

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
« 09 » 09 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ПРИЕМ 2019 г.
ФОРМА ОБУЧЕНИЯ очная

Технологический инжиниринг			
Направление подготовки/ специальность	11.04.04 Электроника и наноэлектроника		
Образовательная программа (направленность (профиль))	Прикладная электронная инженерия		
Специализация	Промышленная электроника, Инжиниринг в электронике		
Уровень образования	высшее образование - магистратура		
Курс	1	семестр	2
Трудоемкость в кредитах (зачетных единицах)	3		
Виды учебной деятельности	Временной ресурс		
Контактная (аудиторная) работа, ч	Лекции	8	
	Практические занятия	0	
	Лабораторные занятия	40	
	ВСЕГО	48	
Самостоятельная работа, ч		60	
ИТОГО, ч		108	

Вид промежуточной аттестации	Зачет	Обеспечивающее подразделение	Отделение Электронной инженерии
Заведующий кафедрой - руководитель отделения на правах кафедры Руководитель ООП Преподаватель			П.Ф. Баранов
			А.И. Солдатов
			Н.А. Гавриленко

2020 г.

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины является формирование у обучающихся определенного ООП (п. 5.4 Общей характеристики ООП) состава компетенций для подготовки к профессиональной деятельности.

Код компетенции	Наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенций		Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенции)	
		Код индикатора	Наименование индикатора достижения	Код	Наименование
ПК(У)-1	Готов формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, обладает способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач	И.ПК(У)-1.1	Формулирует цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, и обоснованно выбирает теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач	ПК(У)- 1.B1	Владеет навыками выбора теоретических и экспериментальных методов исследования изделий микро- и нанoeлектроники
				ПК(У)- 1.U1	Умеет рассчитывать предельно допустимые и предельные режимы работы изделий микро- и нанoeлектроники
				ПК(У)- 1.31	Знает принципы построения и функционирования изделий микро- и нанoeлектроники

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		Индикатор достижения компетенции
Код	Наименование	
РД 1	Применять знания общих законов, теорий, уравнений, фото- и радиационно-химические процессов, принципов фото-, микро- и нанопленочной технологии	И.ПК(У)-1.1
РД 2	Выполнять расчеты режимов экспонирования и проявления резистов, травления полупроводника, пассивации поверхности, металлизации интегральных схем	И.ПК(У)-1.1
РД 3	Применять экспериментальные методы определения светочувствительных свойств различных резистов и причин брака получающихся изображений	И.ПК(У)-1.1
РД 4	Выполнять обработку и анализ данных, полученных на всех стадиях технологического процесса получения изображения в слое резиста и полупроводника	И.ПК(У)-1.1

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	1
		Практические занятия	-
		Лабораторные занятия	8
		Самостоятельная работа	10
Раздел (модуль) 2. Фоторезисты и фотошаблоны	РД3	Лекции	1
		Практические занятия	-
		Лабораторные занятия	8
		Самостоятельная работа	10
Раздел (модуль) 3. Особенности переноса изображения в системе фотошаблон – фоторезист	РД2	Лекции	1
		Практические занятия	-
		Лабораторные занятия	12
		Самостоятельная работа	14
Раздел (модуль) 4. Особенности переноса изображения в системе фоторезист – подложка	РД2	Лекции	1
		Практические занятия	-
		Лабораторные занятия	8
		Самостоятельная работа	10
Раздел (модуль) 5. Дефекты фотолитографического процесса	РД 4	Лекции	1
		Практические занятия	-
		Лабораторные занятия	4
		Самостоятельная работа	10
Раздел (модуль) 6. Субмикронная литография и нанолитография.	РД1	Лекции	1
		Практические занятия	-
		Лабораторные занятия	-
		Самостоятельная работа	4
Раздел (модуль) 7. Основные процессы и принципы полупроводниковой технологии	РД 2	Лекции	2
		Практические занятия	-
		Лабораторные занятия	-
		Самостоятельная работа	2

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 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.

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. Клин проявления.

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 SiO_2 . Изотропное и анизотропное травление. Методы удаления задублированных резистов. Клин травления. Профили рисунка. Критерии воспроизводимости рисунка схемы в полученном рельефе.

Названия лабораторных работ:

1. Определение толщины слоев SiO_2 и фоторезиста методом цветowych оттенков Ньютона и на микроинтерферометре Линника МИИ-4М.
2. 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.

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.

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.

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. 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?pl1_cid=25&pl1_id=3554
2. 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.
3. 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)
4. 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>
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?pl1_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. Нанотинженерия : 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 нанотинженерии — 2011. — 176 с. — ISBN 978-5-7038-3500-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/106499>.

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**):

1. Document Foundation LibreOffice;
2. Google Chrome;
3. Zoom Zoom

7. Особые требования к материально-техническому обеспечению дисциплины

№	Наименование специальных помещений	Наименование оборудования
1.	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.
2.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (учебная лаборатория) 634034, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 30а, 208	Частотомер Ч 3-54 - 1 шт.; Источник питания НУ3002-2 - 1 шт.; Осциллограф GOS-620FG 2 канала 20 МГц - 2 шт.; Доска мобильная (флип-чарт) - 1 шт.; Комплект учебной мебели на 16 посадочных мест; Компьютер - 7 шт.

Рабочая программа составлена на основе Общей характеристики образовательной программы по направлению 11.04.04 Электроника и нанотехнологии, специализации «Промышленная электроника», «Инжиниринг в электронике» (приема 2019 г., очная форма обучения).

Разработчик(и):

Должность	ФИО
Доцент	Гавриленко Н.А.

Программа одобрена на заседании Отделения Электронной инженерии (протокол от 28.06.2019 г. №19).

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



/ П.Ф. Баранов/

подпись