

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

**Направление подготовки/специальность: 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника**

**Наименование образовательной программы: Твердотельная микро- и нанoeлектроника**

**Уровень образования: высшее образование - магистратура**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Полупроводниковые приёмники излучения**

**Москва  
2022**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель  
(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Мирошников Б.Н.
	Идентификатор	Rd4c7098c-MiroshnikovBN-eb38ec

Б.Н.  
Мирошников  
(расшифровка подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы  
(должность, ученая степень,  
ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Баринов А.Д.
	Идентификатор	Ra98e1318-BarinovAD-f138ec4f

А.Д. Баринов  
(расшифровка подписи)

Заведующий  
выпускающей  
кафедры  
(должность, ученая степень,  
ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Мирошникова И.Н.
	Идентификатор	Rd1db27a5-MiroshnikovaIN-70caf8

И.Н.  
Мирошникова  
(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:

1. ПК-1 Способен участвовать в проектировании полупроводниковых приборов и / или интегральных схем

ИД-1 Демонстрирует знание принципов работы, физических и математических моделей основных полупроводниковых приборов в соответствующих областях электроники

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Письменная работа

1. Итоговая контрольная работа (Контрольная работа)
2. Основные параметры и определения. (Контрольная работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Защита лабораторной работы "Изучение статических характеристик полупроводниковых фотодиодов и фоторезисторов" (Лабораторная работа)
2. Защита лабораторной работы "Исследование работы фоторезисторов в динамическом режиме" (Лабораторная работа)
3. Защита лабораторной работы "Исследование световых характеристик фоторезисторов" (Лабораторная работа)

## БРС дисциплины

1 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %					
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-6
	Срок КМ:	4	8	12	15	15
Задачи и направления развития оптоэлектроники. Взаимодействие излучения и полупроводниковых структур						
Характеристики излучения. Оптические свойства полупроводников и их влияние на параметры фотоприемников.	+	+	+	+	+	
Основные параметры и характеристики ФП						
Основные параметры и характеристики ФП.	+	+	+	+	+	
Фоторезисторы (ФР). Собственные и примесные.						
Физические явления в фоторезисторах. Схема измерения.	+	+	+	+	+	

Собственный ФР (СФР). Параметры СФР, изготовленных из различных полупроводниковых материалов.	+	+	+	+	+
Параметры ПФР, изготовленных из различных полупроводниковых материалов.	+	+	+	+	+
Основы теории шумов ФР.	+	+	+	+	+
Основы работы фотоприёмников с потенциальными барьерами					
Фотодиод (ФД) на основе рп-перехода.	+	+	+	+	+
Элементы конструкция фотоприемников.					
Материалы для оптических окон, оптические фильтры.	+	+	+	+	+
Системы охлаждения.	+	+	+	+	+
Современные фотоприёмники, ПЗС, болометрические элементы, ФПУ на основе матричных ФЧС					
Приборы с зарядовой связью.	+	+	+	+	+
Болометрические элементы.	+	+	+	+	+
Матричные ФПУ.	+	+	+	+	+
Вес КМ:	5	20	20	20	35

§Общая часть/Для промежуточной аттестации§

### БРС курсовой работы/проекта

1 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %			
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3
	Срок КМ:	8	12	15
Моделирование темновой ВАХ ФР		+		
Моделирование световой ВАХ ФР			+	
Спектральные характеристики ФР				+
Вес КМ:		25	35	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-1 <sub>ПК-1</sub> Демонстрирует знание принципов работы, физических и математических моделей основных полупроводниковых приборов в соответствующих областях электроники	Знать: основные приборы, используемые для приема излучения разных длин волн, и принципы их работы	Основные параметры и определения. (Контрольная работа) Защита лабораторной работы "Изучение статических характеристик полупроводниковых фотодиодов и фоторезисторов" (Лабораторная работа) Защита лабораторной работы "Исследование работы фоторезисторов в динамическом режиме" (Лабораторная работа) Защита лабораторной работы "Исследование световых характеристик фоторезисторов" (Лабораторная работа) Итоговая контрольная работа (Контрольная работа)

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

### КМ-1. Основные параметры и определения.

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 5

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Каждому студенту выдается индивидуальный вариант контрольной работы, содержащий 4-5 вопроса для письменного ответа. Время на ответ 45 минут.

