ОТЗЫВ

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

В работе Н. Е. Коптевой изучается совместная электрон-ядерная спиновая динамика в структуре Zn0.92Mg0.08Se/ZnSe и в однократно заряженных квантовых точках (In,Ga)As/GaAs методом накачка-зондирование с временным разрешением. Проводится численное теоретическое моделирование экспериментальных данных.

Целью работы являлось изучение возможности управлять электрон-ядерным спиновым взаимодействием в описанных выше структурах с помощью оптически отстроенного импульсного лазерного возбуждения.

Русская версия диссертации изложена на 81 страницах текста, иллюстрирована 26 рисунками и содержит список цитируемой литературы из 108 наименований.

В первой главе диссертации введены основные термины и физические явления, которые используются в оригинальной части работы, а также приведен обзор работ, выполненных в области изучения электронной спиновой динамики и совместной электрон-ядерной спиновой динамики время-разрешенным методом накачка зондирование в квантовых ямах и квантовых точках. Глава также содержит подробное теоретическое описание трионного механизма формирования сигнала фарадеевского (керровского) вращения.

Во второй главе работы дана информация об исследуемых образцах и экспериментальной установке и методике накачка-зондирование с временным разрешением, позволяющая получить сигнал фарадеевского или керровского вращения. Также приведены сведения о методе теоретического моделирования, использованного в работе для описания формирования сигнала.

Третья и четвертые главы содержат описание оригинальных результатов, полученных в работе. Третья глава посвящена исследованиям структуры $Zn_{0.92}Mg_{0.08}Se/ZnSe$, легированной фтором. В ней экспериментально обнаружен весьма необычное явление - нелинейная зависимость частоты электронной спиновой прецессии в зависимости от внешнего магнитного поля, направленного поперек направления распространения импульсов лазерного света. Проведено подробное исследование характеристик этого явления от интенсивности оптической накачки и показано, что ядерная спиновая поляризация изменяет эффективно действующее магнитное поле так, что частота прецессии электронного спина во внешнем поле подстраивается к частоте, кратной частоте повторения лазерных импульсов. Экспериментальные результаты проанализированы в рамках модели динамической ядерной поляризации в условиях нерезонансного оптического возбуждения и показано, что изменение параметров оптической отстройки позволяет управлять частотами электронной спиновой прецессии, а также приведены оценки максимально достижимой ядерной поляризации в исследуемой структуре.

В четвертой главе диссертации приведены результаты численного моделирования сигнала фарадеевского вращения от неоднородного спинового ансамбля однократно

Вх. N 09/2-484 от 22.11.2019

заряженных квантовых точек InGaAs в методике накачка-зондирование при возбуждении цугами импульсов, с помощью которой были получены экспериментальные данные спектров частот процессии. Проанализированы спектры резонансного спинового усиления и электронной спиновой поляризации в зависимости от числа импульсов в цуге и от времени продольной спиновой релаксации. Учтён вклад носителей, возбуждаемых при оптической отстройке. В спектре электронной спиновой поляризации наблюдаются максимумы, соответствующие положениям частот, кратных частоте следования лазерных импульсов (моды прецессии). Часть спектра содержит максимумы, расположенные между ожидаемых положений мод прецессии. Экспериментальный результат объяснён в рамках модели динамической ядерной поляризации при нерезонансной оптической накачке. Знак оптической отстройки определяет направление ядерной поляризации, и как следствие, положение максимумов в спектре электронной спиновой поляризации, что приводит к искажению эхо-откликов в сигнале фарадеевского вращения. Спектр электронной спиновой поляризации без учёта влияния ядерной спиновой поляризации при приложении радиочастотного поля показывает ряд особенностей, связанных со спектральной зависимостью сигнала фарадеевского вращения, а также селективностью оптического возбуждения. Результаты численного моделирования находятся в качественном согласии с экспериментальными результатами.

При прочтении диссертации появились следующие вопросы и замечания.

1. Имеется некоторое количество неудачных фраз:

В поперечном свету магнитном поле (с.15) (имелось в виду в поперечном направлению распространения света); оптически созданные электронные спины (с.16), (имелось в виду-ориентированные спины); энергетический спектр позволяет получить спектрометр; с большим временным разрешением (на самом деле это речь идет о большом временном интервале измерений);

2. На стр. 25 указывается: «Величина поперечного g-фактора линейно уменьшается с увеличением энергии возбуждения, из-за того, что увеличение ширины запрещенной зоны приводит к увеличению эффекта локализации электрона». Это утверждение непонятно и требует пояснения.

3. При описании результатов, представленных на рис. 3.4 автор отмечает наличие отчетливых плато на зависимостях от магнитного поля. Однако на мой взгляд, это не плато, а участки с заметным обратным наклоном по отношению к теоретически ожидаемому. Описанию этого факта внимание не уделяется.

4. При описании и обсуждении экспериментальных результатов 3-ей главы используются понятия «высокой» и «низкой» интенсивности накачки, однако общего их определения не дается. Возникает вопрос, являются ли эти понятия характеристиками данного конкретного эксперимента или возможна их оценка из физических параметров изучаемых систем, которые могут быть оценены теоретически.

5. В четвертой главе для моделирования экспериментальных данных используется приближение о линейной зависимости g фактора от оптической энергии возбуждения и для расчета выбраны некие конкретные величины параметров A и C без обоснования их выбора. Остается непонятным, являются ли выбранные значения результатом подгонки экспериментальных данных или взяты из теоретических соображений.

Сделанные замечания и заданные вопросы не снижают ценность представленных в диссертации Коптевой Н.Е. результатов и положений. В целом она представляет научное

исследование высокого уровня, как в эксперименте, так и в теории по физике полупроводников.

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

Член диссертационного совета

доктор физ.-мат. наук, профессор,

профессор Физического факультета СПбГУ

_____ О. Ф. Вывенко

21 ноября 2019 года