

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета 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.

В работе Литвяк В. М. изучается оптически охлажденная ядерная спиновая система в объемных структурах *n*-GaAs методом спектроскопии отогревая ядерных спинов. Также в нелегированной квантовой яме GaAs/Al_{0,35}Ga_{0,65}As методом адиабатического размагничивания во вращающейся системе координат была получена рекордно низкая ядерная спиновая температура изотопа ⁷⁵As. Приведен расчет спин-спинового вклада в величину локального поля и показано, что величина локального поля зависит от направления внешнего магнитного поля.

Целью работы является изучение термодинамических характеристик и магнитных флуктуаций оптически охлажденной спиновой системы ядер мышьяка и галлия в эпитаксиальных слоях *n*-GaAs, поиск путей достижения минимальных ядерных спиновых температур.

Русская версия диссертации изложена на 134 страницах, содержит 49 рисунков, 6 таблиц. Список цитируемой литературы состоит из 59 наименований.

Диссертация Литвяк В. М. состоит из введения, пяти глав и заключения.

В первой главе приведен обзор литературы. Описаны основные типы взаимодействий, в которых участвуют ядерные спины: диполь-дипольное, сверхтонкое, Зеемановское и квадрупольное. Также приведены основные механизмы релаксации и способы поляризации ядерных спинов. Описана концепция ядерной спиновой температуры, основные принципы спектроскопии отогрева ядерных спинов и адиабатического размагничивания во вращающейся системе координат, необходимые для понимания оригинальной части диссертации.

Вторая глава посвящена изучаемым образцам и экспериментальным методикам. Диссертация Литвяк В. М. содержит описание двух методик: спектроскопии отогрева ядерных спинов и адиабатического размагничивания ядерных спинов во вращающейся системе координат.

Третья глава содержит оригинальные экспериментальные результаты по измерению величины локального поля ядерных спинов в объемном образце *n*-GaAs с концентрацией донорной примеси $n_d = 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Величина локального поля получилась равной $(6 \pm 2) \text{ Гс}$, что отличается от литературных данных примерно в 4 раза. Данное отличие объясняется автором как наличие квадрупольного расщепления ядерных спиновых уровней энергии из-за небольшого напряжения в изучаемой структуре.

Четвертая глава посвящена анализу спектров поглощения оптически охлажденных ядерных спинов объемных образцов *n*-GaAs. Описывается созданная с участием автора диссертации методика спектроскопии отогрева ядерных спинов, которая заключается в отогреве переменным магнитным полем оптически охлажденной ядерной спиновой системы в нулевом и во внешних статических магнитных полях. Особенностью данной методики является то, что она чувствительна даже к небольшим величинам квадрупольных взаимодействий в образце. В частности, квадрупольные эффекты проявляются в измеренных с помощью такой методики спектрах поглощения ядерных спинов как дополнительные пики поглощения. Для определения типа и величины квадрупольных взаимодействий была предложена модель, позволяющая описать весь набор экспериментально полученных спектров поглощения.

В пятой главе приведены результаты экспериментов по адиабатическому размагничиванию ядерных спинов изотопа ^{75}As во вращающейся системе координат. Была получена рекордно низкая спиновая температура ядер ^{75}As : $\theta_N^{\text{As}} = 0.54$ и (-0.57) мК. Также приведен расчет спин-спинового вклада в величину локального поля и показано, что локальное поле зависит от направления внешнего магнитного поля по отношению к осям кристалла. Такую зависимость вносит квадрупольный вклад, который также был экспериментально определен в главе 5.

При прочтении диссертации появились следующие вопросы и замечания:

1. В одном из защищаемых положений говорится: квадрупольное взаимодействие ядер в объемных кристаллах $n\text{-GaAs}$ в нулевом магнитном поле приводит к появлению трех пиков в спектре поглощения переменного магнитного поля ядерными спинами. Для заданного квадрупольного расщепления положения пиков определяются их квадрупольными константами. Измерение спектров поглощения ядерных спинов в зависимости от величины постоянного магнитного поля при различных взаимных направлениях постоянного и переменного магнитных полей позволяют определить тип и величину квадрупольного взаимодействия.

Возникает вопрос: если это разработка экспериментальной методики детектирования квадруполей, то желательно указать ее параметры – диапазон квадрупольных расщеплений, ширины линий, точность измерений. Если же это положение относится к физике квадруполей в GaAs, то следует перечислить возможные причины квадрупольного расщепления.

2. В тексте диссертации сказано: однако если учесть, что в процессе измерений при T

= 20 К температурные коэффициенты расширения держателя образца, клея, на

который он был приклеен и самого образца разные, то это может вызвать неконтролируемую деформацию небольшой величины в образцах (по сравнению с деформацией, вызванной, к примеру, рассогласованием постоянных решеток в квантовых точках и квантовых ямах).

Выходит, что наличие клея на образце не позволяет сделать однозначные выводы о физических механизмах той квадрупольной структуры резонансов, которая не зависит от способа приклейки. Правильно я понимаю, что главной целью диссертации является создание методики по обнаружению квадрупольной структуры без выяснения ее природы?

3. В пятой главе в таблице 6 жирным шрифтом выделены величины спиновой температуры, достигнутые в первой серии экспериментов при накачке только ядер изотопа ^{75}As . Какая температура получается при накачке других изотопов?

Заданные вопросы не снижают ценности представленных в диссертации Литвяк В. М. результатов и положений. Диссертационная работа Литвяк В. М. представляет собой научное исследование высокого уровня по физике конденсированного состояния.

Считаю, что диссертация Литвяк Валентины Михайловны на тему: «Эффекты, наблюдаемые в полупроводниках при глубоком охлаждении спинов ядер» полностью соответствует основным требованиям, установленными Приказом № 11181/1 от 19. 11. 2021 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1. 3. 8. – Физика конденсированного состояния.

Член диссертационного совета

доктор физ. – мат. наук, профессор

Коренев В. Л.

18. 05. 2022



Подпись Коренева В.Л. удостоверяю
зав.отделом кадров ФТИ им.А.Ф.Иоффе

В.Л. / Н.С. Буцарко