



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДФУ)

ИНСТИТУТ НАУКОЕМКИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРЕДОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

«СОГЛАСОВАНО»
Руководитель ОП

(подпись)

Крайнова Г.С.

(Ф.И.О.)

« 27 » апреля 2022 г.



«УТВЕРЖДАЮ»

И.о. директора департамента общей и
экспериментальной физики

(подпись)

Короченцев В. В.

(Ф.И.О.)

« 27 » апреля 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Сканирующие зондовые микроскопы. Литографические методы в электронике

Направление подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Электроника и нанoeлектроника

Форма подготовки очная

курс 4 семестр 8

лекции 22 час.

практические занятия 34 час.

лабораторные работы не предусмотрены

в том числе с использованием MAO лек. - / пр. 20 / лаб. - час.

всего часов аудиторной нагрузки 56 час.

в том числе с использованием MAO 20 час.

самостоятельная работа 88 час.

в том числе на подготовку к экзамену 27 час.

контрольные работы (количество) 2

курсовая работа / курсовой проект не предусмотрены

зачет не предусмотрен

экзамен 8 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки 11.03.04 **Электроника и нанoeлектроника**, утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 19 сентября 2017 г. № 927 (с изменениями и дополнениями).

Рабочая программа обсуждена на заседании департамента общей и экспериментальной физики протокол № 7 от «3» марта 2022 г.

И.о. директора департамента: к.х.н., доцент Короченцев В. В.

Составитель (ли): к.ф.-м.н. Давыденко А.В.

Оборотная сторона титульного листа РПД

I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры/департамента:

Протокол от « ____ » _____ 20__ г. № _____

Директор департамента _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры/департамента:

Протокол от « ____ » _____ 20__ г. № _____

Директор департамента _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

III. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры/департамента:

Протокол от « ____ » _____ 20__ г. № _____

Директор департамента _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

IV. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры/департамента:

Протокол от « ____ » _____ 20__ г. № _____

Директор департамента _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

Цели и задачи освоения дисциплины:

Цель: изучение сканирующих зондовых микроскопов и приборов, связанных с использованием зондовых технологий. Рассмотрение литографических технологий для создания микроэлектронных устройств, обсуждение современных технологий электронной промышленности и перспектив развития литографических методов.

Задачи:

- Обучение базовым навыкам работы на атомно-силовом, сканирующем туннельном и магнитно-силовом микроскопах;
- Освоение программного обеспечения по обработке данных, полученных с помощью сканирующих микроскопов;
- Изучение базовых принципов фото и электронно-лучевой литографий, ионно-плазменного травления;
- Умение анализировать полученные экспериментальные данные и представлять их в форме научного отчета;
- Изучение современной научной литературы, в которой описаны современные литографические методы и технологии.

Для успешного изучения дисциплины «Сканирующие зондовые микроскопы. Литографические методы в электронике» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

- ОПК-1.1. Формулирует фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы;
- ОПК-2.3. Применяет основные методы и средства проведения экспериментальных исследований и измерений.

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие профессиональные компетенции:

| Тип задач | Код и наименование профессиональной компетенции | Тип задач |
|--------------------------|---|---|
| Научно-исследовательский | ПК-1 Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального | ПК-1.2. Работает с контрольно-измерительным оборудованием, используемым в нанoeлектронике |

| Тип задач | Код и наименование профессиональной компетенции | Тип задач |
|---------------------------------|---|---|
| | назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования | |
| Производственно-технологический | ПК-3 Способен выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники | ПК-3.3. Проводит подготовку к проведению процесса модификации свойств наноматериалов и наноструктур в соответствии с технической и эксплуатационной документацией |

| Код и наименование индикатора достижения компетенции | Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине) |
|---|---|
| ПК-1.2. Работает с контрольно-измерительным оборудованием, используемым в нанoeлектронике | Знает виды контрольно-измерительного оборудования, используемого в нанoeлектронике |
| | Умеет работать с контрольно-измерительным оборудованием, используемым в нанoeлектронике |
| | Владеет навыками работы с контрольно-измерительным оборудованием, используемым в нанoeлектронике, получать достоверные экспериментальные данные |
| ПК-3.3. Проводит подготовку к проведению процесса модификации свойств наноматериалов и наноструктур в соответствии с технической и эксплуатационной документацией | Знает принципы модификации свойств наноматериалов и наноструктур |
| | Умеет осуществлять подготовку к процессу модификации свойств наноматериалов и наноструктур |
| | Владеет навыками проведения процессов модификации свойств наноматериалов и наноструктур в соответствии с технической и эксплуатационной документацией |

2. Трудоёмкость дисциплины и видов учебных занятий по дисциплине

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 4 зачётные единицы 144 академических часа).

(1 зачетная единица соответствует 36 академическим часам)

Видами учебных занятий и работы обучающегося по дисциплине являются:

| Обозначение | Виды учебных занятий и работы обучающегося |
|-------------|--|
| Лек | Лекции |
| Пр | Практические работы |

| | |
|----------|---|
| СР | Самостоятельная работа обучающегося в период теоретического обучения |
| Контроль | Самостоятельная работа обучающегося и контактная работа обучающегося с преподавателем в период промежуточной аттестации |

Структура дисциплины:

Форма обучения – очная.

| № | Наименование раздела дисциплины | Семестр | Количество часов по видам учебных занятий и работы обучающегося | | | | | Формы промежуточной аттестации |
|--------|---|---------|---|-----|----|----|----------|--------------------------------|
| | | | Лек | Лаб | Пр | СР | Контроль | |
| 1 | Раздел I. Сканирующие зондовые микроскопы | 8 | 15 | - | 16 | 57 | 14 | ПР-2, ПР-6 |
| 2 | Раздел II. Литографические методы в электронике | | 15 | | 18 | | 13 | |
| Итого: | | | 30 | | 34 | 57 | 27 | |

I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

Лекционные занятия (30 час.)

Раздел I. Сканирующие зондовые микроскопы (12 часов)

Тема 1. Особенности сканирующих зондовых микроскопов (4 час.)

Введение в курс. История открытия и развития зондовых микроскопов. Классификация зондовых микроскопов. Общие элементы конструкции сканирующих зондовых микроскопов. Программная обработка изображений.

