

1. Размерное квантование.

Спектр энергии и волновые функции электрона в квантовых ямах, квантовых точках и квантовых нитях.

2. Общие особенности поглощения света в квантовых ямах.

Типы оптических переходов. Выражение для оператора энергии взаимодействия электрона с электромагнитной волной. Скорость оптических переходов электронов в первом порядке теории возмущений. Учет заполнения состояний. Индуцированные переходы с поглощением и испусканием фотона. Выражение для коэффициента поглощения света. Особенности введения нормировочного объема, связанные с понижением размерности. Понятие о методе эффективной массы. Вид полной волновой функции электрона в полупроводнике. Вывод выражения для матричного элемента оператора импульса (оптического матричного элемента) в рамках метода эффективной массы. Вид оптического матричного элемента для различных типов оптических переходов (межзонные, внутривозонные, межвозонные переходы).

3. Межзонное поглощение света в квантовых ямах.

Правила отбора по начальным и конечным состояниям для квантовых ям с бесконечно высокими стенками, для ям конечной глубины, для симметричных и несимметричных ям. Спектральная зависимость коэффициента поглощения. Приведенная плотность состояний.

Экситоны в квантовых ямах. Энергия связи экситона в квантовой яме. Случай ям с бесконечно высокими стенками и ям конечной глубины. Зависимость энергии связи экситона от ширины ямы. Особенности, связанные с наличием легких и тяжелых дырок. Проявление экситонов в спектрах поглощения.

Влияние электрического поля на межзонное поглощение света. Продольное и поперечное поле. Размерный эффект Штарка. Расчет штарковского сдвига уровня. Сдвиг пика экситонного поглощения в продольном и поперечном электрическом поле.

Поляризационная зависимость межзонного поглощения света. Структура волновых функций зоны проводимости и валентной зоны с учетом вырождения и спин-орбитального взаимодействия. Оптический матричный элемент. Правила отбора по поляризации для оптических переходов легких и тяжелых дырок. Эксперимент: методики фотолюминесценции и возбуждения фотолюминесценции. Правила отбора для излучения круговой поляризации. Оптическая ориентация спина. Эффект Ханле.

4. Межвозонное поглощение света в квантовых ямах.

Матричный элемент для огибающих волновой функции. Правила отбора по состояниям и поляризации излучения для квантовых ям различного типа. Спектр межвозонного поглощения. Уширение спектра. Способы изучения межвозонного поглощения, связанные с малой величиной поглощения и правилами отбора по поляризации.

Фотоионизация квантовой ямы. Волновые функции состояний сплошного спектра, нормированные на дельта-функцию от энергии. Резонансные и нерезонансные квантовые ямы. Оптический матричный элемент. Спектр поглощения для резонансных и нерезонансных квантовых ям.

Поглощение света при межвозонных переходах дырок. Особенности размерного квантования в валентной зоне. Приведенная плотность состояний и оптический матричный элемент для конкретной структуры. Объяснение вида спектра поглощения, идентификация особенностей в спектре.

5. Поглощение света при внутривозонных переходах электронов в квантовых ямах.

Оптический матричный элемент. Правила отбора, необходимость привлечения центров рассеяния импульса для описания внутривозонного поглощения. Скорость оптических переходов в рамках второго порядка теории возмущений. Понятие о виртуальных переходах и виртуальных состояниях. Матричные элементы для различных механизмов рассеяния в

квантовых ямах. Внутриподзонное поглощение света через виртуальные состояния, находящиеся в различных подзонах. Особенности поглощения излучения с малой энергией кванта при рассеянии на оптических фонах.

6. Факторы, влияющие на положение пика межподзонного поглощения света.

Деполаризационный сдвиг пика межподзонного поглощения. Граничные условия для напряженности электрического поля световой волны. Диэлектрическая проницаемость двухуровневой системы, спектральные зависимости вещественной и мнимой частей диэлектрической проницаемости. Деполаризация среды в области пика поглощения. Величина деполаризационного сдвига пика поглощения. Эффекты деполаризации при фотоионизации квантовой ямы.

Влияние непараболичности зонного спектра объемного полупроводника на межподзонное поглощение. Приближение продольной и поперечной эффективных масс, их зависимости от ширины ямы. Температурная зависимость спектра межподзонного поглощения света с учетом непараболичности.

Влияние многочастичных эффектов на межподзонное поглощение света в квантовых ямах. Многочастичная волновая функция. Принцип неразличимости тождественных частиц и принцип Паули. Потенциал Хартри. Приближение Хартри-Фока. Обменная энергия. Природа обменного взаимодействия. Зависимость положения пика межподзонного поглощения от поверхностной концентрации электронов - сравнение эксперимента и расчета, учитывающего различные механизмы.

7. Внутризонное поглощение света в сверхрешетках.

Спектр энергии электрона в сверхрешетке. Минизоны. Минизонный спектр в рамках приближения сильной связи. Коэффициент поглощения света при переходах электронов между минизонами. приведенная плотность состояний. Соотношение сил осциллятора для переходов из разных состояний минизоны. Зависимость силы осциллятора от поперечного волнового вектора для различной ширины барьера. Экспериментальный спектр поглощения. Переходы в резонансные состояния примеси.

8. Увлечение электронов светом в квантовых ямах. Классическая модель тока увлечения. Феноменологическое описание эффекта увлечения. Возможность существенного увеличения тока увлечения в рамках модели квантовых переходов электронов между подзонами. Эффект увлечения в квантовых ямах при межподзонном поглощении света. Резонансная и нерезонансная компоненты тока увлечения. Релаксация тока увлечения, связанная с разным временем релаксации импульса в подзонах. Спектр тока увлечения.

9. Фотоприемники на квантовых ямах.

Поперечный транспорт в сверхрешетках. Домены сильного и слабого поля. Факторы, определяющие чувствительность фотоприемника на межподзонных переходах в квантовых ямах.

10. Понятие об инжекционных лазерах.

Полупроводниковые лазеры на квантовых ямах - сравнение с лазерами на объемных слоях.

11. Каскадный лазер на связанных квантовых ямах.

Особенности лазеров на межподзонных переходах. Принцип работы каскадного лазера. Особенности рассеяния на полярных оптических фонах. Характерные времена туннелирования, а также излучательных и безызлучательных переходов электронов. Конструкция лазера. Особенности длинноволновых каскадных лазеров.