

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
 «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ

Директор обеспечивающей Школы
 неразрушающего контроля и
 безопасности

Д.А. Седнев

«30» 06 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ПРИЕМ 2017 г.
ФОРМА ОБУЧЕНИЯ очная

Технология электронных устройств

Направление подготовки/ специальность	11.03.04 Электроника и наноэлектроника	
Образовательная программа (направленность (профиль))	Электроника и наноэлектроника	
Специализация	Прикладная электронная инженерия	
Уровень образования	высшее образование - бакалавриат	
Курс	4	8
Трудоемкость в кредитах (зачетных единицах)	5	
Виды учебной деятельности	Временной ресурс	
Контактная (аудиторная) работа, ч	Лекции	33
	Практические занятия	11
	Лабораторные занятия	33
	ВСЕГО	77
Самостоятельная работа, ч		103
в т.ч. отдельные виды самостоятельной работы с выделенной промежуточной аттестацией (курсовой проект, курсовая работа)		курсовая работа
ИТОГО, ч		180

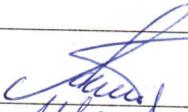
Вид промежуточной
аттестации

**Экзамен
дифзачет**

Обеспечивающее
подразделение

**Отделение
Электронной
инженерии**

Зав. кафедрой-руководитель
отделения на правах кафедры
Руководитель ООП
Преподаватель

	П.Ф. Баранов
	В.С. Иванова
	Н.А. Гавриленко

2020 г.

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины является формирование у обучающихся определенного ООП (п. 6. Общей характеристики ООП) состава компетенций для подготовки к профессиональной деятельности.

Код компетенции	Наименование компетенции	Результаты освоения ООП	Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенций)	
			Код	Наименование
ПК(У)-2	Демонстрирует навыки выбора и применения на практике методик экспериментального исследования параметров и характеристик элементов устройств электроники и нанoeлектроники		ПК(У)-2.В5	Владеет навыками обработки и анализа данных, полученных на всех стадиях технологического процесса получения изображения в слое резиста и полупроводника
			ПК(У)-2.У6	Умеет экспериментально определять светочувствительные свойства различных резистов и причин брака получающихся изображений
			ПК(У)-2.36	Знает методики проведения исследований параметров и характеристик в слое резиста и полупроводника

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится к вариативной части Блока 1 учебного плана образовательной программы.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

После успешного освоения дисциплины будут сформированы результаты обучения:

Планируемые результаты обучения по дисциплине		Компетенция
Код	Наименование	
РД 1	Применять знания общих законов, теорий, уравнений, фото- и радиационно-химических процессов, принципов фото-, микро- и нанопленочной технологии	ПК(У)-2
РД 2	Выполнять расчеты режимов экспонирования и проявления резистов, травления полупроводника, пассивации поверхности, металлизации интегральных схем	ПК(У)-2
РД 3	Применять экспериментальные методы определения светочувствительных свойств различных резистов и причин брака получающихся изображений	ПК(У)-2
РД 4	Выполнять обработку и анализ данных, полученных на всех стадиях технологического процесса получения изображения в слое резиста и полупроводника	ПК(У)-2

Оценочные мероприятия текущего контроля и промежуточной аттестации представлены в календарном рейтинг-плане дисциплины.

4. Структура и содержание дисциплины

Основные виды учебной деятельности

Разделы дисциплины	Формируемый результат обучения по дисциплине	Виды учебной деятельности	Объем времени, ч.
Раздел (модуль) 1. Основы планарной технологии интегральных схем. Сущность литографических методов. Основные стадии фотолитографического процесса	РД1	Лекции	4
		Практические занятия	-
		Лабораторные занятия	7
		Самостоятельная работа	20
Раздел (модуль) 2. Фоторезисты и фотошаблоны	РД3	Лекции	6
		Практические занятия	3
		Лабораторные занятия	6
		Самостоятельная работа	15
Раздел (модуль) 3. Особенности переноса изображения в системе фотошаблон – фоторезист	РД2	Лекции	4
		Практические занятия	2
		Лабораторные занятия	10
		Самостоятельная работа	15
Раздел (модуль) 4. Особенности переноса изображения в системе фоторезист – подложка	РД2	Лекции	6
		Практические занятия	2
		Лабораторные занятия	6
		Самостоятельная работа	20
Раздел (модуль) 5. Дефекты фотолитографического процесса	РД 4	Лекции	4
		Практические занятия	2
		Лабораторные занятия	4
		Самостоятельная работа	15
Раздел (модуль) 6. Субмикронная литография и нанолитография.	РД1	Лекции	4
		Практические занятия	2
		Лабораторные занятия	-
		Самостоятельная работа	15
Раздел (модуль) 7. Основные процессы и принципы полупроводниковой технологии	РД 2	Лекции	5
		Практические занятия	2
		Лабораторные занятия	-
		Самостоятельная работа	3