Тема 2. Сканирующий туннельный микроскоп (2 час.)

Приготовление вольфрамовых и платиноиридиевых игл. Теоретическое описание принципов функционирования сканирующего туннельного микроскопа. Конструкционные особенности. Режимы работы. Результаты, получаемые с помощью сканирующего туннельного микроскопа.

Тема 3. Атомно-силовая микроскопия (4 час.).

Теоретическое описание принципов функционирования сканирующего атомно-силового микроскопа. Конструкционные особенности. Контактная, полуконтактная и бесконтактная методики сканирования.

Результаты, получаемые с помощью сканирующего атомно-силового микроскопа.

Тема 4. Другие виды зондовых микроскопов (2 час.).

Электросиловая микроскопия. Магнитно-силовая микроскопия. Ближнепольная оптическая микроскопия.

Раздел II. Зондовые нанотехнологии в электронике. Основы нанолитографии (12 часов)

Тема 1. Фотолитография (6 час.)

Основные этапы литографических методов. Подготовка подложек. Чистка. Типы фоторезистов. Нанесение фоторезиста. Экспонирование. Проявление. Задубливание. Типы фотолиграфических установок. История развития.

Тема 2. Литография в ультрафиолетовом излучении (2 часа)

Фазосдвигающие маски. Техника многократного экспонирования. Просветляющие слои. Иммерсионная литография. Эксимерные лазеры. Глубокое ультрафиолетовое излучение. Отражающая оптика.

Тема 3. Электронно-лучевая и рентгеновская литография (2 часа)

Устройство установки электронно-лучевой литографии. Типы резистов для электронно-лучевой литографии. Параллелизация процесса. Будущее литографических методов.

Тема 4. Химическое и ионно-плазменное травление (2 часа)

Химическое травление, преимущества и недостатки. Ионно-плазменное травление. Реактивное химическое травление. Травление индуктивно связанной плазмой. Преимущества и недостатки.

II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА И САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Практические занятия (34 час.)

Занятия делятся на два типа. На занятиях первого типа студенты наблюдают за работой преподавателя, конспектируют необходимые моменты, учатся работать на установке. На занятиях второго типа студенты помимо вышеперечисленного получают данные, которые необходимо будет потом обработать. По полученным данным студенты должны подготовить отчет.

Занятие 1. Изучение вакуумной техники (1 тип) (4 час.).

Изучение базовых элементов вакуумных камер, принципов получения вакуума, загрузки и перемещения образцов.

Занятие 2. Изучение поверхностных фаз сканирующим туннельным микроскопом. Атомные манипуляции. (1 тип) (2 час.).

Изучение базовых принципов работы сканирующего туннельного микроскопа, наблюдение за работой преподавателя. Исследование поверхностной фазы Si(111) 7x7, Si(5.55x5.55-Cu) или др. с помощью сканирующего зондового микроскопа.

Занятие 3. Травление игл для сканирующего туннельного микроскопа (2 тип) (2 час.).

Изучение принципов работы установки электрохимического травления, самостоятельное травление вольфрамовых игл, контроль результатов травления на оптическом микроскопе.

Занятие 4. Измерение рельефа поверхности сканирующим туннельным микроскопом. Анализ осажденного покрытия. (2 тип) (4 час.)

Получение изображений рельефа тонкой металлической пленки на поверхности кремния.

Занятие 5. Сканирующая туннельная спектроскопия (1 тип) (2 час.)

Получение основных знаний о сканирующей зондовой спектроскопии, измерение кривых спектроскопии на разных участках полупроводникового образца с металлической пленкой

Занятие 6. Атомно-силовой микроскоп. Контактный режим работы. (1 тип) (2 час.)

Изучение общих принципов работы на атомно-силовом микроскопе, основных его конструктивных элементов. Наблюдение за работой преподавателя.

Занятие 7. Полуконтактный режим работы атомно-силового микроскопа (2 тип) (4 час.)

Тренировка работы в полуконтактном режиме. Самостоятельное снятие изображений рельефа образцов тонких пленок.

Занятие 8. Магнитно-силовая микроскопия пленок различными режимами (2 тип) (4 час.)

Изучение основных принципов магнитно-силовой микроскопии, изучение влияния различных параметров сканирования, намагниченности кантилевера на результаты сканирования пленок, получение магнитных изображений от поверхности пленки.

Занятие 9. Влияние типа магнитного кантилевера на магнитно-силовую микроскопию наноструктур (2 тип) (4 час.)

Самостоятельное исследование магнитных наноструктур, изучение влияния типа кантилевера и его магнитного состояния на полученные результаты

Занятие 10. Фотолитография (1 тип) (2 час.)

Изучение основных принципов фотолитографической установки. Получение маски из фоторезиста на поверхности образца для травления холловских микроструктур.

Занятие 11. Электронно-лучевая литография (1 тип) (2 час.)

Изучение основных принципов установки электронно-лучевой литографии. Получение маски из фоторезиста на поверхности образца для травления массивов наноточек.

Занятие 12. Ионно-плазменное травление (1 тип) (2 час.)

Изучение основных принципов ионно-плазменного травления. Травление холловских микроструктур и массивов наноточек, приготовленных на прошлых занятиях.

Задания для самостоятельной работы (84 час.)

Требования: После каждого практического занятия 2 типа обучающемуся необходимо обработать полученные результаты, построить графики зависимостей измеряемых величин, рассчитать требуемые величины и построить рассчитанные графики, объяснить их поведение и сделать правильные выводы.

Домашние задания к практическим занятиям

Практическая работа №3. Травление игл для сканирующего туннельного микроскопа (12 час.)

Для каждой вытравленной иглы постройте график соответствия тока травления от времени. Отметьте ток обрыва на графиках. Укажите параметры травления и фото получившихся игл. Выберите оптимальные параметры травления игл, опишите технологию изготовления игл, сделайте выводы.

Практическая работа №4. Измерение рельефа поверхности сканирующим туннельным микроскопом. Анализ осажденного покрытия. (12 час.)

