

**Программа
краткосрочного повышения квалификации преподавателей и научных работников
высшей школы по направлению**

«Методы диагностики и исследования наноструктур»

на базе учебного курса

«Сканирующая зондовая микроскопия органических молекулярных материалов»

Цель: Целью изучения курса является получение новых фундаментальных знаний и практических навыков в области определения структурных свойств органических молекулярных материалов с помощью методов сканирующей зондовой микроскопии.

Категория слушателей: преподаватели и научные работники высшей школы

Срок обучения: 36 часов

Форма обучения: с частичным отрывом от работы

Режим занятий: 8 часов в день

Курс относится к тематическому разделу “Электронные свойства органических и композитных наноматериалов”

Целью изучения курса является получение новых фундаментальных знаний и практических навыков в области определения структурных свойств органических молекулярных материалов с помощью методов сканирующей зондовой микроскопии – области знаний, имеющей большое значение для современного материаловедения, физики и химии тонких пленок, наноразмерных и молекулярных структур. Задачи курса состоят в изучении основ методик Сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ), особенностей проведения СЗМ измерений на поверхности органических молекулярных материалов и в получении практических навыков по проведению СЗМ измерений на поверхности полимерных структур и обработке полученных СЗМ изображений.

Требования к уровню освоения учебного курса

Преподаватели должны:

- 1.Знать:
 - основные принципы методик Сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ);
 - особенности различных видов СЗМ измерений и методов формирования изображения поверхности;
 - методические приемы для проведения СЗМ измерений на поверхности полимерных структур.
- 2.Иметь навыки:
 - приготовления образцов полимерных структур для проведения измерений методами СЗМ;
 - обработке СЗМ изображений с помощью программ, входящих в стандартные программные комплекты управления СЗМ прибором;
 - проведению СЗМ измерений с помощью приборов с оптической и частотно-модуляционной методикой регистрации сигнала;
- 3.Иметь представление:

- о возможностях индуцированных изменений конформации полимерных структур на подложке и их регистрации методами СЗМ;
- СЗМ исследованиях молекулярного упорядочения в самособранных монослоях на поверхности полупроводников и металлов;
- о СЗМ исследованиях наноструктурированных материалов. Возможности визуализации нанокластеров, нанопроволок, нанофибров, нанопористых структур на поверхности.

Научные работники должны:

- 1.Знать:
 - основные принципы методик Сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ);
 - особенности различных видов СЗМ измерений и методов формирования изображения поверхности;
 - методические приемы для проведения СЗМ измерений на поверхности полимерных структур.
- 2.Иметь навыки:
 - приготовления образцов полимерных структур для проведения измерений методами СЗМ;
 - обработке СЗМ изображений с помощью программ, входящих в стандартные программные комплекты управления СЗМ прибором;
 - проведению СЗМ измерений с помощью приборов с оптической и частотно-модуляционной методикой регистрации сигнала;
- 3.Иметь представление:
 - о возможностях индуцированных изменений конформации полимерных структур на подложке и их регистрации методами СЗМ;
 - СЗМ исследованиях молекулярного упорядочения в самособранных монослоях на поверхности полупроводников и металлов;
 - о СЗМ исследованиях наноструктурированных материалов. Возможности визуализации нанокластеров, нанопроволок, нанофибров, нанопористых структур на поверхности.

Учебный курс «Сканирующая зондовая микроскопия органических молекулярных материалов» состоит из дистанционной и очной частей.

Дистанционная часть учебного образовательного курса обеспечивает слушателя необходимым объёмом знаний по выбранной тематике, включая подготовку слушателя к проведению лабораторного практикума. Задача дистанционной составляющей учебного курса – подготовить слушателя к очному посещению лаборатории Электроники поверхности твердого тела и лаборатории СЗМ измерений на Физическом факультете Санкт-Петербургского Государственного Университета. Дистанционная (теоретическая) часть учебного курса состоит из пяти лекций:

Лекция 1. Основные принципы методик Сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ).

