

Программа курса
«ОПТИКА НАНОСИСТЕМ»

5-й курс, 9-й семестр

Лекция 1.

Основные понятия оптики конденсированных фаз вещества. Классификация твердых тел по размерности, электронным и оптическим свойствам. Уравнения Максвелла для среды с поглощением. Волновое уравнение. Комплексный показатель преломления и диэлектрическая проницаемость. Соотношения Крамерса-Кронига. Отражение света от границы раздела двух сред. Формулы Френеля. Угол Брюстера. Понятие о брюстеровской спектроскопии уровней и эллипсометрии. Особенности описания оптических свойств наносистем и нанокомпозитов.

Лекция 2.

Взаимодействие света с металлами и диэлектриками. Особенности электронного спектра металлов, полупроводников и диэлектриков. Поглощение и отражение света в металлах. Модель Друде. Плазмоны. Ориентационная, ионная и электронная поляризуемости диэлектриков. Дипольная релаксация. Модель Друде-Лоренца. Уравнение Клаузиуса-Моссоти. Поглощение света на колебаниях решетки. Фононы. Соотношение Лиддейна-Сакса-Теллера. Полоса остаточных лучей. Влияние граничных условий на колебательный спектр наноструктур и наночастиц. Поверхностные фононы.

Лекция 3.

Поглощение света в полупроводниках. Прямозонные и непрямозонные полупроводники. Прямые (вертикальные) и непрямые оптические переходы. Поглощение света при прямых переходах, комбинированная плотность состояний. Дипольно-разрешенные и запрещенные переходы. Поглощение

света при не прямых переходах, виртуальные состояния. Температурная зависимость коэффициента поглощения. Особенности поглощения света в вырожденных полупроводниках. Эффект Бурштейна-Мосса.

Лекция 4.

Экситонное и примесное поглощение света. Влияние примесей на энергетический спектр полупроводника. Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта. Спектр экситона Ванье-Мотта. Коллективные эффекты в системе экситонов: электронно-дырочная жидкость и электронно-дырочные капли. Фазовый переход Мотта. Взаимодействие света со свободными носителями заряда в полупроводниках с точки зрения квантовой теории твердого тела и классической модели Друде-Лоренца. Плазменный минимум отражения.

Лекция 5.

Эмиссия излучения из твердых тел. Тепловое излучение. Люминесценция. Межзонная рекомбинация. Формула Шокли-Русбрека. Излучательная рекомбинация с участием мелких уровней. Донорно-акцепторные пары. Изоэлектронные ловушки. Связанные экситоны. Люминесценция свободных экситонов, электронно-дырочной жидкости и электронно-дырочных капель.

Лекция 6.

Оптические явления в неоднородных твердотельных системах. Матричные и статистические гетеросистемы. Концепция эффективной среды и эффективная диэлектрическая проницаемость гетеросистемы. Электростатическое приближение. Фактор поля. Формула Максвелла. Соотношение Максвелла-Гарнетта. Приближение эффективной среды - формула Бруггемана.

Лекция 7.

Оптические свойства твердотельных нанокomпозитов. Показатель преломления статистической гетеросистемы на основе полупроводниковых наноструктур. Фактор деполяризации и оптическая анизотропия формы в гетеросистемах. Двулучепреломление формы и анизотропия поглощения (дихроизм). Частотная зависимость Друде-поглощения в нанокomпозитах. Распространение света в периодических средах. Оптическая анизотропия периодических сред.

Лекция 8.

Фотонные кристаллы. Распространение света в одномерном фотонном кристалле. Понятие о фотонной запрещенной зоне. Методы расчета оптических свойств фотонных кристаллов. Двумерные и трехмерные фотонные кристаллы. Квазипериодические фотонные кристаллы. Фотонно-кристаллические среды и волноводы. Дисперсия света в фотонно-кристаллических структурах. Использование фотонных кристаллов как брэгговских зеркал. Микрорезонаторы. Замедление света в фотонных кристаллах.

