

**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: Лазерная и оптическая измерительная электроника**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Полупроводниковые лазеры**

**Москва  
2024**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

|                                                                                   |                                                    |                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                                 |
|                                                                                   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                                 |
|                                                                                   | Владелец                                           | Скорнякова Н.М.                 |
|                                                                                   | Идентификатор                                      | R984920bc-SkorniakovaNM-67f74b6 |

Н.М.  
Скорнякова

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

|                                                                                   |                                                    |                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                                 |
|                                                                                   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                                 |
|                                                                                   | Владелец                                           | Скорнякова Н.М.                 |
|                                                                                   | Идентификатор                                      | R984920bc-SkorniakovaNM-67f74b6 |

Н.М.  
Скорнякова

Заведующий  
выпускающей  
кафедрой

|                                                                                   |                                                    |                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                                 |
|                                                                                   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                                 |
|                                                                                   | Владелец                                           | Скорнякова Н.М.                 |
|                                                                                   | Идентификатор                                      | R984920bc-SkorniakovaNM-67f74b6 |

Н.М.  
Скорнякова

## 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:

1. ПК-1 Способен участвовать в проектировании квантово-оптических систем для решения задач диагностики, навигации, связи и контроля

ИД-3 Знает особенности разработки эскизных и технических проектов, технического задания на разработку составных частей квантово-оптических систем

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа 1. Поглощение и излучение в полупроводниковых материалах (Контрольная работа)

2. Контрольная работа 2. Основные рабочие и излучательные характеристики полупроводниковых лазеров (Контрольная работа)

3. Тест 2. Лазеры на основе квантово-размерных структур (Тестирование)

4. Тест № 1. Зонная энергетическая структура и локализованные состояния в полупроводниках (Тестирование)

## БРС дисциплины

### 7 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

КМ-1 Тест № 1. Зонная энергетическая структура и локализованные состояния в полупроводниках (Тестирование)

КМ-2 Контрольная работа 1. Поглощение и излучение в полупроводниковых материалах (Контрольная работа)

КМ-3 Тест 2. Лазеры на основе квантово-размерных структур (Тестирование)

КМ-4 Контрольная работа 2. Основные рабочие и излучательные характеристики полупроводниковых лазеров (Контрольная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

| Раздел дисциплины                                                   | Веса контрольных мероприятий, % |      |      |      |      |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------|------|------|------|
|                                                                     | Индекс КМ:                      | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 |
|                                                                     | Срок КМ:                        | 4    | 8    | 12   | 16   |
| Физика полупроводников, входящих в состав полупроводниковых лазеров |                                 |      |      |      |      |

|                                                                                         |    |    |    |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|----|----|----|
| Энергетическая зонная структура полупроводников                                         | +  |    |    |    |
| Локализованные состояния в полупроводниках. Статистика электронов и дырок               | +  |    |    |    |
| Процессы поглощения и излучения в полупроводниках                                       | +  |    |    |    |
| Диффузия и дрейф носителей заряда. Р-п переходы и гетеропереходы                        | +  |    |    |    |
| Генерация и распространение излучения в полупроводниковых лазерах                       |    |    |    |    |
| Вынужденное излучение в полупроводниках. Усиление и генерация излучения.                |    | +  |    |    |
| Трёхслойные плоские волноводы с конечной проводимостью. Боковое оптическое ограничение. |    |    | +  |    |
| Конструктивные особенности и характеристики полупроводниковых лазеров                   |    |    |    |    |
| Структура и технология изготовления инжекционных лазеров. Квантово-размерные слои.      |    |    |    | +  |
| Основные приборные характеристики и спектры излучения полупроводниковых лазеров         |    |    |    | +  |
| Вес КМ:                                                                                 | 15 | 30 | 15 | 40 |

