

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ**
Методы нанолитографии

Код модуля
1159305(1)

Модуль
Методы получения и исследования
наноматериалов

Екатеринбург

Оценочные материалы составлены автором(ами):

| № п/п | Фамилия, имя, отчество | Ученая степень, ученое звание | Должность | Подразделение |
|--------------|--------------------------------|---|------------------|---|
| 1 | Ахматханов Андрей Ришатович | кандидат физико-математических наук, без ученого звания | Доцент | физики конденсированного состояния и наноразмерных систем |

Согласовано:

Управление образовательных программ

Е.С. Комарова

Авторы:

- **Ахматханов Андрей Ришатович, Доцент, физики конденсированного состояния и наноразмерных систем**

1. СТРУКТУРА И ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ Методы нанолитографии

| | | | |
|----|--------------------------------------|--|---|
| 1. | Объем дисциплины в зачетных единицах | 3 | |
| 2. | Виды аудиторных занятий | Лекции Практические/семинарские занятия | |
| 3. | Промежуточная аттестация | Зачет | |
| 4. | Текущая аттестация | Контрольная работа | 1 |
| | | Коллоквиум | 1 |

2. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (ИНДИКАТОРЫ) ПО ДИСЦИПЛИНЕ МОДУЛЯ Методы нанолитографии

Индикатор – это признак / сигнал/ маркер, который показывает, на каком уровне обучающийся должен освоить результаты обучения и их предьявление должно подтвердить факт освоения предметного содержания данной дисциплины, указанного в табл. 1.3 РПМ-РПД.

Таблица 1

| Код и наименование компетенции | Планируемые результаты обучения (индикаторы) | Контрольно-оценочные средства для оценивания достижения результата обучения по дисциплине |
|--|--|---|
| 1 | 2 | 3 |
| ОПК-3 -Способен планировать и проводить комплексные исследования и изыскания для решения инженерных задач относящихся к профессиональной деятельности, включая проведение измерений, планирование и постановку экспериментов, интерпретацию полученных результатов | Д-1 - Проявлять умение видеть детали, упорство, аналитические умения З-1 - Сформулировать основные принципы организации и планирования научного исследования З-2 - Характеризовать возможности исследовательской аппаратуры и методов исследования, используя технические характеристики и области применения З-3 - Сделать обзор основных методов статистической обработки и анализа результатов измерений | Зачет Коллоквиум Контрольная работа Лекции Практические/семинарские занятия |

| | | |
|---|---|--|
| | <p>П-1 - Выполнять в рамках поставленного задания экспериментальные комплексные научно-технические исследования и изыскания для решения инженерных задач в области профессиональной деятельности, включая обработку, интерпретацию и оформление результатов</p> <p>У-1 - Собирать и анализировать научно-техническую информацию для оптимального планирования исследования и изыскания</p> <p>У-2 - Обоснованно выбрать необходимую аппаратуру и метод исследования для решения инженерных задач, относящихся к профессиональной деятельности</p> | |
| <p>ОПК-1 -Способен формулировать и решать научно-исследовательские, технические, организационно-экономические и комплексные задачи, применяя фундаментальные знания</p> | <p>З-1 - Соотносить проблемную область с соответствующей областью фундаментальных и общеинженерных наук</p> <p>П-1 - Работая в команде, разрабатывать варианты формулирования и решения научно-исследовательских, технических, организационно-экономических и комплексных задач, применяя знания фундаментальных и общеинженерных наук</p> <p>У-1 - Использовать для формулирования и решения задач проблемной области терминологию, основные принципы, методологические подходы и законы фундаментальных и общеинженерных наук</p> | <p>Зачет</p> <p>Коллоквиум</p> <p>Контрольная работа</p> <p>Лекции</p> <p>Практические/семинарские занятия</p> |
| <p>ОПК-6 -Способен планировать и организовать работы по эксплуатации технологического оборудования и</p> | <p>З-1 - Перечислить основные технические параметры и технологические характеристики эксплуатируемого</p> | <p>Зачет</p> <p>Коллоквиум</p> <p>Контрольная работа</p> <p>Лекции</p> <p>Практические/семинарские занятия</p> |

