

ОТЗЫВ

председателя диссертационного совета на диссертацию Коптевой Наталии Евгеньевны на тему: «Совместная электрон-ядерная спиновая динамика в полупроводниковыхnanoструктурах», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – Физика полупроводников.

. В работе Н. Е. Коптевой изучается взаимодействие между магнитными моментами электронов и ядер, управляемым которым оказывается возможным при определенном выборе условий оптической накачки и зондирования. Объектами исследования являются слой ZnSe, легированный донорами, и заряженные квантовые точки InGaAs.

В первой главе диссертации описаны методы исследования спиновой динамики оптическими методами, роль триплетных и синглетных состояний триона в формировании излучения, влияние полей Найта и Оверхаузера на ядерные и электронные спины. Рассмотрена динамика спиновой системы электронов, локализованных в квантовой яме и в квантовой точке, данные о динамике получены из анализа сигнала фарадеевского вращения. Рассмотрен эффект синхронизации мод прецессии электронного спина в условиях периодического возбуждения квантовых точек лазерными импульсами. В конце первой главы анализируются синхронизация мод, влияние подстройки, и современное состояние теории, описывающей этот круг явлений.

Цель работы сформулирована как экспериментальное и теоретическое исследование вопросов управления взаимодействием электронов и ядер и структуризации мод.

Во второй главе работы описана экспериментальная методика оптического возбуждения и зондирования, приведены сведения о легированном фтором эпитаксиальном слое ZnSe и о квантовых точках InGaAs с барьерным слоем GaAs, легированным кремнием. Описаны схема экспериментальной установки и методика измерения временных характеристик фарадеевского и керровского вращений. В этой же главе проведено теоретическое исследование сигналов фарадеевского и керровского вращений.

В третьей главе изучена подстройка прецессии электронных спинов в ZnSe:F полем Оверхаузера. Обнаружен интересный эффект – ступенчатая зависимость частоты прецессии электронных спинов при плавном изменении напряженности внешнего магнитного поля. Эффект возникает вследствие того, что при примененном в работе протоколе накачка-зондирование поле Оверхаузера принимает дискретные значения. Проведено теоретическое моделирование обнаруженного эффекта, показана роль оптического эффекта Штарка, создающего ненулевую поляризацию ядерных спинов. Даны оценки величины поля Оверхаузера, показано, что большой момент ядер селена обуславливает неоднозначность подстройки. Это приводит к появлению гистерезиса, математическое описание которого выполнено в работе. Указывается, что донорные электроны образуют однородный ансамбль, находящийся в условиях оптического возбуждения в дискретном эффективном магнитном поле. Установлено, что дискретизация мод зависит от уровня оптической накачки и знака подстройки.

В четвертой главе диссертации приведены результаты исследования с помощью эффекта Фарадея наносекундной спиновой динамики электронных спинов в квантовых точках InGaAs. Оптическое возбуждение производилось световыми пугами, состоящими из 8 и 60 импульсов. Спектр частот прецессии получен из преобразования сигналов люминесценции по методу Фурье. Этот спектр проанализирован для различного числа импульсов в пуге, показано, как влияет на состав частотного спектра внешнее радиочастотное поле, ослабляющее воздействие ядерных спинов на прецессию электронных спинов. Проведено теоретическое моделирование спиновой динамики для случая, когда промежуток между лазерными импульсами меньше поперечного времени релаксации, но промежутки между световыми пугами больше этого времени. Вначале исследовалось поведение одиночного спина, затем была учтена неоднородность спинового ансамбля. Показано, как отличаются друг от друга сигналы первого эха для случаев резонансной и нерезонансной оптической накачки при различных интенсивностях накачки и соотношениях характерных времен. Установлена связь эффективного времени спиновой релаксации с параметрами оптической накачки и разбросом g-факторов, изучена зависимость g-фактора от знака отстройки, получено хорошее согласие с экспериментом. Далее рассчитан спектр частот электронных мод в условиях поляризации ядерных спинов, оценена величина поля Оверхаузера. Показано, что в условиях ядерной подстройки в эхо-сигналах фарадеевского вращения появляется асимметрия как следствие возникновения некратных мод.

Экспериментальные данные и теоретические модели, представленные в диссертации, свидетельствует о большом объеме, новизне и высоком качестве исследований, выполненных автором диссертации. Считаю, что особо можно выделить следующее:

- обнаружение ступенчатой зависимости частоты прецессии электронных спинов от напряженности внешнего магнитного поля, которая является следствием того, что поле Оверхаузера в реализованных экспериментальных условиях принимает дискретные значения.
- обнаружение модовой структуры в частотном спектре прецессии электронных спинов в квантовых точках и изучение свойств этой структуры в условиях ядерной подстройки.

При изучении диссертации появились следующие вопросы:

1. В итогах третьей главы указывается на однородность спинового ансамбля электронов, локализованных на донорах в слое ZnSe. Может ли влиять на степень однородности ансамбля то обстоятельство, что часть донорных атомов находится близко к поверхности слоя и к интерфейсу ZnSe/ZnMgSe?
2. В описании квантовых точек InGaAs не указаны относительные концентрации индия и галлия. Суммарная доля изотопов Ga⁷¹ и Ga⁷⁹ в галлии и доля In¹¹⁵ в индии близки друг к другу, также как и константы сверточного взаимодействия. Однако, ядерный магнитный момент индия в три раза больше по сравнению с галлием. Может ли динамика электронных и ядерных спинов в этих квантовых точках существенно зависеть от соотношения концентраций индия и галлия?

Замечание – русскоязычный текст диссертации содержит некоторые грамматические неточности и опечатки.

Общая оценка диссертации Н. Е. Коптевой сугубо положительная, в процессе выполнения работы был получен целый ряд новых, в некоторых случаях, по-видимому, даже неожиданных результатов, которые нашли объяснение на основе разработанных автором диссертации теоретических моделей. Особо следует отметить выполнение Н. Е. Коптевой как экспериментальных, так и теоретических исследований в сложной и сильно развитой области спектроскопии полупроводников.

Диссертация Коптевой Наталии Евгеньевны на тему: «Совместная электрон-ядерная спиновая динамика в полупроводниковых наноструктурах» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Коптева Наталия Евгеньевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – Физика полупроводников. Пункт 11 указанного Порядка диссертантом не нарушен.

Председатель диссертационного совета

доктор физ.-мат. наук профессор, профессор кафедры физики твердого тела СПбГУ



В. Ф. Агекян

Дата 18.11.2019