

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

«Планарные материалы (пленки и покрытия, интерфейсы, молекулярные слои,
гетероструктуры) и технологии их получения»

на базе учебного курса

**«Электронные процессы при адсорбции и энергетическом воздействии на
поверхность твердотельных материалов»**

Цель: Целью изучения курса является получение фундаментальных знаний и практических навыков в области электроники процессов на поверхности твердого тела.

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 фундаментальных знаний и практических навыков в области электроники процессов на поверхности твердого тела – развивающейся области знаний, имеющей большое значение для современного материаловедения, физики наноразмерных и молекулярных структур, гетерогенного катализа, фотоактивированных поверхностных реакций. Задачи курса состоят в изучении основ физико-химических механизмов, лежащих в основе поверхностных процессов, активированных атомно-молекулярным, лазерным, ионным и электронным воздействиями и в получении практических навыков по исследованию электропроводности органических и металлоксидных тонкопленочных материалов при адсорбции молекул на поверхность из газовой фазы и по исследованию лазерной десорбции с поверхности органических материалов.

Требования к уровню освоения учебного курса

Преподаватели должны:

- 1.Знать:
 - основы электронно-энергетической структуры поверхности полупроводников и оксидов металлов;
 - основные виды электронных процессов при адсорбции на поверхности твердых тел;
 - основные варианты модификации электронных характеристик поверхности твердотельных материалов путем энергетического воздействия.
- 2.Иметь навыки:
 - приготовления органических и металлоксидных тонкопленочных материалов;
 - проведения измерений влияния адсорбции донорных и акцепторных молекул на электропроводность органических и металлоксидных тонкопленочных материалов;

- проведения масс-спектрометрических исследований элементного состава частиц, десорбируемых с поверхности органических материалов при лазерном воздействии;
- 3.Иметь представление:
 - масштабах атомных и молекулярных процессов;
 - особенностях электронных процессов при адсорбции на поверхности твердых тел;
 - полупроводниковых свойствах и адсорбции на поверхности сопряженных органических пленок

Научные работники должны:

- 1.Знать:
 - основы электронно-энергетической структуры поверхности полупроводников и оксидов металлов;
 - основные виды электронных процессов при адсорбции на поверхности твердых тел;
 - основные варианты модификации электронных характеристик поверхности твердотельных материалов путем энергетического воздействия.
- 2.Иметь навыки:
 - приготовления органических и металлоксидных тонкопленочных материалов;
 - проведения измерений влияния адсорбции донорных и акцепторных молекул на электропроводность органических и металлоксидных тонкопленочных материалов;
 - проведения масс-спектрометрических исследований элементного состава частиц, десорбируемых с поверхности органических материалов при лазерном воздействии;
- 3.Иметь представление:
 - масштабах атомных и молекулярных процессов;
 - особенностях электронных процессов при адсорбции на поверхности твердых тел;
 - полупроводниковых свойствах сопряженных органических пленок и адсорбции на их поверхности

Учебный курс «Электронные процессы при адсорбции и энергетическом воздействии на поверхность твердотельных 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, на Физическом факультете Санкт-Петербургского Государственного Университета. Дистанционная (теоретическая) часть учебного курса состоит из пяти лекций:

Лекция 1. Введение. Масштабы атомных и молекулярных процессов.

Атомы, ионы, неорганические и органические материалы. Межатомные силы, потенциальная кривая межатомного взаимодействия. Типы химических связей в твердых телах. Особенности связей в молекулярных твердых телах. Особенности ионной, ковалентной, металлической связей. Понятие ионности связи, электронного сродства.

Лекция 2. Электронно-энергетическая структура поверхности полупроводников и оксидов металлов.

Зонная энергетическая диаграмма при объединении атомов в твердое тело. Электроны и дырки – носители заряда в полупроводниках. Энергетические распределения электронов и дырок. Собственные и примесные полупроводники. Энергетическая диаграмма поверхности полупроводника. Образование дефектных состояний. Режимы обогащения, обеднения и инверсии основными носителями заряда приповерхностной области полупроводника. Специфика электронно-энергетической структуры поверхности и приповерхностной области широкозонных металлоксидов.