| | | |
|--|--|--|
| <p>обеспечению технологических процессов в сфере своей профессиональной деятельности с учетом энерго- и ресурсоэффективност и производственного цикла и продукта</p> | <p>оборудования и реализуемых технологических процессов П-1 - Организовать в соответствии с разработанным утвержденным планом выполнение работ по эксплуатации технологического оборудования и обеспечению технологических процессов в сфере своей профессиональной деятельности У-1 - Технически грамотно формулировать задания по эксплуатации технологического оборудования и обеспечению технологических процессов с учетом имеющихся ограничений режимов эксплуатации оборудования и регламенты технологических процессов</p> | |
| <p>ПК-5 -Способен предлагать актуальные методы и подходы решения научных и технологических задач в области наноматериалов, а также смежных областей</p> | <p>З-1 - Описывать основные научные достижения и современные методы экспериментальных и теоретических исследований П-1 - Использовать методы решения научно-технологических задач на основе анализа согласованных научных знаний</p> | <p>Зачет Коллоквиум Контрольная работа Лекции Практические/семинарские занятия</p> |

3. ПРОЦЕДУРЫ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ В РАМКАХ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ МОДУЛЯ В БАЛЬНО-РЕЙТИНГОВОЙ СИСТЕМЕ (ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА БРС)

3.1. Процедуры текущей и промежуточной аттестации по дисциплине

| | | |
|--|---|--|
| <p>1. Лекции: коэффициент значимости совокупных результатов лекционных занятий – 0.60</p> | | |
| <p>Текущая аттестация на лекциях</p> | <p>Сроки – семестр, учебная неделя</p> | <p>Максимальная оценка в баллах</p> |
| <p><i>коллоквиум</i></p> | <p>3,17</p> | <p>60</p> |
| <p><i>контрольная работа</i></p> | <p>3,8</p> | <p>40</p> |
| <p>Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по лекциям – 0.40</p> | | |
| <p>Промежуточная аттестация по лекциям – зачет</p> | | |

| | | |
|---|--|-------------------------------------|
| Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по лекциям – 0.60 | | |
| 2. Практические/семинарские занятия: коэффициент значимости совокупных результатов практических/семинарских занятий – 0.40 | | |
| Текущая аттестация на практических/семинарских занятиях | Сроки – семестр, учебная неделя | Максимальная оценка в баллах |
| <i>активное участие студентов на практических занятиях</i> | 3,16 | 100 |
| Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по практическим/семинарским занятиям– 1.00 | | |
| Промежуточная аттестация по практическим/семинарским занятиям–нет | | |
| Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по практическим/семинарским занятиям– не предусмотрено | | |
| 3. Лабораторные занятия: коэффициент значимости совокупных результатов лабораторных занятий –не предусмотрено | | |
| Текущая аттестация на лабораторных занятиях | Сроки – семестр, учебная неделя | Максимальная оценка в баллах |
| | | |
| Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по лабораторным занятиям -не предусмотрено | | |
| Промежуточная аттестация по лабораторным занятиям –нет | | |
| Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по лабораторным занятиям – не предусмотрено | | |
| 4. Онлайн-занятия: коэффициент значимости совокупных результатов онлайн-занятий –не предусмотрено | | |
| Текущая аттестация на онлайн-занятиях | Сроки – семестр, учебная неделя | Максимальная оценка в баллах |
| | | |
| Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по онлайн-занятиям -не предусмотрено | | |
| Промежуточная аттестация по онлайн-занятиям –нет | | |
| Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по онлайн-занятиям – не предусмотрено | | |

3.2. Процедуры текущей и промежуточной аттестации курсовой работы/проекта

| | | |
|---|--|-------------------------------------|
| Текущая аттестация выполнения курсовой работы/проекта | Сроки – семестр, учебная неделя | Максимальная оценка в баллах |
| | | |
| Весовой коэффициент текущей аттестации выполнения курсовой работы/проекта– не предусмотрено | | |
| Весовой коэффициент промежуточной аттестации выполнения курсовой работы/проекта– защиты – не предусмотрено | | |

4. КРИТЕРИИ И УРОВНИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ МОДУЛЯ

4.1. В рамках БРС применяются утвержденные на кафедре/институте критерии (признаки) оценивания достижений студентов по дисциплине модуля (табл. 4) в рамках контрольно-оценочных мероприятий на соответствие указанным в табл.1 результатам обучения (индикаторам).