Обработайте изображения поверхности тонких пленок с помощью программы Gwyddion. Сделайте процентный анализ заполнения слоями поверхности для каждого образца. Путем вычитания покрытия слоев определите количество осажденного материала на поверхность. Зная время напыления и показания кварцевого измерителя толщин, определите пересчетный коэффициент для осаждения заданного материала.

Практическая работа №7. Полуконтактный режим работы атомно-силового микроскопа (12 час.)

Обработайте все полученные изображения ($20 \times 20 \text{ мкм}^2$, $10 \times 10 \text{ мкм}^2$, $5 \times 5 \text{ мкм}^2$) поверхности тонких пленок или микроструктур с помощью программы Gwyddion. По каждому изображению определите параметры исследуемых образцов. Если исследуется сплошная пленка, то необходимо определить максимальный перепад высот, среднюю шероховатость, среднеквадратичную шероховатость, средний период неоднородности структуры, процентное содержание дефектов. Если исследуются микроструктуры, то необходимо определить их средние размеры.

Практическая работа №8. Магнитно-силовая микроскопия пленок различными режимами (12 час.)

Обработайте рельеф поверхности и соответствующие магнитные изображения поверхности с помощью программы Gwyddion. Укажите на магнитных изображениях поверхности направление намагниченности в доменах и прорисуйте доменные границы. Приведите отдельно рельеф поверхности, магнитную структуру и схему магнитных доменов так, чтобы можно было сравнить изображения. Сравните результаты, полученные в разных режимах работы микроскопа. Сделайте выводы.

Практическая работа №9. Влияние типа магнитного кантилевера на магнитно-силовую микроскопию наноструктур (12 час.)

Обработайте рельеф поверхности и соответствующие магнитные изображения поверхности с помощью программы Gwyddion. Укажите на магнитных изображениях поверхности направление намагниченности в доменах и прорисуйте доменные границы. Приведите отдельно рельеф поверхности, магнитную структуру и схему магнитных доменов так, чтобы

можно было сравнить изображения. Сравните результаты, полученные разными кантилеверами. Сделайте выводы.

III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине включает в себя:

- план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;
- требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;
- критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

| № п/п | Дата/сроки выполнения | Вид самостоятельной работы | Примерные нормы времени на выполнение | Форма контроля |
|---------------|------------------------------|--|--|----------------------------|
| 1 | 1-3 недели семестра | Домашнее задание по практическому занятию 3 | 12 час. | ПР-6 (лабораторная работа) |
| 2 | 4-6 недели семестра | Домашнее задание по практическому занятию 5 | 12 час | ПР-6 (лабораторная работа) |
| 3 | 7-8 недели семестра | Домашнее задание по практическому занятию 8 | 12 час. | ПР-6 (лабораторная работа) |
| 4 | 9-10 недели семестра | Подготовка к контрольной работе №1 | 12 час. | ПР-2 (контрольная работа) |
| 4 | 11-13 недели семестра | Домашнее задание по практическому занятию 9 | 12 час. | ПР-6 (лабораторная работа) |
| 5 | 14-15 недели семестра | Домашнее задание по практическому занятию 10 | 12 час. | ПР-6 (лабораторная работа) |
| 6 | 16-18 недели семестра | Подготовка к контрольной работе №2 | 12 час. | ПР-2 (контрольная работа) |
| Итого: | | | 84 час. | |

Рекомендации по самостоятельной работе студентов

Планирование и организация времени, отведенного на выполнение

заданий самостоятельной работы.

Изучив график выполнения самостоятельных работ, следует правильно её организовать. Рекомендуется изучить структуру каждого задания, обратить внимание на график выполнения работ, отчетность по каждому заданию предоставляется в последнюю неделю согласно графику. Обратите внимание, что итоги самостоятельной работы влияют на окончательную оценку по итогам освоения учебной дисциплины.

Главное в период обучения своей специальности - это научиться методам самостоятельного умственного труда, сознательно развивать свои творческие способности и овладевать навыками творческой работы. Для этого необходимо строго соблюдать дисциплину учебы и поведения.

Каждому студенту следует составлять еженедельный и семестровый планы работы, а также план на каждый рабочий день. С вечера всегда надо распределять работу на завтра. В конце каждого дня целесообразно подводить итог работы: тщательно проверить, все ли выполнено по намеченному плану, не было ли каких-либо отступлений, а если были, по какой причине это произошло. Нужно осуществлять самоконтроль, который является необходимым условием успешной учебы. Если что-то осталось невыполненным, необходимо изыскать время для завершения этой части работы, не уменьшая объема недельного плана.

Работа с литературой.

При выполнении ряда заданий требуется работать с литературой. Рекомендуется использовать различные возможности работы с литературой: фонды научной библиотеки ДВФУ (<http://www.dvfu.ru/library/>) и других ведущих вузов страны, а также доступных для использования научно-библиотечных систем.

Работа с конспектом лекций

В конспекте лекций необходимо кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Нужно проверять термины, понятия с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации или практических работах.

Методические рекомендации по выполнению заданий для самостоятельной работы и критерии оценки.

Практическая работа первого типа требует теоретической подготовки.

Студент должен прочитать лекции по изучаемому микроскопу. Самостоятельно выяснить непонятные моменты или подготовить список вопросов, чтобы задать их преподавателю на практическом занятии. Перед практической работой второго типа студент должен прочитать необходимую учебную литературу для понимания физических процессов, изучаемых в лабораторной работе. После успешного выполнения лабораторной работы студент самостоятельно пишет обрабатывает полученные данные и пишет отчет по лабораторной работе. В методических указаниях по выполнению лабораторных работ после каждой лабораторной работы следуют контрольные вопросы. На них необходимо подготовить ответы. Кроме того, необходимо иметь базовые знания по изучаемой теме. Только после теоретической подготовки и написания отчета можно пробовать сдать отчет. Сдача отчета проводится во время практических занятий, когда студенты не работают за лабораторными установками.

Структура отчета по практическому занятию

Отчеты по практическим работам представляются в электронной форме, подготовленные как текстовые документы в редакторе MSWord.

Отчет по работе должен быть обобщающим документом, включать всю информацию по выполнению заданий, в том числе, построенные диаграммы, таблицы, приложения, список литературы и (или) расчеты, сопровождая необходимыми пояснениями и иллюстрациями в виде схем, экранных форм («скриншотов») и т. д.

