

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

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ:
Декан

А. Г. Коротаев

Рабочая программа дисциплины

Технологии материалов и устройств функциональной электроники

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-3 Способен использовать современное оборудование для решения профессиональных задач в области радиофизики и электроники.

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

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК 3.1 Понимает принципы действия устройств и систем, предназначенных для решения задач в области радиофизики и электроники

ИПК 3.2 Проводит измерения с использованием современных устройств и систем для решения профессиональных задач

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

2. Задачи освоения дисциплины

– Освоить материал курса, а именно содержание основных технологических операций, используемых в микро- и нанoeлектронике, их последовательность при изготовлении полупроводниковых структур.

– Научиться применять понятийный аппарат для анализа структуры полупроводниковых приборов и их конструирования, а также для решения практических задач профессиональной деятельности.

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

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

Дисциплина относится к обязательной части образовательной программы.

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: 6 ч.

-семинар: 12 ч.

в том числе практическая подготовка: 0 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Тема 1. Введение

Основные тенденции развития полупроводниковой электроники и полупроводниковой технологии. Понятие об интегральной микросхеме (ИМС). Планарная технология.

Тема 2. Технологические среды

Понятие «чистое помещение». Классификация, особенности конструкций, материалы для чистых помещений. Требования к воде и газам для микроэлектронного производства. Степени очистки химических реактивов. Вакуум

Тема 3. Производство полупроводниковых пластин

Выращивание слитков монокристаллического кремния методом Чохральского. Послеростовая обработка слитков. Резка на пластины. Шлифовка-полировка пластин.

Тема 4. Эпитаксиальное выращивание полупроводниковых слоёв

Классификация методов эпитаксиального выращивания. Газофазная эпитаксия кремния в технологии интегральных микросхем. Физические и химические методы газофазной эпитаксии. Принцип и схема метода. Жидкофазная и твердофазная эпитаксия.

Тема 5. Фотолитография

Этапы очистки и подготовки поверхности пластин. Фотолитография. Фотошаблоны. Последовательность основных операций при фотолитографии. Классификация методов экспонирования фоторезиста.

Ограничения фотолитографии. Способы улучшения разрешения. Фазосдвигающие шаблоны. Эммерсионная литография. Литография глубокого УФ-диапазона. Наноимпринтная литография. Электронолитография. Рентгенолитография. Ионная литография.

Тема 6. Легирование полупроводников

Принципы легирования. Диффузионный процесс. Уравнение диффузии. Механизмы диффузии примеси в полупроводниках. Способы осуществления диффузии.

Ионная имплантация примеси. Принцип метода. Распределение внедренных ионов. Эффект каналирования. Отжиг радиационных дефектов

Тема 7. Формирование тонких плёнок

Методы нанесения металлических плёнок. Принцип и схема действия термических методов. Магнетронное нанесение плёнок. Химическое и электрохимическое осаждение металлических плёнок.

Применение диэлектрических слоёв в микроэлектронике. Термическое окисление (оксидирование) кремния. Химические методы нанесения диэлектрических плёнок на полупроводниковые материалы (плазмохимическое осаждение SiO_2 , Si_3N_4 , пиролиз).

Тема 8. Травление слоёв

Жидкое травление. Селективность травления. Изотропность и анизотропность травления. Классификация и принципы действия методов сухого травления.

Тема 9. Базовые технологии создания интегральных схем

Основные этапы стандартной эпитаксиально-планарной технологии биполярной ИМС. Способы электрической изоляции элементов ИМС (разделительная и коллекторная изолирующая диффузия, ЕРІС-процесс, технология кремний-на-сапфире, изопланарный метод). Основные этапы технологии МДП- (МОП-) интегральной микросхемы. Инженерия межуровневого диэлектрика, инженерия межуровневой разводки. Планаризация.

Поверхностный монтаж. Разделение пластин на кристаллы. Проволочная микроразварка. Флип-чип бондинг. Корпусирование приборов.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, тестов по лекционному материалу, контрольных работ, контроля уровня подготовки к семинарским занятиям и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр. В ходе контроля проверяется достижение обучающимися следующих результатов обучения: ИПК-3.1 (Понимает принципы действия устройств и систем, предназначенных для решения задач в области радиофизики и электроники), ИПК-3.2 (Проводит измерения с использованием современных устройств и систем для решения

профессиональных задач), ИУК-1.1 (Выявляет проблемную ситуацию, на основе системного подхода осуществляет её многофакторный анализ и диагностику).