Таблица 4

Критерии оценивания учебных достижений обучающихся

| Результаты обучения | Критерии оценивания учебных достижений, обучающихся на соответствие результатам обучения/индикаторам |
|----------------------------|--|
| Знания | Студент демонстрирует знания и понимание в области изучения на уровне указанных индикаторов и необходимые для продолжения обучения и/или выполнения трудовых функций и действий, связанных с профессиональной деятельностью. |
| Умения | Студент может применять свои знания и понимание в контекстах, представленных в оценочных заданиях, демонстрирует освоение умений на уровне указанных индикаторов и необходимых для продолжения обучения и/или выполнения трудовых функций и действий, связанных с профессиональной деятельностью. |
| Опыт /владение | Студент демонстрирует опыт в области изучения на уровне указанных индикаторов. |
| Другие результаты | Студент демонстрирует ответственность в освоении результатов обучения на уровне запланированных индикаторов. Студент способен выносить суждения, делать оценки и формулировать выводы в области изучения. Студент может сообщать преподавателю и коллегам своего уровня собственное понимание и умения в области изучения. |

4.2 Для оценивания уровня выполнения критериев (уровня достижений обучающихся при проведении контрольно-оценочных мероприятий по дисциплине модуля) используется универсальная шкала (табл. 5).

Таблица 5

Шкала оценивания достижения результатов обучения (индикаторов) по уровням

| Характеристика уровней достижения результатов обучения (индикаторов) | | | | |
|---|---|---|---------|---|
| № п/п | Содержание уровня выполнения критерия оценивания результатов обучения (выполненное оценочное задание) | Шкала оценивания | | |
| | | Традиционная характеристика уровня | | Качественная характеристика уровня |
| 1. | Результаты обучения (индикаторы) достигнуты в полном объеме, замечаний нет | Отлично (80-100 баллов) | Зачтено | Высокий (В) |
| 2. | Результаты обучения (индикаторы) в целом достигнуты, имеются замечания, которые не требуют обязательного устранения | Хорошо (60-79 баллов) | | Средний (С) |

| | | | | |
|----|--|--|------------|-------------------|
| 3. | Результаты обучения (индикаторы) достигнуты не в полной мере, есть замечания | Удовлетворительно (40-59 баллов) | | Пороговый (П) |
| 4. | Освоение результатов обучения не соответствует индикаторам, имеются существенные ошибки и замечания, требуется доработка | Неудовлетворительно (менее 40 баллов) | Не зачтено | Недостаточный (Н) |
| 5. | Результат обучения не достигнут, задание не выполнено | Недостаточно свидетельств для оценивания | | Нет результата |

5. СОДЕРЖАНИЕ КОНТРОЛЬНО-ОЦЕНОЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ МОДУЛЯ

5.1. Описание аудиторных контрольно-оценочных мероприятий по дисциплине модуля

5.1.1. Лекции

Самостоятельное изучение теоретического материала по темам/разделам лекций в соответствии с содержанием дисциплины (п. 1.2. РПД)

5.1.2. Практические/семинарские занятия

Примерный перечень тем

1. Введение.
2. Фоторезисты.
3. Подготовка поверхности.
4. Нанесение резиста.
5. Термическая обработка резиста.
6. Совмещение и экспонирование.
7. Проявка резиста.
8. Снятие резиста.
9. Фотошаблоны.
10. Методы переноса изображения.

Примерные задания

Пример задания (Тема 5. Термическая обработка резиста):

Для проведения процесса фотолитографии необходимо подготовить для экспонирования слой фоторезиста AZ1518 толщиной 2.5 мкм. Исходя из данных производителя указать оптимальные параметры процесса нанесения и сушки резиста.

Пример теста (Тема 2. Фоторезисты)

1. Назначение резиста:

- 1) защита поверхности от окисления при термической обработке
- 2) формирование в нем рисунка с целью его последующего переноса на поверхность пластины

пластины

- 3) управление удельным сопротивлением поверхностного слоя пластины

2. Основные составляющие резиста:

- 1) растворитель
- 2) твердый наполнитель
- 3) фотоактивное вещество
- 4) вода
- 5) полимер

3. Роль растворителя в составе резиста:

- 1) разбавление резиста для достижения необходимой вязкости
- 2) упрощение снятия резиста после формирования рисунка
- 3) улучшение чувствительности свойств резиста
- 4) улучшение адгезии резиста к поверхности

4. Разрешающая способность резиста:

- 1) показатель стойкости резиста к экспонированию
- 2) максимальное значение длины волны, используемой для экспонирования
- 3) минимальный достижимый размер элементов рисунка

5. Чувствительность резиста определяет:

- 1) максимальную дозу экспонирования
- 2) необходимую дозу экспонирования для получения оптимальной структуры
- 3) стойкость резиста к термическим воздействиям
- 4) длительность термической обработки резиста

6. Не является основным компонентом резиста:

- 1) органическая кислота
- 2) фотоактивное вещество
- 3) полимер
- 4) растворитель

7. Увеличение толщины резиста ... стойкость резиста к термической обработке.