Основные принципы микроскопии атомных сил (АСМ). Контактный, бесконтактный и прерывисто-контактный режимы АСМ. Процесс СЗМ сканирования. Основные принципы сканирующей туннельной микроскопии (СТМ) и сканирующей туннельной спектроскопии, СТС.

Лекция 2. Особенности различных видов СЗМ измерений и методов формирования изображения поверхности.

Система обратной связи регистрации сигнала. Режимы сканирования при постоянном расстоянии зонд-поверхность и при постоянном воздействии поверхности на зонд. Датчики, используемые в АСМ, кантиливеры. Формирование изображения поверхности при бесконтактном и прерывисто-контактном режиме измерений. Режимы измерений путем регистрации латеральных сил, путем регистрации твердости участков поверхности. Химические сенсоры на основе кантиливеров в микроскопах атомных сил. Использование медианного фильтра для корректировки результатов СЗМ измерений. Использование фильтра ступеней для корректировки результатов СЗМ измерений. Использование фильтра наклона для корректировки результатов СЗМ измерений.

Лекция 3. СЗМ измерения на поверхности подложек для нанесения органических материалов.

СЗМ измерения на поверхности окисленного кремния, стекла, высокоупорядоченного пиролиитического графита и слюды с характерным размером области сканирования 1 мкм. СЗМ измерения на поверхности упорядоченных подложек с атомным разрешением.

Лекция 4. СЗМ измерения на поверхности пленок сопряженных полимеров и малых сопряженных органических молекул.

Структура поверхности пленок, осажденных из жидкой фазы, при характерном размере области сканирования 1 мкм. АСМ изображения поверхностей термически осажденных пленок фталоцианина меди и замещенного перилена. Влияние температуры подложки на структуру термически осажденных сопряженных органических пленок. СЗМ измерения упорядоченных органических пленок с молекулярным разрешением.

Лекция 5. СЗМ измерения на поверхности полимерных структур.

Конформация комплексов ДНК-катионный ПАВ на поверхностях высокоупорядоченного пиролиитического графита и слюды. Конформация комплекса соли поли(глутаминовой) кислоты и сурфактанта на твердотельной поверхности. Конформация амфифильных молекулярных покрытий замещенного декстрана на поверхности слюды. Непосредственное наблюдение процесса индуцированных трансформаций полимерных структур на подложке.

Очная (экспериментальная) часть учебного курса заключается в получении практических навыков по проведению СЗМ измерений на поверхности полимерных структур и обработке полученных СЗМ изображений. Основные задания лабораторного практикума следующие.

Лабораторная работа 1. Обработка СЗМ изображений.

Цель работы: получение практических навыков по обработке и СЗМ изображений с помощью программ, входящих в стандартные программные комплекты управления СЗМ прибором.

Лабораторная работа 2. Проведение СЗМ измерений на поверхности полимерных структур на подложке

Цель работы: получение практических навыков по проведению СЗМ измерений с помощью приборов с оптической и частотно-модуляционной методикой регистрации сигнала.

Методические рекомендации по реализации учебной программы

На дистанционную, очную часть учебного курса и самостоятельную работу отводится 10, 15 и 11 часов, соответственно. Полное содержание лекций в электронной дистанционной части учебного курса находится на сайте www.nanoobr.ru. Для контроля степени освоения теоретической части учебного курса (лекций) используются **тестовые вопросы** для самопроверки и **контрольные вопросы**.

Тестовые вопросы к курсу

«Сканирующая зондовая микроскопия органических молекулярных материалов»

Лекция 1. Основные принципы методик Сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ).

Вопрос 1. Принцип сканирования СЗМ состоит в следующем.

Ответ 1.1. В получении усредненной информации об объекте исследования.

Ответ 1.2. В перемещении зонда от линии к линии в объекте исследования.

Ответ 1.3. В дискретном перемещении зонда и считывании информации в каждой точке.

