

Квантоворазмерные системы

1) Краткое содержание дисциплины.

Дисциплина "Квантоворазмерные системы нанoeлектроники" призвана ознакомить студентов с общими принципами размерного квантования, с основами физических процессов, протекающих в твердотельных структурах с пониженной размерностью, включая полупроводниковые структуры с квантовыми ямами, квантовыми нитями и квантовыми точками, с основами современных технологий разработки и создания таких структур и с принципами разработки эффективных приборов нанoeлектроники и их применения. Важность изучения дисциплины определяется высокими темпами развития современных нанотехнологий, их внедрения в повседневную деятельность человека и потребностью промышленности и науки в специалистах соответствующего профиля.

2) Кредитная стоимость дисциплины.

3,5 Ст ECTS (3 ЗЕТ, 108 ач, включая экзамен)

3) Цель

Целью изучения дисциплины является подготовка высококвалифицированных специалистов, способных на основе полученных знаний к активной творческой работе в области современной микро- и нанoeлектроники и нанотехнологий как в научно-исследовательских учреждениях, так и в условиях промышленного производства.

Это полностью соответствует цели основной образовательной программы подготовки выпускников-магистров по направлению 223200 «Техническая физика», которой является формирование у них знаний, умений, навыков, обеспечивающих способность к самостоятельной творческой профессиональной деятельности в условиях быстро развивающихся наукоемких отраслей техники и технологии.

4) Результаты обучения:

Знания, навыки, умения:

- знание физических основ работы электронных приборов разных типов;
- знание особенностей физических свойств систем с пониженной размерностью и методов их теоретического описания;
- знание технологии создания структур с пониженной размерностью, включающей как традиционные методы микроэлектроники, так и специфические технологические процессы, разработанные в последние годы для получения низкоразмерных структур;
- знание характеристик и параметров основных типов электронных приборов, особенностей их использования в радиоэлектронных устройствах.
- умение подобрать электронный прибор, наиболее подходящий для решения конкретной научно-технической задачи;
- умение выполнять количественные расчеты параметров низкоразмерных систем на базе математического аппарата квантовой механики;
- умение использовать новые физические явления для создания новых материалов, компонентов, приборов и устройств микро- и нанoeлектроники.

Компетенции:

ОК-2, способность к самостоятельному обучению новым методам исследования, пополнению своих знаний в области современных проблем технической физики и смежных наук, готовность к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности, к изменению социокультурных и социальных условий деятельности

ПК-7, способность самостоятельно выполнять физико-технические научные исследования для оптимизации параметров объектов и процессов с использованием стандартных и специально разработанных инструментальных и программных средств.

ПК-8, готовность осваивать и применять современные физико-математические методы и методы искусственного интеллекта для решения профессиональных задач, составлять практические рекомендации по использованию полученных результатов.

ПК-21, готовность и способность применять физические методы теоретического и экспериментального исследования, методы математического анализа и моделирования для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий.

ПК-23 готовность к участию в организации и проведении инновационного образовательного процесса.

5) Содержание:

1. Элементарные наноструктуры - системы квантовых ям, нитей, точек и полупроводниковые сверхрешетки: Л – 1 ач, ПЗ – 2 ач, СР – 1 ач.
2. Особенности низкоразмерных систем: Л – 1 ач, ПЗ – 2 ач, СР – 1 ач
3. Размерное квантование: Л – 2 ач, ПЗ – 4 ач, СР – 2 ач
4. Электронные свойства наноструктур: Л – 2 ач, ПЗ – 4 ач, СР – 2 ач
5. Двумерный электронный газ в МДП-структурах: Л – 2 ач, ПЗ – 4 ач, СР – 2 ач
6. Квантовый эффект Холла в двумерном электронном газе: Л – 2 ач, ПЗ – 4 ач, СР – 2 ач
7. Транспортные явления в наноструктурах: Л – 2 ач, ПЗ – 4 ач, СР – 2 ач
8. Туннелирование через квантоворазмерные структуры: Л – 2 ач, ПЗ – 4 ач, СР – 2 ач
9. Проблемы одноэлектроники: Л – 2 ач, ПЗ – 4 ач, СР – 2 ач
10. Особенности оптических свойств наноструктур: Л – 2 ач, ПЗ – 4 ач, СР – 2 ач
11. Экзамен: 36 ач

6) Пререквизиты:

Изучение дисциплины опирается на знания, полученные при изучении дисциплин «Физика», «Математика», «Теоретическая физика», «Физика полупроводников», «Квантовая механика» предшествующей бакалаврской подготовки.