Структурно отчет по практической работе, как текстовый документ, комплектуется по следующей схеме:

- ✓ *Титульный лист*– обязательная компонента отчета, первая страница отчета, по принятой для практических работ форме (титульный лист отчета должен размещаться в общем файле, где представлен текст отчета);
- ✓ *Исходные данные к выполнению заданий*– обязательная компонента отчета, с новой страницы, содержат указание варианта, темы и т.д.);
- ✓ *Основная часть*– материалы выполнения заданий, разбивается по рубрикам, соответствующих заданиям работы, с иерархической структурой: разделы – подразделы – пункты – подпункты и т. д.

Рекомендуется в основной части отчета заголовки рубрик (подрубрик) давать исходя из формулировок заданий, в форме отглагольных существительных;

- ✓ *Выводы*– обязательная компонента отчета, содержит обобщающие выводы по работе (какие задачи решены, оценка результатов, что освоено при выполнении работы);

- ✓ *Список литературы*– обязательная компонента отчета, с новой страницы, содержит список источников, использованных при выполнении работы, включая электронные источники (список нумерованный, в соответствии с правилами описания библиографии);
- ✓ *Приложения*– необязательная компонента отчета, с новой страницы, содержит дополнительные материалы к основной части отчета.

Оформление отчета по практической работе

Отчет по практической работе относится к категории «*письменная работа*», оформляется *по правилам оформления письменных работ студентами ДВФУ*.

Необходимо обратить внимание на следующие аспекты в оформлении отчетов работ:

- набор текста;
- структурирование работы;
- оформление заголовков всех видов (рубрик-подрубрик-пунктов-подпунктов, рисунков, таблиц, приложений);
- оформление перечислений (списков с нумерацией или маркировкой);
- оформление таблиц;
- оформление иллюстраций (графики, рисунки, фотографии, схемы, «скриншоты»);
- набор и оформление математических выражений (формул);
- оформление списков литературы (библиографических описаний) и ссылок на источники, цитирования.

Набор текста

Набор текста осуществляется на компьютере, в соответствии со следующими требованиями:

- ✓ печать – на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (размер 210 на 297 мм.);
- ✓ интервал межстрочный – полуторный;
- ✓ шрифт – TimesNewRoman;
- ✓ размер шрифта - 14 пт., в том числе в заголовках (в таблицах допускается 10-12 пт.);
- ✓ выравнивание текста – «по ширине»;
- ✓ поля страницы -левое – 25-30 мм., правое – 10 мм., верхнее и нижнее – 20 мм.;

✓ нумерация страниц – в правом нижнем углу страницы (для страниц с книжной ориентацией), сквозная, от титульного листа до последней страницы, арабскими цифрами (первой страницей считается титульный лист, на котором номер не ставится, на следующей странице проставляется цифра «2» и т. д.).

✓ режим автоматического переноса слов, за исключением титульного листа и заголовков всех уровней (перенос слов для отдельного абзаца блокируется средствами MSWord с помощью команды «Формат» – абзац при выборе опции «запретить автоматический перенос слов»).

Если рисунок или таблица размещены на листе формата больше А4, их следует учитывать, как одну страницу. Номер страницы в этих случаях допускается не проставлять.

Список литературы и все *приложения* включаются в общую в сквозную нумерацию страниц работы.

*Рекомендации по оформлению графического материала,
полученного с экранов в виде «скриншотов»*

Графические копии экрана («скриншоты»), отражающие графики, диаграммы моделей, схемы, экранные формы и т. п. должны отвечать требованиям визуальной наглядности представления иллюстративного материала, как по размерам графических объектов, так и разрешающей способности отображения текстов, цветовому оформлению и другим важным пользовательским параметрам.

Рекомендуется в среде программного приложения настроить «экран» на параметры масштабирования и размещения снимаемых для иллюстрации объектов. При этом необходимо убрать «лишние» окна, команды, выделения объектов и т. п.

В перенесенных в отчет «скриншотах» рекомендуется «срезать» ненужные области, путем редактирования «изображений», а при необходимости отмасштабировать их для заполнения страницы отчета «по ширине».

«Скриншоты» в отчете оформляются как рисунки, с заголовками, помещаемыми ниже области рисунков, а в тексте должны быть ссылки на указанные рисунки.

Критерии оценки выполнения самостоятельной работы

Оценивание отчетов по практическим работам проводится по критериям:

- полнота и качество выполненных заданий;

- владение методами и приемами компьютерного моделирования в исследуемых вопросах, применение специализированных программных средств;
- качество оформления отчета, использование правил и стандартов оформления текстовых и электронных документов;
- использование данных отечественной и зарубежной литературы, источников сети Интернет, информации нормативно-правового характера и передовой практики;
- отсутствие фактических ошибок, связанных с пониманием проблемы.
- правильно сделанные выводы
- правильные и полные ответы на контрольные вопросы, понимание теоретического материала

IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

| № п/п | Контролируемые модули/разделы / темы дисциплины | Код индикатора достижения компетенции | Результаты обучения | Оценочные средства – наименование | |
|-------|--|---|---|---|--------------------------|
| | | | | текущий контроль | промежуточная аттестация |
| 1 | Раздел I. Сканирующие зондовые микроскопы | ПК-1.2. Работает с контрольно-измерительным оборудованием, используемым в нанoeлектронике | Знает виды контрольно-измерительного оборудования, используемого в нанoeлектронике | ПР-6 (лабораторная работа), ПР-2 (контрольная работа) | Экзамен (вопросы 1-24) |
| | | | Умеет работать с контрольно-измерительным оборудованием, используемым в нанoeлектронике | | |
| | | | Владеет навыками работы с контрольно-измерительным оборудованием, используемым в нанoeлектронике, получать достоверные экспериментальные данные | | |
| 2 | Раздел II. Литографические методы в электронике | ПК-3.3. Проводит подготовку к проведению процесса модификации свойств наноматериалов и наноструктур в соответствии с технической и эксплуатационной документацией | Знает принципы модификации свойств наноматериалов и наноструктур | ПР-6 (лабораторная работа), ПР-2 (контрольная работа) | Экзамен (вопросы 25-34) |
| | | | Умеет осуществлять подготовку к процессу модификации свойств наноматериалов и наноструктур | | |
| | | | Владеет навыками проведения процессов модификации свойств наноматериалов и наноструктур в соответствии с технической и эксплуатационной документацией | | |

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также качественные критерии оценивания, которые описывают уровень сформированности компетенций, представлены в разделе VIII.