Вопрос 2. Как взаимодействует зонд с поверхностью в прерывисто-контактном режиме сканирования? зонд колеблется и периодически касается поверхности, находясь попеременно как в области притяжения, так и в области отталкивания.

Ответ 2.1. Зонд находится на некотором расстоянии от поверхности, так что он находится в области действия дальнедействующих притягивающих сил.

Ответ 2.2. Зонд упирается в образец и находится в области действия сил отталкивания.

Ответ 2.3. Зонд колеблется и периодически касается поверхности, находясь попеременно как в области притяжения, так и в области отталкивания.

Вопрос 3. К чему приводит использование излишне высоких значений скорости СЗМ сканирования.

Ответ 3.1. К тому, что система обратной связи в составе СЗМ прибора не получит достаточно времени для установления заданного значения силы взаимодействия при переходе на следующую точку сканирования.

Ответ 3.2. К изменению значения силы взаимодействия зонда и поверхности при переходе на следующую точку сканирования.

Ответ 3.3. К повреждению зонда и поверхности образца.

Вопрос 4. При СТМ измерениях регистрируют значения следующих физических величин.

Ответ 4.1. Локальная плотность электронных состояний в узлах атомной решетки исследуемой поверхности.

Ответ 4.2. Значения туннельного тока между сканирующим острием и исследуемой поверхностью.

Ответ 4.3. Значения туннельного тока между сканирующим острием и исследуемой поверхностью и локальную плотность электронных состояний в узлах атомной решетки исследуемой поверхности.

Вопрос 5. Для вольт-амперных характеристик, измеренных в режиме СТС, в случае Si нанопроволок на поверхности Ag(110), покрытых слоем малых сопряженных органических молекул (см. Рис. 1.5-1.6.) характерно следующее.

Ответ 5.1. Они характеристики имеют ненулевой наклон при пересечении линии нулевого тока.

Ответ 5.2. Они демонстрируют область ненулевого наклона при смещениях образца в пределах от -0.25 В до 0.25 В.

Ответ 5.3. Они демонстрируют запрещенную зону, то есть область нулевого наклона при смещениях образца в пределах от -0.6 В до 0.6 В.

Лекция 2. Особенности различных видов СЗМ измерений и методов формирования изображения поверхности.

Вопрос 1. При СТМ сканировании в режиме постоянного тока для получения изображения топографии поверхности проводятся следующие измерения.

Ответ 1.1. Регистрируется изменение напряжения смещения образца относительно сканирующего острия.

Ответ 1.2. Сигналом для получения изображения топографии поверхности являются изменения туннельного тока.

Ответ 1.3. Регистрируется изменение вертикального положения образца в каждой точке сканирования.

Вопрос 2. Как детектируется распределение латеральных сил вдоль поверхности образца с использованием оптического способа регистрации?

Ответ 2.1. Для этого выделяется разностный сигнал левого и правого секторов фотодетектора.

Ответ 2.2. Путем регистрации разностного сигнала между верхним и нижним секторами фотодетектора

Ответ 2.3. Путем регистрации изменений фазы колебаний зонда.

Вопрос 3. Для кантиливеров шириной 2 мкм, высотой 40 мкм, глубиной 242 мкм, с резонансной частотой 48 кГц чувствительность изменения частоты по отношению к изменению массы составляет.

Ответ 3.1. 3.7×10^{-20} нг/Гц

Ответ 3.2. 1.9×10^{-12} нг/Гц

Ответ 3.3. 7.4×10^{-17} нг/Гц

Вопрос 4. Как вычисляется средняя высота расположения строки в массиве СЗМ данных?

Ответ 4.1. Как угол наклона прямой линии относительно плоскости образца, сумма квадратов расстояний от всех точек данной строки до которой минимальна.

Ответ 4.2. Как среднее арифметическое значение по всем точкам строки.

Ответ 4.3. Как высота центра прямой линии, сумма квадратов расстояний от всех точек этой строки до которой минимальна.