## 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-3ПК-1<br>Знает особенности разработки эскизных и технических проектов, технического задания на разработку составных частей квантово-оптических систем | Знать:<br>физические законы, лежащие в основах работы полупроводниковых лазеров, применяемых в квантово-оптических системах<br>условия формирования характеристик излучения полупроводниковых лазеров, требуемых при конструировании квантово-оптических систем и их составных частей<br>Уметь:<br>проводить классификацию полупроводниковых лазеров в зависимости от их параметров и возможности использования в системах навигации и связи<br>применять современную приборную базу к | КМ-1 Тест № 1. Зонная энергетическая структура и локализованные состояния в полупроводниках (Тестирование)<br>КМ-2 Контрольная работа 1. Поглощение и излучение в полупроводниковых материалах (Контрольная работа)<br>КМ-3 Тест 2. Лазеры на основе квантово-размерных структур (Тестирование)<br>КМ-4 Контрольная работа 2. Основные рабочие и излучательные характеристики полупроводниковых лазеров (Контрольная работа) |

|  |  |                                                               |  |
|--|--|---------------------------------------------------------------|--|
|  |  | проектированию и<br>разработке квантово-<br>оптических систем |  |
|--|--|---------------------------------------------------------------|--|

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

### КМ-1. Тест № 1. Зонная энергетическая структура и локализованные состояния в полупроводниках

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенту выдается вариант пятью задачами. На решение отводится 1 академический час.

#### Краткое содержание задания:

1. Перечислите основные типы кристаллических решёток для полупроводниковых материалов АІІВVI. Приведите примеры.
2. Уравнение Шредингера для кристалла. Одноэлектронное приближение.
3. Запишите выражение для функции Блоха.
4. Для каких примесных атомов применим метод эффективной массы при расчете энергии ионизации? По какой формуле она рассчитывается?
5. Рассчитайте потенциальную энергию экситона, если эффективные массы электронов и дырок составляют соответственно  $m_n = 0.063m_0$ ,  $m_p = 0.23m_0$ ,  $\epsilon = 11$ .

#### Контрольные вопросы/задания:

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                                        | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Знать: физические законы, лежащие в основах работы полупроводниковых лазеров, применяемых в квантово-оптических системах | 1. Перечислите основные типы кристаллических решёток для полупроводниковых материалов АІІВVI.<br>2. Запишите выражение для оператора трансляции.<br>3. Для каких примесных атомов применим метод эффективной массы при расчете энергии ионизации? По какой формуле она рассчитывается? |

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5 («отлично»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 100*

*Описание характеристики выполнения знания: На 5 из 5 заданий даны верные ответы*

*Оценка: 4 («хорошо»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания: На 4 из 5 заданий даны верные ответы*

*Оценка: 3 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: На 3 из 5 заданий даны верные ответы*

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

*Описание характеристики выполнения знания: Даны верные ответы не более, чем на 2 задания.*

## КМ-2. Контрольная работа 1. Поглощение и излучение в полупроводниковых материалах

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенту выдается вариант четырьмя комплексными задачами. На решение отводится 2 академических часа.

### Краткое содержание задания:

1. Изобразите энергетическую диаграмму прямозонного и непрямозонного полупроводника и покажите прямые и непрямые переходы в поглощении.
2. Из эксперимента найдено, что две монокристаллические пластинки сульфида кадмия CdS, нанесенные на прозрачные видимые области подложки, обладают пропусканием  $T_1 = 0,6$  и  $T_2 = 0,2$ . Толщина пластинок 10 мкм и 20 мкм соответственно. Рассчитайте коэффициент поглощения света при однократном отражении и показатель поглощения, если длина волны излучения  $\lambda = 600$  нм.
3. В момент времени  $10^{-4}$  с после прекращения генерации электронно-дырочных пар, неравновесная концентрация носителей оказалась в 10 раз больше, чем в момент времени  $10^{-3}$ . Определите время жизни, если уровень возбуждения мал и рекомбинацию можно полагать линейной.
4. Будет ли выполняться условие Бернара-Дюрафура, если разность квазиуровней Ферми равна  $F_n - F_p = E_g - 2kT$ . Ответ поясните.

