

Программа
краткосрочного повышения квалификации преподавателей и научных работников
высшей школы по направлению
«Нанoeлектроника и наномaгнетизм, компонентная база и устройства. Физические
принципы. Применяемые технологии при разработке и создании»
на базе учебного курса

«Физика и химия полупроводниковых приборов»

Цель: Целью изучения курса является получение фундаментальных знаний и практических навыков в области физико-химических основ устройства и принципов работы полупроводниковых приборов.

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 физико-химических основ устройства и принципов работы полупроводниковых приборов – области знаний, имеющей большое значение для современного материаловедения, физики наноразмерных и молекулярных структур, физики и химии конденсированного состояния и тонких пленок. Задачи курса состоят в изучении основных свойств и принципов работы полупроводниковых переходов, биполярных и полевых транзисторов, особенностей полупроводниковых устройств на основе тонких пленок и наноразмерных структур. Практическая часть задач состоит в получении навыков по формированию лабораторных макетов полупроводниковых приборов на основе органических и неорганических полупроводников и исследованию фотовольтаических явлений в приготовленных тонкопленочных структурах.

Требования к уровню освоения учебного курса

Преподаватели должны:

- 1.Знать:
 - основные электронные свойства кристаллических, неупорядоченных и органических полупроводников;
 - основные характеристики электронно-дырочного перехода и перехода Шоттки;
 - принципы работы и основные характеристики биполярных и полевых транзисторов.
- 2.Иметь навыки:
 - по приготовлению лабораторных макетов полупроводниковых приборов на основе органических и неорганических полупроводников;
 - экспериментальных исследований особенностей фотовольтаических явлений в структурах на основе органических и неорганических полупроводников;
- 3.Иметь представление:

- о полупроводниковых устройствах на основе тонких пленок и наноразмерных структур;
- об фотовольтаических свойства полупроводниковых переходов и гетеропереходов, устройствах накопления и преобразования солнечной энергии;
- о возможностях использования органических материалов в устройствах микро- и нано - электроники.

Научные работники должны:

- 1.Знать:
 - основные электронные свойства кристаллических, неупорядоченных и органических полупроводников;
 - основные характеристики электронно-дырочного перехода и перехода Шоттки;
 - принципы работы и основные характеристики биполярных и полевых транзисторов.
- 2.Иметь навыки:
 - по приготовлению лабораторных макетов полупроводниковых приборов на основе органических и неорганических полупроводников;
 - экспериментальных исследований особенностей фотовольтаических явлений в структурах на основе органических и неорганических полупроводников;
- 3.Иметь представление:
 - о полупроводниковых устройствах на основе тонких пленок и наноразмерных структур;
 - об фотовольтаических свойства полупроводниковых переходов и гетеропереходов, устройствах накопления и преобразования солнечной энергии;
 - о возможностях использования органических материалов в устройствах микро- и нано - электроники.

Учебный курс «Физика и химия полупроводниковых приборов» 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. Основные электронные свойства кристаллических, неупорядоченных и органических полупроводников.

Зонная энергетическая диаграмма полупроводника. Электроны и дырки – носители заряда в полупроводниках. Собственные и примесные полупроводники. Плотность состояний в неупорядоченных твердых телах. Определение ширины запрещенной зоны полупроводника по спектрам оптического поглощения. Электропроводность неупорядоченных и органических полупроводников.

Лекция 2. Электронно-дырочный переход и переход Шоттки.

Формирование p-n перехода. Уравнение Пуассона, приближение полного обеднения p-n перехода. Прямое и обратное включение p-n перехода. Вольтамперная характеристика p-n перехода, основные свойства. Стабилизация напряжения при прямом и обратном смещении. Переход Шоттки, прямое и обратное включение. Сравнение диода Шоттки с p-n переходом.

Лекция 3. Биполярные транзисторы

Устройство, соотношение токов в транзисторе. Принцип действия биполярного транзистора. Режимы работы. Степень легирования эмиттера. Легирование областей биполярного транзистора в процессе формирования. Преобразование напряжения на примере схемы включения с общим эмиттером. Статический и динамический режимы работы транзистора. Входные и выходные характеристики.

Лекция 4. Полевые транзисторы.