Вопрос 5. Искажение при использовании фильтра ступеней для изображения участка поверхности, на котором расположен крупный одиночный объект, проявляется в следующем.

Ответ 5.1. В появлении мелкого точечного шума при использовании фильтра.

Ответ 5.2. Вся строка поворачивается так, чтобы привести значение угла наклона средней линии строки к нулю.

Ответ 5.3. В виде дополнительного опускания строк кадра, на которых расположен крупный одиночный объект.

Лекция 3. СЗМ измерения на поверхности подложек для нанесения органических материалов.

Вопрос 1. Для изображения поверхности кремния, полученного в лабораторных условиях после стандартной процедуры очистки характерно следующее.

Ответ 1.1. Пики высотой до 10 нм, диаметром - около 25 нм, концентрацией около трех на участок 250 нм × 250 нм.

Ответ 1.2. Пики высотой до 100 нм, диаметром - около 25 нм,

Ответ 1.3. Пики высотой до 10 нм, диаметром - около 10 нм, концентрацией порядка 100 на участок 250 нм × 250 нм.

Вопрос 2. Для участков поверхности высокоупорядоченного пиролитического графита (HOPG) размером порядка 1 мкм х 1 мкм характерно следующее.

Ответ 2.1. Наличие доменов.

Ответ 2.2. Разброс высот порядка 20 нм

Ответ 2.3. Пики, высотой до 10 нм и диаметром приблизительно 25 нм.

Вопрос 3. При сканировании с атомным разрешением поверхность высокоупорядоченного пиролитического графита (HOPG) видна следующим образом.

Ответ 3.1. Гексагональная решетка с расстоянием между узлами 2.46 Å.

Ответ 3.2. Гексагональная структура с периодичностью около 5 Å и 9 Å в различных направлениях.

Ответ 3.3. Скопление доменов с уступами на поверхности в области одного домена менее 1 нм.

Вопрос 4. Шероховатость поверхности слюды составляет приблизительно:

Ответ 4.1. 5 Å и 9 Å в различных направлениях.

Ответ 4.2. Не более 1-1.5 нм.

Ответ 4.3. Около 5 Å

Вопрос 5. Пары выступающих по высоте пиков на поверхности Si(100)-2x1 соответствуют следующему.

Ответ 5.1. Двум разным периодам в структуре поверхности: 5 Å в одном направлении и 9 Å в другом направлении.

Ответ 5.2. Образованию связей Si-C по аналогии с реакцией добавления цикла.

Ответ 5.3. Димерам атомов Si, расположенных на расстоянии приблизительно 0.32 нм друг от друга.

Лекция 4. СЗМ измерения на поверхности пленок сопряженных полимеров и малых сопряженных органических молекул.

Вопрос 1. Для участков поверхности пленок ПДДТ (Рис. 4.2) размером порядка 1 мкм х 1 мкм характерно следующее.

Ответ 1.1. Шероховатость около 10 нм.

Ответ 1.2. Шероховатость около 10 нм, на фоне которой имеются пики диаметром 100-200 нм и высотой около 50 нм.

Ответ 1.3. Пики диаметром 100-200 нм и ступенчатые уступы высотой 50-100 нм.

Вопрос 2. Для структуры пленок фталоцианина меди и 3,4,9,10-тетра-диангидрид карбоксильной кислоты перилена при комнатной температуре подложки в процессе осаждения характерно следующее.

Ответ 2.1. Обычно, пленки демонстрируют зернистую структуру поверхности.

Ответ 2.2. Шероховатость порядка 1 нм.

Ответ 2.3. Зернистая структура такая, что высота зерен находится в пределах от 30 нм до 150 нм.

Вопрос 3. В случае термически осажденных пленок фталоцианина меди на поверхность стеклянной подложки при увеличении температуры подложки от 25 °С до 300 °С наблюдается следующее.

Ответ 3.1. Образование поликристаллической фазы и увеличение характерных размеров кристаллитов до сотен нм.