### Контрольные вопросы/задания:

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                                                                             | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Знать: условия формирования характеристик излучения полупроводниковых лазеров, требуемых при конструировании квантово-оптических систем и их составных частей | <p>1.Изобразите энергетическую диаграмму прямозонного и непрямозонного полупроводника и покажите прямые и непрямые переходы в поглощении.</p> <p>2.Какова разность квазиуровней Ферми для материала GaAs, а также соответствующую длину волны генерации по условию Бернара-Дюрафура?</p> <p>3.Будет ли выполняться условие Бернара-Дюрафура, если разность квазиуровней Ферми равна <math>F_n - F_p = E_g - 2kT</math>?</p> |

### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 95

Описание характеристики выполнения знания: Все задания выполнены верно

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

Описание характеристики выполнения знания: 3 из 4 заданий выполнены верно

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

*Описание характеристики выполнения знания: 2 из 4 заданий выполнены верно*

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

*Описание характеристики выполнения знания: Верно решено не более одного задания*

### **КМ-3. Тест 2. Лазеры на основе квантово-размерных структур**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС: 15**

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенту выдается вариант пятью задачами. На решение отводится 1 академический час.

#### **Краткое содержание задания:**

1. Рассчитать длину волны де Бройля для электронов в арсениде галлия при 300 К и 77 К
2. Уравнение Шредингера для потенциальной ямы в лазерах с квантово-размерными структурами (КРС) имеет вид:
3. Каким образом осуществляется электронное ограничение в лазерном диоде?
4. Что такое критическая толщина активного слоя в КРС и от чего она зависит?
5. Как соотносятся плотности порогового тока лазеров двойной гетероструктуры (ДГС) и КРС?

#### **Контрольные вопросы/задания:**

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                                                                | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Уметь: проводить классификацию полупроводниковых лазеров в зависимости от их параметров и возможности использования в системах навигации и связи | 1. Рассчитать длину волны де Бройля для электронов в арсениде галлия при 300 К и 77 К<br>2. Каким образом осуществляется электронное ограничение в лазерном диоде?<br>3. Что такое критическая толщина активного слоя в КРС и от чего она зависит? |

#### **Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5 («отлично»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 100*

*Описание характеристики выполнения знания: На 5 из 5 заданий даны верные ответы*

*Оценка: 4 («хорошо»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания: На 4 из 5 заданий даны верные ответы*

*Оценка: 3 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: На 3 из 5 заданий даны верные ответы*

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

*Описание характеристики выполнения знания: Даны верные ответы не более, чем на 2 задания.*

## КМ-4. Контрольная работа 2. Основные рабочие и излучательные характеристики полупроводниковых лазеров

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 40

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенту выдается вариант четырьмя комплексными задачами. На решение отводится 2 академических часа.

### Краткое содержание задания:

1. Рассчитайте пороговое усиление для коэффициентов отражения  $R_1 = 0,98$  и  $R_2 = 0,08$ , длины резонатора  $0,5$  мм и коэффициента потерь  $\alpha_i = 8$  см<sup>-1</sup>.
2. Рассчитайте расстояние между продольными модами по формуле, не учитывающей дисперсии показателя преломления, для длины волны излучения  $\lambda_0 = 850$  нм, длины резонатора  $L = 2$  мм и показателя преломления  $nr = 3,8$ .
3. Приращение мощности лазера составляет  $30$  мВт при изменении тока накачки от  $110$  до  $145$  мА на линейном участке ватт-амперной характеристики. Рассчитайте внешнюю дифференциальную эффективность и квантовую внешнюю эффективность для длины волны излучения  $960$  нм.
4. В современных полупроводниковых лазерах часто используется в качестве активного слоя четверное соединение  $Ga_xIn_{1-x}As_yP_{1-y}$ , имеющее кристаллическую структуру цинковой обманки. Рассчитайте ширину запрещенной зоны данного материала по формуле  $E_g = 1,35 + 0,68x - 1,068y + 0,758x^2 + 0,78y^2 - 0,069xy - 0,332x^2y + 0,3xy^2$  (эВ) для  $x = 0,47$  и  $y = 0,4$ . Определите возможную длину генерации при  $300$  К.