Лекция 9.

Рассеяние света в твердых телах. Динамические и статические флуктуации показателя преломления. Упругое и неупругое рассеяние. Рассеяние Рэлея, угловая и частотная зависимости. Рассеяние Ми. Рассеяние Мандельштама-Бриллюэна, стоксовы и антистоксовы компоненты рассеяния. Комбинационное (рамановское) рассеяние света и зависимость его интенсивности от температуры. Рассеяние света в поглощающих средах.

Лекция 10.

Влияние размеров тел на их оптические свойства (I). Классификация низкоразмерных систем. Квантовый размерный эффект. Приближение эффективной массы. Модель квантового ограничения для потенциальной

ямы с бесконечными стенками – квантовой ямы Квантовый размерный эффект для квантовых нитей и точек.

Лекция 11.

Влияние размеров тел на их оптические свойства (II). Функция плотности состояний для электронов в двумерных, одномерных и нульмерных системах. Квантовый размерный эффект в реальных наноструктурах. Понятие о дробной (фрактальной) размерности. Влияние квантового размерного эффекта на поглощение и люминесценцию твердотельных наноструктур.

Лекция 12.

Экситоны в полупроводниковых наноструктурах. Модификация спектра экситона Ванье-Мотта в квантовой яме. Влияние размерности полупроводниковой наноструктуры и ее диэлектрической проницаемости ее окружения на энергию связи экситонов. Диэлектрическое усиление экситонов. Экситоны в гетероструктурах и сверхрешетках. Пространственная локализация экситонов. Возбужденные состояния экситонов. Трионы. Учет спинового состояния для энергии экситона. Обменное взаимодействие для экситонов в нанокристаллах. Стоксов сдвиг. Экситон-фононное взаимодействие, фактор Хуанг-Рисса.

Лекция 13.

Динамика экситонов в ансамблях полупроводниковых нанокристаллов (I). Феноменологические модели возбуждения и рекомбинации неравновесных носителей заряда в полупроводниковых наноструктурах. Учет связи между подсистемами экситонов и неравновесных фотовозбужденных носителей заряда. Зависимость концентрации экситонов от температуры.

Лекция 14.

Динамика экситонов в ансамблях полупроводниковых нанокристаллов (II).

«Темные» и «светлые» экситоны в квантовых ямах и точках. Феноменологические модели возбуждения и рекомбинации неравновесных носителей заряда в полупроводниковых наноструктурах. Учет связи между подсистемами экситонов и неравновесных фотовозбужденных. Роль оже-рекомбинации и ударной ионизации в динамике рекомбинации экситонов в нанокристаллах. Эффект мультиплицирования экситонов и его возможные применения. Время жизни экситонов в ансамблях нанокристаллов. Фотосенсибилизация люминесценции редкоземельных ионов в структурах с нанокристаллами кремния.

Лекция 15.

Оптические свойства и применения полупроводниковых наноструктур.

Методы формирования и примеры низкоразмерных систем и наноструктур. Квантовые ямы и сверхрешетки. Квантовые нити. Квантовые точки. Механизм роста Странского-Крастанова. Пористый кремний. Сечение поглощения света нанокристаллами. Оптические свойства нанокомпозитов с учетом экситонных эффектов. Применения квантовых ям и сверхрешеток в оптоэлектронике. Использование оптических и люминесцентных свойств квантовых точек. Лазеры на квантовых точках.

Лекция 16.

Элементы спиновой оптики и спинтроники.

Спин-зависимая рекомбинация носителей заряда в полупроводниках и полупроводниковых наноструктурах. Спин-орбитальное взаимодействие и оптическая ориентация спинов. Особенности спин-орбитального взаимодействия в полупроводниковых наноструктурах. Вклады Рашбы и Дрессельхауза. Поляризованная люминесценция. Фотогальванические спин-зависимые явления: циркулярный и линейный фотогальванические эффекты. Понятие о спинтронике.