Ответ 3.2. Уменьшение шероховатости поверхности за счет слипания микрокристаллитов.

Ответ 3.3. Образование аморфной фазы.

Вопрос 4. На АСМ изображениях поверхности ЛБ пленок молекул алкильных цепочек замещенных Cd ($\text{Cd}-(\text{CH}_2)_{19}\text{H}$) на SiO_2 подложке наблюдается следующее.

Ответ 4.1. Наблюдалась упорядоченная молекулярная структура.

Ответ 4.2. Первый молекулярный слой оказался неупорядоченным, а последующие обладали упорядоченной структурой.

Ответ 4.3. Изображения этой поверхности с характерным размером области сканирования несколько десятков nm^2 не предоставляют картины поверхности с молекулярным разрешением.

Вопрос 5. При анализе СТМ изображения монослойного покрытия фталоцианином меди (CuPc) поверхности высокоупорядоченного пиролитического графита (НОРГ) при СТМ сканировании в жидкой фазе было обнаружено следующее.

Ответ 5.1. Значение периода решетки CuPc составляет приблизительно $\sqrt{3} * 0.246$ нм.

Ответ 5.2. Значение отношения периодов решеток CuPc и НОРГ составляет примерно 10.4.

Ответ 5.3. Значение периода решетки CuPc примерно в 2 раза превышает значение периода решетки НОРГ.

Лекция 5. СЗМ измерения на поверхности полимерных структур.

Вопрос 1. На АСМ изображениях поверхности комплексов ДНК-катионный ПАВ, осажденных из 0.002 мг/мл раствора в хлороформе на поверхность НОРГ наблюдается следующее.

Ответ 1.1. Зернистая структура с зернами высотой от 50 нм до 150 нм.

Ответ 1.2. Наблюдается упорядоченная молекулярная структура, образованная единичными молекулами комплексов ДНК-катионный ПАВ.

Ответ 1.3. Отчетливо наблюдаются границы доменов на НОРГ подложке.

Вопрос 2. Для 1.5 мкм x 1.5 мкм АСМ изображения поверхности 1-10% покрытия поверхности слюды молекулами PLGD (комплекс поли-натриевого-L-глутамата и додецил-триметил-аммоний бромида) характерны следующие особенности.

Ответ 2.1. Молекулярные агрегаты, состоящие из 1-3 молекул PLGD

Ответ 2.2. Образования формой полуэллипсоида с характерным диаметром вдоль плоскости поверхности подложки 100 нм и с характерной высотой 2.5 нм.

Ответ 2.3. Молекулярные агрегаты формой полуэллипсоида с характерным диаметром вдоль плоскости поверхности подложки 50 нм и с характерной высотой 10-15 нм.

Вопрос 3. В случае 1-10 % покрытия поверхности слюды реактивом поли- γ -бензил- α ,L-глутамат (PBLG) на 2 мкм x 2 мкм АСМ изображении наблюдаются следующие особенности.

Ответ 3.1. Молекулярные агрегаты с характерным диаметром вдоль плоскости поверхности подложки 100 нм и с характерной высотой 2.5 нм.

Ответ 3.2. Молекулярные агрегаты, образованные скоплениями из 10-20 молекул PBLG.

Ответ 3.3. Овальные агрегаты с характерными размерами 100 нм на 300 нм.

Вопрос 4. Что представляют собой особенности поверхности в случае 1-10% покрытия реактивом Декстран-АЗФ со степенью замещения $\gamma=5.7 \text{ mol } \%$ и молекулярным весом 40 000?

Ответ 4.1. Наблюдаются одновременно агрегаты диаметром порядка 100 нм и высотой до 5 нм и островковые образования.

Ответ 4.2. Частицы эллипсоидной формы, характерным диаметром вдоль поверхности подложки 30 нм и высотой 2-5 нм.

Ответ 4.3. Частицы эллипсоидной формы, характерным диаметром вдоль поверхности подложки 130 нм и высотой 20 нм.

