

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

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ:  
Декан  
А. Г. Коротаев

Рабочая программа дисциплины

**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. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины**

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. Задачи освоения дисциплины**

– Освоить аппарат приборного и технологического моделирования устройств микроэлектроники.

– Научиться применять понятийный аппарат микроэлектроники для моделирования детекторов ионизирующих излучений разного типа.

## **3. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплины (модули)».

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор. Дисциплина входит в модуль Модуль «Детекторы синхротронного излучения».

## **4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине**

Третий семестр, зачет

## **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 часов, из которых:

-лекции: 16 ч.

-практические занятия: 10 ч.

-семинар: 16 ч.

в том числе практическая подготовка: 0 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

## **8. Содержание дисциплины, структурированное по темам**

Тема 1. Системы автоматизированного проектирования и моделирования технологических процессов, моделирования полупроводниковых приборов и микросхем.

Общая характеристика систем автоматизированного проектирования от производителей Synopsys, Cadence, Silvaco, Comsol и др. Примеры задач исследовательского и инженерного типа, решаемых с использованием САПР TCAD.

#### **Тема 2. Особенности численного моделирования полупроводниковых устройств микроэлектроники средствами TCAD.**

Описание топологии полупроводниковых приборов. Выбор и размещение сетки расчетов. Выбор и использование физических моделей протекающих электрофизических процессов. Формирование двумерной модели полупроводникового транзистора.

#### **Тема 3. Материалы и структуры для детекторов ионизирующих излучений и заряженных частиц.**

Основные типы структур полупроводниковых детекторов и их характеристики. Барьеры Шоттки.  $P-n$  переход.  $P-i-n$  структура. Детекторы на основе германия и кремния. Детекторы на основе полупроводников сложного состава. Детекторы на основе арсенида галлия, компенсированного глубокими примесями.

#### **Тема 4. Расчет статических вольт-амперных характеристик полупроводниковых сенсоров в САПР TCAD.**

Принципы расчета статических вольт-амперных характеристик полупроводниковых сенсоров в САПР TCAD и его реализация. Квазистационарный режим, имитационное моделирование процессов переноса заряда при смещении равновесия.

#### **Тема 5. Моделирование динамических характеристик сенсоров в режиме Mixed mode.**

Принципы моделирования динамических характеристик сенсоров в режиме Mixed mode и реализация. Описание схем на языке SPICE, интеграция физических и схемотехнических моделей в САПР TCAD.

#### **Тема 6. Моделирование электрического отклика полупроводникового сенсора при оптическом возбуждении.**

Принципы моделирования электрического отклика полупроводникового сенсора на оптическое возбуждение и реализация. Описание взаимодействия излучения с твердым телом в САПР TCAD.

### **9. Текущий контроль по дисциплине**

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения устных опросов, контрольных работ, представления презентаций на семинарских занятиях, выполнения практических заданий и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр. 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). Самостоятельная работа студентов состоит в изучении теоретического материала, выполнении тестов с возможностью работы над ошибками, подготовке к семинарским занятиям, выполнении домашней работы по решению задач.

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

### **10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации**

Зачет в третьем семестре проводится в устной форме по билетам. Продолжительность зачета 1 час. Билет для экзамена содержит 2 вопроса, позволяющие проверить 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).

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

## **11. Учебно-методическое обеспечение**

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Среда электронного обучения iDO» - <https://lms.tsu.ru/course/view.php?id=00000>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

в) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

## **12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет**

а) основная литература:

1. Игнатов А. Н. Микросхемотехника и наноэлектроника / Игнатов А. Н.. - Санкт-Петербург : Лань. 2021. - 528 с.

2. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы: Учебное пособие для студентов вузов. – 9-е изд. – СПб: Лань, 2021. – 480 с.

3. Родионов Ю. А. Химические технологии в производстве микроэлектромеханических систем / Родионов Ю. А.. - Санкт-Петербург : Лань. 2021. - 220 с.

б) дополнительная литература:

1. Гаман В.И. Физика полупроводниковых приборов: Учебное пособие. – 2-е изд. – Томск: Изд-во НТЛ, 2000. – 426 с.