#### Краткое содержание задания:

Проверка знаний студентов основных параметров и определений связанных с разделом Оптоэлектроники - полупроводниковые приёмники излучения.

#### Контрольные вопросы/задания:

Знать: основные приборы, используемые для приема излучения разных длин волн, и принципы их работы	1. Что изучает Оптоэлектроника? 2. В чем различия между потоком радиометрическим и световым потоком. 3. Что такое «ограничение фоном»? 4. Спектр поглощения реального и идеального приемника. Чем определяются различия в коротковолновой области?
---	---

#### 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: 65*

*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. Защита лабораторной работы "Изучение статических характеристик полупроводниковых фотодиодов и фоторезисторов"

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** 1. Студент показывает оформленный отчет по выполненной лабораторной работе; 2. Если отчет выполнен неверно - исправляет свои ошибки, если выполнен верно - получает 1-2 вопроса для защиты; 3. После 10 минутной подготовки студент начинает отвечать на вопрос, во время подготовки разрешено пользоваться отчетом по работе и собственным рукописным конспектом лекций.

**Краткое содержание задания:**

Защита лабораторной работы. "Изучение статических характеристик полупроводниковых фотодиодов и фоторезисторов".

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: основные приборы, используемые для приема излучения разных длин волн, и принципы их работы	1. Принцип действия собственного фоторезистора? 2. Принцип действия примесного фоторезистора? 3. Принцип действия фотодиода? Температурные ограничения работы ФД?
---	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*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: 65*

*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. Защита лабораторной работы "Исследование работы фоторезисторов в динамическом режиме"**

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** 1. Студент показывает оформленный отчет по выполненной лабораторной работе; 2. Если отчет выполнен неверно - исправляет свои ошибки, если выполнен верно - получает 1-2 вопроса для защиты; 3. После 10 минутной подготовки студент начинает отвечать на вопрос, во время подготовки разрешено пользоваться отчетом по работе и собственным рукописным конспектом лекций.

**Краткое содержание задания:**

Защита лабораторной работы. "Исследование работы фоторезисторов в динамическом режиме".

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: основные приборы, используемые для приема излучения разных длин волн, и принципы их работы	1. Каким выражением описывается поток АЧТ в общем случае и в данной работе? С чем связаны различия данных формул? 2. Как и почему зависит чувствительность от частоты подаваемого сигнала на ФР? 3. Как и почему зависит обнаружительная способность от частоты подаваемого сигнала на ФР? 4. Как и почему зависит чувствительность от напряжения смещения, подаваемого на ФР? 5. Как и почему зависит обнаружительная
---	--

	<p>способность от напряжения смещения, подаваемого на ФР?</p> <p>6.Как и почему зависит обнаружительная способность от напряжения смещения, подаваемого на ФР?</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: 65*

*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. Защита лабораторной работы "Исследование световых характеристик фоторезисторов"**

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** 1. Студент показывает оформленный отчет по выполненной лабораторной работе; 2. Если отчет выполнен неверно - исправляет свои ошибки, если выполнен верно - получает 1-2 вопроса для защиты; 3. После 10 минутной подготовки студент начинает отвечать на вопрос, во время подготовки разрешено пользоваться отчетом по работе и собственным рукописным конспектом лекций.

**Краткое содержание задания:**

Защита лабораторной работы "Исследование световых характеристик фоторезисторов"

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: основные приборы, используемые для приема излучения разных длин волн, и принципы их работы</p>	<p>1.Спектр поглощения реального и идеального фотоприемника. В чем различия?</p> <p>2.Как из спектра поглощения определить материал фотоприемника?</p> <p>3.Как на спектр поглощения влияет толщина фотоприемника?</p> <p>4.Как на спектр поглощения влияет тип источника излучения?</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: 65

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-6. Итоговая контрольная работа

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 35

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Каждому студенту выдается индивидуальный вариант контрольной работы, содержащий 5 вопросов для письменного ответа. Время на ответ 2 академических часа.

