



Prof. Dr. Dmitri Yakovlev

Dortmund, 26 November 2017

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета на диссертацию Котур Младена на тему:
„Низкотемпературная ядерная спин-решеточная релаксация в n-GaAs”
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 Физика полупроводников

Диссертация М. Котур посвящена экспериментальному исследованию динамики спин-решеточной релаксации ядер и роли свободных и локализованных электронов в n-GaAs. Тематически эта работа относится к области физики твердого тела, направлению спинтроники (спиновая физика), которое интенсивно развивается последние 15 лет. Интерес к спинтронике возник из возможностей использования спина в квантовых вычислениях и квантовой информатике, в том числе и для передачи кодированной информации. Спинтроника является очень широким направлением исследования, которое включает в себя как фундаментальные так и прикладные исследования. При этом именно фундаментальные исследования формируют область возможных технических реализаций и расширяют горизонты этой области. В связи с этим выбранная тема диссертации М. Котур является актуальной и современной.

Автор поставил себе сложную задачу исследования спиновой динамики ядерной системы в хорошо изученном материале n-GaAs, который является модельным для этой области физики. В данной работе исследования были распространены на режимы, которые сложны как для однозначного экспериментального выделения основных механизмов, так и для модельной интерпретации результатов. А именно в области малых и переходных магнитных полей, где воздействие внешнего магнитного поля вступает в конкуренцию с локальными обменными полями, как в ядерной системе, так и взаимодействия ядер с локализованными и свободными электронами. Для решения этой задачи автором была предложена и реализована элегантная методика измерений в основе которой заложен принцип оптической ориентации ядер спин-поляризованными электронами. Интерпретация полученных результатов потребовала разработку модельных подходов, что позволило существенно расширить понимание основных механизмов, их роли и зависимости от параметров системы (концентрации доноров, наличия механических напряжений) и внешних условий (величины магнитного поля, температуры, засветки образца). Всё это определило новизну данной работы, которая несомненно явилась важным развитием данной области.

В первой главе содержится краткий обзор литературы и излагаются основные принципы оптической ориентации спинов носителей и ядер. Вводятся основные понятия которые используются в диссертации. Во второй главе даётся описание исследованных структур и описывается оригинальная методика разработанная

автором для исследования спиновой динамики ядер. Особенность этой установки заключается в использовании синхронизированных протоколов засветки и изменения внешнего магнитного поля, а так же время-разрешённых измерений. Данная методика основана на глубоком понимании физики процессов в электронно-ядерной спиновой системе, где важную роль играет протокол измерений восстанавливающий систему в исходное состояние, то есть стирающий память от предшествующих воздействий. Для ядерной системы с очень длинными временами спиновой релаксации это является совсем не тривиальной задачей.

В третьей главе исследуются образцы в диэлектрической фазе, где при низких температурах все электроны локализованы на донорах. В сильном внешнем поле, превышающем локальное поле ядер, скорость ядерной спиновой релаксации не зависит от величины поля и температуры. Такое поведение связано с основным механизмом релаксации из-за диффузии спина к донорам. В меньших же магнитных полях скорость спиновой релаксации возрастет на порядок величины. Для объяснения предложена модель квадрупольной релаксации. Таким образом для образцов в диэлектрической фазе исследована и объяснена спиновая динамика ядер во всем диапазоне магнитных полей.

В четвертой главе исследуется n-GaAs в металлической фазе. Обнаружено что скорость релаксации спинов ядер и ее зависимость от магнитного поля при низкой температуре существенно отличается от предсказаний теории Корринги. Для разрешения данной проблемы предложено что даже в металлическом n-GaAs возможна локализация электронов на близкой паре доноров. Такой локализованный электрон является эффективным центром спиновой релаксации ядер, а скорость спиновой релаксации определяется спиновой диффузией.

Важным и интересным в данной работе является сопоставление результатов полученных автором с результатами полученными другими авторами на схожих образцах методами спинового шума и папм-проб Фарадеевского вращения.

Диссертация представляет собой цельное исследование, которое имеет чётко поставленную задачу и пути реализации. Работа написана очень логично. Я не вижу недостатков в рецензируемой работе. У меня есть вопрос относящийся к выбору структур для исследования. Выбор исследованных трёх образцов n-GaAs понятен и обоснован. В работе показано, что спиновая динамика ядер зависит как от присутствия электронов так и от их локализации на донорах. При этом такая локализация играет роль и в металлической фазе, где предполагается локализация на паре близких доноров. Возникает естественное желание разделить вклад доноров и свободных носителей. Такая возможность может быть реализована в гетероструктурах с модулированным легированием, где доноры находятся в барьере, а электроны в квантовой яме. Исследовал ли автор такую структуру? Рассматривает ли он подобные структуры как возможное продолжение данного исследования?

В списке литературы хотелось бы видеть всех авторов, если это не ограничено требованиями к оформлению диссертации.

Диссертация содержит очень малое количество опечаток. Единственная неточность в формулировке которую я заметил на стр. 43: «Это следует из сильной зависимости магнитного поля от ядерной теплоемкости». Очевидно что речь идет о зависимости ядерной теплоемкости от магнитного поля.

Диссертация Котур Младена на тему: „Низкотемпературная ядерная спин-решеточная релаксация в n-GaAs” соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Котур Младен заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 Физика полупроводников.

Член диссертационного совета

Доктор физико-математических наук

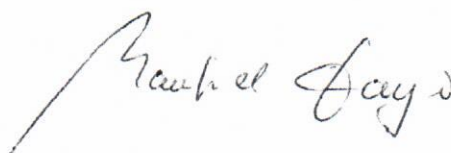


Яковлев Дмитрий Робертович

26 ноября 2017 г.

I confirm the signature of Prof. Dr. Dmitri Yakovlev

Prof. Dr. Manfred Bayer



tu technische universität
dortmund
Prof. Dr. Manfred Bayer
Experimentelle Physik II
D-44221 Dortmund