2. Петров М. Н. Моделирование компонентов и элементов интегральных схем / Петров М. Н., Гудков Г. В.. - Санкт-Петербург : Лань. 2021. - 464 с.

3. Смирнов Ю. А. Основы нано- и функциональной электроники / Смирнов Ю. А., Соколов С. В., Титов Е. В.. - 2-е изд., испр.. - Санкт-Петербург : Лань. 2021. - 320 с.

4. Амелина М. А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap. Версии 9, 10 : учебное пособие для вузов / Амелина М. А., Амелин С. А.. - 3-е изд., стер.. - Санкт-Петербург : Лань. 2021. - 632 с.

5. Малянов С.В., Калыгина В.М. Сборник задач по физике биполярных полупроводниковых приборов: Учебное пособие. – Томск: Изд-во НТЛ, 2008. – 112 с.

6. Бурбаева Н.В., Днепровская Т.С. Основы полупроводниковой электроники. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 312 с.

7. Лебедев А.И. Физика полупроводниковых приборов: Учебное пособие. – М.: Физматлит, 2008. – 488 с.

в) ресурсы сети Интернет:

1. Гермогенов В.П., Вячистая Ю.В. Полупроводниковая электроника [Электрон. ресурс]: электронный учебный курс на базе виртуальной обучающей среды «Среда электронного обучения iDO» Электрон. дан. – Томск: ТГУ, 2014. – URL: <http://lms.tsu.ru/course/view.php?id=1821>

2. Гермогенов В.П., Вячистая Ю.В. Полупроводниковая оптоэлектроника [Электрон. ресурс]: электронный учебный курс на базе виртуальной обучающей среды

«Среда электронного обучения iDO» Электрон. дан. – Томск: ТГУ, 2014. – URL: <http://lms.tsu.ru/course/view.php?id=1825>

3. Полупроводниковые приборы (материалы клуба 155): электронный ресурс. – URL: <http://www.club155.ru/stintro>

4. Полупроводниковые и оптоэлектронные приборы (Методичкус): электронный ресурс. – URL: <https://3ys.ru/poluprovodnikovye-i-optoelektronnye-pribory.html>

5. Демонстрационные модели свойств полупроводников и полупроводниковых приборов (Purdue University, Gerhard Klimeck, Benjamin P Haley): электронный ресурс. – URL: <https://nanohub.org/resources/6842>

6. Технология микро- и нанoeлектроники (Единое окно доступа к образовательным ресурсам). – URL: [http://window.edu.ru/catalog/resources?p\\_rubr=2.2.75.26.43](http://window.edu.ru/catalog/resources?p_rubr=2.2.75.26.43)

7. Физика и техника полупроводников (научный журнал РАН): электронная версия. – URL: <https://journals.ioffe.ru/journals/2>

### **13. Перечень информационных технологий**

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);

– публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

– ПО COMSOL Multiphysics (Semiconductor Module, Wave Optics Module, License number 9602720).

б) информационные справочные системы:

1. Новые полупроводниковые материалы. Характеристики и свойства: база данных ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН. – URL: <http://www.matprop.ru/>

2. Справочник по электронным компонентам. – URL: <http://kazus.ru/>

3. Электронные компоненты: каталог товаров группы компаний «Промэлектроника». – URL: <http://www.promelec.ru/>

4. eLIBRARY.RU: Научная электронная библиотека. – URL: <https://elibrary.ru/defaultx.asp?>

5. Электронно-библиотечная система «Лань» (доступ из сети НИ ТГУ). – URL: <http://e.lanbook.com/>

6. Scopus: база данных цитирования издательства Elsevier (доступ из сети НИ ТГУ). – URL: <http://www.scopus.com/>

### **14. Материально-техническое обеспечение**

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

Освоение практической части дисциплины обеспечено наличием компьютерного класса, подготовленного для моделирования характеристик полупроводниковых приборов с помощью ПО САПР.

### **15. Информация о разработчиках**

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