

Специальные вопросы туннельной и атомно-силовой микроскопии

1) Краткое содержание дисциплины.

В рамках дисциплины «Специальные вопросы туннельной и атомно-силовой микроскопии» изучаются физические основы сканирующей зондовой микроскопии, устройство и принцип работы сканирующих зондовых микроскопов, основные методики туннельной и атомно-силовой микроскопии и особенностей их применения при исследованиях в вакууме, жидкости и при изменениях температуры.

2) Кредитная стоимость дисциплины.

3,5 Cr ECTS (3,0 ЗЕТ, 108 ач, включая экзамен)

3) Цель

Целью изучения дисциплины является подготовка высококвалифицированных специалистов, умеющих результативно использовать методики туннельной и атомно-силовой микроскопии для исследования свойств материалов на наноуровне и способных на основе полученных знаний к активной творческой работе в области современной технической физики и нанотехнологий как в научно-исследовательских учреждениях, так и в условиях промышленного производства.

Это полностью соответствует цели основной образовательной программы подготовки выпускников-магистров по направлению 223200 «Техническая физика», которой является формирование у них знаний, умений, навыков, обеспечивающих способность к самостоятельной творческой профессиональной деятельности в условиях быстро развивающихся наукоемких отраслей техники и технологии.

4) Результаты обучения:

Знания, навыки, умения:

- знание основных представлений о современных тенденциях в развитии методов сканирующей зондовой микроскопии и об инновационных результатах научных исследований, полученных с применением методов сканирующей зондовой микроскопии;
- знание физических основ сканирующей зондовой микроскопии, устройства, принципа работы и основных методик туннельной и атомно-силовой микроскопии;
- умение получать количественные оценки и характеристические параметры объектов исследования из экспериментальных данных, полученных методами сканирующей зондовой микроскопии;
- способность самостоятельно осваивать новые методики туннельной и атомно-силовой микроскопии, используемые в профессиональной области, выбирать режимы работы зондового микроскопа, а также параметры сканирования на основе предварительных данных об объекте исследования;

Компетенции:

ОК-2, способность к самостоятельному обучению новым методам исследования, пополнению своих знаний в области современных проблем технической физики и смежных наук, готовность к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности, к изменению социокультурных и социальных условий деятельности.

ПК-1, способность к профессиональной эксплуатации современного научного и технологического оборудования и приборов (в соответствии с целями ООП магистратуры).

ПК-2, способность демонстрировать и использовать углубленные теоретические и практические знания фундаментальных и прикладных наук, в том числе и те, которые находятся на передовом рубеже технической физики.

ПК-4, способность вскрыть физическую, естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, провести их качественный и количественный анализ.

ПК-5, способность осуществлять научный поиск и разработку новых перспективных подходов и методов к решению профессиональных задач, готовность к профессиональному росту, к активному участию в научной и инновационной деятельности, конференциях, выставках и презентациях.

ПК-6, способность критически анализировать современные проблемы технической физики, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы

решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты.

ПК-7, способность самостоятельно выполнять физико-технические научные исследования для оптимизации параметров объектов и процессов с использованием стандартных и специально разработанных инструментальных и программных средств.

ПК-8, готовность осваивать и применять современные физико-математические методы и методы искусственного интеллекта для решения профессиональных задач, составлять практические рекомендации по использованию полученных результатов.

5) Содержание:

1. Устройство и принцип работы сканирующего зондового микроскопа, основные его элементы.

Методы защиты сканирующих зондовых микроскопов от внешних вибраций: Л – 3 ач, СР – 6 ач.

2. Сканирующая туннельная микроскопия: физические основы работы и устройство сканирующего туннельного микроскопа (СТМ), зонды для СТМ, области применения СТМ: Л – 3 ач, СР – 10 ач.

3. Атомно-силовая микроскопия: физические основы работы и устройство сканирующего атомно-силового микроскопа (АСМ), зонды для АСМ, исследование механических свойств и структуры контактными методами, а магнитных и электрических колебательными: Л – 8 ач, СР – 20 ач.