Лекция 3. Электронные процессы при адсорбции на поверхности твердых тел

Физическая и химическая адсорбция. Формирование хемосорбционного комплекса донорного типа и акцепторного типа. Адсорбционное равновесие на поверхности: электронный обмен между адсорбированными частицами и поверхностью и баланс между газовой и адсорбционной фазами. Изменение работы выхода поверхности и поверхностной проводимости при хемосорбции. Поляризация адсорбированных молекул, перенос заряда с адсорбированных частиц в приповерхностную область твердого тела, локализация заряда на поверхности. Изменение поверхностной концентрации и поверхностная проводимость. Влияние адсорбции на электропроводность тонкопленочных полупроводниковых слоев.

Лекция 4. Полупроводниковые свойства и адсорбция на поверхности сопряженных органических пленок

Электронные орбитали в органических молекулах. Межорбитальные взаимодействия при сближении двух атомов углерода, изменение положения энергетических уровней. Гибридизация электронных орбиталей. Сопряжение в органических молекулах, как причина их полупроводниковых свойств. Энергия внутримолекулярных связей и межмолекулярное взаимодействие в тонких органических пленках. Подразделение сопряженных органических молекул на донорные и акцепторные. Влияние адсорбции на зарядовые свойства и электропроводность тонких органических пленок.

Лекция 5. Модификация электронных характеристик поверхности твердотельных материалов путем энергетического воздействия.

Типы энергетических воздействий на поверхность: Тепловое действие, Оптической воздействие, фотонное возбуждение, возбуждение электронным пучком, ионное возбуждение. Эффекты теплового воздействия, термодесорбция, термодесорбционная масс-спектрометрия. Электронные процессы при оптическом возбуждении поверхности. Специфика процессов, вызванных поглощением лазерного излучения. Эффективная температура пучка десорбированных частиц. Явление фотодесорбции: резонансный и нерезонансный механизмы.

Очная (экспериментальная) часть учебного курса заключается в получении практических навыков по исследованию электропроводности органических и металлоксидных тонкопленочных материалов при адсорбции молекул на поверхность из газовой фазы и по исследованию лазерной десорбции с поверхности органических материалов. Основные задания лабораторного практикума:

Лабораторная работа 1. Влияние адсорбции донорных и акцепторных молекул на электропроводность органических и металлоксидных тонкопленочных материалов.

Цель работы: получение практических навыков по исследованию электропроводности органических и металлоксидных тонкопленочных материалов при адсорбции молекул на

поверхность из газовой фазы и навыков по приготовлению исследуемых тонкопленочных материалов.

Лабораторная работа 2. Масс-спектрометрическое исследование элементного состава частиц, десорбируемых с поверхности органических материалов при лазерном воздействии.

Цель работы: получение практических навыков по исследованию лазерной десорбции с поверхности органических материалов и навыков по приготовлению исследуемых тонкопленочных материалов.

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

«Электронные процессы при адсорбции и энергетическом воздействии на поверхность твердотельных материалов»

Лекция 1. Введение. Масштабы атомных и молекулярных процессов.

Вопрос 1. Как взаимосвязаны координационное число и плотность упаковки твердотельной структуры.

Ответ 1.1. Увеличение координационного числа соответствует увеличению плотности упаковки структуры.

Ответ 1.2. Увеличение координационного числа соответствует уменьшению плотности упаковки структуры.

Ответ 1.3. Увеличение координационного числа практически не влияет на плотность упаковки структуры.

Вопрос 2. Как изменяются длина и энергия химической связи в органических материалах с увеличением кратности связи?

Ответ 2.1. При уменьшении кратности связи наблюдается уменьшение ее длины и увеличение энергии связи.

Ответ 2.2. С увеличением кратности связи наблюдается уменьшение ее длины и увеличение энергии связи.

Ответ 2.3. С увеличением кратности связи наблюдается уменьшение длины и энергии связи.

Вопрос 3. Каким процессам соответствуют основные области на потенциальной кривой межатомного взаимодействия?

Ответ 3.1. 1- дипольное (Ван-дер-Ваальсово) притяжение, 2- Понижение энергии за счет формирования ковалентных химических связей, 3 – повышение энергии за счет деформации заполненных электронных оболочек.

