

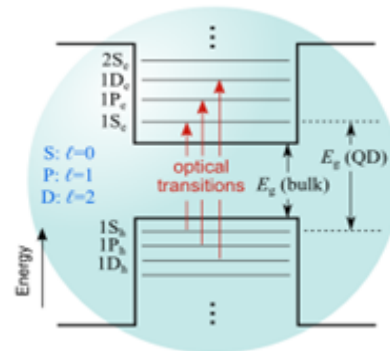
# Физика полупроводниковых наноструктур

## Лекторы:

Анна Родина

## Ассистент:

Ольга Смирнова



## Язык:

Русский

## Трудоемкость:

## Форма контроля:

экзамен

## Образовательная программа:

Фотоника и спинтроника

2й семестр

## Прerequisites:

Общая физика

Основы квантовой механики

Основы электродинамики

Основы физики твердого тела

| Лекции<br>(ак.час)*               | Практические занятия<br>(ак.час) | Лабораторные занятия<br>(ак.час) |
|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 12                                | 2                                |                                  |
| *1 академический час = 45 минутам |                                  |                                  |

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с описанием фундаментальных электронных, оптических и магнитооптических свойств полупроводниковых наноструктур. На базе методов квантовой зонной теории и теории симметрии рассматриваются энергетические спектры в полупроводниковых гетероструктурах пониженной размерности и наноструктурах на основе кубических и гексагональных полупроводников со структурой цинковой обманки и вюрцита. Особое внимание уделяется специфике эффектов размерного квантования электронных и экситонных состояний в зависимости от формы и размера наноструктуры и выбору теоретических моделей для их описания. Изучаются правила отбора оптических переходов и тонкая структура экситонного спектра полупроводниковых наноструктур: квантовых ям, квантовых нитей, квантовых точек и нанокристаллов, а также структур с экстремальной двумерностью. Приводятся и обсуждаются основные экспериментальные и теоретические результаты из области оптических и магнито-оптических исследований полупроводниковых наноструктур – как в аспекте исторического развития, так и с целью освещения последних достижений мировой науки в этой области.

## Содержание курса

### Часть I. Размерное квантование и энергетический спектр в полупроводниковых наноструктурах

#### Структура курса

1. Введение в мир полупроводниковых наноструктур и гетероструктур пониженной размерности: исторический обзор и классификация - лекция
2. Размерное квантование в наноструктурах: методы расчета электронного спектра и фононного спектра - лекция
3. Метод эффективной массы для наноструктур и гетероструктур: граничные условия для огибающих волновых функций и расчет электронного спектра квантовых точек, квантовых ям и квантовых нитей; плотность электронных состояний - лекция
4. Многозонный кр метод для нано и гетероструктур: непараболичность эффективной массы, обобщенные граничные условия и влияние поверхности на электронный спектр в модели Кейна - лекция
5. Спин-орбитальное взаимодействие в наноструктурах - лекция
6. Размерное квантование и влияние гетерограниц на электронный спектр дырок в квантовых точках, квантовых ямах и квантовых проволоках в модели Латтинжера - лекция
7. Влияние внешних электрического и магнитного полей на энергетический спектр электронов и дырок в наноструктурах
8. Решение задач по теме "Размерное квантование и энергетический спектр в полупроводниковых наноструктурах" - практика

### Часть II. Оптические и магнитооптические свойства полупроводниковых наноструктур

#### Структура курса

9. Оптические переходы и правила отбора в наноструктурах, оптическая ориентация и поляризация фотолюминесценции - лекция
10. Экситоны в наноструктурах: влияние размерности и эффектов диэлектрического ограничения; режимы размерного квантования - лекция
11. Экситонная фотолюминесценция: оптические правила отбора и тонкая структура экситонного спектра в наноструктурах; влияние внешнего магнитного поля - лекция
12. Примесные центры и экситонные комплексы в наноструктурах; излучательная и безызлучательная рекомбинация; экситон-фононное взаимодействие и неупругое комбинационное рассеяние света в наноструктурах - лекция
13. Циркулярная и линейная поляризация фотолюминесценции во внешнем магнитном поле в наноструктурах - лекция
14. Неупругое рассеяние света во внешнем магнитном поле в наноструктурах - лекция
15. Решение задач по теме "Оптические и магнитооптические свойства полупроводниковых наноструктур" - практика
16. Студенческие доклады по актуальным тематикам физики полупроводниковых наноструктур - семинар

