

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

Моделирование полупроводниковых детекторов ионизирующего излучения

по направлению подготовки

03.04.03 Радиофизика

Направленность (профиль) подготовки:

Материалы и устройства функциональной электроники и фотоники

Форма обучения

Очная

Квалификация

Магистр

Год приема

2025

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

И.А. Прудаев

Председатель УМК

А.П. Коханенко

Томск – 2025

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

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

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

УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК 2.1 Формулирует постановку задачи, определяет параметры и функции разрабатываемой системы

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

ИПК 2.3 Проводит компьютерное моделирование устройства или системы

ИУК 1.1 Выявляет проблемную ситуацию, на основе системного подхода осуществляет её многофакторный анализ и диагностику

2. Оценочные материалы текущего контроля и критерии оценивания

Элементы текущего контроля:

- тесты;
- контрольная работа;
- презентации на семинарах.

В ходе контроля проверяется достижение обучающимися следующих результатов обучения: ИПК-2.1 (Формулирует постановку задачи, определяет параметры и функции разрабатываемой системы), ИПК-2.2 (Определяет алгоритм и набор параметров, с учётом которых должно быть проведено моделирование устройства или системы), ИПК-2.3 (Проводит компьютерное моделирование устройства или системы).

Примерный перечень вопросов для самостоятельной работы студентов (тестов)

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. Опишите основные этапы численного моделирования электрофизических характеристик полупроводниковых устройств средствами программного обеспечения TCAD Sentaurus.
7. Перечислите основные типы поглощения гамма- и рентгеновского излучений в твёрдых телах. Каковы критерии эффектов?
8. Поясните отличие теорем Рамо и Рамо-Шокли.
9. Какие основные параметры ионизирующего излучения позволяет оценить амплитудный спектр?
10. Основные преимущества и недостатки детекторов ионизирующих излучений на основе кремния и германия.
11. Чем ограничивается толщина чувствительной области детекторов?
12. Каким основным физическим параметром определяется эффективность сбора заряда?

Примеры задач:

1. Расчёт параметров детекторной структуры на основе GaAs:Cr.
2. Анализ амплитудных спектров от α -, β - и γ -излучений.
3. Расчёт эффективности сбора заряда детектора от α -, β - и γ -излучений.
4. Создание проекта в САПР TCAD
5. Создание сенсорных структур с использованием модулей Sprocess и SDE
6. Проектирование технологического процесса изготовления кремниевой структуры
7. Создание структуры полупроводниковых сенсоров различного типа с использованием модуля SDE
8. Формирование командного файла Sdevice для моделирования работы прибора на физическом уровне
9. Расчет статических вольт-амперных характеристик полупроводниковых сенсоров в TCAD Sentaurus
10. Моделирование динамических характеристик сенсоров в режиме Mixed mode
11. Моделирование электрического отклика полупроводникового сенсора на оптическое возбуждение

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.

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

В ходе контроля проверяется достижение обучающимися следующих результатов обучения: ИПК-2.1 (Формулирует постановку задачи, определяет параметры и функции разрабатываемой системы), ИПК-2.2 (Определяет алгоритм и набор параметров, с учётом которых должно быть проведено моделирование устройства или системы), ИПК-2.3 (Проводит компьютерное моделирование устройства или системы).

Примерный перечень теоретических вопросов:

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 программного комплекса TCAD.
3. Формирование однородной и неоднородной сетки расчета с помощью программного комплекса TCAD. 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 электрофизических моделей в программном комплексе TCAD.

6. Поглощение оптического, рентгеновского и γ -излучений. Внутренний фотоэффект. Эффект Комптона. Генерация электрон-позитронных пар.
7. Электростатическая индукция заряда в твёрдых телах. Уравнение наведённого тока. Теорема Рамо-Шокли.
8. Эффективность сбора заряда. Вывод формулы Хехта.
9. Материалы и структуры для детекторов ионизирующих излучений и заряженных частиц. Требования к материалам для детекторов.
10. Основные типы детекторов. Спектрометрические детекторы. $\delta E-E$ детекторы. Координатные детекторы.
11. Общая характеристика систем автоматизированного проектирования и моделирования технологических процессов, моделирования полупроводниковых приборов и микросхем.
12. Виды ионизирующего излучения и их взаимодействие с полупроводниками.
13. Материалы и структуры для детекторов ионизирующих излучений и заряженных частиц: классификация, преимущества и недостатки.

Студент, не аттестованный в контрольной точке, не допускается к сдаче зачета.
Результаты зачета определяются оценками «зачтено», «не зачтено».