#### Краткое содержание задания:

Контрольная работа по всем разделам, изучаемых в первом семестре курса  
Оптоэлектроника.

#### Контрольные вопросы/задания:

Знать: основные приборы, используемые для приема излучения разных длин волн, и принципы их работы	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Напишите полупроводниковые материалы, применяемые в диапазоне 0,2-1 мкм.</li><li>2. Что такое поверхностная рекомбинация? На каких длин волн она оказывает максимальное влияние на спектральную характеристику и почему?</li><li>3. Напишите выражение для токовой чувствительности и поясните измеряемые значения. Напишите размерность</li><li>4. Опишите особенности работы болометрических элементов, относительно ФРов</li><li>5. Напишите выражение для удельной обнаружительной способности. Напишите ее размерность</li><li>6. В чем особенность СФР на основе КРТ?</li><li>7. Почему <math>D^* \text{ ФД}</math> больше, чем у ФР?</li><li>8. Из чего состоит ФПУ? Для какой задачи используются фильтры в ФПУ?</li><li>9. Какие способы охлаждения Вы знаете? Предложите вариант охлаждения до температур 100К.</li><li>10. Нарисуйте зависимость генерационно-рекомбинационного шума СФР от частоты. В каком диапазоне частот он актуален?</li><li>11. В чем особенность ФЧЭ на основе антимонида индия?</li><li>12. Нарисуйте ЛАХ ФР. Почему важен диапазон линейности ЛАХ ФР?</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*

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 1 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Экзамен

### Пример билета

1. Частотные характеристики фоторезисторов. Случаи линейной и квадратичной рекомбинации.
2. PIN-фотодиоды: принцип работы, энергетические диаграммы.
3. Предложите конструкцию ФПУ на УФ диапазон.

Билет состоит из 2 теоретических вопросов и одного задания.

### Процедура проведения

1. Студент, допущенный к экзамену, тянет билет, называет номер билета преподавателю. 2. Преподаватель фиксирует ФИО студента, номер билета и время начала экзамена. 3. Студент имеет право на подготовку своего ответа не менее 1 часа, при желании данное время может быть сокращено при договоренности с экзаменаторами. 4. Студент отвечает на вопросы билета в течение не больше 30 минут. При необходимости экзаменатор задает дополнительные вопросы по теме билета и всего курса.

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1<sub>ПК-1</sub> Демонстрирует знание принципов работы, физических и математических моделей основных полупроводниковых приборов в соответствующих областях электроники

### Вопросы, задания

1. Основные параметры и характеристики фотоприемников.
2. Принцип работы СФР. Система измерения.
3. Спектральная чувствительность СФР
4. Равномерное поглощение в СФР.
5. Поглощение в приповерхностном слое
6. Частотные характеристики фоторезисторов. Линейная и квадратичная рекомбинации
7. Основы теории шумов фоторезисторов.
8. СФР на основе InSb, халькогенидов свинца и КРТ.
9. SPRITE-фоторезисторы.
10. Примесная фотопроводимость
11. ПФР на основе Ge: Au и др конкретные ПФР.
12. Материалы для оптических окон, оптические фильтры, системы охлаждения.
13. ФР на горячих электронах.
14. Принцип работы ФД. Энергетические диаграммы и распределение носителей.
15. Частотные и спектральные характеристики фотодиодов.
16. PIN-фотодиоды: принцип работы, энергетические диаграммы.
17. Лавинные фотодиоды: принцип работы, энергетические диаграммы.
18. Фотодиоды Шоттки: принцип работы, энергетические диаграммы.
19. ФР на квантовых ямах.
20. Боллометрические элементы. Принцип действия, особенности относительно ФР.
21. Солнечные элементы. Принцип действия. Подходящие материал для СЭ.

22. Виды СЭ. Солнечные электростанции.
23. Предложите конструкцию ФПУ на видимый диапазон.
24. Предложите конструкцию ФПУ на диапазон 2-3 мкм.
25. Предложите конструкцию ФПУ на диапазон 8-15 мкм.

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

1. Предложите конструкцию ФПУ на УФ диапазон.