- 1) увеличивает
- 2) уменьшает
- 3) не изменяет

8. Увеличение толщины резиста ... разрешающую способность.

- 1) улучшает
- 2) ухудшает
- 3) не изменяет

9. Тональность резиста:

- 1) определяет цвет резиста
- 2) определяет какие из областей проявляются быстрее – экспонированные или неэкспонированные
- 3) влияет на скорость проявки
- 4) определяет стойкость резиста к химическому травлению

10. Возможные типы тональности резиста:

- 1) нейтральная
- 2) позитивная
- 3) негативная
- 4) инверсионная

11. Резист ПММА:

- 1) позитивный
- 2) негативный
- 3) не относится ни к позитивным, ни к негативным резистам

12. Для проявления ДХН фоторезистов могут использоваться:

- 1) водные растворы гидроксидов металлов
- 2) гидроксид тетраметиламмония
- 3) вода
- 4) растворитель
- 5) концентрированный раствор NaOH

13. Основной фотохимический процесс, происходящий в негативных резистах:

- 1) превращение полимер-мономер
- 2) разрыв полимерных цепей
- 3) фотополимеризация
- 4) окисление

14. ДХН фоторезисты:

- 1) нейтральные
- 2) негативные
- 3) позитивные

15. В позитивном резисте экспонированные области при проявке ...

- 1) растворяются
- 2) не растворяются
- 3) меняют тональность

16. Диапазон спектра, применяемый в фотолитографии:

- 1) ультрафиолетовый
- 2) видимый
- 3) инфракрасный

LMS-платформа – не предусмотрена

5.2. Описание внеаудиторных контрольно-оценочных мероприятий и средств текущего контроля по дисциплине модуля

Разноуровневое (дифференцированное) обучение.

Базовый

5.2.1. Контрольная работа

Примерный перечень тем

1. Эллипсометрический способ измерения толщины и оптических свойств тонких пленок.
2. Особенности резистов для дальнего и экстремального УФ диапазонов. Химически усиленные резисты. Электронорезисты, рентгенорезисты.
3. Смачиваемость поверхности как индикатор чистоты. Обработка поверхности промоутерами адгезии.
4. Снятие резиста: методики и составы.
5. Методики модификация поверхностного слоя: диффузия, ионная имплантация.
6. Масочная электронная и рентгеновская литография.
7. Flash память. Типы Flash памяти, технология изготовления.
8. Микроэлектромеханические системы (МЭМС). Основные технологии и примеры устройств.
9. Источники и методы получения ЭУФ излучения.
10. Ионно-лучевое напыление тонких пленок. Преимущества метода.
11. Эксимерные лазеры для дальнего и среднего УФ. Принцип работы и применения.
12. Использование методов микро- и нанолитографии для создания SERS структур.
13. Метод ALD для нанесения тонких пленок.
14. Применение методов микро- и нанолитографии для создания устройств микрофлюидики.

Примерные задания

Подготовить доклад по одной из указанных тем и оформить его в виде презентации на 5-10 минут.

Тема: 9. Источники и методы получения ЭУФ излучения.

Задание:

- 1) Перечислить основные особенности ЭУФ излучения, в том числе особенности оптических компонентов для работы с ЭУФ излучением.
- 2) Перечислить основные альтернативные технологии для получения ЭУФ излучения.
- 3) Описать принцип действия и основные параметры установки для получения ЭУФ излучения на основе высокотемпературной плазмы.
- 4) Привести краткий обзор установок для получения ЭУФ излучения используемых в микроэлектронике на данный момент.

LMS-платформа – не предусмотрена

5.2.2. Коллоквиум

Примерный перечень тем

1. Коллоквиум по темам лекций.

Примерные задания

Обязательные вопросы

1. Чем определяется пространственное разрешение контактной фотолитографии (напишите формулу и поясните ее смысл)?

2. Чем определяется пространственное разрешение проекционной фотолитографии (напишите формулу и поясните ее смысл)?

3. Назовите основные этапы процесса фотолитографии.

