

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА И НАНОСИСТЕМ

Составитель – д.ф.-м.н., проф. А. Н. Васильев (физический факультет МГУ)

Д.ф.-м.н., в.н.с. Людмила Ивановна Рябова (химический факультет МГУ)

- Лекции и семинары 1 – 12

Д.ф.-м.н., в.н.с. Казначеев Анатолий Викторович (ИНЭОС РАН)

- Лекции и семинары 13 – 16

К.ф.-м.н., с.н.с. Волкова Ольга Сергеевна (физический факультет МГУ)

- Лекции и семинары 17 – 27

В программу курса включены базовые представления об электронной, спиновой и упругой подсистемах твердого тела. Описаны жидкие кристаллы как особый тип наноструктурированных систем. Предоставлена информация об эффектах наноструктурирования сегнетоэлектрических, магнитных и сверхпроводящих функциональных материалов.

Основы зонной теории твердых тел

Лекция 1.

Стационарные состояния и энергетический спектр электронов в кристалле. Адиабатическое приближение. Одноэлектронное приближение (метод Хартри-Фока). Самосогласованное поле. Элементарные возбуждения (квазичастицы). Функция Блоха. Обратная решетка.

Лекция 2.

Периодичность волновых функций и энергий по квазиволновому вектору. Приближение сильно связанных электронов. Приближение слабой связи. Потенциал Кронига-Пенни. Зоны Бриллюэна. Циклические граничные условия Кармана-Борна.

Лекция 3.

Метод эффективной массы. Эффективная масса как характеристика закона дисперсии. Понятие дырки. Определение эффективных масс электронов и дырок методом циклотронного резонанса. Водородоподобные примесные центры. Мелкие и глубокие примесные уровни в полупроводниках.

Лекция 4. Семинар

Лекция 5.

Колебания одномерной цепочки из одинаковых атомов и атомов двух типов. Акустическая и оптическая ветви колебаний. Теплоемкость решетки и электронного газа. Модель Эйнштейна. Модель Дебая.

Лекция 6.

Функция плотности состояний для квадратичного изотропного и не изотропного законов дисперсии. Эффективная масса плотности состояний. Функция распределения Ферми. Вырожденная и невырожденная статистики носителей заряда. Зависимость положения уровня Ферми от температуры.

Лекция 7.

Квантование энергии электронов в магнитном поле. Плотность состояний в магнитном поле.

Лекция 8.

Электропроводность и подвижность. Механизмы рассеяния носителей заряда. Эффект Холла. Случаи монополярной и биполярной проводимости.

Лекция 9. Семинар

Лекция 10.

Дебаева длина экранирования. Обедненный слой Шоттки. Работа выхода и контактная разность потенциалов. Запирающий и антизапирающий слои. Барьер Шоттки. p-n переходы в полупроводниках. Вольтамперная и вольтфарадная характеристики p-n переходов. Туннельный диод.

Лекция 11.

Статические поля. Поляризация. Уравнение дипольной релаксации. Статическая и высокочастотная диэлектрическая проницаемость. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Проводимость твердых тел в переменных электрических полях.

Лекция 12. Семинар

Физика жидких кристаллов

Лекция 13.

Жидкие кристаллы – как особый тип наноструктурированных систем. Классификация жидких кристаллов: термотропные, лиотропные и полимерные жидкие кристаллы. Жидкокристаллические фазы: нематическая, холестерическая и смектические мезофазы. Параметр порядка в жидких кристаллах и фазовый переход нематическая – изотропная фазы. Температурные интервалы существования жидкокристаллических фаз.

Лекция 14.

Равновесные свойства жидких кристаллов: анизотропия диэлектрической проницаемости и магнитной восприимчивости, двойное лучепреломление, ориентационная упругость, флексоэлектрические коэффициенты. Влияние электрического и магнитного полей на жидкие кристаллы. Переход Фредерикса – основное физическое явление, используемое в работе жидкокристаллических индикаторов. Особенности электрооптики жидких кристаллов.

Лекция 15.

Композитные материалы: жидкие кристаллы, диспергированные в полимеры и жидкие кристаллы, стабилизированные полимерными сетками. Электрооптика композитных материалов: рассеяние, двулучепреломление, времена включения и выключения. Динамические свойства жидких кристаллов – уравнения движения и коэффициенты вязкости. Периодические микроструктуры в жидких кристаллах.

Лекция 16. Семинар

Физика электрических и магнитных функциональных материалов

Лекция 17.

Классификация функциональных наноматериалов по электрофизическим и магнитным характеристикам. Металлы. Полупроводники, Изоляторы. Пьезоэлектрики. Пироэлектрики. Сегнетоэлектрики. Ферромагнетики. Ферримагнетики. Антиферромагнетики. Мультиферроики. Сверхпроводники.

Лекция 18.

Магнитные материалы. Основные представления физики магнитных явлений. Диамагнетизм. Парамагнетизм. Закон Кюри. Основные характеристики магнитоупорядоченных материалов. Закон Кюри – Вейсса. Спонтанная намагниченность. Функция Бриллюэна. Эффекты наноструктурирования магнетиков. Суперпарамагнетизм.

Лекция 19.

Спиновая и орбитальная составляющие магнитного момента. Основные механизмы обменного взаимодействия. Двойной обмен. Суперобмен. Правила Гуденафа-Канамори-Андерсона. Иерархия обменных взаимодействий. Магнитная анизотропия. Спин-флоп и спин-флип переходы в антиферромагнетиках. Коллинеарные и неколлинеарные магнитные структуры. Модель Яфета – Киттеля.

Лекция 20.

Зонный магнетизм. Магнитные гетероструктуры. Эффект гигантского магнитосопротивления. Магнитный вентиль. Принципы организации магнитной оперативной памяти. Эффект колоссального магнитосопротивления. Керамические ферромагнитные материалы. Туннельное магнитосопротивление.

Лекция 21. Семинар

Лекция 22.

Основные физические свойства сегнетоэлектриков. Температурная зависимость спонтанной поляризации и диэлектрических характеристик при фазовых переходах I и II рода. Сегнетоэлектрики типа смещения и типа порядок-беспорядок. Пироэлектрики, сегнетоэластики, антисегнетоэлектрики - определения и основные свойства.

Лекция 23.

Сегнетоэлектрические домены и их симметрия. Статическая доменная структура в одноосных и многоосных сегнетоэлектриках. Формирование доменной структуры при сегнетоэлектрическом фазовом переходе. Кинетика доменов. Механизмы переключения поляризации в сегнетоэлектриках. Кинетика доменной структуры одноосных сегнетоэлектриков в электрическом поле. Релаксоры.

Лекция 24.

Концепция "мягкой моды". Спонтанная поляризация. Пироэлектрические и пьезоэлектрические свойства. Фотосегнетоэлектрические явления. Оптические свойства сегнетоэлектриков. Фоторефрактивный эффект.

Лекция 25.

Тонкие пленки. Сегнетоэлектрические запоминающие устройства. Применение сегнетоэлектриков. Устройства, основанные на эффекте переключения. Применения, основанные на зависимости характеристик от процессов переключения. Гибридные структуры. Наноструктурирование сегнетоэлектриков.

Лекция 26. Семинар

Лекция 27.

Сверхпроводящие функциональные материалы. Эффект Мейсснера. Сверхпроводники первого и второго рода. Промежуточное и смешанное состояния в сверхпроводниках. Первое и второе критические магнитные поля. Низкотемпературные и высокотемпературные сверхпроводники. Наноструктурирование сверхпроводников. Терагерцовое излучение в слоистых сверхпроводящих системах.