

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ:

Декан

А. Г. Коротаев

Оценочные материалы по дисциплине

Приборное и технологическое моделирование в микроэлектронике

по направлению подготовки / специальности

03.04.03 Радиофизика, 12.04.03 Фотоника и оптоинформатика

Направленность (профиль) подготовки/ специализация:

Цифровые технологии фотоники и радиофизики

Форма обучения

Очная

Квалификация

инженер-исследователь

Год приема

2025

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

А.П. Коханенко

Председатель УМК

А.П. Коханенко

Томск – 2025

1. Компетенции и индикаторы их достижения, проверяемые данными оценочными материалами

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

БК-2 Способен использовать научные методы для решения профессиональных задач

ОПК-3 Способен применять современные информационные технологии, использовать компьютерные сети и программные продукты для решения задач профессиональной деятельности

ПК-2 Способен осуществлять построение математических моделей объектов исследования и выбор готового или разработку нового алгоритма решения задачи

ПК-3 Способен использовать современное оборудование для решения профессиональных задач

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

РОБК-2.2 Умеет: выстраивать систематическую и логическую цепочку анализа и принимаемых решений в контексте задачи профессиональной деятельности

РООПК-3.2 Предлагает новые идеи и подходы к решению научно-исследовательских и прикладных задач с использованием информационных систем и технологий

РОПК-2.1 Формулирует постановку задачи, определяет параметры и функции разрабатываемой системы

РОПК-2.2 Определяет алгоритм и набор параметров, с учётом которых должно быть проведено моделирование устройства или системы

РОПК-2.3 Проводит компьютерное моделирование устройства или системы

РОПК-3.1 Понимает принципы действия устройств и систем, предназначенных для решения профессиональных задач

2. Оценочные материалы текущего контроля и критерии оценивания

Элементы текущего контроля:

- контрольная работа;
- презентации на семинарских занятиях;
- практические задачи.

Примерный перечень контрольных вопросов для самостоятельной работы студентов.

1. Физический смысл эффективной массы и подвижности носителей заряда.
2. Уравнения непрерывности для электронов и дырок.
3. Принципы построения зонной диаграммы гетероперехода. Образование потенциальной ямы на гетерогранице.
4. Уравнение Пуассона. Решение уравнения Пуассона на примере линейного p - n перехода.
5. Основные технологические операции применяемые в полупроводниковой элеткронике.
6. Образование двумерного электронного газа в *HEM*-структурах.
7. От чего зависит величина тока насыщения выходной статической ВАХ *HEM*-транзистора?
8. В чем заключаются отличия *HEM*-транзистора от биполярного и полевого транзисторов?
9. Преимущества и недостатки *HEM*-транзистора.
10. Дать определение нормально закрытого и нормально открытого транзистора.

11. Что такое частота отсечки и от чего она зависит?
12. Что такое пороговое напряжение?
13. Передаточная характеристика полевого транзистора.
14. Крутизна.
15. Коэффициент усиления по току полевого транзистора.
16. Коэффициент усиления по мощности полевого транзистора.
17. Коэффициенты усиления полевого транзистора при приложении переменного сигнала.
18. Опишите основные этапы численного моделирования электрофизических характеристик полупроводниковых устройств средствами ПО САПР.
19. Особенности формирования расчетной сетки при моделировании *HEM*-транзистора.
20. Перечислить модели расчета переноса носителей заряда в полупроводниковых слоях и на гетерограницах, реализуемых в современных программах расчета.

Темы практических занятий

1. Моделирование топологии *HEM*-транзистора.
2. Формирование неоднородной сетки расчета и распределения примеси в структуре.
3. Моделирование выходных статических характеристик *pHEM*-транзистора.
4. Анализ полученных выходных статических характеристик *pHEM*-транзистора.
5. Моделирование частотных характеристик *pHEM*-транзистора.
6. Анализ полученных частотных характеристик *pHEM*-транзистора.

