

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
электроники, фотоники и
молекулярной физики
А.С. Батурин**

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Технология и оборудование литографических процессов
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика перспективных технологий: электроника и квантовые технологии Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра микро- и наноэлектроники
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составил: А.В. Шишлянников, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры микро- и наноэлектроники 03.03.2023

Аннотация

Курс "Технология и оборудование литографических процессов" предусматривает изучение технологических процессов и оборудования фотолитографических процессов, формирование специальных знаний в области технологии фотолитографии, о физических и химических особенностях материалов, применяемых в технологии литографии.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- формирование специальных знаний в области технологии литографии, о физических и химических особенностях материалов, применяемых в технологии литографии, основах проведения технологических и контрольно-измерительных операций литографии, о физических и технических принципах конструктивного исполнения технологического оборудования, используемого в литографических процессах.

Задачи дисциплины

- рассмотрение принципов и методов выполнения операций, составляющих технологический процесс литографии;
- рассмотрение физических и химических особенностей основных материалов, применяемых в технологии литографии;
- рассмотрение основных этапов технологического процесса фотолитографии;
- рассмотрение основных принципов формирования изображения в фоторезистной маске;
- рассмотрение принципов моделирования литографического процесса с учетом каждого отдельно взятого этапа;
- рассмотрение перспектив развития технологии;
- рассмотрение принципов и методов выполнения операций, составляющих технологический процесс литографии;
- рассмотрение физических и химических особенностей основных материалов, применяемых в технологии литографии.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- сущность процессов литографии;
- методы проведения технологических процессов;
- перспективы развития технологии литографии.

уметь:

- выполнять основные процессы фотолитографии;
- выполнять и корректировать режимы процессов;
- проводить оптимальный подбор технологических режимов процессов.

владеть:

- первичными навыками разработки технологических операций фотолитографии;
- первичными навыками работы на технологическом оборудовании;
- основными методами анализа оценки качества технологических операций и технологических процессов.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Вводное занятие		2		1
2	Позитивные фоторезисты		2		1
3	Негативные фоторезисты		2		1
4	Подготовка поверхности пластин и нанесение резистных пленок		2		1
5	Предэкспозиционная сушка резистных пленок		2		1
6	Фотолитография		2		1
7	Проявление изображения в резисте		2		1
8	Сушка резистных пленок после проявления (задубливание)		2		1
9	Процессы нанесения и взрывная литография		2		1
10	Удаление фоторезистов		2		1
11	Контроль технологических процессов		2		1
12	Оптические параметры фоторезиста (параметры Дилла)		2		1
13	Моделирование проявления фоторезиста		2		1
14	Другие виды литографий		2		1
15	Перспективы развития технологии		2		1
Итого часов			30		15
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		45 час., 1 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 2 (Весенний)

1. Вводное занятие

Технология и материалы литографии. Стоимость литографического процесса и технологическое оборудование. Международная технологическая дорожная карта для полупроводникового производства. Закон Мура. Место фотолитографии в современной технологии.

2. Позитивные фоторезисты

Диазохиноновые фоторезисты, их фотохимические свойства и растворимость, механизмы химических превращений, срок хранения и контроль качества, экспонирование. ПММА (полиметилметакрилат).

3. Негативные фоторезисты

Состав и свойства негативных фоторезистов, чувствительность и контрастность, экспонирование. Фотополимеризация.

4. Подготовка поверхности пластин и нанесение резистных пленок

Очистка поверхности пластин. Причины и механизмы загрязнения и их последствия. Удаление загрязнений. Центрифугирование. Другие методы нанесения резистных покрытий.

5. Предэкспозиционная сушка резистных пленок

Кинетика процессов сушки. Физические процессы при сушке. Оборудование и технология сушки.

6. Фотолитография

Основы оптики. Контактная литография. Проекционная литография. Совмещение. Фотошаблоны.

7. Проявление изображения в резисте

Основные механизмы. Проявление позитивных и негативных резистов. Проявление резистов на практике.