Ответ 3.2. 1-дипольное (Ван-дер-Ваальсово) притяжение, 2- дипольное (Ван-дер-Ваальсово) отталкивание.

Ответ 3.3. 1- дипольное (Ван-дер-Ваальсово) притяжение, 2- дипольное (Ван-дер-Ваальсово) отталкивание, 3 –повышение энергии за счет деформации заполненных электронных оболочек.

Вопрос 4. Что происходит при формировании донорно-акцепторной связи с участием неподеленной пары электронов?

Ответ 4.1. Молекулы поляризуются, но индивидуальная электронная структура каждой молекулы сохраняется.

Ответ 4.2. Происходит деформационное повышение энергии, то есть обменное отталкивание.

Ответ 4.3. Неподеленная пара электронов одной молекулы (донора) разделяется, и один из электронов этой пары образует связь с другой молекулой (акцептором).

Вопрос 5. Из каких компонент складывается энергия гетерополярной связи?

Ответ 5.1. Энергии поляризации молекул и энергии кулоновского взаимодействия между разделенными зарядами.

Ответ 5.2. Обменной энергии формирования связывающей орбитали.

Ответ 5.3. Обменной энергии формирования связывающей орбитали и энергии кулоновского взаимодействия между разделенными зарядами.

Лекция 2. Электронно-энергетическая структура поверхности полупроводников и оксидов металлов.

Вопрос 1. Что будет содержаться в валентной кремния при объединении N атомов?

Ответ 1.1. Валентная зона будет содержать $2N$ заполненных уровней

Ответ 1.2. Валентная зона будет содержать незаполненные $3P$ состояния

Ответ 1.3. Валентная зона будет содержать N заполненных уровней

Вопрос 2. Что сопровождает уход электрона из валентной зоны?

Ответ 2.1. Уход электрона из валентной зоны сопровождается направленным движением как электронов в зоне проводимости, так и дырок в валентной зоне.

Ответ 2.2. Уход электрона из валентной зоны соответствует усилению межатомной связи.

Ответ 2.3. Уход электрона из валентной зоны соответствует ослаблению межатомной связи и появлению «дырки» в коллективе валентных электронов.

Вопрос 3. Как получить выражение для концентрации электронов в зоне проводимости?

Ответ 3.1. Распределение плотности электронных состояний в зоне умножить на функцию распределения и проинтегрировать в пределах от E_c до $+\infty$ по энергии.

Ответ 3.2. Проинтегрировать функцию распределения электронов в пределах от $-\infty$ до $+\infty$ по энергии.

Ответ 3.3. Умножить величину эффективной плотности электронов в зоне проводимости на $\exp(-E_g/kT)$.

Вопрос 4. Каков механизм возникновения двойного приповерхностного заряженного слоя при захвате носителей заряда на поверхностные состояния?

Ответ 4.1. Положительный поверхностный заряд притягивает к поверхности свободные электроны и отталкивает дырки (отрицательный поверхностный заряд притягивает дырки и отталкивает электроны).

Ответ 4.2. Поверхностный заряд должен быть нейтрализован объемным зарядом со стороны полупроводника: поверхностный заряд отталкивает от поверхности свободные электроны и дырки.

Ответ 4.3. Происходит реконструкция поверхности, что существенно изменяет относительное расположение атомов в приповерхностном слое и сопровождается перераспределением электронной плотности.

Вопрос 5. Как происходит экранировка отрицательного заряда на поверхности полупроводникового оксида металла, например TiO_2 ?

Ответ 5.1. Экранировка будет осуществляться положительно заряженными ионами металла.

Ответ 5.2. Экранировка будет осуществляться свободными электронами и дырками

Ответ 5.3. Экранировка будет осуществляться за счет формирования энергетических уровней электронов, захваченных кислородной вакансией.

Лекция 3. Электронные процессы при адсорбции на поверхности твердых тел

Вопрос 1. Какая зарядка поверхности полупроводника и какой изгиб энергетических зон на поверхности сопровождают формирование хемосорбционного комплекса донорного типа?

Ответ 1.1. Хемосорбция донорных частиц сопровождается отрицательной зарядкой поверхности полупроводника, что на энергетической диаграмме соответствует поверхностному изгибу зон вверх.