#### Рекомендуемые ресурсы

1. Ландау и Лифшиц, том III "Квантовая механика", Москва "Наука" 1989.
2. Г.Л. Бир и Г.Е. Пикус, Симметрия и деформационные эффекты в полупроводниках, Москва "Наука", 1972.
3. Питер Ю, Мануэль Кардона, Основы физики полупроводников, Москва, Физматлит, 2002.
4. E.L. Ivchenko, Optical spectroscopy of semiconductor nanostructures, Springer, Berlin, 2004.
5. E.L. Ivchenko and G.E. Pikus, Superlattices and Other Heterostructures, Springer, Berlin, 1997.

#### Политика оценивания

|  |     |
|--|-----|
| Максимальное количество баллов за курс                     | 100 |
| Максимальное количество баллов за решение задач            | 40  |
| Максимальное количество баллов за выступление на семинаре  | 20  |
| Максимальное количество баллов за практическую работу      | 0   |
| Максимальное количество баллов за финальный устный экзамен | 40  |

#### Тип самостоятельных заданий

##### Пример задачи по курсу:

Найти тонкую энергетическую структуру первого возбужденного состояния электрона в сферической и почти сферической квантовой точке на основе полупроводников CdSe/ZnSe в модели Кейна.

#### Дополнительные комментарии

**Постреквизиты (знания и навыки после освоения курса):**

знание основных моделей и навыки расчета электронных состояний в полупроводниковых наноструктурах; знание и навыки описания экситонных состояний, оптических и магнитооптических явлений в полупроводниковых наноструктурах.

**Вопросы к экзамену по курсу:**

1. Классификация полупроводниковых наноструктур и гетероструктур пониженной размерности
2. Размерное квантование в наноструктурах: методы расчета электронного и фононного спектра
3. Метод эффективной массы для наноструктур и гетероструктур: граничные условия для огибающих волновых функций и расчет электронного спектра квантовых ям и квантовых нитей с бесконечными и конечными потенциальными барьерами
4. Энергетический спектр электронов в методе эффективной массы в квантовых точках различной формы
5. Метод эффективной массы: плотность электронных состояний в объемных полупроводниках, квантовых ямах, квантовых нитях и квантовых точках
6. Восьмизонный  $k$  метод для нано и гетероструктур: обобщенные граничные условия и влияние поверхности на электронный спектр в модели Кейна
7. Спин-орбитальное взаимодействие в наноструктурах
8. Размерное квантование и влияние гетерограниц на электронный спектр дырок в квантовых ямах в четырехзонной модели Латтинжера
9. Размерное квантование дырок в квантовых точках в четырехзонной и шестизонной модели Латтинжера
10. Влияние внешнего электрического поля на энергетический спектр электронов и дырок в квантовых ямах
11. Влияние внешнего магнитного поля на энергетический спектр электронов и дырок в наноструктурах: перенормировка и размерная зависимость  $g$  фактора
12. Межзонные оптические переходы и правила отбора в квантовых ямах, оптическая ориентация и поляризация фотолюминесценции
13. Межзонные оптические переходы и правила отбора в сферических квантовых точках, оптическая ориентация и поляризация фотолюминесценции
14. Экситоны в объемных полупроводниках, квантовых ямах, квантовых проволоках и квантовых точках; влияние диэлектрического ограничения на энергию связи
15. Режимы размерного квантования экситонов в квантовых точках
16. Экситонная фотолюминесценция: оптические правила отбора и тонкая структура экситонного спектра в квантовых ямах; циркулярная и линейная поляризация фотолюминесценции
17. Экситонная фотолюминесценция: оптические правила отбора и тонкая структура экситонного спектра в сферических квантовых точках; влияние температуры и внешнего магнитного поля
18. Примесные центры и экситонные комплексы в наноструктурах: энергия связи и тонкая структура
19. Экситонные комплексы в наноструктурах: излучательная и безызлучательная рекомбинация
20. Неупругое комбинационное рассеяние света в наноструктурах в нулевом и внешнем магнитном поле