Первая группа вопросов

1. Что такое фотолитография?

2. Области применения фотолитографии?

3. Сформулируйте Закон Мура.

4. Перечислите основные этапы создания рисунка на поверхности пластины с помощью фотолитографии.

5. Перечислите основные типы резистов по полярности формируемого изображения.

6. Какая область будет удалена при проявлении негативного фоторезиста: засвеченная или не засвеченная?

7. Какие основные отличия позитивных и негативных резистов?

8. К какому типу относятся стандартные ДХН резисты?

9. Приведите основные параметры резистов.

10. Приведите диапазон длин волн, соответствующих экстремальному УФ излучению.

11. Приведите диапазон длин волн, соответствующих рентгеновскому излучению.

12. Что такое химически-усиленные резисты?

13. Приведите пример электроно- и рентгенорезистов.

14. Назовите три основных компонента фоторезиста.

15. Какого освещения следует избегать при работе с фоторезистом?

16. Назовите 3 основных группы источников загрязнений в чистом производстве.

17. Загрязнения каких размеров могут вызвать дефект готовой интегральной схемы (по сравнению с размерами элемента схемы)?

18. Назовите два основных класса методов жидкостной очистки пластин?

19. Поясните, почему принципиальную роль играет сушка пластин после очистки?

20. Какие параметры слоя резиста зависят от его толщины?

21. Приведите два основных метода нанесения резиста.

22. От чего зависит (и от чего не зависит) толщина пленки резиста при нанесении методом центрифугирования?

23. Какими методами можно изменять толщину резиста от номинальной при нанесении методом центрифугирования?

24. В чем заключается метод нанесения резиста распылением? В чем заключаются его преимущества?

25. Какие методы измерения толщины пленки резиста Вы знаете?

26. Приведите типы дефектов слоя фоторезиста?

27. Что такое планаризация?

28. На каких стадиях фотолитографии применяется термическая обработка резиста?

29. Какие способы нагрева пластин при термической обработке резиста вы знаете?

30. Для чего проводится предварительная термообработка после нанесения слоя резиста?

31. Для чего, и на какой стадии применяется операция задубливания слоя фоторезиста?

32. Что такое экспонирование резиста?

33. Приведите два основных метода экспонирования резиста через фотошаблон.

Поясните свой ответ рисунками.

34. Как увеличение зазора влияет на пространственное разрешение контактной литографии с зазором?
35. Какие методики и устройства применяются для проекционной литографии?
36. Что такое операция совмещения?
37. Какую роль играют метки совмещения? Нарисуйте пример.
38. Какие существуют основные методы улучшения разрешения проекционной фотолитографии?
39. Что такое числовая апертура и как она влияет на пространственное разрешение фотолитографии? Какими способами можно увеличивать числовую апертуру?
40. Что такое иммерсионная фотолитография и какие преимущества она дает?
41. Какой тип эксимерного лазера в основном используется в современной фотолитографии?
42. Что такое коррекция эффекта близости (в оптической фотолитографии)?
43. Для чего применяется проявка резиста?
44. Какая область будет растворяться в позитивном фоторезисте, засвеченная или нет?
45. Что такое контраст резиста?
46. Чем обычно проявляются негативные резисты?
47. Каков механизм действия фотоактивного освещения в классических негативных резистах?
48. Какие типы профиля резиста характерны для позитивных и негативных резистов?
49. Какие методы применяются для проявки резиста?

Вторая группа вопросов

1. Каков основной состав ДХН резистов?
2. На какие спектральные диапазоны делится УФ излучение?
3. Приведите длины волн трех эксимерных лазеров, используемых в фотолитографии.
4. Приведите 4 основных типа загрязнений пластин.
5. Что такое составы RCA (SC1 и SC2), для чего они используются?
6. Что такое смесь Каро (Piranha), для чего она используется?
7. Какие методы применяются для жидкостной очистки, какие они имеют преимущества и недостатки?
8. Приведите типичную последовательность операций при нанесении резиста методом центрифугирования.
9. Для чего применяются многослойные резисты?
10. Что такое регидратация резиста и зачем она необходима?
11. В чем заключается технология обращения изображения?
12. Чем отличается дифракция Френеля от дифракции Фраунгофера?
13. Из каких основных элементов состоит степпер/сканер для проекционной фотолитографии?
14. Что такое микроскоп двойного поля и как он помогает при совмещении пластины и фотошаблона в контактной литографии?
15. Для чего применяются фотошаблоны с переменным сдвигом фаз? Поясните механизм их действия.
16. Что такое методики двойного экспонирования? Приведите несколько различных примеров таких методик.

