

**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: Микроэлектроника и твердотельная электроника**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Проектирование элементов интегральных схем**

**Москва  
2024**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

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

Д.А. Зезин

## 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:

- ПК-1 Способен участвовать в проектировании интегральных схем  
ИД-1 Использует средства автоматизации схемотехнического проектирования
- ПК-2 Способен осуществлять расчет и проектирование полупроводниковых приборов и устройств, проводить моделирование и анализ с использованием средств автоматизации проектирования  
ИД-1 Демонстрирует знание принципов работы, физических и математических моделей основных полупроводниковых приборов

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Защита задания

- Опрос № 4 (Контрольная работа)

Форма реализации: Проверка задания

- Опрос № 1 (Контрольная работа)
- Опрос № 2 (Контрольная работа)
- Опрос № 3 (Контрольная работа)

## БРС дисциплины

### 8 семестр

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

- КМ-1 Опрос № 1 (Контрольная работа)
- КМ-2 Опрос № 2 (Контрольная работа)
- КМ-3 Опрос № 3 (Контрольная работа)
- КМ-4 Опрос № 4 (Контрольная работа)

**Вид промежуточной аттестации** – Зачет с оценкой.

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	2	8	12	16
Фундаментальные уравнения физических процессов в объёме полупроводниковой структуры					

Фундаментальные уравнения физических процессов в объёме полупроводниковой структуры	+		+	
Модели полевых элементов ИС				
Модели полевых элементов ИС		+	+	
Модели короткоканальных полевых ИС				
Модели короткоканальных полевых ИС	+		+	
Транзисторы на основе широкозонных полупроводников и гетеропереходов. Особенности функционально ориентированных ИС				
Транзисторы на основе широкозонных полупроводников и гетеропереходов. Особенности функционально ориентированных ИС		+		+
Перспективные транзисторы				
Перспективные транзисторы		+		+
Вес КМ:	10	20	20	50

## 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> Использует средства автоматизации схемотехнического проектирования	Знать: методы оптимизации параметров полупроводниковых интегральных схем Уметь: экстрагировать параметры моделей из эксперимента	КМ-2 Опрос № 2 (Контрольная работа) КМ-4 Опрос № 4 (Контрольная работа)
ПК-2	ИД-1 <sub>ПК-2</sub> Демонстрирует знание принципов работы, физических и математических моделей основных полупроводниковых приборов	Знать: методы оптимизации параметров полупроводниковых полевых транзисторов Уметь: оптимизировать конструкцию полевых транзисторов для достижения требуемых параметров	КМ-1 Опрос № 1 (Контрольная работа) КМ-3 Опрос № 3 (Контрольная работа)

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

### КМ-1. Опрос № 1

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студент защищает результаты работы, отвечая устно на вопросы преподавателя.

**Краткое содержание задания:**

Ответить на вопросы преподавателя.

**Контрольные вопросы/задания:**

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: методы оптимизации параметров полупроводниковых полевых транзисторов	1. Из каких основных этапов состоит физико-топологическое моделирование? Приведите структуру командного файла. Каким образом описывается подложка и сетка? Каким образом задаются процессы диффузии и температурный режим? Каким образом задаются параметры окисления?

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5 («отлично»)*

*Описание характеристики выполнения знания:* студент полностью верно ответил на поставленные вопросы

*Оценка: 4 («хорошо»)*

*Описание характеристики выполнения знания:* студент ответил на поставленные вопросы с небольшими недочётами

*Оценка: 3 («удовлетворительно»)*

*Описание характеристики выполнения знания:* студент верно ответил на 50 % поставленных вопросов, а на остальные вопросы смог ответить, используя подсказки преподавателя

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

*Описание характеристики выполнения знания:*

### КМ-2. Опрос № 2

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студент защищает результаты работы, отвечая устно на вопросы преподавателя.

**Краткое содержание задания:**

Ответить на вопросы преподавателя

**Контрольные вопросы/задания:**

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: методы оптимизации параметров полупроводниковых интегральных схем	1. Какие параметры определяют качество сетки для транзистора? Каким образом строится процесс моделирования при расчете электрических характеристик? Каким образом проводится экстракция параметров транзистора? Каким образом реализовать изоляцию?