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 письменной форме по билетам. Билет содержит два теоретических вопроса. Продолжительность зачета 1 час.

В ходе контроля проверяется достижение обучающимися следующих результатов обучения: ИПК-3.1 (Понимает принципы действия устройств и систем, предназначенных для решения задач в области радиопизики и электроники), ИУК-1.1 (Выявляет проблемную ситуацию, на основе системного подхода осуществляет её многофакторный анализ и диагностику).

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».

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. Технология микросборок : учебное пособие / М. Н. Пиганов, М. П. Калаев, А. М. Телегин, К. И. Сухачев. — Самара : СамГУ, 2020. — 188 с. — ISBN 978-5-7883-1552-2. — Электронный ресурс: ЭБС Лань (доступно в локальной сети ТГУ). — URL: <https://e.lanbook.com/book/189028>

2. Бондаренко, Г. Г. Основы материаловедения: учебное пособие / Г. Г. Бондаренко, Т. А. Кабанова, В. В. Рыбалко. — 3-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 763 с. — ISBN 978-5-00101-755-4. — Электронный ресурс: ЭБС Лань (доступно в локальной сети ТГУ). — URL: <https://e.lanbook.com/book/151570>

б) дополнительная литература:

1. Васильев, В. Ю. Технология тонких пленок для микро- и нанoeлектроники : учебное пособие / В. Ю. Васильев. — Новосибирск : НГТУ, 2019. — 107 с. — ISBN 978-5-7782-3915-9. — Электронный ресурс: ЭБС Лань (доступно в локальной сети ТГУ). — URL: <https://e.lanbook.com/book/152159>

2. Воротынцев В. М. Базовые технологии микро- и нанoeлектроники: учебное пособие: / В. М. Воротынцев, В. Д. Скупов. - Москва: Проспект, 2019. - 519 с.

– Васильев, В. Ю. Современное производство изделий микроэлектроники : учебное пособие / В. Ю. Васильев. — Новосибирск : НГТУ, 2019. — 88 с. — ISBN 978-5-7782-3907-4. — Электронный ресурс: ЭБС Лань (доступно в локальной сети ТГУ). — URL: <https://e.lanbook.com/book/152235>

3. Каменская А. Основы технологии материалов микроэлектроники: Учебно-методическая литература / Новосибирский государственный технический университет. - Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), 2010. - 96 с.. URL: <http://znanium.com/catalog/document?id=64968>.

4. Капустин В. И. Материаловедение и технологии электроники: учебное пособие: / В. И. Капустин, А. С. Сигов. - Москва : ИНФРА-М, 2014. – 425.

5. Барыбин, А. А. Физико-технологические основы макро-, микро- и наноэлектроники: учебное пособие / А. А. Барыбин, В. И. Томилин, В. И. Шаповалов. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2011. — 784 с. — ISBN 978-5-9221-1321-2. — Электронный ресурс: ЭБС Лань (доступно в локальной сети ТГУ). — URL: <https://e.lanbook.com/book/5258>

в) ресурсы сети Интернет:

– Лозинская А.Д. Технологии материалов и устройств функциональной электроники [Электрон. ресурс]: электронный учебный курс. Электрон. дан. – Томск: ТГУ, 2014. – URL: <https://lms.tsu.ru/course/view.php?id=13431>.

13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office 2010 Russian Academic Open, Microsoft Windows Professional 7 Academic Open (Лицензия №47729022 от 26.11.2010);

– пакет программного обеспечения PTC MathCad Education (Договор поставки №7193 от 14.10.2015;

– пакет SMath Studio для решения задач на практических занятиях (в свободном доступе).

б) информационные справочные системы:

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

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

15. Информация о разработчиках

Лозинская Анастасия Дмитриевна, Радиофизический факультет ТГУ, старший преподаватель.

Яковлев Никита Николаевич, Радиофизический факультет ТГУ, ассистент.