

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

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИИНКБ

Седнев Д.А.

«30» июня 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ПРИЕМ 2019 г.
ФОРМА ОБУЧЕНИЯ очная

ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Направление подготовки/ специальность	15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств		
Образовательная программа (направленность (профиль))	Автоматизация сварочных процессов и производств		
Специализация			
Уровень образования	высшее образование - бакалавриат		
Курс	4	семестр	7
Трудоемкость в кредитах (зачетных единицах)	6		
Виды учебной деятельности	Временной ресурс		
Контактная (аудиторная) работа, ч	Лекции		24
	Практические занятия		16
	Лабораторные занятия		48
	ВСЕГО		88
Самостоятельная работа, ч			128
ИТОГО, ч			216

Вид промежуточной аттестации

экзамен

Обеспечивающее подразделение

ОЭИ

Заведующий кафедрой - руководитель Отделения / Руководитель Центра
Руководитель ООП
Преподаватель

Баранов П.Ф.

Першина А.А.

Гавриленко Н.А.

2020 г.

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины является формирование у обучающихся определенного ООП (п. 5. Общей характеристики ООП) состава компетенций для подготовки к профессиональной деятельности.

Код компетенции	Наименование компетенции	Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенций)	
		Код	Наименование
ПК(У)-3	Способен применять способы рационального использования сырьевых, энергетических и других видов ресурсов, современные методы разработки малоотходных, энергосберегающих и экологически чистых технологий, средства автоматизации технологических процессов и производств	ПК(У)-3.B2	Владеть навыком применения современных технологий при изготовлении конструкций и устройств
		ПК(У)-3.Y2	Уметь выбирать современные и энергосберегающие технологии
		ПК(У)-3.32	Знать конкурентные преимущества современных технологий, позволяющие снижать отходы производства и повышать энергосбережение
ПК(У)-5	Способен участвовать в разработке (на основе действующих стандартов и другой нормативной документации) проектной и рабочей технической документации в области автоматизации технологических процессов и производств, их эксплуатационному обслуживанию, управлению жизненным циклом продукции и ее качеством, в мероприятиях по контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации действующим стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам	ПК(У)-5.B1	Владеть навыком разработки технологической документации
		ПК(У)-5.Y1	Уметь разрабатывать проектную и технологическую документацию
		ПК(У)-5.31	Знать требования единой системы технической документации, состав рабочей документации

2. Место дисциплины (модуля) 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, методов фото- и радиационно-химических процессов литографии, используемых для изготовления интегральных схем	ПК(У)-3
РД-2	Выполнять расчеты режимов процессов оптической фотолитографии,	ПК(У)-5

	травления полупроводника, пассивации поверхности, металлизации интегральных схем	
РД-3	Применять экспериментальные методы определения светочувствительных свойств различных резистов и причин брака получающихся изображений, основные принципы отработки режимов процессов оптической фотолитографии	ПК(У)-3
РД-4	Выполнять обработку и анализ данных, полученных при теоретических и экспериментальных исследованиях всех стадий технологического процесса получения изображения в слое резиста и полупроводника	ПК(У)-5

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 ¹	Объем времени, ч.
Раздел (модуль) 1. Основы планарной технологии интегральных схем. Сущность литографических методов. Основные стадии фотолитографического процесса	РД1	Лекции	2
		Практические занятия	2
		Лабораторные занятия	6
		Самостоятельная работа	15
Раздел (модуль) 2. Фоторезисты и фотошаблоны	РД3	Лекции	4
		Практические занятия	4
		Лабораторные занятия	12
		Самостоятельная работа	18
Раздел (модуль) 3. Особенности переноса изображения в системе фотошаблон – фоторезист	РД2	Лекции	4
		Практические занятия	2
		Лабораторные занятия	12
		Самостоятельная работа	18
Раздел (модуль) 4. Особенности переноса изображения в системе фоторезист – подложка	РД2	Лекции	4
		Практические занятия	2
		Лабораторные занятия	12
		Самостоятельная работа	24
Раздел (модуль) 5. Дефекты фотолитографического процесса	РД 4	Лекции	2
		Практические занятия	2
		Лабораторные занятия	-
		Самостоятельная работа	18
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	4
		Практические занятия	2
		Лабораторные занятия	-
		Самостоятельная работа	20

¹ Общая трудоёмкость контактной работы и виды контактной работы в соответствии учебным планом

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.

Темы практических занятий:

Подготовка и тестирование пластин для фотолитографии

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 требования 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. Обзор позитивных фоторезистов: композиции фоторезистов; строение, термо- и фотопревращения; способы повышения чувствительности; электронные спектры;

- модификации полимерной компоненты; область применения.
2. Обзор негативных фоторезистов: композиции фоторезистов; строение, термо- и фотопревращения; способы повышения чувствительности; электронные спектры; модификации полимерной компоненты; область применения.