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5 («отлично»)*

*Описание характеристики выполнения знания:* студент полностью верно ответил на поставленные вопросы

*Оценка: 4 («хорошо»)*

*Описание характеристики выполнения знания:* студент ответил на поставленные вопросы с небольшими недочётами

*Оценка: 3 («удовлетворительно»)*

*Описание характеристики выполнения знания:* студент верно ответил на 50 % поставленных вопросов, а на остальные вопросы смог ответить, используя подсказки преподавателя

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

*Описание характеристики выполнения знания:*

**КМ-3. Опрос № 3**

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студент защищает результаты работы, отвечая устно на вопросы преподавателя.

**Краткое содержание задания:**

Ответить на вопросы преподавателя.

**Контрольные вопросы/задания:**

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Уметь: оптимизировать конструкцию полевых транзисторов для достижения требуемых параметров	1. Выберите параметры моделирования таким образом, чтобы расчетная сетка была адекватной поставленной задаче при минимуме затраченных вычислительных ресурсов. Проведите технологическое моделирование процесса изготовления транзистора. Проведите анализ используемой схемы на пробой.

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5 («отлично»)*

*Описание характеристики выполнения знания:* студент полностью верно ответил на поставленные вопросы

*Оценка:* 4 («хорошо»)

*Описание характеристики выполнения знания:* студент ответил на поставленные вопросы с небольшими недочётами

*Оценка:* 3 («удовлетворительно»)

*Описание характеристики выполнения знания:* студент верно ответил на 50 % поставленных вопросов, а на остальные вопросы смог ответить, используя подсказки преподавателя

*Оценка:* 2 («неудовлетворительно»)

*Описание характеристики выполнения знания:*

#### **КМ-4. Опрос № 4**

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 50

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студент защищает результаты расчета.

#### **Краткое содержание задания:**

Конечным результатом проекта должны стать рассчитанные параметры математических моделей транзисторных структур проектируемой интегральной схемы и построенные на основе этих параметров статические и динамические характеристики транзисторов и зависимости параметров от режимов для дальнейшего схемотехнического моделирования базовых ячеек проектируемой ИС, и определение оптимальных режимов работы транзисторов.

#### **Контрольные вопросы/задания:**

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Уметь: экстрагировать параметры моделей из эксперимента	1. Реализуйте активный нормальный режим работы при моделировании поведения транзистора при приложении электрического напряжения. Проведите экстракцию порогового напряжения. Проведите экстракцию коэффициента усиления по мощности в схеме ОИ.

#### **Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* 5 («отлично»)

*Описание характеристики выполнения знания:* студент полностью верно ответил на поставленные вопросы

*Оценка:* 4 («хорошо»)

*Описание характеристики выполнения знания:* студент ответил на поставленные вопросы с небольшими недочётами

*Оценка:* 3 («удовлетворительно»)

*Описание характеристики выполнения знания:* студент верно ответил на 50 % поставленных вопросов, а на остальные вопросы смог ответить, используя подсказки преподавателя

*Оценка:* 2 («неудовлетворительно»)

*Описание характеристики выполнения знания:*

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 8 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Зачет с оценкой

### Пример билета

Билеты не используются

### Процедура проведения

Оценка выставляется по результатам текущего контроля в соответствии с БАРС.

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1<sub>ПК-1</sub> Использует средства автоматизации схемотехнического проектирования

### Вопросы, задания

1. Эффект насыщения дрейфовой скорости, выброс скоростей  
Подпороговое напряжени  
Границы короткоканальности  
DIBL-эффект  
SPICE-модель МДП  
Особенности топологического моделирования  
Учет горячих носителей  
Квазиклассические эффекты  
Гидродинамическое приближение  
Транзисторы типа FInFET

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Какое уравнение используется для расчета распределения поля в полупроводнике в термодинамическом равновесии в диффузионно — дрейфовом приближении?

Ответы:

- а) Уравнение Пуассона.
- б) Уравнение непрерывности.
- в) Первый закон Фика.
- г) Уравнение Шрёдингера.

Верный ответ: а

2. Какое уравнение используется для расчета токов в полупроводнике в неравновесном случае в диффузионно — дрейфовом приближении?

Ответы:

- а) Уравнение непрерывности.
- б) Уравнение Пуассона.
- в) Второй закон Фика.
- г) Уравнение Максвелла — Больцмана.

Верный ответ: а

3. Какое уравнение устанавливает математическую взаимосвязь между коэффициентом диффузии и подвижностью в диффузионно — дрейфовом приближении?

Ответы:

- а) Соотношение Эйнштейна.

- б) Уравнение Борна — Кармака.
- в) Уравнение непрерывности.
- г) Уравнение Планка.

