

**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
2024**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Мирошников Б.Н.
	Идентификатор	Rd4c7098c-MiroshnikovBN-eb38ec4f

Б.Н.
Мирошников

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

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

А.Д.
Баринов

Заведующий
выпускающей кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Зезин Д.А.
	Идентификатор	Re7522a00-ZezinDA-ba8dbd73

Д.А. Зезин

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
	Срок КМ:	4	8	12	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 _{ПК-1} 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

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не 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

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не 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,	1. Каким выражением описывается поток АЧТ в
--------------------------	---

используемые для приема излучения разных длин волн, и принципы их работы	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 способность от напряжения смещения, подаваемого на ФР? 6.Как и почему зависит обнаружительная способность от напряжения смещения, подаваемого на ФР?
--	---

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

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не 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:

Знать: основные приборы, используемые для приема излучения разных длин волн, и	1.Спектр поглощение реального и идеального фотоприемника. В чем различия? 2.Как из спектра поглощения определить материал
--	---

принципы их работы	фотоприемника? 3.Как на спектр поглощения влияет толщина фотоприемника? 4.Как на спектр поглощения влияет тип источника излучения?
--------------------	--

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

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не 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	1. Напишите полупроводниковые материалы, применяемые в диапазоне 0,2-1 мкм. 2.Что такое поверхностная рекомбинация? На каких длин волн она оказывает максимальное влияние на спектральную характеристику и почему? 3.Напишите выражение для токовой чувствительности и поясните измеряемые значения. Напишите размерность 4.Опишите особенности работы болометрических элементов, относительно ФРов 5.Напишите выражение для удельной обнаружительной способности. Напишите ее размерность 6.В чем особенность СФР на основе КРТ?
---	--

	7. Почему D^* ФД больше, чем у ФР? 8. Из чего состоит ФПУ? Для какой задачи используются фильтры в ФПУ? 9. Какие способы охлаждения Вы знаете? Предложите вариант охлаждения до температур 100К. 10. Нарисуйте зависимость генерационно-рекомбинационного шума СФР от частоты. В каком диапазоне частот он актуален? 11. В чем особенность ФЧЭ на основе антимонида индия? 12. Нарисуйте ЛАХ ФР. Почему важен диапазон линейности ЛАХ ФР?
--	--

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

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не 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_{ПК-1} 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. Болометрические 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

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

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

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

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.