Примерные темы семинарских занятий

1. Современные инструменты технологического и приборного моделирования в микроэлектронике: Synopsys, Silvaco, Comsol.
2. Назначение и инструментарий модуля SVisual в TCAD Sentaurus.
3. Назначение и инструментарий модуля SDE в TCAD Sentaurus.
4. Назначение и инструментарий модуля SDEVICE в TCAD Sentaurus.
5. Модели рекомбинации в TCAD Sentaurus: описание, аналитическое представление и использование на примерах.
6. Модели подвижности носителей заряда в TCAD Sentaurus: описание, аналитическое представление и использование на примерах.
7. Модели переноса носителей заряда в TCAD Sentaurus: диффузионно-дрейфовая, термодинамическая и гидродинамическая.

Оценочные материалы текущего контроля размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» - <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

3. Оценочные материалы итогового контроля (промежуточной аттестации) и критерии оценивания

Экзамен в третьем семестре проводится в устной форме по билетам. Билет содержит два теоретических вопроса. Продолжительность экзамена 1,5 часа. Билет для экзамена содержит 2 вопроса, позволяющие проверить достижение обучающимися следующих результатов обучения: РОБК-2.2 (Умеет: выстраивать систематическую и логическую цепочку анализа и принимаемых решений в контексте задачи профессиональной деятельности), РООПК-3.2 (Предлагает новые идеи и подходы к решению научно-исследовательских и прикладных задач с использованием

информационных систем и технологий), РОПК-3.1 (Понимает принципы действия устройств и систем, предназначенных для решения профессиональных задач).

Примерный перечень вопросов к экзамену:

1. Виды численного моделирования полупроводниковых устройств и схем на их основе. Протекание электрического тока в полупроводниках.
2. Уравнения непрерывности для электронов и дырок. Способы формирования топологии полупроводникового устройства с помощью ПО САПР.
3. Формирование однородной и неоднородной сетки расчета с помощью ПО САПР. Гетеропереходы в полупроводниковых структурах. Образование потенциальной ямы на гетерогранице.
4. Уравнение Пуассона. Решение уравнения Пуассона на примере линейного p - n перехода. Виды численного моделирования полупроводниковых устройств и схем на их основе.
5. Основные технологические операции, применяемые в полупроводниковой электронике. Осуществление выбора и подключения моделей в ПО САПР.
6. Образование двумерного электронного газа в *HEM*-структурах. Способы формирования топологии полупроводникового устройства с помощью ПО САПР.
7. Выходные статические характеристики *HEM*-транзистора при схеме подключения с общим затвором. Формирование однородного и неоднородного распределения примеси средствами ПО САПР.
8. Выходные динамические характеристики *HEM*-транзистора при схеме подключения с общим затвором. Формирование однородного и неоднородного распределения примеси средствами ПО САПР.

Студент, не аттестованный в контрольной точке, не допускается к сдаче экзамена. Результаты экзамена определяются оценками согласно таблице.

Компетенция	Индикатор компетенции	Критерии оценивания результатов обучения			
		Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
БК-2 Способен использовать научные методы для решения профессиональных задач	РОБК-2.2 Умеет: выстраивать систематическую и логическую цепочку анализа и принимаемых решений в контексте задачи профессиональной деятельности	Не имеет представления о проблемах и задачах проектирования и моделирования микроэлектронных устройств	Имеет самые общие представления о типовых задачах в области проектирования и моделирования микроэлектронных устройств	Способен выявить проблемную ситуацию при проектировании и моделировании микроэлектронных устройств	Успешно выявляет проблемную ситуацию при решении задач проектирования микроэлектронных устройств, на основе системного подхода осуществляет её многофакторный анализ

ОПК-3 Способен применять современные информационные технологии, использовать компьютерные сети и программные продукты для решения задач профессиональной деятельности	РООПК-3.2 Предлагает новые идеи и подходы к решению научно-исследовательских и прикладных задач с использованием информационных систем и технологий	Не знает базовых принципов моделирования полупроводниковых транзисторов.	Имеет общее представление о базовых принципах моделирования полупроводниковых транзисторов.	Допускает отдельные неточности при моделировании полупроводниковых транзисторов с использованием ПО САПР.	Уверенно моделирует полупроводниковые транзисторы с использованием выбранного ПО САПР.
ПК-3 Способен использовать современное оборудование для решения профессиональных задач	РОПК-3.1 Понимает принципы действия устройств и систем, предназначенных для решения профессиональных задач	Не знает принципа действия транзисторов.	Имеет общее представление о принципе действия транзисторов	В целом успешно, но с отдельными пробелами описывает принцип действия полевых транзисторов	Уверенно описывает принцип действия различных полупроводниковых транзисторов