Ответ 1.2. Хемосорбция донорных частиц сопровождается положительной зарядкой поверхности, что на диаграмме соответствует поверхностному изгибу зон вниз

Ответ 1.3. Хемосорбция донорных частиц сопровождается положительной зарядкой поверхности, что на диаграмме соответствует поверхностному изгибу зон вверх.

Вопрос 2. Какие из адсорбированных частиц определяют равновесный обмен между газовой средой и адсорбционным покрытием?

Ответ 2.1. Равновесие с газовой фазой поддерживается исключительно благодаря частицам в нейтральной форме адсорбции,

Ответ 2.2. С газовой фазой обмениваются частицы в заряженной форме адсорбции, слабо связанные с поверхностью.

Ответ 2.3. Равновесие с газовой фазой поддерживается за счет изменения положения уровня Ферми при заряженной форме адсорбции.

Вопрос 3. Как в случае физической адсорбции происходит поляризация адсорбированных частиц с образованием дипольного слоя?

Ответ 3.1. Поляризация индуцирует распределение заряда в пределах адсорбированных молекул, и градиент потенциала локализован внутри молекулярного слоя.

Ответ 3.2. Адсорбированные молекулы стимулируют захват носителей полупроводника (электронов или дырок) на поверхностные состояния.

Ответ 3.3. Поляризация приводит к тому, что градиент потенциала распространяется в область пространственного заряда полупроводника на глубину Дебаевского экранирования.

Вопрос 4. Как изменение поверхностной концентрации носителей заряда при адсорбции связано с изменением поверхностной проводимости в случае полупроводника n – типа?

Ответ 4.1. Адсорбция акцепторных частиц дает увеличение поверхностной проводимости, а адсорбция донорных частиц дает уменьшение поверхностной проводимости.

Ответ 4.2. Адсорбция и акцепторных, и донорных частиц приводит к поверхностному изгибу зон и уменьшению поверхностной проводимости.

Ответ 4.3. Изгиб зон вверх при адсорбции акцепторных частиц дает уменьшение поверхностной проводимости, а изгиб зон вниз при адсорбции донорных частиц дает увеличение поверхностной проводимости.

Вопрос 5. Что происходит при адсорбции молекул O_2 , CO , H_2O , аммиака на поверхности металлоксидной пленки?

Ответ 5.1. Адсорбция таких молекул сопровождается увеличением электронной концентрации в металлооксидной пленке.

Ответ 5.2. Адсорбция таких молекул, как O_2 , CO , H_2O , аммиак приводит к локализации заряда на поверхности металлооксидной пленки.

Ответ 5.3. Адсорбция таких молекул сопровождается положительной зарядкой поверхности и изгибом зон вниз.

Лекция 4. Полупроводниковые свойства и адсорбция на поверхности сопряженных органических пленок

Вопрос 1. Как локализована электронная плотность Π -состояний?

Ответ 1.1. Их электронная плотность смещена в сторону одного из взаимодействующих атомов.

Ответ 1.2. Их электронная плотность локализована на оси формируемой молекулы.

Ответ 1.3. Их электронная плотность локализована вне оси формируемой молекулы.

Вопрос 2. Что соответствует процессу sp^3 -гибридизации?

Ответ 2.1. Вместо s , p_x и p_y -орбиталей образуются три sp -орбитали, электронные облака которых расположены в одной плоскости под углом 120° .

Ответ 2.2. В случае sp^3 -гибридизации происходит смешивание s - и трех p -орбиталей.

Ответ 2.3. При этом вместо s - и p_x -орбиталей образуются две sp -гибридные орбитали, вытянутые вдоль оси « x » в противоположных направлениях от ядра атома

Вопрос 3. Какие органические соединения называют соединениями с сопряженными связями?

Ответ 3.1. Соединения, в которых происходит чередование двойных и одинарных углеродных связей.

Ответ 3.2. Соединения, содержащие атомы углерода в состоянии sp^3 -гибридизации.

Ответ 3.3. Соединения, в которых ширина запрещенной зоны между Π -зонами составляет $(1 - 3)$ эВ

Вопрос 4. Для тонких органических пленок характерно следующее.

Ответ 4.1. Межмолекулярные взаимодействия вызывают только незначительное уширение и размытие границ энергетических зон.