Устройство и принцип действия полевых транзисторов. Обеднение канала при условиях нулевого и ненулевого смещения стока. Выражение для электрического тока в канале. Ток насыщения и напряжение насыщения в канале полевого транзистора. Стоковая и стокзатворная выходные характеристики полевого транзистора. Полевой транзистор на основе структуры металл-оксид-полупроводник или металл-диэлектрик-полупроводник. Емкостные характеристики МДП структур. Выражение для электрического тока МДП транзистора. Стокзатворные характеристики транзисторов с изолированным затвором. Логическая единица информации на базе полевого транзистора.

Лекция 5. Полупроводниковые устройства на основе тонких пленок и наноразмерных структур.

Вольтамперные характеристики и модель жестких зон для описания устройств на основе структур металл/полимер/металл. Многослойные интерфейсы для органических светоизлучающих диодов. Фотовольтаические устройства на основе сопряженных органических пленок. Межмолекулярные донорно-акцепторные интерфейсы для наноразмерных полупроводниковых фотовольтаических устройств. Плотность электронных состояний в наноразмерных объектах. Ток через 1D структуры. Ступенчатое изменение электропроводности при изменении ширины канала полевого транзистора. Транзистор на основе одной молекулы олигомера фенилен-винилена.

Очная (экспериментальная) часть учебного курса заключается в получении практических навыков по формированию лабораторных макетов полупроводниковых приборов и исследованию их фотовольтаических характеристик:

Лабораторная работа 1. Явления фотоЭДС и фотопроводимости на интерфейсе органического и неорганического полупроводников и на интерфейсах в двухкомпонентных сопряженных органических материалах.

Цель работы: получение практических навыков по приготовлению лабораторных макетов полупроводниковых приборов на основе органических и неорганических полупроводников и исследование в таких тонкопленочных структурах особенностей фотовольтаических явлений.

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

«Физика и химия полупроводниковых приборов»

Лекция 1. Введение. Основные электронные свойства кристаллических, неупорядоченных и органических полупроводников.

Вопрос 1. Как получить выражение для концентрации электронов в зоне проводимости полупроводника?

Ответ 1.1. Распределение плотности электронных состояний в зоне $Z_n(E)$ умножить на функцию распределения носителей заряда $f_n(E)$

Ответ 1.2. Распределение носителей заряда $f_n(E)$ проинтегрировать в соответствующих пределах (от E_c до $+\infty$) по энергии dE

Ответ 1.3. Распределение плотности электронных состояний в зоне $Z_n(E)$ умножить на функцию распределения $f_n(E)$ и проинтегрировать в соответствующих пределах (от E_c до $+\infty$) по энергии dE .

Вопрос 2. Чем являются значения E_c и E_v в неупорядоченных твердых телах (см. Рис.1.2.)?

Ответ 2.1. Значения E_c и E_v не являются четкими границами энергетических зон проводимости и валентной, соответственно, а определяют границу между локализованными и делокализованными состояниями в зонах.

Ответ 2.2. Значения E_c и E_v определяют границы “хвостов” плотности локализованных состояний в запрещенной зоне.

Ответ 2.3. Значения E_c и E_v являются четкими границами энергетических зон проводимости и валентной

Вопрос 3. Для неорганических полупроводников в области фундаментального поглощения в случае прямых межзонных переходов зависимость коэффициента поглощения α от энергии падающего кванта $h\nu$ дается следующим выражением:

Ответ 3.1. $\alpha \approx \text{const} \times (h\nu)^{-1} \times (h\nu - [E_c - E_v])^{1/2}$

Ответ 3.2. $\alpha \approx \text{const} \times (h\nu)^{-1} \times (h\nu - [E_a - E_b])^2$

Ответ 3.3. $\alpha \approx \text{const} \times (h\nu)^{-1} \times (h\nu - [E_c - E_v])^{3/2}$

Вопрос 4. Какие частицы являются носителями заряда в органических полупроводниках?

Ответ 4.1. Электроны и дырки

Ответ 4.2. Квазичастицы, образованные электроном или дыркой, окруженными областью поляризации среды.

