

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ХИМИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**Аннотированная рабочая программа дисциплины
Литографические методы переноса изображения**

Направление подготовки
04.03.01 Химия

Квалификация
Бакалавр

Форма обучения
Очная

Томск 2015

1. **Код и наименование дисциплины:** Б1.В.ДВ.4.3.4 «Литографические методы переноса изображений»

2. **Цель изучения дисциплины** – освоение общих принципов формирования топологии элементов интегральных схем на поверхности полупроводникового материала с помощью методов микро- и нанолитографии.

3. **Год/годы и семестр/семестры обучения:** 4 год, 8 семестр.

4. **Общая трудоемкость дисциплины** составляет 3 зачетных единицы, 108 часов, из которых 48 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часов – занятия лекционного типа, 32 часа – занятия лабораторного типа), 60 часов составляет самостоятельная работа обучающегося (в том числе 36 часов – подготовка к экзамену).

5. **Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

Формируемые компетенции (код компетенции, уровень (этап) освоения)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
Первый уровень (пороговый) (СК-1) – I– Второй уровень (углубленный) (СК-1) – II– способность использовать в исследованиях и расчётах приобретённые знания о физических и химических процессах получения веществ и материалов, их анализе, прогнозировании свойств	З (СК-1) – I – Знать: содержание и последовательность всех стадий технологического процесса получения изображения, их особенности У (СК-1) – II – Уметь: оценивать светочувствительные свойства различных резистов и выявить причину брака получающихся изображений

6. **Содержание дисциплины (модуля) и структура учебных видов деятельности**

6.1. **Структура учебных видов деятельности**

Наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)		Самостоятельная работа (час.)
		Лекции	Лабораторные работы	
Основы планарной технологии интегральных схем. Сущность литографических методов	12	2	6	4
Фоторезисты и фотошаблоны	10	2	6	2
Основные стадии фотолитографического процесса	14	2	6	6
Особенности переноса изображения в системе «фотошаблон – фоторезист»	14	4	6	4
Особенности переноса изображения в системе «фоторезист – подложка»	10	2	6	2
Дефекты фотолитографического процесса	6	2	2	2
Субмикронная литография	3	1		2
Нанолитография	3	1		2
Промежуточный контроль	36			36
Итого:	108	16	32	60

6.2. Содержание дисциплины

Тема 1. Основы планарной технологии интегральных схем. Сущность литографических методов.

Основные стадии планарной технологии и требования к ним. Место литографических процессов в планарной технологии. Общие требования к групповой организации фотолитографического процесса. Требования электронно-вакуумной гигиены. Сущность литографических методов, основные понятия и термины.

Тема 2. Фоторезисты и фотошаблоны

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.

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.

Тема 3. Основные стадии фотолитографического процесса.

Подготовка поверхности. Виды загрязнений пластин и способы их устранения. Гидрофобизация поверхности. Методы контроля качества поверхности и идентификации загрязнений.

- Формирование фоторезистивных пленок. Основные требования к параметрам пленок. Методы нанесения, дефекты пленок фоторезиста.

- Сушка пленок. Выбор температуры сушки с учетом температур стеклования, вязкого течения и разложения полимера и светочувствительного компонента. Дефекты пленок.

- Экспонирование УФ-излучением через фотошаблоны. Источники излучения и их энергетические характеристики. Выбор источников. Параметры, описывающие фотохимические реакции на стадии поглощения света.

- Проявление фоторезистов. Методы проявления. Виды дефектов после экспонирования и проявления. Контроль полноты удаления резиста и геометрических размеров рисунка.

- Задубливание фоторезистов. Основное назначение и условия задубливания. Выбор температуры. Основные процессы, происходящие при задубливании.

- Травление в «окнах» диэлектрических слоев. Основные способы травления. Требования к проведению травления. Контроль полноты удаления SiO_2 , Si_3N_4 и размеров рисунка.

- Удаление фоторезиста. Методы удаления задублированных позитивных и негативных резистов. Органические и неорганические составы для удаления. Контроль полноты удаления.

Тема 4. Особенности переноса изображения в системе «фотошаблон – фоторезист».

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.

Тема 5. Особенности переноса изображения в системе «фоторезист – подложка».

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.

Тема 6. Дефекты фотолитографического процесса

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.

Тема 7. Субмикронная литография

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.

Тема 8. Нанолитография

Виды нанолитографии: термоконтатная литография, УФ-наноимпринтная фотолитография, микроконтатная фотолитография.

6.3. Форма промежуточной аттестации – экзамен

7. Ресурсное обеспечение

7.1. Основная литература

1. Гудымович Е.Н. Основы фотолитографии / Е.Н. Гудымович, Н.А. Гавриленко. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2009. – 180 с.
2. Киреев В.Ю. Нанотехнологии в микроэлектронике. Нанолитография – процессы и оборудование / В.Ю. Киреев. – Долгопрудный: Интеллект, 2016. – 319 с.

7.2. Дополнительная литература

1. Моро. У. Микролитография / У. Моро. – М.: Мир, 1990. – 240 с.
2. Светочувствительные полимерные материалы / под ред. А.В. Ельцова. – Л.: Химия, 1985. – 297 с.
3. Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий: учебное пособие для вузов. Т. 2. Технологические аспекты. [Электронный ресурс]: Учебные пособия —

- Электрон. дан. — М.: Лаборатория знаний, 2011. – 252 с.
4. Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий: учебное пособие для вузов. Т. 1. Физико-химические основы технологии микроэлектроники. [Электронный ресурс]: Учебные пособия — Электрон. дан. – М.: Лаборатория знаний, 2010. – 392 с.
 5. Введение в фотолитографию. / Под ред. В.Н. Лаврищева. – М.: Энергия, 1977. – 400 с.

7.3. Электронные ресурсы

1. Технология изготовления микросхем. Раздел 11 Фотолитография <http://elanina.narod.ru/lanina/ind/student/tehnology/text/page11.htm#p2>
2. Лапшинов Б.А. Технология литографических процессов. Учебное пособие – Московский государственный институт электроники и математики. М., 2011. 95 с. <https://www.hse.ru/pubs/share/direct/document/51858404>

8. Преподаватель (автор): канд. хим. наук, доцент Н.А. Гавриленко