Ответ 4.2. Электронно-энергетический спектр пленки совпадает с электронно-энергетической структурой отдельных молекул.

Ответ 4.3. Межмолекулярные взаимодействия не вызывают изменений в структуре энергетических зон.

Вопрос 5. Как изменение поверхностного потенциального барьера влияет на проводимость в случае тонких органических пленок?

Ответ 5.1. Адсорбированные молекулы могут диффундировать в приповерхностную область пленки по межмолекулярным каналам и изменять величину межмолекулярных потенциальных барьеров.

Ответ 5.2. Понижение поверхностного потенциального увеличит поверхностную проводимость.

Ответ 5.3. Адсорбированные молекулы могут диффундировать в приповерхностную область пленки, а поверхностная проводимость при этом остается неизменной.

Лекция 5. Модификация электронных характеристик поверхности твердотельных материалов путем энергетического воздействия.

Вопрос 1. Какие процессы соответствуют тепловому воздействию на поверхность?

Ответ 1.1. Исходно происходит возбуждение поверхностных адсорбционных комплексов.

Ответ 1.2. Оптическое излучение возбуждает электронную подсистему твердого тела.

Ответ 1.3. Возбуждается фононная подсистема твердого тела, затем энергия передается поверхности и поверхностным адсорбционным комплексам.

Вопрос 2. Какие процессы соответствуют оптическому воздействию на поверхность?

Ответ 2.1. Возбуждается фононная подсистема твердого тела.

Ответ 2.2. Оптическое излучение с энергией кванта от 1.5 до 4 эВ возбуждает электронную подсистему твердого тела.

Ответ 2.3. Оптическое излучение с энергией кванта более 14 эВ возбуждает электронную подсистему твердого тела.

Вопрос 3. Какие эффекты считают эффектами теплового воздействия на поверхность?

Ответ 3.1. Поверхностная термоактивированная диффузия, термостимулированные поверхностные реакции, поверхностный гетерогенный катализ.

Ответ 3.2. Поверхностная термоактивированная диффузия, явление термодесорбции, воздействие пучком электронов?

Ответ 3.3. Поверхностный гетерогенный катализ, ионное воздействие, явление термодесорбции.

Вопрос 4. Чему соответствует эффективная температура при анализе распределений лазерной термодесорбции?

Ответ 4.1. Эффективная температура не связана с фактической температурой поверхности.

Ответ 4.2. Она соответствует максимуму распределения и определяется максимальной температурой нагрева поверхности.

Ответ 4.3. Она соответствует температуре плавления исследуемого материала.

Вопрос 5. Что происходит при импульсном лазерном облучении материалов, в которых время жизни носителей значительно превышает длительность светового импульса?

Ответ 5.1. Значительная доля поглощенной энергии передается за время действия лазерного импульса фононной подсистеме.

Ответ 5.2. Основная доля энергии сохраняется в возбужденной электронно-дырочной системе полупроводника.

Ответ 5.3. При этом в равной степени могут проявляться как эффекты, обусловленные тепловым действием света, так и фотоэлектронным механизмом.

Контрольные вопросы для проверки материала

Вопросы к Лекции 1. Введение. Масштабы атомных и молекулярных процессов.

1. Назовите характерные значения атомных и ионных радиусов для элементов H, C, O, Si.
2. Какова связь между коэффициентом упаковки и наименьшим межъядерным расстоянием в твердом теле?
3. Как изменяются длина и энергия химической связи в органических материалах с увеличением кратности связи?
4. Укажите три основные области на потенциальной кривой межатомного взаимодействия.
5. Характерные виды химических связей в молекулярных твердых телах.

6. Особенности ионной, ковалентной, металлической связей.
7. Понятие ионности связи, электронного сродства.

Вопросы к Лекции 2. Электронно-энергетическая структура поверхности полупроводников и оксидов металлов.

1. Формирование зонной энергетической диаграммы при объединении атомов в твердое тело. Основные элементы энергетической диаграммы одномерной модели твердого тела.
2. Понятие об электронах и дырках как носителях заряда в полупроводниках.
3. Понятие о собственных и примесных полупроводниках.
4. Основные элементы энергетической диаграммы поверхности твердого тела
5. Обогащение, обеднение и инверсия основными носителями заряда приповерхностной области полупроводника.
6. Особенности электронно-энергетической структуры поверхности и приповерхностной области полупроводниковых оксидов металлов.