Лекция 17.

Нелинейные оптические явления в твердотельных системах. Нелинейная поляризуемость среды. Генерация гармоник, смешение частот и оптическое выпрямление. Правила Клеймана. Генерация второй гармоники «на отражение» и «на прохождение». Фазовый синхронизм. Реализация фазового синхронизма в анизотропных кристаллах и средах с аномальной дисперсией. Вынужденное комбинационное рассеяние света. Особенности вынужденного комбинационного рассеяния света в наноструктурах и волноводах. Рамановский лазер.

Лекция 18.

Элементы нелинейной оптики наноструктур и нанокомпозитов. Фактор локального поля и нелинейная поляризуемость среды. Механизмы усиления оптических нелинейностей в твердотельных нанокомпозитах. Генерация оптических гармоник в анизотропных наноструктурах. Особенности фазового синхронизма в наноструктурах с двулучепреломлением формы. Фазовый синхронизм и генерация гармоник в фотонных кристаллах. Оптическое переключение в наноструктурах и фотонных кристаллах. Использование методов нелинейной оптики для исследования наноструктур и наноматериалов.

Список рекомендованной литературы по курсу «ОПТИКА НАНОСИСТЕМ»

Основная литература:

1. П.К.Кашкаров, В.Ю.Тимошенко. *«Оптика твердого тела и низкоразмерных структур»*, М., Пульс, 2008, 292 с.
2. Ч. Киттель. *Введение в физику твердого тела*. М., Наука, 1978.
3. К. В. Шалимова *Физика полупроводников*. М., Энергоатомиздат, 1985.
4. В.Л. Бонч-Бруевич, С.Г. Калашников. *Физика полупроводников*. М., Наука, 1990.
5. М. Борн, Э. Вольф. *Основы оптики*. М., Наука, 1970.
6. Е. Ф. Венгер, А. В. Гончаренко, М. Л. Дмитрук. *Оптика малых частиц и дисперсных сред*. Киев, Наукова Думка, 1999.
7. Н.И. Коротеев, И.Л. Шумай. *Физика мощного лазерного излучения*. М., Наука, 1991.
8. А.П. Виноградов. *Электродинамика композитных материалов*. М., Урсс, 2001.
9. С.В.Гапоненко, Н.Н. Розанов, Е.Л.Ивченко, А. Ф. Федоров и др. *Оптика наноструктур*. Под ред. А. Ф. Федорова. СПб., Недра, 2005.

Дополнительная литература:

1. Ж. Панков. *Оптические процессы в полупроводниках*. М., Мир, 1973.
2. Т. Мосс, Г. Баррел, Б. Эллис. *Полупроводниковая оптоэлектроника*. М., Мир, 1976.
3. Ю. И. Уханов. *Оптические свойства полупроводников*. М., Наука, 1977.
4. А. Берг, П. Дин. *Светодиоды*. М., Мир, 1979.

5. В.П. Драгунов, И.Г. Незвесный, В.А. Гридчин. *Основы наноэлектроники*. М., Логос, 2006.
6. И. Р. Шен. «Принципы нелинейной оптики», М., Наука, 1989.
7. S.V. Garonenko. *Optical properties of semiconductor nanocrystals*. Cambridge, 1998.
8. П. К. Кашкаров, Б. В. Каменев, Е. А. Константинова, А. И. Ефимова, А.В. Павликов, В. Ю. Тимошенко. «Динамика неравновесных носителей заряда в кремниевых квантовых нитях». Успехи Физ. Наук, 1998, т.168, №5, с.577-582.
9. Л.А. Головань, В.Ю. Тимошенко, П.К. Кашкаров. «Оптические свойства нанокмполитов на основе пористых систем». Успехи Физ. Наук, 2007, 177, с.619- 638.

Программу подготовил профессор В.Ю.Тимошенко