Содержание разделов дисциплины:

Раздел 1. Основы планарной технологии интегральных схем. Сущность литографических методов. Основные стадии фотолитографического процесса

Темы лекций:

1. Основные периоды развития электроники и микроэлектроники (по степени интеграции и росту производства); факторы, способствовавшие бурному ее развитию. Интеграция и плотность упаковки. Место литографических процессов в планарной технологии производства интегральных схем. Основные стадии планарной технологии и требования к ним. Сущность литографических методов, основные понятия и термины. Общие требования к групповой организации фотолитографического процесса. Основные стадии фотолитографического процесса: подготовка поверхности; формирование фоторезистивных пленок; сушка фоторезистивных пленок; экспонирование УФ-излучением через фотошаблоны; проявление фоторезистов; задубливание фоторезистов; травление в «окнах» диэлектрических слоев; удаление фоторезиста.

Названия лабораторных работ:

1. Определение качественно вида загрязнений на поверхности подложки (Si, SiO₂).
Очистка пластин и контроль качества очистки.

Раздел 2. Фоторезисты и фотошаблоны

Темы лекций:

1. **Фоторезисты.** Понятие о фоторезисте, его основные составляющие компоненты и их назначения. Позитивные и негативные фоторезисты. Классификация светочувствительных веществ. Основные законы и типы фотохимических реакций. Электронные переходы при поглощении света и электронные спектры. Понятие об актиничном излучении и квантовом выходе. Методы повышения светочувствительности фоторезистов. Основные физико-химические свойства и фотохимические процессы в фоторезистах, нашедших наибольшее применение в технологии: на основе нафтохинондиазидов, поливинилциннамата, полиметилметакрилата, циклизованного каучука. Светочувствительность фоторезистов. Основные критерии оценки фоторезистов – разрешающая способность, спектральная чувствительность, кислото-, щелоче- и плазмостойкость.
2. **Фотошаблоны.** Назначение и требование к ним. Цветные и металлические шаблоны, их сравнительные характеристики, назначение. Понятие о топологии структуры, первичном оригинале, эталонном и рабочем фотошаблоне, модуле фотошаблона, фигурах совмещения. Производство фотошаблонов – основные стадии, материалы, методы, оборудование, способы мультипликации. Основные характеристики шаблонов – оптическая плотность, разрешающая способность, коэффициент контрастности, геометрические характеристики. Виды дефектов шаблонов. Информативность фотошаблонов.

Темы практических занятий:

1. Свойства и фотохимические процессы в фоторезистах

Названия лабораторных работ:

1. Определение температурного предела светочувствительности позитивного фоторезиста.
2. Определение массовой доли НХД-групп в фоторезисте

Раздел 3. Особенности переноса изображения в системе фотошаблон – фоторезист

Темы лекций:

1. Влияние параметров осветительных систем, свойств фотошаблона, физико-химических, спектральных и фототехнических характеристик фоторезистов на передачу изображения в системе фотошаблон – фоторезист. Светочувствительность фоторезистов, её фотохимический и физико-химические аспекты. Характеристические кривые негативных и позитивных фоторезистов. Основные количественные характеристики светочувствительности. Понятия пороговой чувствительности, контрастности фоторезиста, характеристической широты, области действия закона взаимозаменяемости. Оптические явления в системе – дифракция, интерференция, отражение – и их влияние на разрешающую способность фоторезиста. Проявление изображений в фоторезисте. Особенности проявления негативных и позитивных фоторезистов. Составы проявителей.

Кинетика проявления. Дефекты в перенесенном рельефе. Основные критерии оценки воспроизведения изображения. Клинья проявления.

Темы практических занятий:

2. Проявление изображений в фоторезисте.

Названия лабораторных работ:

1. Снятие характеристической кривой позитивного фоторезиста. Определение фотографической широты, контраста проявления и пороговой светочувствительности.
2. Определение полноты протекания фотохимической реакции по эффекту фотопросветления.
3. Кинетика проявления облученных участков позитивного резиста. Определение порядка реакции.
4. Поиск оптимальных режимов формирования изображения в слое фоторезиста методом трехфакторного планирования эксперимента.