Названия лабораторных работ:

1. Определение температурного предела светочувствительности позитивного фоторезиста.
2. Снятие характеристической кривой позитивного фоторезиста. Определение фотографической широты, контраста проявления и пороговой светочувствительности.

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:

1. Технологии сушки фоторезиста

Названия лабораторных работ:

1. Кинетика проявления облученных участков позитивного резиста. Определение порядка реакции.
2. 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:

1. Составы травителей некоторых тонкопленочных напыленных слоев: травление хрома, алюминия, меди, ванадия

Названия лабораторных работ:

1. Определение толщины слоев SiO_2 и фоторезиста методом цветовых оттенков Ньютона и на микроинтерферометре Линника МИИ-4М.
2. Кинетика травления слоев SiO_2 . Определение кинетических параметров травления: порядка реакции; энергия активации.
3. Проведение полного цикла фотолитографии на пластинах кремния с термически выращенным оксидом SiO_2 . Оценка качества поверхности после всех операций. Получение изображения в слое SiO_2 .

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:

1. Виды дефектов. Классификация дефектов. Критические, локальные, геометрические, технологические дефекты и т.д. Методы обнаружения и идентификации. Причины отказов ИС, связанных с физико-химическими процессами.

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:

1. Современные тенденции развития субмикронной и нанолитографии.

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

Темы практических занятий:

1. Взрывная литография: сущность взрывной литографии; использование ее для формирования металлических межсоединений; используемые резисты и металлы; профили для взрывной литографии; технологический контроль.

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;
- Подготовка к оценивающим мероприятиям.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1. Учебно-методическое обеспечение

Основная литература

1. 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)
2. Киреев, Валерий Юрьевич. Нанотехнологии в микроэлектронике. Нанолитография - процессы и оборудование : учебно-справочное руководство / В. Ю. Киреев. — Долгопрудный: Интеллект, 2016. — 320 с.
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.
4. 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
5. 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 (указывается по необходимости)

1. Моро, Уэйн . Микролитография: принципы, методы, материалы в 2 ч: пер. с англ.: / У. Моро . Ч. 1. — М.: Мир , 1990. — 607 с.
2. ГОСТ Р 52250-2004 Материалы электронной техники. Резисты для литографических процессов. Общие технические условия.

7.2 Информационное обеспечение

Internet-ресурсы (в т.ч. в среде LMSMOODLE 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**):

1. Microsoft Office 2007 Standard Russian Academic;
2. Document Foundation LibreOffice;
3. Zoom Zoom

7. Особые требования к материально-техническому обеспечению дисциплины

В учебном процессе используется следующее лабораторное оборудование для практических и лабораторных занятий:

№	Наименование специальных помещений	Наименование оборудования
1.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (учебная лаборатория) 634028, Томская область, г. Томск, Тимакова улица, 12,221А	Оборудование для выполнения лабораторных работ: центрифуга для нанесения пленок фоторезистов; учебная лампа УФ-света, термостатирующий шкаф, аналитические весы Материалы: резисты ФП 9120 и ФП 383; кремниевые пластины с SiO ₂ ; травитель SiO ₂ ; проявитель НХД-резистов.

Рабочая программа составлена на основе Общей характеристики образовательной программы по направлению 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств / профиль «Автоматизация сварочных процессов и производств» (приема 2019 г., очная форма обучения).

Разработчик(и):

Должность	ФИО
Доцент	Гавриленко Н.А.

Программа одобрена на заседании ОЭИ ИШНКБ (протокол от «28» июня 2019 г. №19).

Заведующий кафедрой – руководитель Отделения
электронной инженерии

 /Баранов П.Ф./
подпись

Лист изменений рабочей программы дисциплины:

Учебный год	Содержание /изменение	Обсуждено на заседании ОЭИ ИШНКБ (протокол)
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
2021/2022 учебный год	1. Обновлено содержание разделов дисциплины 2. Обновлено ПО в рабочей программе дисциплины 3. Обновлен список литературы 4. Обновлен перечень профессиональных баз 5. Обновлена аннотация рабочей программы дисциплины 6. Обновлены материалы в ФОС дисциплины	от 30.08.2021 г. № 54
2022/2023 учебный год	1. Обновлено содержание разделов дисциплины 2. Обновлено ПО в рабочей программе дисциплины 3. Обновлен список литературы 4. Обновлен перечень профессиональных баз 5. Обновлены материалы в ФОС дисциплины	от 27.06.2022 г. № 67