17. Поясните принцип проявки ДХН резистов. Что используется в качестве проявителей для этой группы резистов?

Пример задания:

Подготовить устный ответ на три обязательных вопроса, один случайно выбранный вопрос из первой группы и один случайно выбранный вопрос из второй группы.

LMS-платформа – не предусмотрена

5.3. Описание контрольно-оценочных мероприятий промежуточного контроля по дисциплине модуля

5.3.1. Зачет

Список примерных вопросов

1. Обязательные вопросы 1. Чем определяется пространственное разрешение контактной фотолитографии (напишите формулу и поясните ее смысл)? 2. Чем определяется пространственное разрешение проекционной фотолитографии (напишите формулу и поясните ее смысл)? 3. Назовите основные этапы процесса фотолитографии.

2. Первая группа вопросов 1. Что такое фотолитография? 2. Области применения фотолитографии? 3. Сформулируйте Закон Мура. 4. Перечислите основные этапы создания рисунка на поверхности пластины с помощью фотолитографии. 5. Перечислите основные типы резистов по полярности формируемого изображения. 6. Какая область будет удалена при проявлении негативного фоторезиста: засвеченная или не засвеченная? 7. Какие основные отличия позитивных и негативных резистов? 8. К какому типу относятся стандартные ДХН резисты? 9. Приведите основные параметры резистов 10. Приведите диапазон длин волн, соответствующих экстремальному УФ излучению. 11. Приведите диапазон длин волн, соответствующих рентгеновскому излучению. 12. Что такое химически-усиленные резисты? 13. Приведите пример электроно- и рентгенорезистов. 14. Назовите три основных компонента фоторезиста. 15. Какого освещения следует избегать при работе с фоторезистом? 16. Назовите 3 основных группы источников загрязнений в чистом производстве. 17. Загрязнения каких размеров могут вызвать дефект готовой интегральной схемы (по сравнению с размерами элемента схемы)? 18. Назовите два основных класса методов жидкостной очистки пластин? 19. Поясните, почему принципиальную роль играет сушка пластин после очистки? 20. Какие параметры слоя резиста зависят от его толщины? 21. Приведите два основных метода нанесения резиста. 22. От чего зависит (и от чего не зависит) толщина пленки резиста при нанесении методом центрифугирования? 23. Какими методами можно изменять толщину резиста от номинальной при нанесении методом центрифугирования? 24. В чем заключается метод нанесения резиста распылением? В чем заключаются его преимущества? 25. Какие методы измерения толщины пленки резиста Вы знаете? 26. Приведите типы дефектов слоя фоторезиста? 27. Что такое планаризация? 28. На каких стадиях фотолитографии применяется термическая обработка резиста? 29. Какие способы нагрева пластин при термической обработке резиста вы знаете? 30. Для чего проводится предварительная термообработка после нанесения слоя резиста? 31. Для чего, и на какой стадии применяется операция задубливания слоя фоторезиста? 32. Что такое экспонирование резиста? 33. Приведите два основных метода экспонирования резиста