V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

(электронные и печатные издания)

1. Неволин В.К. Зондовые нанотехнологии в электронике. М. Техносфера, 2014. – 174 с. <http://www.iprbookshop.ru/26894.html>
2. Беркин А.Б. Физические основы вакуумной техники : учебное пособие / Беркин А.Б., Василевский А.И. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2014. — 84 с. <http://www.iprbookshop.ru/45189.html>
3. Старостин В.В. Материалы и методы нанотехнологии: Учебное пособие / Под общ. редакцией Л.Н. Патрикеева. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. - 432 с.: ил. <http://www.iprbookshop.ru/4589.html>
4. Кирчанов В.С. Наноматериалы и нанотехнологии : учебное пособие / Кирчанов В.С.. — Пермь : Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2016. — 241 с <http://www.iprbookshop.ru/105597.html>
5. Лозовский В.Н. Нанотехнологии в электронике. Введение в специальность: Учебное пособие / Лозовский В.Н., Лозовский С.В. — Спб.: изд. «Лань». — 2019. — 332 с. <https://e.lanbook.com/reader/book/113943/#2>

Дополнительная литература

1. Головин Ю.И. Основы нанотехнологий – Изд. "Машиностроение", 2012. - 656 с. <http://www.iprbookshop.ru/18532.html>
2. Филимонова Н.И. Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов и структур. Сканирующая зондовая микроскопия. Часть I : учебное пособие / Филимонова Н.И., Кольцов Б.Б. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2013. — 134 с. <http://www.iprbookshop.ru/45104.html>
3. Колокольцев С.Н. Углеродные материалы. Свойства, технологии, применения : учебное пособие / Колокольцев С.Н.. — Долгопрудный : Издательский Дом «Интеллект», 2012. — 295 с. <http://www.iprbookshop.ru/103389.html>
4. Зебрев, Г. И. Физические основы кремниевой наноэлектроники : учебное пособие для вузов / Г. И. Зебрев. — 4-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 241 с.

<http://www.iprbookshop.ru/4585.html>

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. Нанотехнологии в России <http://www.nanonewsnet.ru>
2. Российский электронный наножурнал <http://www.nanorf.ru>
3. Проект о современной фундаментальной науке
«ПостНаука» <http://postnauka.ru>
4. Нанотехнологическое общество «Нанометр» <http://www.nanometer.ru>

Перечень информационных технологий и программного обеспечения

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине используется общее программное обеспечение компьютерных учебных классов (Windows XP, Microsoft Office и др.), а также специализированное свободно распространяемое программное обеспечение по обработке экспериментальных данных Gwyddion.

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. База данных Scopus <http://www.scopus.com/home.url>
2. База данных Web of Science <http://apps.webofknowledge.com/>
3. Научная электронная библиотека <http://www.elibrary.ru>

VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Планирование и организация времени, отведенного на изучение дисциплины. Приступить к освоению дисциплины следует незамедлительно в самом начале учебного семестра. Рекомендуется изучить структуру и основные положения Рабочей программы дисциплины. Обратит внимание, что кроме аудиторной работы (лекции, практические занятия) планируется самостоятельная работа, итоги которой влияют на окончательную оценку по итогам освоения учебной дисциплины. Все задания (аудиторные и самостоятельные) необходимо выполнять и предоставлять на оценку в соответствии с графиком.

В процессе изучения материалов учебного курса предлагаются следующие формы работ: чтение лекций, практические занятия, задания для самостоятельной работы.

Лекционные занятия ориентированы на освещение вводных тем в каждый раздел курса и призваны ориентировать студентов в предлагаемом материале, заложить научные и методологические основы для дальнейшей самостоятельной работы студентов. Успешное освоение дисциплины предполагает активное участие студентов на всех этапах ее освоения. Изучение дисциплины следует начинать с проработки содержания рабочей программы и методических указаний. При изучении и проработке теоретического материала студентам необходимо:

- повторить законспектированный на лекционном занятии материал и дополнить его с учетом рекомендованной по данной теме литературы;
- перед очередной лекцией просмотреть конспект предыдущего занятия;
- при самостоятельном изучении темы сделать конспект, используя рекомендованные в РПУД литературные источники.

В случае, если возникли затруднения, обратиться к преподавателю в часы консультаций или на практическом занятии.

Практические занятия акцентированы на наиболее принципиальных и проблемных вопросах курса и призваны стимулировать выработку практических умений. Основной целью проведения практических занятий является систематизация и закрепление знаний по изучаемой теме, формирование умений самостоятельно работать с дополнительными источниками информации, аргументировано высказывать и отстаивать свою точку зрения.

При подготовке к практическим занятиям студентам необходимо:

- повторить теоретический материал по заданной теме;
- продумать формулировки вопросов, выносимых на обсуждение;
- использовать не только конспект лекций, но и дополнительные источники литературы, рекомендованные преподавателем.

Контрольные работы предназначены для поэтапного усвоения материала студентами, стимуляции активного изучения теоретических основ зондовой микроскопии в течение всего семестра, возможного применения рейтинговой системы оценки.

Особо значимой для профессиональной подготовки студентов является *самостоятельная работа* по курсу. В ходе этой работы студенты отбирают

необходимый материал по изучаемому вопросу и анализируют его. Студентам необходимо ознакомиться с основными источниками, без которых невозможно полноценное понимание проблематики курса.

Освоение курса способствует развитию навыков обоснованных и самостоятельных оценок фактов и концепций. Поэтому во всех формах контроля знаний, особенно при сдаче экзамена, внимание обращается на понимание проблематики курса, на умение практически применять знания и делать выводы.

Работа с литературой. Рекомендуется использовать различные возможности работы с литературой: фонды научной библиотеки ДВФУ и электронные библиотеки (<http://www.dvfu.ru/library/>), а также доступные для использования другие научно-библиотечные системы.

