

Новые электронные и спиновые эффекты в полупроводниковых структурах и графене

(название дисциплины)

1. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Новые электронные и спиновые эффекты в полупроводниковых структурах и графене» относится к числу профессиональных дисциплин, является дисциплиной по выбору и изучается на 3-ом году обучения, в 6-ом семестре.

Изучению данной дисциплины предшествует изучение общих и специальных курсов по квантовой физике твёрдого тела, физике низкоразмерных структур, теории систем многих частиц, теории групп, квантовой теории поля, изучаемых в рамках соответствующих программ обучения в бакалавриате, магистратуре и аспирантуре на предшествующих ступенях высшего профессионального образования.

В ходе изучения дисциплины обучающиеся должны получить представление о современных задачах физики конденсированного состояния, в которых рассматриваются полупроводниковые структуры с сильным спин-орбитальным взаимодействием, а также графен, и структуры, принадлежащие к классу топологических изоляторов. Обучающийся должен освоить основные методы расчёта физических характеристик таких структур, в том числе способы нахождения квантовых состояний, спиновой поляризации, релаксационных, транспортных и оптических параметров. В программе курса запланирован цикл лекций, сочетающийся с циклом семинаров с тематическими докладами обучающихся, и с последующим обсуждением по типу научного семинара исследовательского подразделения. По итогам изучения курса обучающиеся должны также овладеть навыками расчёта и умением делать оценки экспериментально и технологически значимых параметров исследуемых структур, в том числе для их последующего использования в наноэлектронике, спинтронике, и системах квантовых вычислений.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Целями изучения дисциплины «Новые электронные и спиновые эффекты в полупроводниковых структурах и графене» является:

- Овладеть основными положениями современной квантовой теории полупроводниковых структур с сильным спин-орбитальным взаимодействием, в частности, структур, принадлежащих к классу топологических изоляторов.
- Освоить методы расчёта квантовых состояний, спиновой поляризации, а также релаксационных, транспортных и оптических характеристик в изучаемых структурах.
- Приобрести практические навыки расчёта основных параметров типичных структур для использования их в экспериментальных и промышленных приложениях, в том числе в качестве устройств хранения и обработки информации в схемах квантовых вычислений.
- Познакомиться с физическими свойствами двумерной формы углерода- графена, как кандидата в материалы для приборов микро- и наноэлектроники.
- Освоить методы расчёта электронных и транспортных свойств состояний графена и других двумерных структур, квазичастицы в которых описываются релятивистским уравнением Дирака.

Выпускник, освоивший программу, должен обладать следующими профессиональными компетенциями:

- Способностью самостоятельно ставить сложные научно-исследовательские задачи в своей профессиональной области, в том числе - самостоятельно проводить поиск и анализ современной научной, технической и патентной литературы по перспективным направлениям физики конденсированного состояния, физического материаловедения и в смежных областях (информационных технологий в физике) (ПК-1);
- Способностью самостоятельно проводить научно-исследовательские и прикладные исследования по перспективным направлениям физики конденсированного состояния, физического материаловедения, в том числе - в смежных областях (информационных технологий в физике), удовлетворяющих установленным требованиям к содержанию диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по направленности (научной специальности), и получать новые научные и прикладные результаты в области физики конденсированного состояния, физического материаловедения и в смежных областях (информационных технологий в физике) (ПК-2);
- Способностью самостоятельно разрабатывать новые модели сложных физических процессов, которые, в том числе, могут быть положены в основу новых технологических процессов (в том числе - нанотехнологических) получения конструкционных и многофункциональных материалов (в том числе - наноматериалов) (ПК-4);
- Готовностью организовывать и планировать научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в области физики конденсированного состояния, физического материалов и в смежных областях, а также организовывать работу небольших научно-исследовательских групп (научно-исследовательских лабораторий) для решения сложных научных и/или технологических задач инновационного характера (ПК-9).

3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины «Новые электронные и спиновые эффекты в полупроводниковых структурах и графене» составляет 2 зачётные единицы, всего - 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (18 часов занятия лекционного типа, 18 часов занятия семинарского типа (научно-практические занятия), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

4. Содержание разделов дисциплины

Раздел 1. Элементы спинтроники и физики топологических изоляторов

Спин-орбитальное взаимодействие как источник новых эффектов в полупроводниковых структурах. Основные механизмы энергетической и спиновой релаксации. Принципы работы некоторых устройств спинтроники. Элементы теории топологических изоляторов. Обзор основных эффектов и приложений топологических изоляторов.

Раздел 2. Электронные и транспортные свойства графеновых структур и материалов с дираковским спектром

Электронная структура графена. Уравнение Дирака для электронов в графене. Парадокс Клейна и особенности туннелирования в графене. Электронные состояния в графеновых нанолентах. Квантование Ландау для безмассовых Дираковских фермионов.

5. Аттестация по дисциплине

Занятия по дисциплине «Новые электронные и спиновые эффекты в полупроводниковых структурах и графене» проходят в лекционной форме и в форме практических занятий, а также в форме самостоятельной работы обучающихся.

В ходе изучения дисциплины аспиранты готовят и представляют в форме защиты доклада презентации по индивидуальным заданиям, отвечающие основным разделам дисциплины.

Итоговая аттестация проводится в форме зачета, в ходе которого обучающиеся должны представить развернутый ответ каждый из двух вопросов, содержащиеся в перечне контрольных вопросов.

Авторы: к.ф.-м.н. доцент, Хомицкий Д.В., к.ф.-м.н. доцент, Максимова Г.М., д.ф.-м.н. профессор Сатанин А.М.