### Контрольные вопросы/задания:

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                    | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Уметь: применять современную приборную базу к проектированию и разработке квантово-оптических систем | 1. От чего и как зависит расстояние между продольными модами полупроводникового лазера?<br>2. От чего и как зависит коэффициент оптического ограничения полупроводникового лазера?<br>3. Как рассчитать внутреннюю дифференциальную эффективность? |

### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 95

Описание характеристики выполнения знания: Все задания выполнены верно

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

Описание характеристики выполнения знания: 3 из 4 заданий выполнены верно

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: 2 из 4 заданий выполнены верно

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Верно решено не более одного задания

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

7 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

## Пример билета

1. Уравнение Шредингера для кристалла. Адиабатическое приближение. Одноэлектронное приближение. Решение уравнения в одноэлектронном приближении.
2. Вольт-амперные и ватт-амперные характеристики лазеров с широким контактом и полосковых лазеров.
3. Рассчитайте положение квазиуровней Ферми для материала  $GaSb$ , а также соответствующую длину волны генерации по условию Бернара-Дюрафура.  $E_g = 0,69$  эВ, концентрации неравновесных носителей заряда  $n = 10^{20}$  см<sup>-3</sup> и  $p = 2 \cdot 10^{18}$  см<sup>-3</sup>. Плотности состояний равны  $N_c = 2.1 \cdot 10^{17}$  см<sup>-3</sup>;  $N_v = 1.8 \cdot 10^{19}$  см<sup>-3</sup>;

## Процедура проведения

Устный экзамен. Студенту выдается билет, на подготовку ответа выделяется 60 минут.

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-З<sub>ПК-1</sub> Знает особенности разработки эскизных и технических проектов, технического задания на разработку составных частей квантово-оптических систем

## Вопросы, задания

1. Уравнение Шредингера для кристалла. Адиабатическое приближение. Одноэлектронное приближение. Решение уравнения в одноэлектронном приближении.
2. Вольт-амперные и ватт-амперные характеристики лазеров с широким контактом и полосковых лазеров.
3. Рассчитайте положение квазиуровней Ферми для материала  $GaSb$ , а также соответствующую длину волны генерации по условию Бернара-Дюрафура.  $E_g = 0,69$  эВ, концентрации неравновесных носителей заряда  $n = 10^{20}$  см<sup>-3</sup> и  $p = 2 \cdot 10^{18}$  см<sup>-3</sup>. Плотности состояний равны  $N_c = 2.1 \cdot 10^{17}$  см<sup>-3</sup>;  $N_v = 1.8 \cdot 10^{19}$  см<sup>-3</sup>;
4. Трансляционная симметрия кристаллов. Функция Блоха. Зоны Бриллюэна.
5. Эффективность преобразования и КПД полупроводниковых лазеров. Температурные зависимости порогового тока для полупроводниковых лазеров с широкими и полосковыми контактами и лазеров на основе квантово-размерных структур.
6. Энергетическая зонная структура кристаллических полупроводников в приближении слабой связи. Отражение Брэгга и энергетическая щель.
7. Излучательные свойства лазеров с широким и полосковым контактами и квантово-размерных лазеров. Угловая расходимость. Картина дальнего поля.
8. Частица находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме шириной  $d$  и с бесконечно высокими стенками. Найти массу частицы, если разность энергий первого и второго уровней составляет  $\Delta E$ .

9.Локализованные состояния в полупроводниках. Метод эффективной массы. Водородоподобные примеси.

10.Приращение мощности лазера составляет 30 мВт при изменении тока накачки от 110 до 145 мА на линейном участке ватт-амперной характеристики. Рассчитайте внешнюю дифференциальную эффективность и квантовую внешнюю эффективность для длины волны излучения 960 нм.

### **Материалы для проверки остаточных знаний**

#### **1.Кристаллическая решётка кремния – это**

Ответы:

- Объёмноцентрированная решётка ОЦК
- Гранецентрированная решётка ГЦК
- Решётка типа алмаза
- Сфалерит

Верный ответ: •Решётка типа алмаза

#### **2.Число атомов в 1 кубическом сантиметре полупроводникового материала составляет примерно**

Ответы:

- $\sim 10^{20}$
- $\sim 10^{23}$
- $\sim 10^{18}$
- $\sim 10^{12}$

Верный ответ:  $\sim 10^{23}$

#### **3.Ширина запрещённой зоны арсенида индия составляет**

Ответы:

