

**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
2023**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

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

(подпись)

Д.А. Зезин

(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 |

(подпись)

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-70cafb8 |

(подпись)

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:

- ПК-1 Способен участвовать в проектировании полупроводниковых приборов
ИД-1 Демонстрирует знание принципов работы, физических и математических моделей основных полупроводниковых приборов
- ПК-2 Способен участвовать в проектировании интегральных схем
ИД-1 Использует средства автоматизации схемотехнического проектирования

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

| 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 |

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

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

| Индекс компетенции | Индикатор | Запланированные результаты обучения по дисциплине | Контрольная точка |
|--------------------|---|---|--|
| ПК-1 | ИД-1 _{ПК-1} 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 | Опрос № 1 (Контрольная работа) Опрос № 3 (Контрольная работа) |
| ПК-2 | ИД-1 _{ПК-2} Использует средства автоматизации схемотехнического проектирования | Знать: методы оптимизации параметров полупроводниковых интегральных схем Уметь: экстрагировать параметры моделей из эксперимента | Опрос № 2 (Контрольная работа) Опрос № 4 (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:

| | |
|---|--|
| 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

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

Оценка: 4

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

Оценка: 3

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

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:

| | |
|--|--|
| 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

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

Оценка: 4

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

Оценка: 3

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

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:

| | |
|--|--|
| 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

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

Оценка: 4

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

Оценка: 3

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

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:

| | |
|---|--|
| 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

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

Оценка: 4

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

Оценка: 3

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

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_{ПК-1} 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

2. Компетенция/Индикатор: ИД-1_{ПК-2} Использует средства автоматизации схемотехнического проектирования

Вопросы, задания

- 1. Эффект насыщения дрейфовой скорости, выброс скоростей
- Подпороговое напряжение
- 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 Шредингера.

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

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5

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

Оценка: 4

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

Оценка: 3

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

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

Оценка выставляется по результатам текущего контроля в соответствии с БАРС