Вопрос 5. В результате экспонирования в парах увлажненного этанола гребнеобразных молекул ПБМ-ПБА в расправленной конформации на поверхности слюды происходило следующее.

Ответ 5.1.. Макромолекулы начинали коллапсировать, главным образом, с их концов.

Ответ 5.2. Наблюдались обратимые изменения конформации в последовательности коллапс – расправление.

Ответ 5.3. Происходило образование центров компактизации с формированием вокруг них единой компактной глобулы удлиненной формы.

Контрольные вопросы для проверки материала

Вопросы к Лекции 1. Основные принципы методик Сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ).

1. Приведите выражение для силы отталкивания острия и поверхности при расстоянии между ними порядка одного атомного радиуса.
2. Изобразите схематически устройство микроскопа атомных сил.
3. На чем основана настройка силы взаимодействия зонда и поверхности в зависимости от расстояния между ними в аппаратах типа Nanoscope 3.
4. Сравните процедуры контактного, бесконтактного и прерывисто-контактного режимов сканирования
5. Что выгодно отличает прерывисто-контактный способ проведения измерений при СЗМ исследованиях поверхностей органических материалов?
6. Почему при различных полярностях напряжения смещения образца можно наблюдать различные СТМ изображения поверхности с атомным разрешением? Рассмотрите это на примере изображения поверхности Si (111).
7. Приведите выражение для туннельного тока в некоторой точке на поверхности образца, на основе которого можно сделать вывод, что структура пиков производной вольт-амперной характеристики при СТМ измерениях определяет локальную плотность электронных состояний образца.

Вопросы к Лекции 2. Особенности различных видов СЗМ измерений и методов формирования изображения поверхности.

1. Рассмотрите принцип работы системы обратной связи в СЗМ приборе при изменении величины взаимодействия, например, при приближении зонда к поверхности.
2. Каким образом можно использовать углеродные нанотрубки для создания особо тонких АСМ зондов?
3. Опишите принцип работы датчика модуляционного силового взаимодействия на основе пьезокерамического элемента.

4. Опишите принцип работы АСМ в контактном режиме с дополнительной переменной составляющей в направлении, перпендикулярном плоскости образца.
5. В чем отличие работы сенсорного устройства на основе микроскопа атомных сил от работы газового сенсорного устройства на основе кварцевого резонатора?
6. В каких случаях целесообразно использовать медианный фильтр для корректировки результатов СЗМ измерений?
7. К каким искажениям приводит использование фильтра наклона и фильтра ступеней, в каких случаях?

Вопросы к Лекции 3. СЗМ измерения на поверхности подложек для нанесения органических материалов.

1. Какие особенности характерны для поверхности кремния со слоем оксида толщиной около 5 нм при измерениях в лабораторных условиях с характерным размером области сканирования 1 мкм x 1 мкм? Сравните эти особенности с особенностями поверхности стекла.
2. Опишите характерные особенности поверхности высокоупорядоченного пиролитического графита и слюды, наблюдаемые при сканировании области размером порядка 1 мкм x 1 мкм.
3. Почему расстояние между узлами решетки поверхности высокоупорядоченного пиролитического графита, наблюдаемого на АСМ изображениях, отличается от длины С-С связи между атомами в слое этого материала?
4. Что характерно для АСМ изображения размером порядка 10 нм × 10 нм поверхности слюды?
5. Как выглядит АСМ изображение поверхности Si(100) после 2x1 реконструкции, характерной для этой поверхности?

Вопросы к Лекции 4. СЗМ измерения на поверхности пленок сопряженных полимеров и малых сопряженных органических молекул.