Верный ответ: а

4. Какие переменные выбираются в качестве неизвестных в классическом подходе к решению полной системы уравнений диффузионно — дрейфового приближения?

Ответы:

- а) Потенциал, приведённый квазиуровень Ферми для электронов, приведённый квазиуровень Ферми для электронов.
- б) Напряженность электрического поля, потенциал, уровень Ферми для собственного полупроводника.
- в) Концентрация электронов, концентрация дырок, собственная концентрация.
- г) Подвижность для электронов, подвижность для дырок, потенциал.

Верный ответ: а

5. Каким способом в диффузионно — дрейфовом приближении учитывают ударную ионизацию?

Ответы:

- а) Вводят эмпирические формулы с подгоночными эмпирическими коэффициентами.
- б) В рамках диффузионно - дрейфового приближения невозможно учесть ударную ионизацию.
- в) Использует интеграл Ферми порядка  $\frac{1}{2}$ .
- г) Используют соотношение Эйнштейна.

Верный ответ: а

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-1<sub>ПК-2</sub> Демонстрирует знание принципов работы, физических и математических моделей основных полупроводниковых приборов

### Вопросы, задания

- 1. Идеальная МДП-структура
- Приповерхностная ОПЗ, приповерхностный потенциал
- Флуктуация потенциального барьера в канале
- Ёмкость приповерхностной ОПЗ, ВФХ МДП-структуры
- Реальная МДП-структура
- Пробой в диэлектрике
- МДП-транзистор (качественное описание)
- Пороговое напряжение, термостабильная точка
- Неоднородное легирование канала
- Скрытый канал

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Для каких случаев лучше использовать схему решения системы уравнений диффузионно — дрейфового приближения по Шафтнеру - Гуммелю?

Ответы:

- а) В случае наличия резких неоднородностей по концентрации носителей заряда, например при наличии p-n-перехода.
- б) В случае собственного полупроводника.
- в) В случае высоких температур.
- г) В случае высоких уровней легирования.

Верный ответ: а

2. В каких случаях следует использовать гидродинамическое приближение?

Ответы:

- а) В тех случаях, когда температура свободных носителей и кристаллической решётки отличается, при этом важно учитывать возможность обмена температурой между свободными носителями и решёткой.
- б) В тех случаях, когда температура свободных носителей и кристаллической решётки одинаковы.
- в) В случае лавинного пробоя.
- г) В случае вырожденного полупроводника.

Верный ответ: а

3. В каких случаях следует использовать классический метод Монте - Карло?

Ответы:

- а) В тех случаях, когда носители заряда можно представить в виде шариков, обладающих собственным импульсом, а все эффекты в полупроводнике определяются исключительно расположением этих носителей.
- б) В тех случаях, когда необходимо учитывать квантовые эффекты, например туннелирование.
- в) В случае наличия «горячих» носителей.
- г) В случае, когда другие методы не работают.

Верный ответ: а

4. В каких случаях следует использовать метод Монте — Карло с квантовой коррекцией?

Ответы:

- а) В тех случаях, когда необходимо учитывать квантовые эффекты, например туннелирование.
- б) В тех случаях, когда размеры рассчитываемых областей не менее одного микрометра.
- в) В тех случаях, когда выполняется соотношение Эйнштейна.
- г) В тех случаях, когда сходимость метода больше, чем в квазигидродинамическом приближении.

Верный ответ: а

5. Каким методом можно решить уравнение Шредингера с точностью, достаточной для расчетов параметров полупроводниковых приборов, не решая это уравнение напрямую?

Ответы:

- а) Методом эффективного потенциала.
- б) Квазигидродинамическим приближением.
- в) Методом инвариантов.
- г) Используя схему Шафтнера - Гуммеля.

Верный ответ: а

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5 («отлично»)*

*Описание характеристики выполнения знания: соответствует семестровой оценке от 4,5 и выше в соответствии с положением о БАРС*

*Оценка: 4 («хорошо»)*

*Описание характеристики выполнения знания: соответствует семестровой оценке от 3,5 и выше в соответствии с положением о БАРС*

*Оценка: 3 («удовлетворительно»)*

*Описание характеристики выполнения знания: соответствует семестровой оценке от 2,5 и выше в соответствии с положением о БАРС*

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

*Описание характеристики выполнения знания:*

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

Оценка выставляется по результатам текущего контроля в соответствии с БАРС.