Вопросы к Лекции 3. Электронные процессы при адсорбции на поверхности твердых тел

1. Различия физической и химической адсорбции.
2. Какая зарядка поверхности полупроводника и какой изгиб энергетических зон на поверхности сопровождают формирование хемосорбционного комплекса донорного типа и акцепторного типа?
3. Чем определяется соотношение концентраций адсорбированных на поверхности частиц, находящихся в нейтральной форме адсорбции и заряженной форме адсорбции?
4. Какие из адсорбированных частиц определяют равновесный обмен между газовой средой и адсорбционным покрытием?
5. Изменение работы выхода поверхности в результате явления поляризации адсорбированных молекул и образование молекулярного дипольного слоя.
6. Изменение работы выхода поверхности в результате явления переноса заряда с адсорбированных частиц в приповерхностную область твердого тела и образования двойного слоя – заряженная поверхность и адсорбционный слой с зарядом противоположного знака
7. Изменение работы выхода поверхности в результате явления локализации заряда на поверхности (либо в поверхностных состояниях твердого тела, либо на адсорбированных частицах).
8. Изменение поверхностной концентрации и поверхностная проводимость при адсорбции.
9. Электрическое поле адсорбционного комплекса в тонкопленочных полупроводниковых слоях и изменение электропроводности.

Вопросы к лекции 4. Полупроводниковые свойства и адсорбция на поверхности сопряженных органических пленок

1. Рассмотрите схему изображения s- и p-орбиталей двух атомов углерода, расположенных на расстоянии «d» по оси «x», и опишите характер межорбитальных взаимодействий при сближении двух атомов углерода
2. Как изменяется положение валентных энергетических уровней атома С при объединении двух атомов в молекулу?
3. Механизм гибридизации электронных орбиталей, sp^1 , sp^2 , sp^3 гибридизация.
4. Нарисуйте схематически диаграмму последовательного перехода от атомных s- и p-орбиталей к s-p-гибридным орбиталям, затем к молекулярным и, наконец, к энергетическим зонам.
5. Сопряжение в органических молекулах. Нарисуйте схему образования Пи-орбиталей в сопряженной молекуле, например, молекуле диена.

6. Причина уширения и размытия границ энергетических зон в тонких органических пленках, по сравнению с сопряженными молекулами в их составе.
7. Подразделение сопряженных органических молекул на донорные и акцепторные.
8. Перенос заряда на поверхность тонкой органической пленки при адсорбции донорных и акцепторных частиц из газовой фазы.
9. Механизм изменения электропроводности тонких органических пленок при адсорбции

Вопросы к лекции 5. Модификация электронных характеристик поверхности твердотельных материалов путем энергетического воздействия.

1. Понятие о неравновесных процессах на поверхности, их основные виды.
2. Электронные процессы при тепловом воздействии на поверхность.
3. Механизм термодесорбции, вид распределения по скоростям частиц, покинувших поверхность в результате термодесорбции.
4. Понятие об энергии активации десорбции.
5. Какую информацию о свойствах поверхности можно получить при экспериментальном исследовании квазиравновесной термодесорбции?
6. Электронные процессы при оптическом возбуждении поверхности: явление фотоэффекта, эффект теплового действия света.
7. Специфика процессов, вызванных поглощением лазерного излучения. Подразделение материалов на группы в зависимости от соотношения времени жизни носителей заряда и длительности лазерного импульса.
8. Как взаимосвязаны температура нагрева поверхности и эффективная температура пучка десорбированных частиц, определенная по максимуму их энергораспределения, в случае лазерной термодесорбции?
9. Сравните механизмы прямой резонансной лазерной фотодесорбции и десорбции, обусловленной фотовозбуждением электронной системы в приповерхностной области твердого тела.

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

«Электронные процессы при адсорбции и энергетическом воздействии на поверхность твердотельных материалов»

1. Энергетическая диаграмма приповерхностной области пространственного заряда. Поверхностная концентрация электронов и дырок.
2. Влияние адсорбции акцепторных молекул на поверхностную проводимость и работу выхода полупроводника n-типа.
3. Полупроводниковые свойства сопряженных органических молекулярных материалов.
4. Поверхностные химические реакции при адсорбции на поверхности оксидов металлов.
5. Модификация свойств полупроводников при воздействии корпускулярного и электромагнитного излучения: электропроводность, дефектообразование, адсорбционные и каталитические свойства.

