

ОТЗЫВ

Члена диссертационного совета на диссертацию **Младена Котура** на тему:
«Низкотемпературная ядерная спин-решеточная релаксация в n-GaAs»,

представленной на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

по специальности 01.04.10 – физика полупроводников

Исследование явления оптической ориентации в полупроводниках, которое ведется уже почти полвека, позволило получить уникальные данные о структуре и характеристиках спиновых ансамблей и их взаимодействии с ядерными спинами. Более того, поскольку поляризация рассматривается в настоящее время как один из способов кодирования информации, эти знания имеют большое значение для квантовой оптики и нанофотоники.

Диссертационная работа Котура Младена посвящена исследованию, казалось бы, одного из наиболее изученных в этой области материалов – GaAs; первые работы по оптической ориентации в нем появились в 1972 г. Однако диссертанту удалось, применяя накопленный в сильной исследовательской группе опыт и знания, найти и объяснить новые эффекты, относящиеся к ядерной спин-решеточной релаксации в полупроводнике n-типа. Следует подчеркнуть, что явление оптической ориентации выступает здесь как инструмент, позволяющий «прощупать» тонкие эффекты взаимодействия ядерных спинов со свободными и локализованными на донорах электронами в слабых и сильных магнитных полях.

Структура квалификационной работы Котура Младена логична и дает полное представление о проведенных исследованиях. Введение и первая глава представляют собой в совокупности аналитический обзор, освещающий историю проблемы и современные концепции спинов электронов и ядер в GaAs. Глубина обзора свидетельствует о полном понимании соискателем

09/12-112 om 24.11.2014

исследуемого явления. Во второй главе приводятся описание образцов и схемы эксперимента со всеми необходимыми ссылками на предшествующие работы. Две последующие главы содержат описание оригинальных экспериментов и изложение моделей, объясняющих полученные результаты по низкотемпературной релаксации ядерного спина в GaAs n-типа выше и ниже перехода металл-изолятор. Отличительной особенностью этой части работы является сопоставление с результатами исследователей, как российских, так и зарубежных, осуществляющих исследования в этом направлении. Это позволяет Котуру Младену создать максимально полную картину изучаемого явления. В результате проведено четкое разграничение между проявлениями диффузии ядерного спина в сильных магнитных полях и проявлениями, обеспечиваемыми квадрупольной релаксацией в слабых магнитных полях, разработанная теория которого приводится в необходимом объеме. И, наконец, заключительная глава подводит итоги и намечает пути дальнейших исследований.

Однако представленная работа не лишена недостатков. Полученные в эксперименте зависимости времени спин-решеточной релаксации от магнитного поля удаётся объяснить, предположив, что локальные поля ядер в несколько раз больше известной для арсенида галлия величины в 1.5 гаусса, обусловленной диполь-дипольным взаимодействием ядерных спинов. Делается предположение, что такое отличие может быть вызвано квадрупольным расщеплением ядерных спиновых состояний. Из классических работ по ядерной поляризации (см. например, монографию "Оптическая ориентация", главы 2 и 5) известно, что локальные поля проявляются также в зависимостях ядерной поляризации и ядерной спиновой температуры от магнитного поля при оптической накачке. Это позволяет, казалось бы, проверить сделанное предположение об увеличенных локальных полях сравнением с независимым экспериментом. Однако в диссертации такого сопоставления не приводится. Кроме того, не исключено, что микроструктура металлического образца, выращенного методом

молекулярно-пучковой эпитаксии (1 микрон n-GaAs между AlGaAs барьерами), содержит ряд особенностей, которые могли бы быть выявлены, к примеру, методами рентгеновской дифракции и комбинационного рассеяния света. Возможно, проведение подобных исследований дало бы дополнительные данные для исчерпывающего объяснения наблюдаемых эффектов.

Сделанные замечания не являются принципиальными, носят характер рекомендаций для проведения дальнейших исследований и не снижают общего хорошего впечатления о диссертации.

Диссертация Котура Младена «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,
главный научный сотрудник лаборатории квантоворазмерных гетероструктур
ФТИ им. А.Ф. Иоффе

Шубина Татьяна Васильевна

24 ноября 2017 г.