4. Оценочные материалы для проверки остаточных знаний (сформированности компетенций)

Вопросы теста для оценки остаточных знаний по дисциплине
(верные ответы выделены курсивом)

№	Вопрос	Варианты ответа
1	Какие дифференциальные уравнения решаются при моделировании полупроводниковых приборов?	а) уравнение Пуассона, уравнение Ньютона, уравнение Непрерывности. <i>б) уравнение Пуассона, уравнение непрерывности для дырок, уравнение непрерывности для электронов.</i> в) уравнение Пуассона, уравнения гидродинамики, уравнения для диффузионно-дрейфовых токов. г) гидродинамические и термические уравнения.
2	Какой итерационный метод решения дифференциальных уравнений используется при моделировании в САПР	<i>а) Метод Ньютона.</i> б) Метод Пуассона. в) Метод Бесселя. г) Метод дихотомии.

	TCAD?	
3	Какие подходы из перечисленных не используются при моделировании полупроводниковых приборов при использовании коммерческих САПР TCAD?	а) Гиродинамический подход. б) Термодинамический подход. в) Диффузионно-дрейфовый подход. г) Экситонный подход.
4	В чем заключается различие конструкций транзисторов типа MOSFET и HEMT?	а) MOSFET имеет подзатворный диэлектрик, HEMT имеет в основе гетероструктуру. б) MOSFET имеет лучшие выходные характеристики, HEMT имеет лучшие входные характеристики. в) Передаточная характеристика HEMT хуже, чем у MOSFET. г) Подвижность дырок меньше в MOSFET по сравнению с HEMT.
5	Что из перечисленного является верным?	а) Усилительные свойства полевых транзисторов характеризуются коэффициентом передачи по току. б) Усилительные свойства биполярных транзисторов однозначно характеризуются выходными характеристиками. г) Крутизна передаточной характеристики характеризует усилительные свойства транзистора.
6	Какие модели подвижности используются при решении задач моделирования полупроводниковых приборов?	а) модели зависимости от концентрации примеси и концентрации частиц в окружающей атмосфере. б) модели зависимости от концентрации примеси и от температуры. в) модели зависимости от напряженности электрического поля и контактной разности потенциалов.
7	В каких областях полупроводниковых структур расчетную сетку следует делать более разряженной (уменьшать количество узлов)?	а) в областях с более резким изменением концентрации примеси вдоль пространственной координаты. в) в областях с более слабым изменением концентрации примеси вдоль пространственной координаты. г) в областях с нарастающей концентрацией примеси вдоль пространственной координаты. д) в областях со спадающей концентрацией примеси вдоль пространственной координаты.
8	Какие виды функций используются при описании распределения концентрации примеси в полупроводниковых структурах при моделировании с использованием коммерческих САПР?	8) Какие виды функций используются при описании распределения концентрации примеси в полупроводниковых структурах при моделировании с использованием коммерческих САПР?
9	В каких случаях следует	а) При моделировании диода.

	уменьшать шаг расчетной сетки при моделировании полупроводниковых приборов?	б) При моделировании транзистора. в) <i>При моделировании любого полупроводникового прибора в области гетероперехода.</i> г) Сетку следует уменьшать в любом случае, так как это позволяет более точно решить задачу.
10	При использовании какого метода рассчитывается статическая вольт-амперная характеристика полупроводникового прибора?	а) <i>Квазистационарного.</i> б) Переходного. в) АС-метода.

Информация о разработчиках

Прудаев Илья Анатольевич, кандидат физико-математических наук, Томский государственный университет, доцент