5 6

Верный ответ: 5

9. Квантовая яма поглощает излучение в...

Ответы:

1. ИК-области спектра; 2. УФ-области спектра; 3. видимой области спектра

Верный ответ: ИК-области спектра

10. Фотоприёмные устройства на основе квантовых ям позволяют изменять красную границу фотоэффекта, изменяя...

Ответы:

1. размер квантовой ямы; 2. химический состав квантовой ямы; 3. не позволяют управлять красной границей фотоэффекта

Верный ответ: размер квантовой ямы химический состав квантовой ямы

11. В квантово-каскадном лазере генерация излучения происходит благодаря...

Ответы:

1. межзонным переходам; 2. межподзонным переходам

Верный ответ: межподзонным переходам

12. С увеличением ширины квантовой ямы в структуре лазера, сконструированного на квантовых ямах, длина волны генерируемого излучения...

Ответы:

1. сдвигается в область длинных волн
2. сдвигается в область коротких волн
3. не меняется

Верный ответ: сдвигается в область длинных волн

13. По сравнению с лазерами на классической трёхмерной активной области, лазеры, сконструированные на основе гетероструктуры...

Ответы:

1. позволяют осуществлять перестройку длины волны генерируемого излучения
2. не позволяют осуществлять перестройку длины волны генерируемого излучения

Верный ответ: позволяют осуществлять перестройку длины волны генерируемого излучения

14. Для лазеров на основе гетероструктуры условия создания инверсной населённости в двумерном случае по сравнению с трёхмерным...

Ответы:

1. более благоприятны
2. менее благоприятны
3. не зависят от размерности структуры

Верный ответ: более благоприятны

15. Край полосы собственного поглощения для квантовой ямы по сравнению с объёмным материалом сдвигается в область ...

Ответы:

1. более высоких частот (меньших длин волн)
2. более низких частот (больших длин волн)
3. не меняется

Верный ответ: более высоких частот (меньших длин волн)

16. Квантово-каскадный лазер следует отнести к квантово-размерной структуре...

Ответы:

1. гетеропереходов
2. пири-структур
3. квантовых нитей
4. квантовых точек
5. сверхрешёток

Верный ответ: сверхрешётка

17. В квантово-размерных лазерах наблюдается тип квантовых состояний...

Ответы:

1. трёхмерный случай
2. двумерный случай
3. одномерный случай
4. нульмерный случай

Верный ответ: двумерный случай

18. НЕМТ-транзисторы и резонансно-туннельные диоды позволяют перейти в область...

Ответы:

1. повышенных частот работы (терагерцовый диапазон)
2. пониженных частот работы (килогерцовый диапазон)

Верный ответ: повышенных частот работы (терагерцовый диапазон)

19. Наличие магнитного поля приводит к тому, что энергия электронного газа...

Ответы:

1. начинает квантоваться по другим направлениям (например, двумерный электронный газ переходит в одномерный)
2. перестаёт квантоваться по одному из направлений (например, двумерный электронный газ переходит в трёхмерный)

Верный ответ: начинает квантоваться по другим направлениям (например, двумерный электронный газ переходит в одномерный)

20. Квантовый эффект Холла наблюдается...

Ответы:

1. в слабых магнитных полях и низких температурах
2. в сильных магнитных полях и низких температурах
3. в слабых магнитных полях и высоких температурах
4. в сильных магнитных полях и высоких температурах

Верный ответ: в сильных магнитных полях и низких температурах

21. Зависимость плотности квантовых состояний от энергии для квантовой ямы представлена на рисунке...

Ответы:

1. @@image01.png
2. @@image02.png
3. @@image03.png
4. @@image04.png

Верный ответ: @@image02.png

22. Ширина запрещённой зоны квантовой точки с увеличением размера точки...

Ответы:

1. уменьшается
2. возрастает
3. не зависит от размера точки

Верный ответ: уменьшается

23. В квантовой яме движение электрона ограничено...

Ответы:

1. в одном направлении
2. в двух направлениях
3. в трёх направлениях
4. нет ограничения

Верный ответ: в одном направлении

24. В квантовой нити движение электрона ограничено...

Ответы:

1. в одном направлении
2. в двух направлениях
3. в трёх направлениях
4. нет ограничения

Верный ответ: в двух направлениях

25. В квантовой точке движение электрона ограничено...

Ответы:

1. в одном направлении
2. в двух направлениях
3. в трёх направлениях
4. нет ограничения

Верный ответ: в трёх направлениях

26. Расположите следующие типы наноструктур в порядке возрастания размерности (нульмерные -> одномерные -> двумерные)

Ответы:

1. Квантовая точка
2. Квантовая нить
3. Квантовая яма

Верный ответ: #1 Квантовая точка #2 Квантовая нить #3 Квантовая яма

27. Гетеропереходом называют контакт двух полупроводников, имеющих...

Ответы:

1. разное значение ширины запрещённой зоны
2. разное значение работы выхода
3. разный тип проводимости

Верный ответ: разное значение ширины запрещённой зоны

28. Для формирования гетероструктуры необходимо, чтобы параметры кристаллической решётки обоих полупроводниковых материалов...

Ответы:

1. были как можно ближе
2. имели как можно большую разницу
3. требования к параметру кристаллической решётки не предъявляются

Верный ответ: были как можно ближе

29. Квантово-размерные эффекты проявляются, когда характерный размер структуры сравним с...

Ответы:

1. длиной волны де Бройля
2. размером электрона
3. размером атома

Верный ответ: длиной волны де Бройля

30. Основной характеристикой квантовой структуры является...

Ответы:

1. волновая функция
2. концентрация носителей заряда
3. энергия квантового состояния

Верный ответ: волновая функция

31. В НЕМТ-транзисторах увеличение подвижности носителей заряда в канале обеспечивается...

Ответы:

1. ограничением движения носителей заряда по одному из направлений (2D-газ)
2. особенностью легирования полупроводникового материала подложки
3. рабочей температурой прибора

Верный ответ: ограничением движения носителей заряда по одному из направлений (2D-газ)

## ***II. Описание шкалы оценивания***

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно. на вопросы углубленного уровня*

## ***III. Правила выставления итоговой оценки по курсу***

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.