Ответ 4.3. Положительно заряженные частицы

Вопрос 5. При каких условиях в неупорядоченных полупроводниках можно наблюдать прыжковую проводимость с переменной длиной прыжка с характерной зависимостью от температуры $\sim \exp[-\text{const}/T^{1/4}]$?

Ответ 5.1. В неупорядоченных полупроводниках, обладающих ненулевой плотностью электронных состояний вблизи уровня Ферми, в низкотемпературных условиях (менее 100 К)

Ответ 5.2. В низкотемпературных условиях (менее 100 К)

Ответ 5.3. В неупорядоченных полупроводниках, обладающих ненулевой плотностью электронных состояний вблизи уровня Ферми.

Лекция 2. Электронно-дырочный переход и переход Шоттки.

Вопрос 1. Каково приближение полного обеднения рп перехода? объемный заряд состоит только из полностью ионизированных атомов примеси в ограниченной окрестности рп перехода

Ответ 1.1. Объемный заряд состоит только из полностью ионизированных атомов примеси в ограниченной окрестности р-п перехода.

Ответ 1.2. Объемный заряд состоит только из электронов и полностью ионизированных атомов примеси.

Ответ 1.3. В ограниченной окрестности рп перехода находятся только свободные носители заряда.

Вопрос 2. Куда направлено внешнее электрическое поле в случае прямого включения р-п перехода?

Ответ 2.1. Внешнее электрическое поле не влияет на электрическое поле в области р-п перехода.

Ответ 2.2. Внешнее электрическое поле направлено навстречу внутреннему полю р-п перехода, что приводит к уменьшению потенциального барьера.

Ответ 2.3. Внешнее электрическое поле сонаправлено внутреннему полю р-п перехода,

Вопрос 3. Укажите основные свойства р-п перехода.

Ответ 3.1. Свойство односторонней проводимости, температурные свойства р-п перехода, частотные свойства р-п перехода, пробой р-п перехода.

Ответ 3.2. Свойство односторонней проводимости, частотные свойства р-п перехода.

Ответ 3.3. Свойство односторонней проводимости, температурные свойства р-п перехода.

Вопрос 4. Как достигнуть обратимости характеристик р-п перехода после достижения условий электрического пробоя?

Ответ 4.1. При уменьшении обратного напряжения р-п переход восстанавливает свойство односторонней проводимости.

Ответ 4.2. По достижении электрического пробоя полупроводник нагревается за счёт теплового действия тока и р-п переход выходит из строя.

Ответ 4.3. При увеличении обратного напряжения энергия электрического поля становится достаточной для генерации носителей заряда. Это приводит к необратимому увеличению обратного тока.

Вопрос 5. Как изменяются значения электрического тока на переходе Шоттки при его прямом смещении: (металл "+" , полупроводник "-")?

Ответ 5.1. Ток в направлении полупроводник - металл неизменен. Ток в направлении металл - полупроводник растет экспоненциально с приложенным напряжением.

Ответ 5.2. Ток в направлении полупроводник - металл растет экспоненциально с приложенным напряжением. Ток в направлении металл - полупроводник неизменен.

Ответ 5.3. Ток в направлении полупроводник - металл растет экспоненциально с приложенным напряжением. Ток в направлении металл - полупроводник убывает экспоненциально с приложенным напряжением.

Лекция 3. Биполярные транзисторы.

Вопрос 1. Что происходит в базе биполярного NPN транзистора с инжектированными в нее электронами?

Ответ 1.1 Они либо рекомбинируют в базе с дырками, либо неуспевшие рекомбинировать электроны под воздействием поля закрытого коллекторного перехода попадают в коллектор.

Ответ 1.2. Неуспевшие рекомбинировать электроны под воздействием поля закрытого коллекторного перехода попадают в коллектор.

Ответ 1.3. Они, являясь неосновными носителями заряда, образуют обратный ток коллектора.

Вопрос 2. Принцип работы биполярного транзистора основан на: инжекции носителей заряда на р-n переходе эмиттер-база и экстракции носителей заряда на р-n переходе база-коллектор.

Ответ 2.1. инжекции носителей заряда на р-n переходе эмиттер-база и на р-n переходе база-коллектор.