4. Современные тенденции развития зондовых методов исследования материалов, методы повышения скорости сканирования и разрешения СТМ и АСМ: Л – 2 ач, СР – 12 ач.

5. Математическая обработка и визуализация данных сканирующей зондовой микроскопии: Л – 1 ач, СР – 4 ач.

6. Сканирующая зондовая микроскопия в различных средах: Л – 1 ач, СР – 2 ач.

7. Экзамен: 36 ач.

6) Пререквизиты:

Изучение дисциплины опирается на знания, полученные при изучении дисциплин «Физика», «Математика», «Прикладная физика», «Квантовая механика», «Математическая физика» предшествующей бакалаврской подготовки.

Результаты изучения дисциплины используются при изучении, ряда дисциплин вариативной части профессионального цикла, при проведении НИРМ и при подготовке магистерской диссертации.

7) Основной учебник

- Физика нанокompозитных материалов. Сканирующая зондовая микроскопия / П. Г. Габдуллин, З. А. Костюченко, Н. И. Поречная — СПб. Изд-во Политехн. ун-та, 2010.

- Сканирующие зондовые микроскопы. учеб. пособие для вузов. / С. Б. Нестеров [и др.] — М.: Изд. Дом МЭИ, 2007.

8) Дополнительная литература

- Основы сканирующей зондовой микроскопии / В. Л. Миронов — М.: Техносфера, 2004.

- Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля / Д. Брандон, У. Каплан — М.: Техносфера, 2006

9) Координатор:

Доцент, к.ф.-м.н. Н.В. Андреева

10) Использование компьютера:

Компьютер используется для демонстрации графического материала, а также при выполнении самостоятельной работы по всем разделам дисциплины.

11) Лабораторные работы и проекты

Лабораторные работы и проекты учебным планом не предусмотрены.

Критерии оценки: Организация текущего контроля путем проверки домашних заданий и домашних контрольных работ, а также проводимого в рамках самостоятельной работы анализа данных по заданной теме, выполнения расчётов, составление схем и моделей на основе собранных данных.

Экзаменационные вопросы

1. Устройство и принцип работы сканирующего зондового микроскопа. Типы взаимодействия зонда с поверхностью. Основные элементы сканирующего зондового микроскопа.
2. Основные типы сканирующих элементов, механизмов подвода и перемещения зонда относительно поверхности образца. Нелинейность, крип и гистерезис пьезокерамики. Сканеры с открытой и закрытой петлей обратной связи.
3. Система регистрации положения зонда относительно образца.
4. Система обратной связи. ПИД параметры системы обратной связи.
5. Формирование изображения в сканирующем зондовом микроскопе.
6. Методы защиты сканирующих зондовых микроскопов от внешних воздействий. Защита от вибраций. Защита от акустических шумов. Компенсация тепловых расширений конструкции сканирующего зондового микроскопа.
7. Туннельный эффект. Зонная структура металлов. Туннельный ток в системе металл-диэлектрик-металл.
8. Методы формирования рельефа поверхности в СТМ: режим постоянного тока и режим постоянной высоты. Реализация атомарного разрешения.
9. Зонды для сканирующей туннельной микроскопии. Ограничения сканирующей туннельной микроскопии.
10. Вольт-амперная характеристика туннельного контакта зонд-поверхность. Вольт-амперная характеристика туннельного контакта металл - металл. Вольт-амперная характеристика туннельного контакта металл - полупроводник. Вольт-амперная характеристика туннельного контакта металл - сверхпроводник.
11. Измерение распределения плотности электронных состояний. Зависимость туннельного тока от расстояния зонд-образец.
12. Измерение распределения работы выхода электронов. Измерение кривых подвода и оценка качества зондов.
13. Силовое взаимодействие зонда АСМ с поверхностью: потенциал взаимодействия зонда с образцом, упругие взаимодействия зонда с образцом, сила Ван-дер-Ваальса. Зависимость силы взаимодействия от расстояния между зондом и образцом – контактный, полуконтактный и бесконтактный режимы атомно-силовой микроскопии. Методики атомно-силовой микроскопии: контактные, динамические контактные, полуконтактные, бесконтактные, многопроходные.
14. Кантилеверы – зондовые датчики для атомно-силовой микроскопии: основные типы, технология изготовления, геометрические и механические свойства. Зондовые датчики для контактных методик атомно-силовой микроскопии. Зондовые датчики для колебательных методик атомно-силовой микроскопии.
15. Динамика кантилевера под действием нормальных, продольных и поперечных сил.
16. Схема оптической регистрации изгиба консоли кантилевера.
17. Схема организации обратной связи в атомно-силовом микроскопе.
18. Контактная задача Герца.
19. Метод постоянной высоты. Метод постоянной силы.
20. Устройство и принцип работы сканирующего зондового микроскопа в режиме контактной атомно-силовой микроскопии.
21. Предельное разрешение в контактном режиме: влияние упругих деформаций, радиуса закругления и угла раствора конуса зонда. Реализация атомарного разрешения. «Истинное» и «ложное» атомарное разрешение.
22. Силовая спектроскопия: кривые зависимости силы взаимодействия между зондом и поверхностью образца от расстояния. Измерение упругих и адгезионных свойств поверхности.
23. Метод латеральных сил. Природа сил трения. Деформация кантилевера под действием латеральных сил.
24. Вынужденные колебания кантилевера. Зависимость амплитуды и фазы вынужденных колебаний кантилевера от расстояния между зондом и образцом.