Результаты изучения дисциплины используются при изучении ряда дисциплин вариативной части профессионального цикла, при проведении НИРМ и при подготовке магистерской диссертации.

7) Основной учебник

- Основы наноэлектроники. учеб. пособие для вузов / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин — М. Логос, 2006

8) Дополнительная литература

- Оптические явления в полупроводниковых квантово-размерных структурах. Учеб. пособие. / Л.Е. Воробьев, Л.Е. Голуб, С.Н. Данилов и др. — Санкт-Петербург Изд-во СПбГТУ, 2000

- Физика низкоразмерных систем. учеб. пособие для вузов по направлению "Техн. физика". / А.Я. Шик, Л.Д. Бакуева, С.Ф. Мусихин, С.А. Рыков — СПб. Наука, 2001

9) Координатор:

Зав. кафедрой, профессор, д.ф.-м.н. Д.А. Фирсов.

10) Использование компьютера:

Компьютер используется при выполнении практических занятия и самостоятельной работы по всем разделам дисциплины.

11) Лабораторные работы и проекты

Лабораторные работы и проекты учебным планом не предусмотрены.

Текущая оценка качества освоения дисциплины осуществляется в рамках практических занятий, при собеседованиях и консультациях, в процессе ответов на вопросы студентов. В течение семестра ведется учет посещаемости практических занятий, количества выступлений на практических занятиях, уровень ответов на вопросы задач и вопросы преподавателя.

Критериями оценки являются качество проявляемых знаний, а также регулярное посещение семинаров с обязательным выступлением на них и активным участием в обсуждении тем на практических занятиях.

Алгоритм выведения итоговой оценки на экзамене: оценка за экзамен складывается из участия в практических занятиях с обязательным выступлением по подготовленной теме и ответов на контрольные вопросы в процессе экзамена.

Экзаменационные вопросы по дисциплине

1. Энергетический спектр электрона в потенциальной яме.
2. Условия наблюдения квантоворазмерных эффектов.
3. Структуры с двумерным электронным газом: полупроводниковые гетероструктуры.
4. Структуры с двумерным электронным газом: МДП-структуры..
5. Структуры с двумерным электронным газом: одиночный гетеропереход, дельта-слой.
6. Методы получения структур с одномерным и нульмерным электронным газом.
7. Углеродные нанотрубки, пористый кремний.
8. Молекулярно-пучковая эпитаксия, основные характеристики.
9. Газофазная эпитаксия из металлоорганических соединений, основные характеристики.
10. Методы нанолитографии.
11. Спинодальный распад.
12. Образование трехмерных массивов когерентно напряженных островков при гетероэпитаксиальном выращивании.
13. Плотность электронных состояний в системах с пониженной размерностью.
14. Сверхрешетки. Плотность электронных состояний в сверхрешетках.
15. Статистика свободных носителей заряда в двумерном электронном газе. Критерии вырождения.
16. Примесные состояния в двумерных системах.
17. Экситоны в двумерных системах.
18. Экранирование заряда в двумерных системах.
19. Контактные явления в двумерном электронном газе. Двумерный диод Шоттки.
20. Релаксация заряда в двумерных системах.
21. Типы оптических переходов в квантовых ямах. Общие соотношения для вероятностей оптических переходов (выражение для оптического матричного элемента).
22. Межзонное поглощение света в квантовых ямах. Правила отбора. Спектры поглощения. Экситонное поглощение и влияние на него электрического поля.
23. Внутризонное оптическое поглощение в квантовых ямах. Правила отбора для межподзонных оптических переходов электронов.
24. Фотоионизация квантовых ям. Резонансные квантовые ямы
25. Время релаксации импульса в двумерных системах. Особенности межподзонного рассеяния.
26. Энергетический спектр двумерных электронов в продольном магнитном поле.
27. Энергетический спектр двумерных электронов в поперечном магнитном поле. Плотность состояний.
28. Гальваномагнитные эффекты в двумерных системах ("классическое" описание).
29. Квантовый (целочисленный и дробный) эффект Холла.
30. Понятие о локализации носителей заряда. Природа целочисленного квантового эффекта Холла.