Ответ 2.2. Инжекции носителей заряда на р-n переходе эмиттер-база и экстракции носителей заряда на р-n переходе база-коллектор.

Ответ 2.3. Рекомбинации носителей заряда в базе для разновидности устройств с длинной базой.

Вопрос 3. Какое явление называют транзисторным эффектом?

Ответ 3.1. Ток в переходе зависит от напряжения, приложенного к другому переходу

Ответ 3.2. Ток в переходе растет экспоненциально при приложенном внешнем напряжении

Ответ 3.3. Ток в переходе зависит от степени легирования коллектора и эмиттера.

Вопрос 4. Какие значения может принимать коэффициент усиления по напряжению?

Ответ 4.1. Характерные значения коэффициента усиления находятся в пределах от 10 до 100.

Ответ 4.2. Коэффициент может иметь любые значения, так как он обусловлен выбором сопротивлений во входной и выходной цепи.

Ответ 4.3. Значения коэффициента усиления по напряжению определяются как соотношение степеней легирования эмиттера и коллектора.

Вопрос 5. Почему для схемы с общей базой зависимость тока коллектора от напряжения база-коллектор при постоянном токе эмиттера выходит на насыщение?

Ответ 5.1. Потому, что коллекторный переход закрыт независимо от величины напряжения, база-коллектор, и ток коллектора определяется только током эмиттера.

Ответ 5.2. Это объясняется тем, что коллекторный переход управляет протеканием тока на переходе эмиттер-база.

Ответ 5.3. Потому, что коллекторный переход закрыт и по нему протекает слабо меняющийся обратный ток неосновных носителей заряда.

Лекция 4. Полевые транзисторы.

Вопрос 1. Что происходит при увеличении запирающего напряжения на затворе? ширина р-n переходов увеличивается, а ширина канала и ток стока уменьшаются.

Ответ 1.1. Ширина р-n переходов затвор-канал и ширина канала увеличивается

Ответ 1.2. Происходит пробой р-n переходов затвор-канал и возникает стабилизация напряжения в канале.

Ответ 1.3.. Ширина р-n переходов затвор-канал увеличивается, а ширина канала и ток стока уменьшаются.

Вопрос 2. В случае ненулевого смещения стока, и напряжений на затворе положительнее, чем напряжение отсечки, происходит следующее.

Ответ 2.1. Напряжение обратного смещения $V_G - V(y)$ на p-n переходах затвор/канал изменяется в направлении вдоль канала. Соответственно, изменяется и ширина обедненного слоя в канале.

Ответ 2.2. Обедненные области с двух сторон канала сойдутся, и ток стока станет равным 0.

Ответ 2.3. В этом случае ток через p-n переходы затвор/канал будет нарастать экспоненциально с приложенным напряжением.

Вопрос 3. Как растет ток стока при увеличении напряжения V_G в случае транзистора с каналом N-типа (стокзатворная характеристика)?

Ответ 3.1. Ток растет линейно в интервале от напряжения отсечки до нуля

Ответ 3.2. Ток растет пропорционально $V_G^{3/2}$ в интервале от напряжения отсечки до нуля.

Ответ 3.3. Ток растет линейно, а затем выходит на насыщение.

Вопрос 4. Каковы условия измерения высокочастотной ВФХ в структуре МДП?

Ответ 4.1.. Время модулирующего приращения потенциала выбирается намного меньшим, а время изменения напряжения смещения - намного большим, чем время установления термодинамического равновесия в ОПЗ полупроводника.

Ответ 4.2. Время модулирующего приращения потенциала поверхности выбирается намного большим, чем время установления термодинамического равновесия в ОПЗ полупроводника.

Ответ 4.3. Требуется выбрать напряжение смещения такое, чтобы удовлетворить условию сильной аккумуляции основных носителей в ОПЗ полупроводника.

Вопрос 5. На чем основан принцип действия транзистора с двойным слоем диэлектрика в качестве ячейки памяти?

Ответ 5.1. Двойным слой диэлектрика наилучшим образом изолирует затвор от области протекания тока в канале.

Ответ 5.2. При $V_G > 0$ электроны - неосновные носители подложки притягиваются в канал (обогащение канала). При $V_G < 0$ электроны уходят из канала в подложку (обеднение канала).