Ответы:

Студент должен предложить на основе какого материала и типа приемника излучение создается ФПУ. Указать при необходимости материал используемого ограничивающего фильтра. Температурные ограничения работы ФПУ и предложить систему охлаждения для данных ограничений.

2. Предложите конструкцию ФПУ на видимый диапазон.

Ответы:

Студент должен предложить на основе какого материала и типа приемника излучение создается ФПУ. Указать при необходимости материал используемого ограничивающего фильтра. Температурные ограничения работы ФПУ и предложить систему охлаждения для данных ограничений.

3. Предложите конструкцию ФПУ на диапазон 2-3 мкм.

Ответы:

Студент должен предложить на основе какого материала и типа приемника излучение создается ФПУ. Указать при необходимости материал используемого ограничивающего фильтра. Температурные ограничения работы ФПУ и предложить систему охлаждения для данных ограничений.

4. Предложите конструкцию ФПУ на диапазон 7-10 мкм.

Ответы:

Студент должен предложить на основе какого материала и типа приемника излучение создается ФПУ. Указать при необходимости материал используемого ограничивающего фильтра. Температурные ограничения работы ФПУ и предложить систему охлаждения для данных ограничений.

5. Предложите конструкцию ФПУ на диапазон 8-15 мкм

Ответы:

Студент должен предложить на основе какого материала и типа приемника излучение создается ФПУ. Указать при необходимости материал используемого ограничивающего фильтра. Температурные ограничения работы ФПУ и предложить систему охлаждения для данных ограничений.

6. Предложите конструкцию ФПУ на диапазон 3-5 мкм

Ответы:

Студент должен предложить на основе какого материала и типа приемника излучение создается ФПУ. Указать при необходимости материал используемого ограничивающего фильтра. Температурные ограничения работы ФПУ и предложить систему охлаждения для данных ограничений.

7. Предложите конструкцию ФПУ на диапазон 1-2 мкм.

Ответы:

Студент должен предложить на основе какого материала и типа приемника излучение создается ФПУ. Указать при необходимости материал используемого ограничивающего фильтра. Температурные ограничения работы ФПУ и предложить систему охлаждения для данных ограничений.

8. Предложите конструкцию ФПУ на диапазон видимый диапазон.

Ответы:

Студент должен предложить на основе какого материала и типа приемника излучение создается ФПУ. Указать при необходимости материал используемого ограничивающего

фильтра. Температурные ограничения работы ФПУ и предложить систему охлаждения для данных ограничений.

9. Является ли ФПУ на основе Si без охлаждения оптимальным для диапазона 3-5 мкм? Предложите коррективы

Ответы:

Студент должен ответить на какой диапазон рассчитан материал, предложенный в задании. Предложить изменить материал для данного диапазона. Указать при необходимости материал используемого ограничивающего фильтра. Температурные ограничения работы ФПУ и предложить систему охлаждения для данных ограничений.

10. Является ли ФПУ на основе PbS без охлаждения оптимальным для диапазона 3-5 мкм? Предложите коррективы.

Ответы:

Студент должен ответить на какой диапазон рассчитан материал, предложенный в задании. Предложить изменить материал для данного диапазона. Указать при необходимости материал используемого ограничивающего фильтра. Температурные ограничения работы ФПУ и предложить систему охлаждения для данных ограничений.

11. Является ли ФПУ на основе KPT без охлаждения оптимальным для диапазона 3-5 мкм? Предложите коррективы.

Ответы:

Студент должен ответить на какой диапазон рассчитан материал, предложенный в задании. Предложить изменить материал для данного диапазона. Указать при необходимости материал используемого ограничивающего фильтра. Температурные ограничения работы ФПУ и предложить систему охлаждения для данных ограничений.

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*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: 75*

*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: 60*

*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.

**Для курсового проекта/работы:**

**1 семестр**

**Форма проведения: Защита КП/КР**

### ***I. Процедура защиты КП/КР***

Студент, допущенный к защите, готовит презентацию и речь к защите. Комиссия (минимум из 2 преподавателей) слушает речь студента (в течение 5-10 минут), задает вопросы по работе в целом и непосредственно защите. По результатам речи и ответов на вопросы комиссия принимает решение об оценке.

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

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*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: 75*

*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.