

ОТЗЫВ

председателя диссертационного совета на диссертацию Котура 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

Активные экспериментальные и теоретические исследования ориентации спинов электронов и ядер в полупроводниках начались в 70-е годы прошлого столетия. На основе результатов этих исследований образовалось целое направление физики полупроводников – спинтроника. В настоящее время исследуются, в основном, полупроводниковые наноструктуры, однако, остаются существенные вопросы, для выяснения которых объемные кристаллы являются подходящими объектами. Первые работы по оптической ориентации были выполнены на арсениде галлия и твердых растворах на его основе, на этом же кристалле проведены экспериментальные исследования настоящей диссертационной работы.

Интенсивное изучение спин-решеточной релаксации в полупроводниковых системах вызвано не только научным интересом к этому явлению, но и интересом прикладным, поскольку спиновая память ядер является долгой и может быть использована для практики.

Определение механизмов, которые управляют потерей спиновой системой поляризации, влияния на эти механизмы температуры, внешнего магнитного поля и конкретных свойств кристалла являются актуальными задачами. В работе Младена Котура эти механизмы, проясняющие динамику ядерных спинов, подробно изучены применительно к кристаллам арсенида галлия с низкой и высокой концентрациями донорной примеси, предложены и реализованы эксперименты по измерению времен поперечной релаксации без использования дополнительных зондирующих лучей.

В обзорной главе описывается достижение преимущественной ориентации спинов в определенном направлении при возбуждении электронной системы кристалла циркулярно поляризованным светом, деполяризация спинов в поперечном магнитном поле, указаны основные факторы, управляющие взаимодействием спиновых систем электронов и ядер – сверхтонкое взаимодействие, поле Оверхаузера, поле Найта. Рассмотрены диффузия ядерного спина, времена продольной и поперечной релаксации, обсуждается спиновая температура ядер, которая может существенно отличаться от температуры решетки вследствие медленного переноса энергии между спинами и фононами.

Во второй главе дано описание образцов и схем экспериментов. Следует отметить, что в этой главе приведены не только схемы экспериментов, но и некоторые результаты – спектры интенсивности люминесценции, спектры поляризации люминесценции, кривые Ханле.

09/2 - 111 от 24.11.2017

В третьей главе изложены результаты исследования скорости спин-решеточной релаксации от напряженности магнитного поля и температуры в диэлектрическом GaAs (малая концентрация доноров). При увеличении поля от нуля до 100 Гаусс время релаксации изменяется на порядок, соответствующие зависимости хорошо описываются функциями Лоренца. Показано, что скорость релаксации ограничивается диффузией спина. В полях, которые много слабее локального поля, прослежен быстрый отогрев ядерной спиновой системы вблизи доноров с последующим отогревом всей ядерной системы за счет диффузии спина. Скорость отогрева зависит от зарядового состояния доноров, и может быть сопоставлена с температурной зависимостью сопротивления кристалла, что и продемонстрировано в настоящей работе. Скорость спин-решеточной релаксации в зависимости от величины поля была измерена не только по спектрам люминесценции, но и методом спектроскопии спиновых шумов, результаты хорошо согласуются.

В четвертой главе изучается спин-решеточная релаксация в металлическом арсениде галлия. Показано, что, начиная с некоторого значения напряженности поля (выше 100 Гаусс), скорость релаксации перестает зависеть от напряженности поля. Это является особенностью отогрева ядерной спиновой системы за счет взаимодействия со свободными электронами (механизм Корринги). При этом температурная зависимость, в отличие от диэлектрического арсенида галлия, является сильной.

В слабом поле, сравнимом с локальным полем, наблюдается сильная зависимость скорости релаксации от температуры. Автор считает, что экспериментальные данные (зависимость поля $B_{1/2}$ от температуры) можно объяснить, если учесть квадрупольное расщепление, индуцированное механическими деформациями. По мнению автора работы для полного объяснения температурной зависимости скорости релаксации в слабых полях необходимы дополнительные исследования. Обращается внимание на то, что результаты других работ, где аналогичные исследования проводились методами спектроскопии спиновых шумов и фарадеевского вращения, также указывают на существование локальных полей, сильно превышающих значения, характерные для диполь-дипольного взаимодействия ядерных спинов.

Считаю, что в работе Котура Младена получены важные результаты в отношении влияния концентрации свободных носителей на динамику спиновой ориентации ядерных спинов и воздействие на нее слабого и сильного внешнего магнитного поля. Автором диссертации не только выполнен ряд новых экспериментов, по измерению времен спин-решеточной релаксации без применения зондирующих световых лучей, но и проведены теоретические расчеты, сделаны оценки, позволяющие сравнить ожидаемые результаты с опытными данными. Положения, выносимые на защиту, достаточно обоснованы.

Замечания, появившиеся при чтении диссертации:

- 1) Автор относит образцы толщиной 250 и 20 микрометров к объемным кристаллам, образец толщиной 1 микрометр – к микроструктурам. Возникает вопрос, что в данном случае является критерием для такой классификации.
- 2) В полупроводниках n-типа степень оптической ориентации зависит от уровня оптического возбуждения, поскольку в зоне проводимости есть темновые

неориентированные носители и фотоносители. В диссертации этот момент не обсуждается.

Моя оценка диссертационной работы в целом сугубо положительная.

Диссертация Котура 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 полностью заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

Председатель диссертационного совета

доктор физ.-мат. наук профессор профессор  В.Ф. Агекян

24.11.2017