через фотошаблон. Поясните свой ответ рисунками. 34. Как увеличение зазора влияет на пространственное разрешение контактной литографии с зазором? 35. Какие методики и устройства применяются для проекционной литографии? 36. Что такое операция совмещения? 37. Какую роль играют метки совмещения? Нарисуйте пример. 38. Какие существуют основные методы улучшения разрешения проекционной фотолитографии? 39. Что такое числовая апертура и как она влияет на пространственное разрешение фотолитографии? Какими способами можно увеличивать числовую апертуру? 40. Что такое иммерсионная фотолитография и какие преимущества она дает? 41. Какой тип эксимерного лазера в основном используется в современной фотолитографии? 42. Что такое коррекция эффекта близости (в оптической фотолитографии)? 43. Для чего применяется проявка резиста? 44. Какая область будет растворяться в позитивном фоторезисте, засвеченная или нет? 45. Что такое контраст резиста? 46. Чем обычно проявляются негативные резисты? 47. Каков механизм действия фотоактивного освещения в классических негативных резистах? 48. Какие типы профиля резиста характерны для позитивных и негативных резистов? 49. Какие методы применяются для проявки резиста? 50. Для чего предназначен фотошаблон? 51. Что такое светлопольный и темнопольный типы фотошаблонов? 52. Какими методами формируется рисунок на фотошаблоне? 53. Можно ли исправлять небольшие дефекты рисунка фотошаблона? 54. Какими методами рисунок в слое фоторезиста переносится на пластины? (Перечислите классы методов). 55. Что такое обратная фотолитография (lift-off)? 56. Что такое ионная имплантация, как она используется при переносе рисунка на пластины? 57. Какие два основных типа травления применяются в фотолитографии? 58. Из каких этапов состоит процесс травления? 59. Поясните смысл характеристик травления «изотропность» и «селективность». 60. Поясните как происходит изотропное жидкостное травление с нанесенной маской фоторезиста или другого вещества? Как можно использовать эффект подтравливания под маску? 61. Что такое электрохимическое травление? 62. Перечислите стадии химической реакции травления с помощью плазмы. 63. В чем заключается влияние бомбардировкой ионов при травлении с помощью плазмы? 64. Какие методы контроля можно использовать при травлении с помощью плазмы? 65. Какие особенности имеют оптические элементы и фотошаблоны для литографии в области экстремального УФ? 66. В чем заключается электронно-лучевая литография? 67. В чем заключается основной недостаток электронно-лучевой литографии для широкого промышленного применения? 68. Приведите примеры применения сканирующей зондовой микроскопии для нанолитографии. 69. Что такое наноимпринт литография? Приведите примеры различной реализации наноимпринт литографии. 70. Что такое чистое помещение? 71. Как классифицируются чистые помещения по степени чистоты? 72. В чем принципиальное отличие турбулентных и ламинарных чистых помещений? 73. Перечислите физические методы нанесения тонких пленок. 74. В чем заключается методика нанесения тонких пленок с помощью вакуумного испарения? Какие разновидности Вы знаете? 75. В чем заключается методика нанесения тонких пленок с помощью импульсного лазерного напыления (PLD)? 76. В чем заключается методика нанесения тонких пленок с помощью вакуумного распыления? 77. В чем особенность и какова основная схема реализации метода магнетронного распыления? 78. В чем суть метода химического нанесения тонких пленок из газовой фазы? 79. Что такое плазма? Приведите простейший пример реактора для травления с помощью плазмы. 80. Что такое емкостно-спаренная плазма? 81. Нарисуйте схематическое устройство вакуумной камеры для нанесения методом

термического испарения. 82. Как должны двигаться атомы (молекулы) испаряемого вещества при нанесении тонких пленок методом вакуумного испарения (тип потока). 83. Что такое давление насыщенных паров над поверхностью вещества? Как оно зависит от температуры? 84. Перечислите преимущества и недостатки метода вакуумного испарения. 85. Чем определяются температуры нагрева напыляемого вещества в методе вакуумного испарения? Назовите характерные температуры для нескольких веществ. 86. От чего зависит скорость испарения напыляемого вещества в методе вакуумного испарения? 87. Как происходит испарение сплавов и изменение состава образующейся пленки по сравнению с составом исходного сплава? 88. Как происходит испарение соединений в методе вакуумного испарения? Может ли при испарении соединения происходить нанесение практически без изменения состава? 89. Перечислите особенности метода электронно-лучевого испарения и его отличия от метода резистивного нагрева. 90. Поясните на простейшем примере механизм физического распыления в плазме. Что такое автосмещение (dc bias)? 91. Что такое плазма? 92. Какова характерная энергия атомов или молекул напыляемого вещества, вылетающих с поверхности в методе вакуумного испарения? 93. Какова характерная энергия атомов напыляемого вещества, вылетающих с поверхности мишени при реализации метода вакуумного распыления? 94. Поясните как реализуется метод ВЧ катодного распыления. 95. Зачем при нанесении тонких пленок во многих методах применяется вакуум? 96. Перечислите основные единицы измерения давления вакуумной техники и их взаимосвязь (Торр, мбар, Па, атм). 97. Что такое парциальное давление газа? 98. Перечислите диапазоны низких давлений (степени вакуума). По каким параметрам происходит деление на диапазоны? 99. Принцип работы вращающихся пластинчатых вакуумных насосов. 100. Принцип работы водоструйных и пародиффузионных насосов. 101. Принцип работы турбомолекулярных насосов. 102. Принцип работы криогенных насосов. 103. Какое необычное состояние поверхности можно получить, используя сверхвысокий вакуум? 104. Методы измерения давления в вакуумной системе. Основная классификация методов. 105. Механические вакуумметры, примерный рабочий диапазон давлений. 106. Жидкостные вакуумметры. 107. Принцип действия вакуумметров, основанных на изменении теплопроводности газа в зависимости от давления. 108. Принцип действия ионизационных вакуумметров. 109. «Главное» свойство тонких пленок. 110. Основные виды модификации поверхности, которые можно использовать в фотолитографии. 111. Профиль распределения примеси при ионной имплантации. 112. Методы измерения сопротивления тонких пленок. 113. Зависимость сопротивления тонкой пленки от толщины. 114. Модели проводимости пленки на ранних стадиях роста.