Ответ 5.3. Электроны протекают сквозь слой диоксида кремния и остаются захваченными в слое нитрида кремния. Наличие встроенного в диэлектрик заряда приводит к сдвигу стокзатворной ВАХ.

Лекция 5. Полупроводниковые устройства на основе тонких пленок и наноразмерных структур.

Вопрос 1. Почему в структурах металл/полимер/металл правомерно использовать приближение “жестких зон”, то есть предполагать линейный ход потенциала в пленке?

Ответ 1.1. Глубина приповерхностной области пространственного заряда в нелегированных органических материалах составляет порядка 100 микрон, что существенно больше, чем толщина пленок 100-500 нм.

Ответ 1.2. Потому, что параметром, определяющим форму ВАХ, является величина потенциальных барьеров на интерфейсах органическая пленка/металл.

Ответ 1.3. В приближении полного обеднения область изгиба зон в органической полупроводниковой пленке полностью свободна от носителей заряда, поэтому для интерпретации ВАХ этой областью можно пренебречь

Вопрос 2. Для чего служит блокирующий движение электронов слой в составе многослойного светоизлучающего устройства?

Ответ 2.1. Наличие такого слоя позволяет уменьшить токи утечки носителей заряда через излучающий слой

Ответ 2.2. Наличие такого слоя позволяет сконцентрировать процессы рекомбинации носителей заряда на границе излучающего слоя, что приводит к повышению эффективности светоизлучающего устройства.

Ответ 2.3. При использовании такого слоя потенциальный барьер для инжекции дырок в излучающий слой состоит из нескольких меньших барьеров, что приводит к повышению эффективности светоизлучающего устройства.

Вопрос 3. Каковы причины диссоциации экситонов в структурах на основе полупроводниковых органических пленок.

Ответ 3.1. Диссоциация может происходить под действием локальных межмолекулярных электрических полей в двухкомпонентных пленках.

Ответ 3.2. Диссоциация может происходить под действием электрического поля на интерфейсе органической пленки и электрода, а также за счет токов неосновных носителей заряда.

Ответ 3.3. Диссоциация может происходить под действием электрического поля на интерфейсе органической пленки и электрода, а также под действием локальных межмолекулярных электрических полей в двухкомпонентных пленках с различными значениями электронного средства компонент.

Вопрос 4. Что представляет собой зависимость плотности состояний от энергии в случае 2D – поверхностный нанослой?

Ответ 4.1. Зависимость плотности состояний от энергии наблюдается в только случае 3D.

Ответ 4.2. По достижении каждого из собственных значений энергии к $D(E)$ добавляется ступенчатая функция.

Ответ 4.3. Эта зависимость пропорциональна дельта функции собственных значений энергии E_i .

Вопрос 5. Как связан электрический ток с приложенным напряжением в 1D структуре?

Ответ 5.1. ПРАВИЛЬНЫЙ. Только посредством фундаментальных констант.

Сопротивление 1D структуры в результате расчетов составляет 12.906 кОм.

Ответ 5.2. Взаимосвязь определяется ступенчатой функцией и посредством фундаментальных констант.

Ответ 5.3. Ток изменяется ступенчатым образом в зависимости от приложенного напряжения.

Контрольные вопросы для проверки материала

Вопросы к Лекции 1. Введение. Основные электронные свойства кристаллических, неупорядоченных и органических полупроводников.

1. Укажите основные характеристики зонной энергетической диаграммы полупроводника.
2. Приведите выражение для концентрации электронов в зоне проводимости полупроводника.
3. Сравните характерное расположение уровня Ферми в собственном и примесном полупроводнике.
4. Изобразите схематически зависимость плотности состояний от энергии в неупорядоченных полупроводниковых материалах (модель Мотта-Дэвиса).

5. Сравните выражения для зависимости коэффициента поглощения α от энергии падающего кванта $h\nu$ для неорганических полупроводников в области фундаментального поглощения и спектр поглощения для неупорядоченных полупроводников на основе модели Мота.
6. Какова температурная зависимость прыжковой проводимости в неупорядоченных полупроводниках по локализованным состояниям вблизи краев энергетических зон?