8. Сушка резистных пленок после проявления (задубливание)

Физико-химические процессы при задубливании. Химические реакции при задубливании. Практическое применение задубливания.

9. Процессы нанесения и взрывная литография

Однослойные, двухслойные, трехслойные фоторезисты и перенос изображения в них. Взрывная (lift-off) литография. Практическое использование многослойных фоторезистов.

10. Удаление фоторезистов

Жидкофазное удаление резиста. Удаление резиста в водных растворах (кислотные, щелочные). Газофазное удаление резиста. Кинетика удаления резиста.

11. Контроль технологических процессов

Автоматизация литографического процесса. Контроль резистных материалов, контроль обработки резиста (экспонирование, проявление).

12. Оптические параметры фоторезиста (параметры Дилла)

Моделирование оптической литографии. Поглощение излучения фоторезистом. Кинетика экспозиции. Методы измерения параметров Дилла (Dill). Термическое разложение при обжиге. Сушка после экспонирования.

13. Моделирование проявления фоторезиста

Кинетическая модель проявления. Усовершенствованная кинетическая модель проявления. Поверхностное ингибирование. Модель диффузии растворителя. Уравнение Фудзиты-Дулиттла.

14. Другие виды литографий

Электронно-лучевая литография, технология процесса. Эффект электронной близости. Ионная литография. Иммерсионная литография. Литография в глубоком ультрафиолете.

15. Перспективы развития технологии

Многолучевая электронная технология. Безмасочная литография. Безрезистная технология. Дополнительные материалы.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Необходимое оборудование для занятий: учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Моро У. Микролитография: Принципы, методы, материалы. В двух частях. Часть 1. Москва: Издательство «Мир». Редакция литературы по электронике, 1990.
2. Моро У. Микролитография: Принципы, методы, материалы. В двух частях. Часть 2. Москва: Издательство «Мир». Редакция литературы по электронике, 1990.
3. Оптические технологии микро- и нанoeлектроники, Я.И. Точицкий, 2010, Минск, РИВШ.
4. Б.А. Лапшинов. Технология литографических процессов. Учебное пособие – Московский государственный институт электроники и математики. М., 2011.–95 с.

Дополнительная литература

1. Нанoeлектроника: учеб. пособие для вузов / А. А. Щука ; под ред. А. С. Сигова .— 2-е изд. — М. : БИНОМ. Лаб. знаний, 2012 .— 342 с.
2. Данилина Т.И., Кагадей В.А., Анищенко Е.В. Технология кремниевой нанoeлектроники: Учебное пособие. – Томск: В-Спектр, 2011. – 263 с.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Не используются

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Не предусмотрено.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика перспективных технологий: электроника и квантовые технологии Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра микро- и нанoeлектроники
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет	
Разработчик:	А.В. Шишлянников, канд. физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Технология и оборудование литографических процессов» обучающийся должен:

знать:

- сущность процессов литографии;
- методы проведения технологических процессов;
- перспективы развития технологии литографии.

уметь:

- выполнять основные процессы фотолитографии;
- выполнять и корректировать режимы процессов;
- проводить оптимальный подбор технологических режимов процессов.

владеть:

- первичными навыками разработки технологических операций фотолитографии;
- первичными навыками работы на технологическом оборудовании;
- основными методами анализа оценки качества технологических операций и технологических процессов.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия по теме прошлого занятия.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

1. Привести основные параметры фоторезистов.
2. Перечислить основные этапы создания рисунка на поверхности пластины с помощью фотолитографии.
3. Основные отличия позитивных и негативных фоторезистов.
4. Привести типы дефектов слоя фоторезиста.
5. Чем определяется пространственное разрешение проекционной литографии?
6. Иммерсионная фотолитография, ее преимущества.
7. Контраст и чувствительность резиста.
8. Основной недостаток электронно-лучевой литографии для широкого промышленного применения.

Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Оценка за семестр выставляется по результатам устного дифференцированного зачета. Опрос студента не должен превышать 40 минут.