

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Шамирзаева Тимура Сезгировича на диссертацию Литвяк Валентины Михайловны на тему «Эффекты, наблюдаемые в полупроводниках при глубоком охлаждении спинов ядер», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Рецензируемая диссертация посвящена изучению закономерностей спиновой динамики в оптически охлажденной спиновой системе ядер мышьяка и галлия в эпитаксиальных слоях n-GaAs, термодинамических характеристик этих спиновых систем и поиску путей достижения минимальных температур в ансамбле ядерных спинов. Несмотря на то, что изучение термодинамических характеристик спиновых ядерных систем вот уже более 70 лет является предметом интенсивных исследований во всем мире, интерес к ним продолжает поддерживаться на чрезвычайно высоком уровне. Растет число публикаций по этой тематике, организуются конференции и издаются новые журналы. Причины этого совершенно очевидны: с одной стороны, изучение охлажденных систем ядерных спинов позволило открыть множество качественно новых явлений, представляющих общенаучный интерес, а с другой стороны, оно генерирует идеи для совершенствования уже имеющихся и создания новых типов приборов, на основе магнитоупорядоченных спиновых состояний. Из сказанного ясно, что тема диссертации, избранная соискателем, безусловно, является **актуальной**, а поскольку, несмотря на прогресс в области охлаждения ядерных спинов возможности понижения температуры ядерной спиновой подсистемы твердого тела, изучены еще отнюдь не исчерпывающе, то **новизна** полученных в работе результатов также не вызывает сомнений.

33-06-571 от 02.06.2022

Диссертация состоит из **введения, пяти глав, заключения и списка литературы**. Во **введении** сформулирована и обоснована цель исследований. В **первой главе** автор приводит обзор литературы, посвященной описанию способов поляризации, и механизмов релаксации ядерных спинов. Анализируются факторы, ограничивающие степень охлаждения ансамбля ядерных спинов. В целом, обзор литературных данных производит впечатление строгого и последовательного изложения и свидетельствует о достаточно высоком уровне теоретической подготовки диссертанта.

Во **второй главе**, посвященной методическим вопросам проводимых исследований, дано подробное описание методик, использовавшихся для создания и измерения поляризации спинов ядер. Обсуждаются условия проведения экспериментов и обработки полученных результатов для определения термодинамических параметров ядерной спиновой системы. Описывается методика спектроскопии отогрева ядерных спинов.

В оригинальной части диссертации, **Главы 3 - 5**, рассматриваются три основные задачи. **Первая** из них заключалась в определении величины локального ядерного поля в образцах GaAs. Использование методики оптического охлаждения ядерной спиновой системы с последующим измерением динамики деполяризации электронного спина позволило автору определять локальные эффективные магнитные поля. **Вторая задача** диссертации заключалась в определении величин и источников квадрупольных взаимодействий ядерных спинов в образцах GaAs, легированного донорами. Анализ частотных зависимостей поглощения переменного магнитного поля различной ориентации предварительно охлажденной спиновой ядерной системой позволил автору сделать вывод о том, что квадрупольные взаимодействия между спинами ядер могут быть обусловлены локальными деформациями и встроенными электрическими полями. И, наконец, **третья из упомянутых задач**, заключалась в исследовании возможности охлаждения ансамбля ядерных спинов (в.т.ч.

селективного) в квантовых ямах GaAs/AlGaAs методом адиабатического размагничивания во вращающейся системе координат. Автору удалось охладить систему ядерных спинов изотопа ^{75}As до температур ниже 1 мК. Сделаны оценки вкладов диполь-дипольных и квадрупольных спиновых взаимодействий в величину локального ядерного поля, ограничивающего минимальную температуру достижимую для ядерной спиновой системы исследованной квантовой ямы.

Переходя к оценке диссертации в целом, необходимо отметить, что соискателю в своей диссертационной работе удалось получить совокупность новых результатов, которые, с одной стороны, дают ясную физическую картину исследовавшихся явлений, а с другой стороны, инициируют проведение последующих экспериментальных и теоретических работ, направленных на обнаружение новых эффектов. Таким образом, можно утверждать, что совокупность полученных в работе результатов и сделанные на их основе выводы значительно расширяют существующие представления о механизмах охлаждения и деполяризации ядерных спинов в GaAs. По результатам проводимых исследований созданы предпосылки для разработки устройств записи и хранения информации, использующих спиновые состояния ядер, что, безусловно, имеет важное **прикладное значение**.

Говоря о недостатках работы, необходимо отметить следующее:

1. Метод регистрации индуцированного электронным пучком тока, идущего через образец, который используется в работе для оценки встроенного электрического поля вблизи поверхности образца не совсем корректен. С одной стороны, поток электронов, попадающих на поверхность, изменяет зарядовый ее рельеф. С другой стороны, насколько я знаю эту методику, измерения проводились при комнатной температуре, которая сильно отличается от температур проведения экспериментов по измерению спиновой динамики ядер. И, наконец, захват на поверхностные состояния электронов и дырок, генерирующихся при поглощении света в процессе охлаждения ядерных спинов, может также существенно

изменять зарядовый рельеф поверхности и, следовательно, встроенные приповерхностные электрические поля.

2. Полученные в диссертации значения встроенных полей, спиновых температур и других характеристик ядерной спиновой системы GaAs определены путем аппроксимации экспериментально измеренных данных некоторыми теоретическими зависимостями, содержащими несколько варьируемых параметров. Хорошо известно, что в этих условия определить параметры аппроксимации можно только с некоторой точностью. Более того, при решении таких задач очень часто возникают ситуации, когда заданную точность подгонки можно получить при целом наборе значений параметров аппроксимации, когда отклонение теоретической кривой от экспериментальных значений при изменении одного параметра, компенсируется соответствующим изменением другого параметра. Между тем, оценка точности определения параметров аппроксимации приводится только в третьей главе для определения встроенного поля (6 ± 2 Гс). Во всех остальных случаях ошибка определения параметров не указывается.

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки работы. Из проведенного анализа работы следует, что диссертация В.М. Литвяк представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится решение задачи, имеющей существенное значение для понимания механизмов, ответственных за квадрупольное взаимодействие ядерных спинов в GaAs. **Достоверность и обоснованность результатов** определяется тщательно проработанной методикой изучения исследуемых процессов, согласием расчетов с результатами экспериментальных измерений, корреляцией результатов, полученных различными экспериментальными методами. Основные результаты диссертации опубликованы в российских и международных научных журналах, доложены на ведущих российских и международных научных конференциях.

Считаю, что диссертация Литвяк Валентины Михайловны на тему: «Эффекты, наблюдаемые в полупроводниках при глубоком охлаждении спинов ядер» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», а соискатель Литвяк Валентина Михайловна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния. Пункты 9 и 11 указанного Порядка диссертантом не нарушены.

Член диссертационного совета,

д.ф.-м.н., доцент по специальности физика полупроводников, ведущий научный сотрудник лаборатории физики и технологии гетероструктур Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения РАН



Тимур Сезгирович Шамирзаев

«18» мая 2022 г.

Подпись и фамилию сотрудника ИФП СО РАН
Т.С. Шамирзаева удостоверяю

Ученый секретарь ИФП СО РАН

к.ф.-м.н.



С.А. Аржанникова