Раздел 4. Особенности переноса изображения в системе фоторезист – подложка

Темы лекций:

1. Особенности переноса изображения с фоторезиста через диэлектрический слой в подложку кремния. Требования к проведению процессов травления. Характерные особенности травления тонких пленок. Кинетика гетерогенных реакций травления. Методы травления – химическое, плазменное, фотоактивированное (жидкостные и сухие процессы). Влияние на перенос изображения температуры, типа материала, величины адгезии фоторезиста к подложке, условий задубливания, способов травления, степени гидрофобности поверхности. Особенности травления слоев SiO₂. Изотропное и анизотропное травление. Методы удаления задубленных резистов. Клинья травления. Профили рисунка. Критерии воспроизводимости рисунка схемы в полученном рельефе.

Темы практических занятий:

3. Методы удаления задубленных резистов. Клинья травления. Профили рисунка. Критерии воспроизводимости рисунка схемы в полученном рельефе.

Названия лабораторных работ:

1. Определение толщины слоев SiO₂ и фоторезиста методом цветных оттенков Ньютона и на микроинтерферометре Линника МИИ-4М.
2. Проведение полного цикла фотолитографии на пластинах кремния с термически выращенным оксидом SiO₂. Оценка качества поверхности после всех операций. Получение изображения в слое SiO₂.

Раздел 5. Дефекты фотолитографического процесса

Темы лекций:

1. Виды брака в фотолитографии. Классификация дефектов. Показатели размерности, точности, дефектности на всех стадиях фотолитографии. Дефекты, обусловленные применением фотошаблонов. Дефекты, связанные с использованием фоторезиста и обработкой его на стадиях проявления и травления. Технологические дефекты, возникающие в ходе фотолитографии. Способы устранения дефектов. Брак интегральных схем, связанный с физико-химическими процессами формирования

элементов схемы. Контроль технологических процессов.

Темы практических занятий:

4. Технологические дефекты, возникающие в ходе фотолитографии. Способы устранения дефектов

Названия лабораторных работ:

1. Виды брака интегральных схем.

Раздел 6. Субмикронная литография и нанолитография

Темы лекций:

1. Источники излучения, шаблоны, регистрирующие материалы, принципиальные схемы установок. Чувствительность, разрешающая способность, плазмо- и термостойкость. Радиационные процессы в пленках резистов. Перспективы развития и технические ограничения. Лазерная литография. Рентгенолитография. Электронолитография. Ионно-лучевая литография. Виды нанолитографии: термоконтактная литография, УФ-наноимпринтная фотолитография, микроконтактная фотолитография.

Темы практических занятий:

5. Принципиальные схемы установок литографии.

Раздел 7. Основные процессы и принципы полупроводниковой технологии

Темы лекций:

1. История создания ИС и основные направления и перспективы развития технологии производства микросхем. Технология получения полупроводникового кремния и методы его очистки. Процессы и кинетика создания защитных пленок и пассивации поверхности, термическое окисление кремния. Химическое осаждение пленок из газовой фазы.

Темы практических занятий:

6. Технологии металлизации интегральных схем, тип и функции проводящих металлических слоев. Эпитаксиально-планарная технология ИС на основе биполярного транзистора.

Темы курсовых работ

1. Многоэмиттерный транзистор (вертикальные размеры значительно увеличены по сравнению с горизонтальными)
2. КМОП-структура ИС, изготавливаемой по совмещенной технологии
3. Последовательность формирования изолированных областей в полипланарной структуре
4. Последовательность формирования полупроводниковой ИМС по КИД-технологии
5. Диффузионный резистор с полосковой конфигурацией
6. Интегральный n-МОП-транзистор (с перекрытием затвора)
7. Последовательность формирования полупроводниковой ИС по эппланарной технологии

5. Организация самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов при изучении дисциплины (модуля) предусмотрена в следующих видах и формах:

- Работа с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса;
- Изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку;
- Поиск, анализ, структурирование и презентация информации;
- Подготовка к лабораторным работам;
- Выполнение курсовой работы;
- Подготовка к оценивающим мероприятиям.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1. Учебно-методическое обеспечение