Подготовка к экзамену. К сдаче экзамена допускаются обучающиеся, сдавшие 5 отчетов по практическим работам, написавшие 2 предусмотренные учебной программой дисциплины контрольные работы, посетившие не менее 75% аудиторных занятий.

VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Перечень материально-технического и программного обеспечения дисциплины приведен в таблице.

Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

| Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы | Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы | Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа |
|---|---|--|
| 690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус L, ауд. L 441. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации | Помещение укомплектовано специализированной учебной мебелью (посадочных мест – 15) Оборудование: ЖК-панель 47", Full HD, LG M4716 CCBA – 1 шт. Доска аудиторная. | Специализированное ПО не требуется |
| 690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус L, ауд. L 320. Лаборатория пленочных технологий | Сканирующий туннельный микроскоп Omicron VT, атомно-силовой микроскоп Ntegra Aura | ПО, позволяющее выполнять лабораторные работы |
| 690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок | Оборудование: Моноблок Lenovo C360G-i34164G500UDK – 15 шт. | Специализированное ПО не требуется |

| | | |
|---|--|--|
| <p>Аякс, 10, корп. А (Лит. П), Этаж 10, каб.А1017. Аудитория для самостоятельной работы</p> | <p>Интегрированный сенсорный дисплей Polymedia FlipBox - 1 шт. Копир-принтер-цветной сканер в e-mail с 4 лотками Xerox WorkCentre 5330 (WC5330C – 1 шт.)</p> | |
|---|--|--|

Для проведения учебных занятий по дисциплине, а также для организации самостоятельной работы студентам доступны лабораторное оборудование и специализированные кабинеты, соответствующие действующим санитарным и противопожарным нормам, а также требованиям техники безопасности при проведении учебных и научно-производственных работ.

В целях обеспечения специальных условий обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в ДВФУ все здания оборудованы пандусами, лифтами, подъемниками, специализированными местами, оснащенными туалетными комнатами, табличками информационно-навигационной поддержки.

VIII. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Для дисциплины «Сканирующие зондовые микроскопы. Литографические методы в электронике» используются следующие оценочные средства:

Устный опрос:

1. Лабораторная работа (ПР-6) защита отчета

Письменные работы

2. Лабораторная работа (ПР-6) написание отчета
3. Контрольная работа (ПР-2)

Устный опрос

Устный опрос позволяет оценить знания и кругозор студента, понимание материала, самостоятельность выполнения домашних задач, умение логически построить ответ, владение монологической речью и иные коммуникативные навыки.

Обучающая функция состоит в выявлении деталей, которые по каким-то причинам оказались недостаточно осмысленными в ходе учебных занятий и при подготовке к экзамену.

Письменные работы

Письменный ответ приучает к точности, лаконичности, связности

изложения мысли. Письменная проверка используется во всех видах контроля и осуществляется как в аудиторной, так и во внеаудиторной работе.

Лабораторные работы позволяют студентам непосредственно ознакомиться с научным экспериментальным оборудованием, научиться получать экспериментальные результаты, обрабатывать их, анализировать результаты и делать выводы.

Контрольные работы нужны для более полного и постепенного усвоения теоретического материала и проверки самостоятельной работы студентов в данном направлении.

Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины

Оценочные средства для промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Сканирующие зондовые микроскопы. Литографические методы в электронике» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной. Форма отчётности по дисциплине – экзамен (7-й, осенний семестр). Форма экзамена – два вопроса, на которые студенту дается 20 мин подготовки и два произвольных дополнительных вопроса. Допуск к экзамену возможен только после сдачи всех отчетов по практическим занятиям и написанию контрольных работ.

Методические указания по сдаче экзамена

Экзамен принимается ведущим преподавателем. При большом количестве групп у одного преподавателя или при большой численности потока по распоряжению заведующего кафедрой (заместителя директора по учебной и воспитательной работе) допускается привлечение в помощь ведущему преподавателю других преподавателей. В первую очередь привлекаются преподаватели, которые проводили лабораторные занятия по дисциплине в группах.

В исключительных случаях, по согласованию с заместителем директора Школы по учебной и воспитательной работе, заведующий кафедрой имеет право принять экзамен в отсутствие ведущего преподавателя.

Форма проведения экзамена (устная, письменная и др.) утверждается на заседании кафедры по согласованию с руководителем в соответствии с рабочей программой дисциплины.

Во время проведения экзамена студенты могут пользоваться рабочей программой дисциплины, а также с разрешения преподавателя, проводящего зачет, справочной литературой и другими пособиями (учебниками, учебными пособиями, рекомендованной литературой и т.п.).

Время, предоставляемое студенту на подготовку к ответу на экзамене, должно составлять не более 20 минут. По истечении данного времени студент должен быть готов к ответу.

Присутствие на экзамене посторонних лиц (кроме лиц, осуществляющих проверку) без разрешения соответствующих лиц (ректора либо проректора по учебной и воспитательной работе, директора Школы, руководителя ОПОП или заведующего кафедрой), не допускается. Инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья, не имеющие возможности самостоятельного передвижения, допускаются на экзамен с сопровождающими.

При промежуточной аттестации обучающимся устанавливается оценка «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». При неявке студента на экзамен в ведомости делается запись «не явился».

Вопросы к экзамену

1. Понятия «наносистема», «нанотехнологии», «наноматериалы». История развития зондовых микроскопов.
2. Общие принципы работы сканирующих зондовых микроскопов (СЗМ).
3. Сканирующие элементы зондовых микроскопов. Нелинейность, крип и гистерезис пьезокерамики.
4. Устройства для прецизионных перемещений зонда и образца.
5. Защита зондовых микроскопов от внешних воздействий. Стабилизация термодрейфа.
6. Формирование СЗМ изображений. Вычитание плоскости. Построчное вычитание.
7. Медианная фильтрация. Фурье-фильтрация. Методы восстановления поверхности по ее СЗМ изображению.
8. Физические основы сканирующей туннельной микроскопии (СТМ). Режимы работы СТМ.
9. Измерение локальной работы выхода в СТМ. Измерение вольт-амперной характеристики (ВАХ) контакта.
10. Система управления СТМ. Конструкции СТМ.
11. Туннельная спектроскопия. ВАХ металл-металл, металл-полупроводник, металл-сверхпроводник.
12. Принципы атомно-силовой микроскопии (АСМ).