1. Почему поверхность пленок, изготовленных по методу Ленгмюра-Блоджет, обладает малой шероховатостью? Рассмотрите пример пленок ЛБ корбатина (Рис. 4.1.)
2. Как изменяется структура поверхности пленок ПДДТ на n-Si подложке при напылении на поверхность пленки золотого электрода толщиной порядка 50 нм? Рассмотрите пример АСМ изображения на Рис. 4.2.
3. Назовите причины, определяющие размер микрокристаллитов на поверхности термически осажденных пленок фталоцианина меди и 3,4,9,10-тетра-диангидрид карбоксильной кислоты перилена.
4. Какие характерные особенности наблюдаются на АСМ изображениях пленок фталоцианина меди и 3,4,9,10-тетра-диангидрид карбоксильной кислоты перилена на n-Si подложке размером 500 нм × 500 нм (Рис. 4.3)?
5. На примере изображений поверхностей пленки фталоцианина меди на стеклянной подложке на Рис. 4.4. сравните структуру поверхностей при температурах подложки в процессе осаждения (а) 25 °С, (b) 150 °С, (c) 200 °С, и (d) 300 °С.
6. Как объяснить отсутствие картины поверхности с молекулярным разрешением при СЗМ сканировании участков поверхности размером несколько десятков нм² в случае пленок сопряженных полимеров, осажденных из раствора?
7. Почему при СТМ сканировании в жидкой фазе оказалось возможным наблюдать адсорбцию молекул фталоцианина меди на поверхности высокоупорядоченного пиролитического графита упорядоченным образом?

Вопросы к Лекции 5. СЗМ измерения на поверхности полимерных структур.

1. Какие характерные особенности наблюдаются на АСМ изображении поверхности комплексов ДНК-катионный ПАВ, осажденных из 0.002 мг/мл раствора в хлороформе на поверхность слюды?
2. Сравните конформацию молекулярных образований на поверхности слюды в случае 1-10 % покрытия следующими полимерными структурами: комплекс поли-натриевого-L-глутамата и додецил-триметил-аммоний бромид (PLGD) и его неионогенный аналог поли- γ -бензил- α ,L-глутамата (PBLG) (Рис .5.3 и 5.4.)
3. Как изменяется конформация молекулярных образований PBLG и PLGD на поверхности слюды при увеличении степени покрытия подложки до 50- 100 % ?
4. Сравните характерные особенности структуры поверхности, наблюдаемые с помощью АСМ (Рис. 5.7. и 5.8.), при 1-10% покрытии поверхности слюды в следующих случаях: Декстран-АЗФ со степенью замещения $\gamma=0.8$ mol %, молекулярным весом 40 000 и Декстран-АЗФ со степенью замещения $\gamma=5.7$ mol % с тем же молекулярным весом.
5. В чем заключаются трансформации гребнеобразных молекул ПБМ-ПБА в парах этанола с незначительным добавлением паров воды, наблюдаемые с помощью СЗМ (Рис. 5.9)?

В конце очной части учебного курса слушатели готовят отчеты по **темам контрольных рефератов**, которые используются для контроля степени усвоения всего учебного курса на базе экспериментальных результатов и их обработки с применением знаний из дистанционной части курса.

Темы контрольных рефератов по курсу

«Сканирующая зондовая микроскопия органических молекулярных материалов»

1. СЗМ исследования наноструктурированных материалов. Возможности визуализации нанокластеров, нанопроволок, нанопроволок, нанопористых структур на поверхности.
2. СЗМ исследования молекулярного упорядочения в самособранных монослоях на поверхности полупроводников и металлов.
3. Особенности исследований плотности электронных состояний методом сканирующей туннельной спектроскопии
4. Возможности индуцированных изменений конформации полимерных структур на подложке и их регистрация методами СЗМ
5. СЗМ исследования структурных характеристики мембран на основе полипептидов.

Учебно-тематический план

№	Название учебного курса и лекций	Всего, час.	в том числе (указать часы)			Форма контроля
			Дистанционные лекции (самостоятельное изучение, дистанционное общение преподавателем, вопросы-ответы через email, форум, чат и др.)	Самостоятельная работа. Подготовка ответов на контрольные вопросы, выполнение реферата	Очный практикум, включая подготовку и отчет	
	«Сканирующая зондовая микроскопия органических молекулярных материалов»	36 ч.				