Основная литература

1. Александров, С. Е.. Технология полупроводниковых материалов / Александров С. Е., Греков Ф. Ф. — 2-е изд., испр.. — Санкт-Петербург: Лань, 2012. — 240 с. — *Режим доступа:* https://e.lanbook.com/books/element.php?p11_cid=25&p11_id=3554
2. Гудымович, Елена Никифоровна. Основы фотолитографии : учебное пособие [Электронный ресурс] / Е. Н. Гудымович, Н. А. Гавриленко — Томск: Изд-во ТПУ, 2013. — *Режим доступа:* <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2013/m308.pdf> (контент)
3. Киреев, В.Ю.. Нанотехнологии в микроэлектронике. Нанолитография - процессы и оборудование : Профессиональное образование. — Долгопрудный: Издательский дом "Интеллект", 2016. — 320 с.. — Профессиональное образование.. — ISBN 9785915592154. Схема доступа: <http://new.znaniy.com/go.php?id=552577>
4. Сорокин, В. С.. Материалы и элементы электронной техники. Проводники, полупроводники, диэлектрики / Сорокин В. С., Антипов Б. Л., Лазарева Н. П.. — 2-е изд., испр.. — Санкт-Петербург: Лань, 2015. — 448 с. — *Режим доступа:* http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_id=67462

Дополнительная литература:

1. ГОСТ Р 52250-2004 Материалы электронной техники. Резисты для литографических процессов. Общие технические условия. <http://kodeks.lib.tpu.ru/docs/>
2. Макаrchук, В. В. Наноинженерия : учебное пособие : в 17 книгах / В. В. Макаrchук, И. А. Родионов, Ю. Б. Цветков. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011 — Книга 9 : Методы литографии в наноинженерии — 2011. — 176 с. — ISBN 978-5-7038-3500-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/106499>.
3. Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий учебное пособие: в 2 т. / под ред. Ю. Н. Коркишко. Т. 2: Технологические аспекты — М.: Бином ЛЗ., — 2011. — 252 с.

6.2. Информационное и программное обеспечение

Internet-ресурсы (в т.ч. в среде LMS MOODLE и др. образовательные и библиотечные ресурсы):

1. <https://www.lib.tpu.ru/html/irs-and-pdb> - информационно-справочные системы и профессиональные базы данных НТБ.

Лицензионное программное обеспечение (в соответствии с **Перечнем лицензионного программного обеспечения ТПУ**):

Adobe Acrobat Reader DC; Adobe Flash Player; Cisco Webex Meetings; Google Chrome; Microsoft Office 2016 Standard Russian Academic; Mozilla Firefox ESR; Top Systems T-FLEX CAD Education; Tracker Software PDF-XChange Viewer; WinDjView; Zoom Zoom; Document Foundation LibreOffice; Microsoft Office 2007 Standard Russian Academic;

7. Особые требования к материально-техническому обеспечению дисциплины

В учебном процессе используется следующее оборудование:

№	Наименование специальных помещений	Наименование оборудования
1.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (компьютерный класс) 634034, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 30а, 210	Микроскоп электронный MAN1011 - 1 шт.; Микрометр цифровой - 1 шт.; Микроскоп МБС-10 - 1 шт.; Безокулярная система безконтактных измерений по 2-м осям - 1 шт.; Учебный комплекс по технологии изготовления печатных плат - 1 шт.; Комплект учебной мебели на 52 посадочных мест; Компьютер - 20 шт.; Проектор - 1 шт
2.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации 634034, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 30а, 47	Комплект учебной мебели на 36 посадочных мест; Компьютер - 1 шт.; Проектор - 1 шт.

Рабочая программа составлена на основе Общей характеристики образовательной программы по направлению 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, специализации «Прикладная электронная инженерия» (приема 2017 г., очная форма обучения).

Разработчик(и):

Должность	ФИО
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Гавриленко Н.А.

Программа одобрена на заседании выпускающей кафедры точного приборостроения (протокол от «29» июня 2017 г. № 40).

Зав. кафедрой – руководитель отделения
на правах кафедры,
к.т.н.



_____ П.Ф. Баранов

Лист изменений рабочей программы дисциплины:

Учебный год	Содержание /изменение	Обсуждено на заседании ОЭИ ИШНКБ (протокол)
2018/2019 учебный год	1. Обновлено программное обеспечение 2. Обновлен состав профессиональных баз данных и информационно-справочных систем 3. Обновлено содержание разделов дисциплины 4. Обновлен список литературы, в том числе ссылок ЭБС 5. Изменена система оценивания	От 29.08.2018 г. № 8
2019/2020 учебный год	1. Обновлено программное обеспечение 2. Обновлен состав профессиональных баз данных и информационно-справочных систем 3. Обновлено содержание разделов дисциплины 4. Обновлен список литературы, в том числе ссылок ЭБС	От 28.06.2019 г. № 19
2020/2021 учебный год	1. Обновлено программное обеспечение 2. Обновлен состав профессиональных баз данных и информационно-справочных систем 3. Обновлено содержание разделов дисциплины 4. Обновлен список литературы, в том числе ссылок ЭБС	От 01.09.2020 г. № 37