Вопросы к лекции 2. Электронно-дырочный переход и переход Шоттки.

1. Изобразите схематически энергетическую диаграмму p-n перехода, распределение заряда, напряженность электрического поля и потенциал электрона в области p-n перехода.
2. Напишите выражение для контактной разности потенциалов в виде зависимости от концентраций легирующих примесей и концентрации собственных носителей заряда.
3. Покажите на энергетической диаграмме p-n перехода, для каких носителей заряда существует потенциальный барьер при прямом и обратном смещении p-n перехода.
4. Проиллюстрируйте изменение хода потенциала в p-n переходе при прямом и обратном смещении.
5. Напишите зависимость величины протекающего через p-n переход тока от величины приложенного напряжения. Сформулируйте основные приближения, при которых справедлива эта зависимость.
6. Поясните следующие свойства p-n перехода: свойство односторонней проводимости, температурные свойства p-n перехода, частотные свойства p-n перехода.
7. Пробой p-n перехода. Стабилизация напряжения при прямом и обратном смещении.
8. Понятие перехода Шоттки. Энергетическая диаграмма перехода Шоттки при нулевом смещении, при прямом смещении и при обратном смещении.
9. Сравните вольт-амперные характеристики диода Шоттки и p-n перехода, сравните характерные значения токов насыщения

Вопросы к лекции 3. Биполярные транзисторы

1. Основные части устройства биполярного транзистора и протекание тока по ним.
2. Изобразите схематически зонную энергетическую диаграмму биполярного транзистора при прямом смещении перехода эмиттер/база и обратном смещении коллектор/база.
3. Сравните поведение инжектированных в базу носителей заряда в транзисторе с короткой базой и с длинной базой.
4. Сформулируйте понятие транзисторного эффекта.
5. Почему важны относительно высокие значения степени легирования эмиттера.
6. Опишите процесс последовательного формирования областей транзисторного устройства на полупроводниковой подложке
7. Основные принципы преобразования напряжения с помощью транзисторного устройства
8. Входные и выходные характеристики транзистора в статическом режиме.
9. Динамический режим работы транзистора.

Вопросы к лекции 4. Полевые транзисторы

1. Устройство и полевых транзисторов. Название и функции областей и выводов полевого транзистора.
2. Физический смысл и выражение для напряжения отсечки при обеднении канала
3. Изобразите схематически продольное сечение полевого транзистора в случае ненулевого смещения стока.
4. Опишите процедуру вывода выражения для электрического тока в канале.

5. Физический смысл тока насыщения и напряжения насыщения транзистора. Приведите выражения для этих характеристик транзистора.
6. Изобразите схематически стоковую характеристику полевого транзистора. Сравните характеристики при нескольких значениях напряжения на затворе.
7. Изобразите стокзатворную характеристику полевого транзистора. Какова зависимость I_D от V_G ? Сравните характеристики при нескольких значениях напряжения между стоком и истоком.
8. Принцип действия транзистора на основе структуры металл-диэлектрик-полупроводник. Поясните на зонной энергетической диаграмме такой структуры условия плоских зон, аккумуляции, обеднения и инверсии.
9. Понятие вольт-фарадной характеристики (ВФХ). Каковы условия для измерений низкочастотной ВФХ, высокочастотной ВФХ, и ВФХ при условиях неравновесного обеднения?
10. Поясните причины изменения измеряемой емкости МДП структуры на следующих участках ВФХ: I- область неравновесного обеднения, II- область аккумуляции, III- область ограничения емкости за счет диэлектрика.
11. Приведите выражение для электрического тока в МДП транзисторе.
12. Сравните устройство транзисторов со встроенным каналом и транзисторов с индуцированным каналом.
13. Изобразите характерные стокзатворные ВАХ транзисторов со встроенным каналом для устройств с каналами n-типа и p-типа.
14. Изобразите характерные стокзатворные ВАХ транзисторов с индуцированным каналом.
15. Устройство полевых транзисторов МДП с двойным слоем диэлектрика. Опишите процесс переключения между режимами работы такого транзистора.

Вопросы к Лекции 5. Полупроводниковые устройства на основе тонких пленок и наноразмерных структур.