3. Вторая группа вопросов 1. Каков основной состав ДХН резистов? 2. На какие спектральные диапазоны делится УФ излучение? 3. Приведите длины волн трех эксимерных лазеров, используемых в фотолитографии. 4. Приведите 4 основных типа загрязнений пластин. 5. Что такое составы RCA (SC1 и SC2), для чего они используются? 6. Что такое смесь Каро (Piranha), для чего она используется? 7. Какие методы применяются для жидкостной очистки, какие они имеют преимущества и недостатки? 8. Приведите типичную последовательность операций при нанесении резиста методом центрифугирования. 9. Для чего применяются многослойные резисты? 10. Что такое регидратация резиста и зачем она необходима? 11. В чем заключается технология обращения изображения? 12. Чем отличается дифракция Френеля от дифракции Фраунгофера? 13. Из каких основных элементов состоит степпер/сканер для

проекционной фотолитографии? 14. Что такое микроскоп двойного поля и как он помогает при совмещении пластины и фотошаблона в контактной литографии? 15. Для чего применяются фотошаблоны с переменным сдвигом фаз? Поясните механизм их действия. 16. Что такое методики двойного экспонирования? Приведите несколько различных примеров таких методик. 17. Поясните принцип проявки ДХН резистов. Что используется в качестве проявителей для этой группы резистов? 18. Из каких материалов изготавливаются фотошаблоны? 19. Назовите два типа реакций жидкостного травления. 20. В каких случаях жидкостное травление может быть анизотропным? 21. Поясните механизм возникновения положительного потенциала плазмы и темного зазора возле электродов. 22. От чего зависит величина напряжения автосмещения (dc bias) плазмы? 23. Чем отличаются плазмохимическое и реактивно-ионное травление? 24. Что такое индуктивно-спаренная плазма? Какие преимущества она имеет по сравнению с емкостно-спаренной плазмой? 25. Перечислите не менее 5 методов, с помощью которых можно создавать наноструктуры с размерами отдельных элементов менее 100 нм. 26. Какие источники экстремального УФ применяются в фотолитографии? 27. В чем заключается эффект близости в электронно-лучевой литографии? Какие есть методы борьбы с ним? 28. Классификация методов нанесения тонких пленок с примерами 29. Два режима образования паров при нанесении тонких пленок методом вакуумного испарения. Чем они отличаются? Каков численный критерий? Примеры веществ. 30. Закон косинусов в распределении толщины пленки для точечного и небольшого плоского источника (испарителя). Проиллюстрируйте рисунком. 31. Как можно улучшить однородность толщины пленок, полученных методом вакуумного испарения (два варианта размещения подложки относительно источника)? 32. Как вероятность «прилипания» атома к поверхности зависит от его кинетической энергии? Какие режимы можно выделить на этой зависимости? Какой режим наиболее оптимален для физического распыления? 33. Критерий Кнудсена. Три режима течения газа. 34. Классификация вакуумных насосов (2 уровня иерархии + примеры) 35. Сорбционные насосы. Основные типы, принцип работы и примеры. 36. Методы измерения толщины тонких пленок (классификация) 37. Оптические методы измерения толщины тонких пленок. 38. Кварцевые микровесы – принцип работы, применение для измерения толщины напыляемых пленок. 39. Модели зародышеобразования тонких пленок 40. Зонная модель роста пленок.

LMS-платформа – не предусмотрена

5.4 Содержание контрольно-оценочных мероприятий по направлениям воспитательной деятельности

Направления воспитательной деятельности сопрягаются со всеми результатами обучения компетенций по образовательной программе, их освоение обеспечивается содержанием всех дисциплин модулей.