ОПТИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА И НАНОСТРУКТУР

Программа специального курса. Лекторы – проф. В.Ю.Тимошенко, м.н.с. К.А.Гончар

1. Основные понятия оптики конденсированных фаз вещества. Классификация твердых тел по электронным свойствам и размерности. Уравнения Максвелла для среды с поглощением. Волновое уравнение. Комплексные 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 элипсометрии.
2. Взаимодействие света с металлами и диэлектриками. Особенности электронного спектра металлов, полупроводников и диэлектриков. Поглощение и отражение света в металлах. Модель Друде. Ориентационная, ионная и электронная поляризуемости диэлектриков. Дипольная релаксация. Модель Друде-Лоренца. Уравнение Клаузиуса-Моссоти. Поглощение света на колебаниях решетки. Фононы. Полоса остаточных лучей. Соотношение Лиддейна-Сакса-Теллера.
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 непрямых переходах, виртуальные состояния. Температурная зависимость коэффициента поглощения.
4. Особенности поглощения света в вырожденных и неупорядоченных полупроводниках. Эффект Бурштейна-Мосса. Особенности Ван-Хова. Понятие о модуляционной спектроскопии. Влияние примесей на энергетический спектр полупроводника. Хвосты плотности состояний. Правило Урбаха. Поглощение при малых концентрациях примеси. Взаимодействие света со свободными носителями заряда в полупроводниках: квантово-механическое описание и классическая модель Друде. Плазменный минимум отражения.
5. Экситонное поглощение света. Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта. Спектр экситона Ванье-Мотта. Коллективные эффекты в системе экситонов: электронно-дырочная жидкость и электронно-дырочные капли. Фазовый переход Мотта.
6. Влияние внешних воздействий на оптические свойства твердых тел. Изменение энергетического спектра кристалла при деформации. Фазовый переход полупроводник-металл. Влияние нагрева, свойства полупроводников в расплавленном состоянии. Влияние магнитного поля, уровни Ландау, циклотронный резонанс, вращение плоскости поляризации. Полупроводник в электрическом поле, эффект Франца-Келдыша. Электро- и фото-отражение.
7. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. Фотоэффект. Релаксация фотовозбужденнных носителей заряда, термализация, максвелловское время релаксации. Классификация фотоэлектрических явлений. Собственная и примесная фотопроводимость. Время релаксации фотопроводимости.
8. 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, зависимость от температуры. Рассеяние света в поглощающих средах.
9. Эмиссия излучения из твердых тел. Люминесценция. Межзонная рекомбинация. Формула Шокли-Ван-Русбрека. Время жизни при межзонной рекомбинации. Примесная и экситонная люминесценция в полупроводниках.
10. 9.Нелинейные оптические явления в твердотельных системах. Нелинейная поляризуемость среды. Генерация гармоник, смешение частот и оптическое выпрямление. Роль симметрии решетки. Генерация второй гармоники при прохождении оптической среды. Фазовый синхронизм. Генерация гармоник в средах с аномальной дисперсией и двулучепреломлением. Вынужденное комбинационное рассеяние света. Рамановский лазер. Генерация квазиконтинума. Связь явлений спонтанного и вынужденного комбинационного рассеяний света.
11. 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-Гарнеттта. Приближение эффективной среды - формула Бруггемана. Критерий протекания.
12. Оптика статистической гетеросистемы. Фактор деполяризации и оптическая анизотропия формы в гетеросистемах. Двулучепреломление и анизотропия поглощения (дихроизм). Частотная зависимость Друде-поглощения в нанокомпозитах.
13. Распространение света в периодических средах. Оптическая анизотропия периодических сред. Фотонные кристаллы. Примеры фотонных кристаллов и их возможные применения.

14. Влияние размеров тел на их оптические свойства. Классификация низкоразмерных систем. Квантовый размерный эффект. Приближение эффективной массы. Функция плотности состояний 2D, 1D и 0D–размерных систем.
15. Экситоны в полупроводниковых нанокристаллах. Энергия связи, диэлектрические эффекты, обменное взаимодействие. Синглетные и триплетные экситоны. Стоксов сдвиг. Экситон-фононное взаимодействие, фактор Хуанг-Рисса.
16. Динамика экситонов в ансамблях полупроводниковых нанокристаллов. Феноменологические модели возбуждения и рекомбинации неравновесных носителей заряда в полупроводниковых наноструктурах. Темные и светлые экситоны. Квантовые биения.
17. Примеры низкоразмерных систем и наноструктур. Квантовые ямы и сверхрешетки. Квантовые нити. Квантовые точки. Механизм роста Странского-Крастанова. Пористый кремний. Особенности оптических свойств ансамблей нанокристалов кремния. Модели люминесценции пористого кремния.
18. Перенос энергии и оптические свойства нанокомпозитов. Механизмы Фёрстера и Декстера. Фотосенсибилизированная люминесценция в полупроводниках и наноструктурах.
19. Элементы спиновой оптики. Спин-зависимая рекомбинация. Спин-орбитальное взаимодействие и оптическая ориентация спинов в полупроводниках и полупроводниковых наноструктурах. Вклады Рашбы и Дрессельхауза. Поляризованная люминесценция.
20. Фотогальванические эффекты в твердых телах и наноструктурах. Циркулярный и линейный фотогальванические эффекты. Понятие о спинтронике.
21. Оптоэлектроника твердотельных наноструктур. Фотовольтаические эффекты в наноструктурах. Фотодетекторы: фотодиоды и фотоэлементы. Солнечные элементы и батареи. Нанотехнологии и перспективы фотовольтаики.
22. Светоизлучающие структуры с квантовыми эффектами. Светодиоды и лазеры на квантовых ямах и точках. Квантовые каскадные лазеры.
23. Нелинейные оптические явления в твердотельных системах и наноструктурах. Нелинейная поляризуемость среды. Генерация гармоник, смешение частот и оптическое выпрямление. Факторы роста нелинейной восприимчивости гетеросистемы.
24. Генерация второй гармоники при отражении от границы раздела. Законы отражения и преломления при генерации второй гармоники. Генерация второй гармоники при отражении от поверхности полупроводников и наноструктур.
25. Вынужденное комбинационное рассеяние света в наноструктурах. Рамановский лазер. Генерация квазиконтинума. Связь явлений спонтанного и вынужденного комбинационного рассеяний света.
26. Особенности нелинейно-оптических процессов в твердотельных нано- и микроструктурах. Роль локального поля. Использование нелинейной оптики для анализа поверхности твердых тел и наноструктур.

Рекомендуемая литература:

1. Ч. Китель. *Введение в физику твердого тела*. М., Наука, 1978.
2. К. В. Шалимова *Физика полупроводников*. М., Энергоатомиздат, 1985.
3. В.Л. Бонч-Бруевич, С.Г. Калашников. *Физика полупроводников*. М., Наука, 1990.
4. Ж. Панков. *Оптические процессы в полупроводниках.* М., Мир, 1973.
5. Т. Мосс, Г. Баррел, Б. Эллис. *Полупроводниковая оптоэлектроника*. М., Мир, 1976.
6. Ю. И. Уханов. *Оптические свойства полупроводников*. М., Наука, 1977.
7. А. Берг, П. Дин. *Светодиоды*. М., Мир, 1979.
8. Н.И. Коротеев, И.Л. Шумай. *Физика мощного лазерного излучения*. М., Наука, 1991.
9. П.К. Кашкаров, В.Ю.Тимошенко. *Оптика твердого тела и систем пониженной размерности*. М., Физ. Факультет МГУ, 2009.