Учебно-тематический план

№	Название учебного курса и	Всего, в том числе (указать часы)	Форма контроля
---	---------------------------	-----------------------------------	----------------

лекций	час.	Дистанционные лекции (самостоятельное изучение, дистанционное общение преподавателем, вопросы-ответы через email, форум, чат и др.)	Самостоятельная работа. Подготовка ответов с контрольные вопросы, выполнение реферата	Очный практикум, включая подготовку и отчет	
“Электронные процессы при адсорбции и энергетическом воздействии на поверхность твердотельных материалов”	36 ч.				
1 Лекция 1. Введение. Масштабы атомных и молекулярных процессов. Лекция 2. Электронно-энергетическая структура поверхности полупроводников и оксидов металлов. Лекция 3. Электронные процессы при адсорбции на поверхности твердых тел Лекция 4. Полупроводниковые свойства и адсорбция на поверхности сопряженных органических пленок Лекция 5. Модификация электронных характеристик поверхности твердотельных материалов путем энергетического воздействия.		10	3		1. Контрольные вопросы (электронная зачётка) 2. Дополнительные вопросы
2 Лаборатория 1. Влияние адсорбции донорных и акцепторных молекул на электропроводность органических и металлоксидных тонкопленочных материалов. Лаборатория 2. Масс-спектрометрическое исследование элементного состава частиц, десорбируемых с поверхности органических материалов при лазерном воздействии.				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. Волькенштейн Ф.Ф. Электронные процессы на поверхности полупроводников при хемосорбции. М.: Наука, 1987. -345 с.
2. Зенгуил Э. Физика поверхности, М: Мир, 1990
3. Бехштепт Ф., Эндерлайн Р. Поверхности и границы раздела полупроводников, М: Мир, 1990
4. Комолов С.А. Интегральная вторично-электронная спектроскопия поверхности Изд. ЛГУ 1986
5. Лазнева Э.Ф. Лазерная десорбция Изд. ЛГУ, 1990.
6. Sze, S.M., Kwok K., Physics of semiconductor devices, Wiley, NY, 2004
7. Бару В.Г., Волькенштейн Ф.Ф. Влияние облучения на поверхностные свойства полупроводников. М.: Наука, 1978. -288 с.
8. Лучинин В.В., "Нанотехнологии. Физика. Процессы. Диагностика. Приборы", Физматлит, 2006

Дополнительная литература

9. B. Bushman, Handbook of Nanotechnology, Springer, Berlin, 2004
10. H. Ibach, H. Luth, Solid-State Physics: An Introduction to Principles of Materials Science (Advanced Texts in Physics), Springer, Berlin, 2003
11. W.R. Salaneck, K. Seki, A. Kahn, J.-J. Pireaux, Conjugated Polymer and Molecular Interfaces: Science and Technology for Photonic and Optoelectronic Applications, Marcel Dekker, New York, 2002.
12. S. Braun, W. Osikowicz, Y. Wang and W. R. Salaneck, Energy level alignment regimes at hybrid organic–organic and inorganic–organic interfaces, Organic Electronics 8 (2007) 14.
13. Sylvester-Hvid K. O. and Ratner M. A., Simplified Charge Separation Energetics in a Two-Dimensional Model for Polymer-Based Photovoltaic Cells. *J. Phys. Chem. B* 2005, Vol. 109, p. 200-208.
14. A. S. Komolov, P. J. Møller and E. F. Lazneva, Interface formation between oligo(phenylene-vinylene) films and highly ordered pyrolytic graphite and Ge(1 1 1) surfaces, *J. Electr. Spec. Rel. Phen.* 131-132 (2003) 67.
15. Komolov A. S., Møller P. J., Mortensen J., Komolov S.A., Lazneva E. F., Modification of the electronic properties of the TiO₂ (110) surface upon deposition of the ultrathin conjugated organic layers, *Appl. Surf. Sci.* 253 (2007) 7376

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