Компетенция	Индикатор компетенции	Критерии оценивания результатов обучения	
		Не зачтено	Зачтено
ПК-2 Способен осуществлять построение математических моделей объектов исследования и выбор готового или разработку нового алгоритма решения задачи.	ИПК 2.1 Формулирует постановку задачи, определяет параметры и функции разрабатываемой системы	Не способен формулировать постановку задач и разрабатывать системы для моделирования полупроводниковых детекторов	Формулирует постановку задачи, определяет параметры и функции разрабатываемой системы моделирования полупроводниковых детекторов с использованием информационных технологий
	ИПК 2.2 Определяет алгоритм и набор параметров, с учётом которых должно быть проведено моделирование устройства или системы	Не способен определять алгоритмы и наборы параметров, проводить моделирование полупроводниковых детекторов	Определяет алгоритм и набор параметров, с учётом которых должно быть проведено моделирование полупроводниковых детекторов
	ИПК-2.3 Проводит компьютерное моделирование устройства или системы	Не способен проводить компьютерное моделирование полупроводниковых детекторов	Проводит компьютерное моделирование полупроводниковых детекторов

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

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

№	Вопросы	Ответы
1	В каких случаях радиоактивный распад сопровождается сопутствующим гамма-излучением?	1. <i>Всегда.</i> 2. Только в случае альфа-распада. 3. Когда электрон проникает в ядро.
2	Почему при бета-распаде энергетический спектр электронов широкий?	1. <i>Участие в бета-распаде нейтрино.</i> 2. Рассеяние энергии электронов вследствие кулоновского взаимодействия с атомными электронами. 3. Потери энергии на сопутствующее гамма-излучение.
3	Что такое минимально ионизирующая частица?	1. <i>Частица, у которой минимальны удельные потери энергии на ионизацию и возбуждение атомов.</i> 2. Частица с энергией, близкой к энергии ионообразования. 3. Частица, которая расходует свою энергию преимущественно на образование дефектов решётки.
4	Какой параметр определяет эффективность сбора заряда детекторов?	1. <i>Дрейфовая длина носителей заряда.</i> 2. Диффузионная длина носителей заряда. 3. Удельное сопротивление полупроводника.
5	Что позволяет определить амплитудный спектр?	1. Эффективность сбора заряда, регистрируемого детектором. 2. Тип регистрируемых частиц и их энергию. 3. <i>Амплитуду заряда, наводимого потерей энергии частицей в чувствительном слое детектора.</i>
6	Чем ограничивается толщина чувствительной области детекторов?	1. Областью, в которой электрическое поле отлично от нуля. 2. <i>Областью, в которой носители заряда движутся с максимальной дрейфовой скоростью.</i> 3. Областью объёмного заряда полупроводниковой структуры.
7	Перечислите современные системы проектирования полупроводниковых приборов	1. Multisim, КОМПАС 2. <i>Sentaurus, COMSOL</i> 3. Microsoft Office, Adobe Acrobat
8	Какой модуль TCAD Sentaurus используется для создания физической модели?	1. Corc 2. <i>Sdevice</i> 3. SNMesh 4. SProcess
9	Какие дифференциальные уравнения решаются при моделировании	а) уравнение Пуассона, уравнение Ньютона, уравнение Непрерывности. б) <i>уравнение Пуассона, уравнение непрерывности для дырок, уравнение непрерывности для электронов.</i>

	полупроводниковых приборов?	в) уравнение Пуассона, уравнения гидродинамики, уравнения для диффузионно-дрейфовых токов. г) гидродинамические и термические уравнения.
10	Какой итерационный метод решения дифференциальных уравнений используется при моделировании в САПР TCAD?	а) Метод Ньютона. б) Метод Пуассона. в) Метод Бесселя. г) Метод дихотомии.
11	Какие подходы из перечисленных не используются при моделировании полупроводниковых приборов при использовании коммерческих САПР TCAD?	а) Гидродинамический подход. б) Термодинамический подход. в) Диффузионно-дрейфовый подход. г) Экситонный подход.
	В каких случаях следует уменьшать шаг расчетной сетки при моделировании полупроводниковых приборов?	а) При моделировании диода. б) При моделировании транзистора. в) При моделировании любого полупроводникового прибора в области гетероперехода. г) Сетку следует уменьшать в любом случае, так как это позволяет более точно решить задачу.
	При использовании какого метода рассчитывается статическая вольт-амперная характеристика полупроводникового прибора?	а) Квазистационарного. б) Переходного. в) АС-метода.

Информация о разработчиках

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