- 2.55 эВ
- 1,43 эВ
- 1.12 эВ
- 0,36 эВ

Верный ответ: 0,36 эВ

#### **4.Прямозонным материалом является**

Ответы:

- Кремний
- Фосфид галлия
- Арсенид алюминия
- Арсенид галлия

Верный ответ: Арсенид галлия

#### **5.Какая из перечисленных ниже функций является волновой функцией электрона в периодическом поле кристалла?**

Ответы:

- Функция Планка
- Функция Блоха
- Функция Грина
- Функция Ламберта

Верный ответ: Функция Блоха

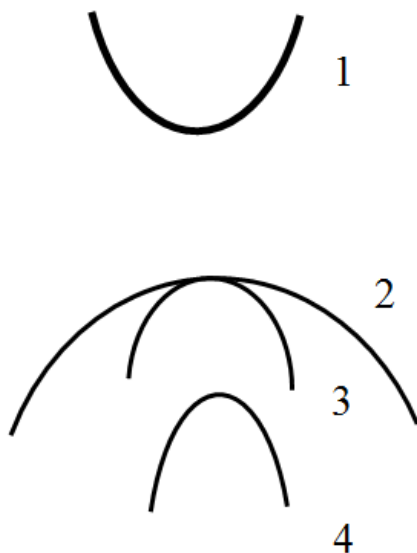
**6. Выберите правильное утверждение**

Ответы:

- Величина эффективной массы показывает способность электрона у дна зоны проводимости или дырки у потолка валентной зоны реагировать на внешнее поле, действующее совместно с межатомным периодическим потенциалом.
- Величина эффективной массы показывает способность дырки у дна зоны проводимости или электрона у потолка валентной зоны реагировать на внешнее поле, действующее совместно с межатомным периодическим потенциалом.
- Величина эффективной массы показывает способность электрона у дна зоны проводимости или дырки у потолка валентной зоны реагировать на внешнее поле,
- Величина эффективной массы показывает способность электрона у дна зоны проводимости или дырки у потолка валентной зоны реагировать на внутреннее электрическое поле

Верный ответ: Величина эффективной массы показывает способность электрона у дна зоны проводимости или дырки у потолка валентной зоны реагировать на внешнее поле, действующее совместно с межатомным периодическим потенциалом.

**7. Выберите правильные обозначения**



Ответы:

- 1 – валентная зона, 2 – зона проводимости, 3 – подзона лёгких дырок, 4 – подзона тяжёлых дырок.
- 1 – валентная зона, 2 – зона проводимости, 3 – подзона лёгких дырок, 4 – подзона тяжёлых дырок.
- 1 - зона проводимости, 2 - подзона тяжёлых дырок. 3- подзона лёгких дырок. 4 – подзона, отщеплённая спин-орбитальным взаимодействием.
- 1 - валентная зона, 2 - подзона лёгких дырок. 3- подзона тяжёлых дырок. 4 – подзона, отщеплённая спин-орбитальным взаимодействием.

Верный ответ: 1- зона проводимости, 2 - подзона тяжёлых дырок. 3- подзона лёгких дырок. 4 – подзона, отщеплённая спин-орбитальным взаимодействием.

**8. Для полупроводников GaAs, InAs, AlAs, используемых в полупроводниковых лазерах, ширина запрещённой зоны  $E_g$  составляет соответственно:**

**Выберите правильный порядок следования значений  $E_g$**

Ответы:

- 1,43 эВ, 0,36 эВ, 2,15 эВ
- 0,36 эВ, 1,43 эВ, 2,15 эВ
- 2,15 эВ, 0,36 эВ, 1,43 эВ
- 2,15 эВ, 1,43 эВ, 0,36 эВ

Верный ответ: 1,43 эВ, 0,36 эВ, 2,15 эВ

**9. Для какого типа материала собственная концентрация носителей заряда при комнатной температуре может составлять  $10^{18} \text{ см}^{-3}$ ?**

Ответы:

- Это – металл.
- Это – узкозонный полупроводник
- Это – широкозонный полупроводник
- Это – диэлектрик.