13. Зонды СТМ и АСМ. Приготовление зондов.
14. Контактная АСМ. Зависимость силы взаимодействия между зондом и образцом от расстояния между ними. Система управления АСМ в контактном режиме.
15. Колебательные методики АСМ. Общие принципы.
16. Бесконтактный режим работы АСМ.
17. Полуконтактный режим работы АСМ.
18. Электросиловая микроскопия.
19. Магнитно-силовая микроскопия (МСМ). Квазистатические методики.
20. Колебательные методики МСМ. Система управления АСМ, МСМ (колебательные методики).
21. Ближнепольная оптическая микроскопия.
22. СТМ литография.
23. Локальное анодное окисление.
24. АСМ литография.
25. Типы фоторезистов. Нанесение фоторезистов. Сушка.
26. Контактная фотолитография. Экспонирование. Ртутные лампы.
27. Проекционная фотолитография. Экспонирование. Ртутные лампы.
28. Проявление и задубливание.
29. Эксимерные лазеры. Фазосдвигающие маски. Иммерсионная технология. Другие способы увеличения разрешения.
30. Литография в глубоком ультрафиолете. Особенности. Оптика.
31. Электронно-лучевая литография. Физические принципы. Особенности работы. Сравнение с фотолитографией. Пределы использования.
32. Химическое и ионно-плазменное травление. Сравнительный анализ.
33. Плазменное травление и плазмо-химическое травление. Плазмохимическое осаждение.
34. Травление индуктивно связанной плазмой. Особенности.

Критерии выставления оценки студенту на экзамене по дисциплине «Сканирующие зондовые микроскопы. Литографические методы в электронике»:

| Баллы (рейтинговой оценки) | Оценка экзамена (стандартная) | Требования к сформированным компетенциям |
|----------------------------|-------------------------------|--|
| 86 -100 | отлично | Оценка «отлично» выставляется студенту, если он полно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими |

| | | |
|---------|---------------------|---|
| | | видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач. |
| 76 - 85 | хорошо | Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения. |
| 61 -75 | удовлетворительно | Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при решении задач. |
| 0 -60 | неудовлетворительно | Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного «не материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет решение задач. Как правило, оценка «неудовлетворительно» «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине. |

Оценочные средства для текущей аттестации

Текущая аттестация студентов по дисциплине проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация проводится в форме контрольных мероприятий (контрольных работ и сдаче отчетов по практическим работам) по оцениванию фактических результатов обучения студентов и осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина (своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость всех видов занятий по аттестуемой дисциплине);
- степень усвоения теоретических знаний;
- уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы;
- посещение занятий
- результаты самостоятельной работы.

Составляется календарный план контрольных мероприятий по дисциплине. Оценка посещаемости, своевременность выполнения различных видов заданий ведётся на основе журнала, который ведёт преподаватель в течение учебного семестра.

Устный опрос в сочетании с проверкой отчета по практической работе

Оценивание защиты практической работы проводится при представлении отчета в электронном или печатном виде, по двухбалльной шкале: «зачтено», «не зачтено».

Пример контрольных вопросов к практической работе «Полуконтактный режим работы атомно-силового микроскопа»:

1. Как атомно-силовой микроскоп получает информацию о рельефе поверхности?
2. В чем отличие контактного и полуконтактного режимов работы атомно-силового микроскопа?
3. На какие параметры работы атомно-силового микроскопа влияет ширина балки кантилевера?
4. Что такое добротность системы? Как можно увеличить добротность?
5. При каких условиях будет происходить «клевок» кантилевера к поверхности при подводе?

Критерии оценивания отчета по практической работе

| Оценка | Требования |
|--------------|---|
| «зачтено» | Студент присутствовал на практическом занятии, оформил отчет в соответствии с требованиями, правильно построил графические зависимости физических величин, сделал правильные выводы, объяснил ход закономерностей, продемонстрировал глубокое знание теории изучаемых явлений, правильно ответил на контрольные вопросы |
| «не зачтено» | Студент не предоставил отчет, либо отчет не соответствует установленным требованиям по оформлению или содержанию, не содержит выводов. Студент предоставил правильно оформленный отчет, но использовал не те данные. Студент предоставил правильно оформленный отчет, но не может ответить на контрольные вопросы. |

Контрольная работа

Контрольная работа проводится в виде теста. Тест оценивается по четырехбалльной системе «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «неудовлетворительно».

Пример тестового задания

Подчеркните правильные варианты ответов по вашему мнению. Внимательно смотрите на вопрос, в некоторых заданиях правильных вариантов ответа может быть несколько.

1. Характерное расстояние между зондом и образцом в современных зондовых микроскопах составляет
0.01-0.1 нм

- 0.1-10 нм
10-100 нм
100-1000 нм
2. Без какого элемента невозможна работа сканирующего зондового микроскопа
- Обратная связь
 - Система виброизоляции
 - Зонд
 - Стабильная температура в помещении
3. Из каких материалов изготавливаются сканирующие элементы зондовых микроскопов?
- Магнитострикционные материалы
 - Пироэлектрики
 - Высокочастотные диэлектрики
 - Пьезоэлектрики
4. Почему сканеры обычно делают из поликристаллических, а не монокристаллических материалов?
- У монокристаллов хуже характеристики
 - Поликристаллическая керамика более технологична
 - Поликристаллическая керамика более долговечна
 - Все вышеперечисленное верно
5. Какие виды пьезосканеров реально существуют (может быть несколько правильных вариантов ответа)?
- Трубчатые
 - Столбчатые
 - Биморфные
 - Растровые
 - Сопряженные
6. Когда крип при сканировании проявляется наиболее сильно?
- При температурной нестабильности окружающей среды
 - При вибрациях
 - При наводках в электрической сети
 - При выводе сканера в начальную точку
7. Как избавиться от проявления гистерезиса пьезокерамики во время сканирования?
- Сканировать в одном направлении
 - Уменьшить частоту сканирования
 - Лучше настроиться на резонансную частоту
 - Уменьшить вибрации системы