25. Бесконтактный режим колебания кантилевера. Бесконтактные методики атомно- силовой микроскопии: метод модуляции частоты, метод модуляции амплитуды.
26. «Полуконтактный» режим колебания кантилевера. «Полуконтактные» методики атомно-силовой микроскопии: «полуконтактные» методы, метод отображения фазы.
27. Устройство и принцип работы сканирующего зондового микроскопа в бесконтактном и полуконтактном режимах атомно-силовой микроскопии. Преимущества и недостатки бесконтактной и полуконтактной методик по сравнению с контактной атомно-силовой микроскопией.
28. Взаимодействие кантилевера, имеющего магнитное покрытие, с магнитным полем образца. Влияние топографических артефактов на качество получаемых изображений (дополнить описанием вихрей). Двухпроходная магнитная методика. Статическая и динамическая методики магнитной силовой микроскопии.
29. Отображение сопротивления растекания. Реализация метода, измеряемые величины.
30. Контактная электросиловая микроскопия. Реализация метода, измеряемые величины.
31. Силовая микроскопия пьезоотклика. Реализация метода, измеряемые величины.
32. Вынужденные колебания кантилевера при электростатическом взаимодействии зонда с поверхностью при приложении постоянного и переменного напряжения между зондом и образцом.
33. Двухпроходная методика электросиловой микроскопии. Реализация метода, измеряемые величины.
34. Сканирующая емкостная микроскопия. Реализация метода, измеряемые величины.
35. Метод зонда Кельвина (микроскопия поверхностного потенциала). Реализация метода, измеряемые величины.
36. Возможные искажения в изображениях, полученных методами сканирующей зондовой микроскопии. Вычитание постоянной составляющей. Вычитание постоянного наклона. Устранение искажений, связанных с неидеальностью сканера. Фильтрация изображений. Медианная фильтрация. Усреднение по строкам. Фурье-фильтрация. Методы восстановления поверхности по ее изображению, полученному с помощью сканирующей зондовой микроскопии. «Свертка» формы зонда с рельефом поверхности.
37. Адсорбированный слой. Капиллярные силы. Особенности и реализация методик сканирующей зондовой микроскопии в сверхвысоком вакууме. Подготовка образцов. Особенности и реализация методик сканирующей зондовой микроскопии в жидкости.