Верный ответ: Это – узкозонный полупроводник

**10. Коэффициент пропускания полупроводниковой плёнки толщиной  $d = 1 \text{ мм}$  составляет  $T = 0,4$ . Коэффициент отражения  $R = 0,37$ . Коэффициент поглощения  $\alpha$  для этого случая будет равен**

Ответы:

- 0,23
- $1,47 \cdot 10^2 \text{ м}^{-1}$
- $1,47 \cdot 10^2 \text{ см}^{-1}$
- $1,47 \cdot 10^2 \text{ мм}^{-1}$

Верный ответ:  $1,47 \cdot 10^2 \text{ см}^{-1}$

**11. Какое из приведённых ниже утверждений соответствует собственному поглощению полупроводника?**

Ответы:

- Поглощение фотона при переходе электрона из валентной зоны в зону проводимости
- Поглощение фотона при переходе электронов из зоны проводимости в валентную зону
- Поглощение фотона при переходе электрона с донорного уровня на акцепторный
- Поглощение фотона при переходе электрона с акцепторного уровня на донорный

Верный ответ: Поглощение фотона при переходе электрона из валентной зоны в зону проводимости

**12. Вынужденное излучение в полупроводнике - это**

Ответы:

- испускание фотона при переходе электрона из зоны проводимости в валентную зону под действием другого фотона
- испускание фотона при переходе электрона из зоны проводимости в валентную зону при столкновении с другим электроном
- испускание фотона при переходе электрона из валентной зоны в зону проводимости под действием другого фотона
- испускание фотона при переходе электрона из валентной зоны в зону проводимости при столкновении с другим электроном

Верный ответ: испускание фотона при переходе электрона из зоны проводимости в валентную зону под действием другого фотона

**13. Какое из приведённых ниже выражений соответствует условию вынужденного излучения в полупроводниках (Бернара и Дюрафура)?**

**$F_n$  - квазиуровень Ферми зоны проводимости,  $F_p$  - квазиуровень Ферми валентной зоны,  $E_c$  - энергия "дна" зоны проводимости,  $E_v$  - энергия "потолка" валентной зоны,**

Ответы:

- $F_n - F_p > E_c - E_v$
- $F_n - F_p < E_c - E_v$
- $F_n - F_p = E_c - E_v$
- $F_n - F_p \leq E_c - E_v$

Верный ответ:  $F_n - F_p > E_c - E_v$

**14. Коэффициент усиления в лазерных диодах по модулю**

Ответы:

- равен коэффициенту поглощения
- равен коэффициенту поглощения плюс потери при многократном прохождении света через резонатор
- равен коэффициенту поглощения, если проводимость образца равна нулю
- равен коэффициенту поглощения плюс коэффициент отражения

Верный ответ: равен коэффициенту поглощения плюс потери при многократном прохождении света через резонатор

**15. Какой механизм рекомбинации является основным в активной области полупроводниковых лазерах?**

Ответы:

- Рекомбинация через центры рекомбинации
- Излучательная рекомбинация
- Оже – рекомбинация
- Нет рекомбинации

Верный ответ: Излучательная рекомбинация

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5 («отлично»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Выставляется студенту, правильно выполнившему практическое задание, который показал при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, что владеет материалом дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных явлений и решения задач.

*Оценка: 4 («хорошо»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Выставляется студенту, правильно выполнившему практическое задание и в основном правильно ответившему на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, но допустившему при этом принципиальные ошибки.

*Оценка: 3 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Выставляется студенту, который в ответах на вопросы экзаменационного билета допустил существенные и даже грубые ошибки, но затем исправил их сам, а также не выполнил практическое задание из экзаменационного билета, но либо наметил правильный путь его выполнения, либо по указанию экзаменатора решил другую задачу из того же раздела дисциплины.

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

*Описание характеристики выполнения знания:* Выставляется студенту, который: а) не ответил на вопросы экзаменационного билета и не смог решить, либо наметить правильный путь решения задачи из билета; б) не смог решить, либо наметить правильный путь решения задачи из экзаменационного билета и другой задачи на тот же раздел дисциплины, выданной взамен нее; в) при ответе на дополнительные вопросы обнаружил незнание большого раздела экзаменационной программы.

### ***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 экзаменационной составляющих.