1. Приведите выражения для вольт-амперных характеристик в тонкопленочных структурах на основе механизмов туннелирования Пула-Френкеля, токов, ограниченных пространственным зарядом, туннелирования Фаулера-Нордгейма.
2. Изобразите схематически модель зонной энергетической диаграммы структуры металл/полимер/металл.
3. Рассмотрите схему движения носителей заряда на зонной энергетической диаграмме многослойного интерфейса в составе светоизлучающего устройства на основе органических пленок.
4. Почему в идеальных однокомпонентных пленках толщиной более 10 нм не все экситоны могут диссоциировать с образованием носителей заряда?
5. Изобразите схематически особенности зонной энергетической диаграммы структуры металл – смешанная органическая пленка – металл, в которой органическая пленка состоит из донорного и акцепторного компонент.
6. Сравните зависимости числа электронных состояний $N(E)$ и плотности состояний $D(E)$ для случаев 0D – квантовая точка, 1D - нанопроволока, 2D – поверхностный нанослой и 3D – объемный материал.
7. Объясните причину ступенчатого изменения тока в квази-1D канале полевого транзистора в зависимости от напряжения на затворе.

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
«Физика и химия полупроводниковых приборов»**

1. Явления генерации и рекомбинации носителей заряда в полупроводниках. Излучательная рекомбинация.
2. Возможности использования органических материалов в устройствах микро- и нано - электроники.
3. Электрофизические свойства структур металл-диэлектрик-полупроводник
4. Физико-химические свойства пограничных слоев в тонкопленочных полупроводниковых структурах.
5. Фотовольтаические свойства полупроводниковых переходов и гетеропереходов. Устройства накопления и преобразования солнечной энергии.
6. Устройство и принцип работы четырехслойных полупроводниковых приборов.

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 с контрольные вопросы, выполнение реферата	Очный практикум, включая подготовку и отчет	
	<i>“Физика и химия полупроводниковых приборов”</i>	36 ч.				
1	Лекция 1. Введение. Основные электронные свойства кристаллических, неупорядоченных и органических полупроводников. Лекция 2. Электронно-дырочный переход и переход Шоттки. Лекция 3. Биполярные транзисторы Лекция 4. Полевые транзисторы. Лекция 5. Полупроводниковые устройства на основе тонких пленок и наноразмерных структур.		10	3		1. Контрольные вопросы (электронная зачётка) 2. Дополнительные вопросы
2	Лабораторная работа 1. Явления фотоЭДС и фотопроводимости на интерфейсе органического и неорганического полупроводников и на интерфейсах в двухкомпонентных сопряженных				15	Отчет

	органических материалах.					
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. J. P. Colinge, C. A. Colinge, *Physics of semiconductor devices*, Kluwer Academic, 2002
2. Москатов Е. А. *Электронная техника.* – Таганрог, 2004. – 121 стр.
3. Sze, S.M., Kwok K., *Physics of semiconductor devices*, Wiley, NY, 2004
4. Пикус Г. Е., *Основы теории полупроводниковых приборов*, М., 1965
5. Roulston, David J. *An introduction to the physics of semiconductor devices*, Oxford University Press, Oxford, 1999
6. Гусева М.Б, Дубинина Е.М., *Физические основы твердотельной электроники*, Изд. МГУ, 1986.
7. Menon R. Charge transport in conducting polymers in: *Handbook of organic conductive molecules and polymers*, Ed. by: Nalwa H.S. Wiley: New-York, 1997, p. 47-140.

Дополнительная литература

1. Conwell E.M. Transport in conducting polymers in: *Handbook of organic conductive molecules and polymers*, Ed. by: Nalwa H.S. Wiley: New-York, 1997, p. 1-45. McKeown N.B., *Phthalocyanine materials: synthesis, structure and function*. Cambridge University Press, Cambridge, 1998, -224 p.
2. Spanggaard H., Krebs F. C., A brief history of the development of organic and polymeric photovoltaics, *Sol. Energy Mat. Sol. Cells* 2004, Vol. 83, p. 125-146.
3. 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.].
4. Nelson J., Organic photovoltaic films. *Curr. Opinion Sol. St. Mat. Sci.* 2002, Vol. 6, p. 87-95.

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