1	Лекция 1. Основные принципы методик Сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ). Лекция 2. Особенности различных видов СЗМ измерений и методов формирования изображения поверхности. Лекция 3. СЗМ измерения на поверхности подложек для нанесения органических материалов. Лекция 4. СЗМ измерения на поверхности пленок сопряженных полимеров и малых сопряженных органических молекул. Лекция 5. СЗМ измерения на поверхности полимерных структур.		10	3		1. Контрольные вопросы (электронная зачетка) 2. Дополнительные вопросы
2	Лабораторная работа 1. Обработка СЗМ изображений. Лабораторная работа 2. Проведение СЗМ измерений на поверхности полимерных структур на подложке				15	Отчет
3	Выполнение реферата			8		Реферат
Итоговый контроль		Итоговый зачет				

**Список литературы (основной и дополнительной),
а также других видов учебно-методологических материалов и пособий,
необходимых для изучения (конспектов лекций, видеолекций, лазерных
дисков и др.).**

**Список литературы
и др. дополнительных источников информации.**

Основная литература

1. В. Bushman, Handbook of Nanotechnology, Springer, Berlin, 2004
2. Б.А.Логинов. Сканирующая туннельная и атомно-силовая микроскопия: пособие по работе на микроскопе СММ-2000. Москва, ГОУ МИФИ (ГУ), 2007
3. НТ-МДТ. СЗМ NanoEducator. Учебное пособие. 2007
4. Н. Yokoi, S. Hayashi and T. Kinoshita, Polypeptide membranes at an interface, Prog. Polym. Sci. 28 (2003) 341.
5. М.О.Галлямов, О.А.Пышкина, В.Г.Сергеев, И.В.Яминский Применение методов сканирующей зондовой микроскопии к исследованию конформационных свойств ДНК // Поверхность, №2, 79–83 (1998).
6. J. Frommer, STM and AFM in organic chemistry, Angew. Chem. Int. Ed. 31 (1992) 1298.
7. С. К. Филиппов, А.С. Комолов, О. Ю. Сергеева, А. С. Олифиренко, С. Б. Лесничин, Е.А. Комарова, Б. А. Логинов, Н.С. Домнина, А. В. Лезов. Агрегация декстрана, гидровобно модифицированного пространственно-затрудненными фенолами. Высокомолекулярные соединения. Т.51. Вып. 2. (2009) 209-217.

Дополнительная литература

8. Лучинин В.В., "Нанотехнологии. Физика. Процессы. Диагностика. Приборы", Физматлит, 2006
9. A. Komolov, K. Schaumburg, P.J. Moeller, Characterization of conducting molecular films on silicon: AFM, AES, XPS and surface photovoltage, Appl. Surf. Sci., 1999, Vol. 142/1-4, p. 591
10. E. Salomon, A. Kahn, One-dimensional organic nanostructures: A novel approach based on the selective adsorption of organic molecules on silicon nanowires, Surf. Sci. 602 (2008) L79–L83
11. DeRose J.A. and Leblanc R.M. Scanning tunneling and atomic force microscopy studies of LB films. Surf. Sci. Reports, 1995, Vol. 22, p. 73-126.
12. Jungyoon E., Kim S., Lim E. et al. Effects of substrate temperature on CuPc thin films, Appl. Surf. Sci., 2003, Vol. 205, p. 274-279.
13. M.O. Gallyamov, B.Tartsch, P.Mela, H.Borner, K.Matyjaszewski, S.Sheiko, A. Khokhlov, M. Moller, A scanning force microscopy study on the motion of single brush-like macromolecules on a silicon substrate induced by coadsorption of small molecules // Phys. Chem. Chem. Phys., v. 9(3), pp. 346-352 (2007).

**Полное содержание лекций в электронной дистанционной части
учебного курса на сайте www.nanoobr.ru**