

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

Химический факультет

УТВЕРЖДЕНО:
И.о. декана
А. С. Князев

Рабочая программа дисциплины

Технология интегральных схем

по специальности

04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия

Специализация:

Фундаментальная и прикладная химия

Форма обучения

Очная

Квалификация

Химик / Химик-специалист. Преподаватель химии

Год приема

2024

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
В.В. Шелковников

Председатель УМК
В.В. Шелковников

Томск – 2024

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-1. Способен анализировать и интерпретировать результаты химических экспериментов, наблюдений и измерений в различных областях химии;

ОПК-2. Способен проводить синтез, анализ, изучение структуры и свойств веществ и материалов, исследовать процессы с их участием;

ОПК-3. Способен применять расчетно-теоретические методы для изучения свойств веществ и процессов с их участием, используя современное программное обеспечение и базы данных профессионального назначения⁴

ПК-1. Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в выбранной области химии, химической технологии или смежных с химией науках.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

РООПК 1.1 Знает теоретические основы неорганической, органической, физической и аналитической химии, применяет их при решении профессиональных задач в других областях химии.

РООПК 1.2 Умеет систематизировать и интерпретировать результаты экспериментов и расчетно-теоретических работ с использованием теоретических основ традиционных и новых разделов химии

РООПК 1.3 Умеет грамотно формулировать заключения и выводы по результатам работы

РООПК 2.1 Знает стандартные приемы и операции, используемые при получении веществ неорганической и органической природы

РООПК 2.2 Знает теоретические основы методов изучения состава, структуры и свойств для грамотного выбора метода исследования

РООПК 2.3 Умеет проводить стандартные синтезы по готовым методикам, выполнять стандартные операции для определения химического и фазового состава веществ и материалов, а также использовать серийное научное оборудование для изучения их свойств

РООПК 3.1 Знает основы теоретической физики, математического анализа и квантовой химии; основные теоретические и полуэмпирические модели, применяемые при решении задач химической направленности

РОПК 1.1 Умеет разрабатывать стратегию научных исследований, составляет общий план и детальные планы отдельных стадий.

РОПК 1.2 Умеет выбирать экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи, используя достижения современной химической науки, и исходя из имеющихся, материальных, информационных и временных ресурсов.

2. Задачи освоения дисциплины

– Освоить фото- и радиационно-химические процессы, принципы фото-, микро- и нанопленочной технологии; содержание и последовательность всех стадий технологического процесса получения изображения в слое резиста и полупроводника, их особенности;

– Научиться оценивать светочувствительные свойства различных резистов и выявить причину брака, получающихся изображений.

– Проводить контроль качества резистов для литографических процессов производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

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

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор. Дисциплина входит в модуль Модуль Химия материалов.

4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине

Восьмой семестр, экзамен

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: неорганическая химия, аналитическая химия, органическая химия, физическая химия, высокомолекулярные соединения, квантовая химия, физика, методы математической статистики в химии.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 з.е., 216 часов, из которых:

-лекции: 56 ч.

-лабораторные: 48 ч.

-практические занятия: 16 ч.

в том числе практическая подготовка: 64 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины, структурированное по темам

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 электроно-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 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.

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 SiO_2 . Изотропное и анизотропное травление. Травители для металлических слоев – Al, Cu, Ag, Cr, Ni, Au и других материалов. Методы удаления задублированных 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: термоконтактная литография, УФ-наноимпринтная фотолитография, микроконтактная фотолитография.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, устного опроса по лекционному материалу, выполнения домашних заданий, сдачи и защиты отчетов по лабораторным работам и фиксируется в форме контрольной точки в семестре.

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

Экзамен в восьмом семестре проводится в устной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из теоретических вопросов. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

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 среде электронного обучения iDO - <https://lms.tsu.ru>
- б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.
- в) План практических занятий по дисциплине.
- г) Методические указания по проведению лабораторных работ.
- д) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

- а) основная литература:
 - Гудымович Е. Н. Основы фотолитографии / Е. Н. Гудымович, Н. А. Гавриленко. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 2009. – 180 с.
 - Киреев В. Ю. Нанотехнологии в микроэлектронике. Нанолитография – процессы и оборудование / В. Ю. Киреев. – Долгопрудный: Интеллект, 2016. – 319 с.
- б) дополнительная литература:
 - Моро. У. Микролитография / У. Моро. – М. : Мир, 1990. – 240 с.
 - Светочувствительные полимерные материалы / под ред. А. В. Ельцова. – Л. : Химия, 1985. – 297 с.
 - 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.
- 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.
 - Введение в фотолитографию. / Под ред. В.Н. Лаврищева. – М. : Энергия, 1977. – 400 с.

в) ресурсы сети Интернет:

- Технология изготовления микросхем. Раздел 11 Фотолитография <http://elanina.narod.ru/lanina/ind/student/tehnology/text/page11.htm#p2>
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>
– Общероссийская Сеть КонсультантПлюс Справочная правовая система. <http://www.consultant.ru>

13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

- Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);
- публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

- Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>
- Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
- ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>
- ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>
- Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>
- ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>
- ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

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.

Лаборатории оснащены вытяжными шкафами и необходимым оборудованием:

1. Устройство для нанесения тонких пленок резистов на подложки;
2. Источник ультрафиолетового света;
3. Аналитические весы;
4. Спектрофотометр UV-1800 фирмы Shimadzu, СФ-56;
5. Сушильный шкаф.
6. Микроскоп ММУ, МИМ

Используются фоторезисты различных марок, имеются необходимые реактивы и лабораторная посуда.

Аудитории для проведения занятий лекционного и семинарского типа индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешенном формате («Актру»).

15. Информация о разработчиках

Изаак Татьяна Ивановна, канд. хим. наук, доцент, кафедра аналитической химии Национального исследовательского Томского государственного университета, доцент.

Гавриленко Наталия Айратовна, д-р. хим. наук, доцент, кафедра аналитической химии Национального исследовательского Томского государственного университета, профессор