8. Как может быть реализована система грубого подвода?
С помощью пьезокерамики
С помощью шаговых электродвигателей
С помощью механических редукторов
Все варианты верны
9. Лучшей защитой от акустических шумов является
Колпак на микроскопе
Активная система виброизоляции
Микроскоп в вакуумной камере
Пассивная система виброизоляции
10. Какая операция по обработке изображения чаще всего применяется первой?
Вычитание постоянной плоскости
Построчное вычитание
Медианная фильтрация
Фурье-фильтрация
11. Какая фильтрация способна необратимо удалить часть информации из СЗМ изображения?
Построчное вычитание
Вычитание постоянного наклона
Вычитание постоянной
Прямое и обратное преобразование Фурье
12. Какой тип фильтрации наиболее эффективен при периодическом шуме?
Медианная фильтрация
Ручное редактирование сплайн интерполяцией
Двумерная фурье-фильтрация
Сглаживание
13. Вероятность туннелирования электронов в СТМ зависит от высоты потенциального барьера
Линейно
Квадратично
Экспоненциально
Логарифмически
14. В каких случаях система обратной связи принудительно отключается?
Для измерения рельефа атомарно-гладкой поверхности
Для измерения рельефа шероховатой поверхности
В режиме туннельной спектроскопии
Для тестирования подвода иглы
15. В каком растворе травят вольфрамовые иглы для СТМ?

- В спиртовом
В кислотном
В щелочном
В дистиллированной воде
16. В чем преимущества зонда из платиноиридиевой проволоки по сравнению с вольфрамовым (может быть несколько правильных вариантов ответа)?
Легче изготавливать
Дороже
Стабильнее на рельефных поверхностях
Не требует высокотемпературного отжига
17. Информацию о чем можно получить в режиме сканирующей туннельной спектроскопии?
О локальной проводимости образца
О локальной плотности состояний
О подвижности носителей
О концентрации носителей
18. Какой артефакт при сканировании оказывает наиболее сильное влияние на результат?
Гистерезис пьезокерамики
Крип пьезокерамики
Термодрейф
Зависит от конкретных условий скана
19. Почему ВАХ металл-металл, измеренная с помощью сканирующей туннельной спектроскопии нелинейна при больших напряжениях?
Изменяется количество туннелирующих электронов
Изменяется форма потенциального барьера
Изменяется толщина потенциального барьера
Изменяется плотность состояний в образце
20. При контакте каких материалов в СТМ энергетическая диаграмма соединения будет содержать щель (может быть несколько правильных вариантов ответа)?
Металл-полупроводник
Металл-металл
Металл-диэлектрик
Металл-сверхпроводник
21. Наиболее вероятная причина двоения изображения в СТМ?
Термодрейф
Вибрации

Двойной кончик иглы

Наводки в электросети

22. В потенциале Леннарда-Джонса показатели степени при относительных расстояниях равны
5 и 10
6 и 12
7 и 14
8 и 16
23. Кем был изобретен атомно-силовой микоскоп?
Биннингом и Рорером
Рорером и Маслоу
Гербером и Фишером
Биннингом, Гербером и Куэйтом
24. Чтобы АСМ получил сигнал отвести кантилевер, нужно получить разностный ток между
Нижними и верхними секциями фотодиода
Правыми и левыми секциями фотодиода
Нижней правой и верхней левой секциями фотодиода
Недостаточно условий для ответа
25. От каких параметров зависит резонансная частота колебаний прямоугольной балки кантилевера?
Плотность, момент инерции сечения, длина и площадь поперечного сечения
Плотность, модуль Юнга, длина и площадь поперечного сечения
Модуль Юнга, длина и площадь поперечного сечения
Все варианты верны
26. Как изготавливают кантилеверы?
Механически
Химически
Литографией
Самосборкой
27. Когда используют контактный режим работы АСМ?
Когда образцы мягкие, и нужно получить лучше сигнал
Когда образцы жесткие, и нужно получить лучше сигнал
Когда нужно получить лучше сигнал вне зависимости от жесткости образцов
Всегда, когда жесткость образцов позволяет работать
28. Какой режим сканирования АСМ использовать, если рельеф поверхности развитый?
Постоянной силы
Постоянной средней высоты

Модуляции на первой гармонике

Постоянного наклона

29. Для наблюдения эффекта скачка зонда к поверхности необходимо, чтобы

Жесткость выбранного кантилевера была больше, чем максимум производной силы по координате z .

Жесткость выбранного кантилевера была меньше, чем максимум производной силы по координате z .

Жесткость выбранного кантилевера была точно равна максимуму производной силы по координате z .

Правильного ответа нет

30. Какую информацию можно получить по кривым подвода кантилевера в контактном режиме?

Информацию о характере взаимодействия зонда с поверхностью

Информацию о локальной жесткости

Информацию о распределении сил адгезии на поверхности

Все варианты верны

31. Как увеличить добротность АСМ?

Работать в вакууме

Использовать активную систему виброизоляции

Использовать кантилевер с углеродными нанотрубками

Стабилизировать температуру в помещении

32. Увеличение диссипации при работе АСМ приводит к (может быть несколько правильных вариантов ответа)

Уменьшению резонансной частоты АЧХ

Увеличению резонансной частоты АЧХ

Сужению области изменения ФЧХ

Расширению области изменения ФЧХ

33. В каком режиме работы АСМ амплитуда колебаний кантилевера обычно максимальна?

В контактном

В полуконтактном

В бесконтактном

В осевом

34. Почему необходимо работать на резонансной частоте в полуконтактном режиме работы АСМ?

Система стабильнее работает

Меньше термодрейф

Меньше крип

Максимальная чувствительность

35. Теория какого режима АСМ наиболее сложная?

Контактный

Полуконтактный

Бесконтактный

Разницы нет

Критерии оценивания контрольных работ

| Оценка | Требования |
|------------------------------|---|
| «отлично» | Студент решил 70% тестовых заданий |
| «хорошо» | Студент решил 55% тестовых заданий |
| «удовлетворительно» | Студент решил 40% тестовых заданий |
| «неудовлетворительно» | Студент решил менее 40% тестовых заданий. |